



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

RAUL SOUZA MUNIZ

**ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DA CHUVA NO ESTADO DA PARAÍBA COM
BASE NA TRANSFORMADA WAVELET**

JOÃO PESSOA
2021

RAUL SOUZA MUNIZ

**ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DA CHUVA NO ESTADO DA PARAÍBA COM
BASE NA TRANSFORMADA WAVELET**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil da
Universidade Federal da Paraíba, como um
dos requisitos obrigatórios para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Celso Augusto
Guimarães Santos

JOÃO PESSOA

2021

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

M966a Muniz, Raul Souza.

Análise espaço temporal da chuva no estado da Paraíba
com base na transformada wavelet / Raul Souza Muniz. -
João Pessoa, 2021.

170 f. : il.

Orientação: Celso Augusto Guimarães Santos.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Wavelet. 2. Precipitação. 3. CRU. 4. Paraíba. 5.
Cluster. I. Santos, Celso Augusto Guimarães. II. Título.

UFPB/BSCT

CDU 624(043.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

RAUL SOUZA MUNIZ

ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DA CHUVA NO ESTADO DA PARAIBA COM BASE NA TRANSFORMADA WAVELET

Trabalho de Conclusão de Curso em 03/12/2021 perante a seguinte Comissão Julgadora:



Prof. Dr. Celso Augusto Guimarães Santos (orientador)

Universidade Federal da Paraíba

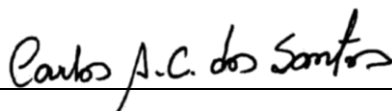
APROVADO



Prof. Dr. Richarde Marques da Silva (examinador)

Universidade Federal da Paraíba

APROVADO



Prof. Dr. Carlos Antônio Costa dos Santos (examinador)

Universidade Federal de Campina Grande

APROVADO



Profª. Andrea Brasiliano Silva

Matrícula Siape: 1549557

Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, aos meus familiares e a todas as pessoas que contribuíram na minha jornada até aqui. Minha eterna gratidão a todos vocês.

Posso, tudo posso, naquele que me fortalece.
Nada e ninguém no mundo vai me fazer
desistir.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por todas as bênçãos derramadas ao longo da minha jornada, por ter me dado força quando eu não tinha nenhuma, por ter me levantado quando eu estive caído e por ter me concedido todas as dádivas até aqui vividas.

Agradeço aos meus pais Artur e Cláudia por todo o amor concedido ao longo da minha vida, por colocar meu bem-estar acima de tudo, priorizar minha educação e me darem suporte sempre que eu precisei. A minha irmã Aíla que será sempre minha parceira pela vida, sempre esteve e estará comigo, agradeço por todos os conselhos, apoio, companheirismo e por todas as sortes e rituais realizados em momentos que antecederiam as avaliações ao longo do meu curso. Vocês são as melhores pessoas que eu poderia ter. Essa vitória não é minha, é nossa.

Agradeço a minha namorada Laís, que esteve presente comigo desde antes da minha entrada à UFPB. Em todo esse tempo, ela se mostrou compreensiva, solícita e sempre buscou o melhor para mim. Sou muito grato a Deus por ter te encontrado.

A minha cadela de estimação Vidinha, que nos momentos mais obscuros da minha vida foi capaz de tirar sorrisos do meu rosto e melhorar os meus dias.

Agradeço a minha avó Rosalia, que está festejando hoje lá do céu essa conquista, e a minha avó Socorro, cuja representatividade na minha vida é inestimável. Ambas sempre me incentivaram para que eu alcançasse o sucesso como engenheiro.

Agradeço aos meus amigos frutos da Universidade Federal da Paraíba, que espero carregar para sempre comigo, Thiago Victor, Felipe Alves, Abner, Gabriel Rairan, Yesus, Daniel, João Luiz, Rafaela, Paula, Camila, Josy, Luana, Malu, Késsia, Cecília e tantos outros que tiveram sua passagem marcada em minha história.

Agradeço aos meus amigos do marista que fazem parte da minha vida desde 2009 quando cheguei à Paraíba e a toda minha família do EJC. Ambos os grupos são formados por pessoas essenciais na minha vida.

Agradeço ao meu professor e orientador Dr. Celso Augusto, ao qual tenho imensa admiração como profissional e como pessoa. Tenho plena convicção que não estaria onde estou sem sua ajuda. Seus incentivos, conselhos e correções me auxiliam a crescer cada dia mais. Ele, aliado ao meu pai foram as chaves fundamentais para que eu pudesse defender meu trabalho no dia de hoje, mesmo tendo que desenvolver tudo apenas com uma mão.

Agradeço aos professores Marivaldo, Hidelbrando, Givanildo, Cristiano, Ana Cláudia, Aline, Akemi, Clóvis e Nilton, por todo conhecimento ensinado e por ter tido o prazer de compartilhar uma sala de aula com profissionais de tamanha grandeza.

Agradeço, ainda, ao meu chefe no estágio na Superintendência da Polícia Federal na Paraíba, Rosendo Lucena, por tamanha dedicação, por me proporcionar conhecimento prático e ser um modelo de engenheiro competente e humano.

Agradeço a Reginaldo por toda ajuda, simpatia e disposição em me auxiliar com a obtenção de dados e dúvidas de programação. A Felipe, a Thiago e a Abner, pelas companhias diárias, por compartilhar as dificuldades e por torcer por essa conquista. A Anselmo e aos grupos de pesquisa que já participei e a todos aqueles que a iniciação científica trouxe ao meu dia a dia.

A Universidade Federal da Paraíba e a Universidade de Cantábria.

Aos demais familiares e amigos que estiveram comigo nos momentos bons e ruins, muita gratidão.

Que Deus esteja sempre conosco.

RESUMO

A precipitação é uma das variáveis hidrológicas de maior relevância na gestão de recursos hídricos. A necessidade de seu estudo é explicada pela sua importância nos setores da sociedade. Seu excesso pode gerar danos e inundações, já sua escassez pode causar secas e prejuízos. Neste trabalho, foram utilizadas estimativas de chuva de dados mensais de precipitação do *Climatic Research Unit* – (CRU), com resolução espacial de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$. Foram analisados 43 pontos igualmente distribuídos sobre todo o estado da Paraíba durante 100 anos (1920–2019). Da mesma forma, foram utilizados também os dados de pluviômetros para o período de 21 anos (1998–2018). Por meio da utilização da transformada *wavelet*, realizou-se análises espectrais, possibilitando a identificação de padrões por meio da decomposição dos sinais, visto que tal procedimento é capaz de fornecer informações não só sobre a frequência, mas também sobre sua localização no tempo. Com a análise *wavelet*, foi verificada a existência de frequências anuais em todas as séries temporais. Na maioria dos pontos também se percebeu periodicidades semestrais e trimestrais. Séries temporais de alguns poucos pontos apresentaram periodicidade de baixa frequência. Posteriormente, foram feitas três análises de *cluster* distintas, regionalizando o estado em quatro diferentes tipos de grupos. A primeira análise de *cluster* foi por meio da observação do espectro global retirado da transformada *wavelet*. A segunda foi por meio da análise da variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8–16 da precipitação sobre o estado da Paraíba, e a última análise de clusterização levou em consideração a precipitação mensal em todo o estado. Tais resultados mostraram grande semelhança quando analisada a clusterização da precipitação no estado da Paraíba levando em consideração os dados obtidos do CRU e os dados de pluviômetros. Quando analisada a variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8–16 da precipitação, o resultado entre as duas clusterizações também foi semelhante, observando uma predominância de um grupo de cluster no sertão paraibano e no alto da Borborema, além de uma maior variação de grupos no leste do agreste paraibano e no litoral. Levando em consideração o espectro global, o resultado se mostrou semelhante quando comparado as duas fontes de dados, contudo, um pouco mais distante do que quando analisado os resultados obtidos por meio da variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8–16 da precipitação e da precipitação.

Palavras-chave: *Wavelet*, Precipitação, CRU, Paraíba, Cluster

ABSTRACT

Rainfall is one of the most significant hydrological variables in water resources management. Investigation of rainfall trends is therefore essential since excess rainfall can cause flooding and enormous property and crop damage, yet a deficiency of rainfall can cause drought and crop failure. This study uses monthly rainfall data from Climatic Research Unit – (CRU), with a $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ horizontal resolution. In this work, one hundred years of time series (1920 - 2019) in all points distributed over Paraíba State were used. Through the wavelet spectrum from wavelet transform analyses, it was possible to perform the signal decomposition, providing not only the frequency but also its location in time, thus identifying existing trends. The wavelet analyses showed an annual frequency pattern in all time-series. In the majority of the 43 points, it was also observed a quarterly and semester periodicity. In a few points, a low-frequency pattern was noticed. Lastly, three different clusters analyses were made splitting the state into four groups. The first cluster analysis used the global spectrum from wavelet transform. The second analysis utilized analysis of monthly spatiotemporal variability of rainfall bands 8-16 over the state, and the third analysis considered all monthly rainfalls in the study area. The clusterization result showed a huge similarity between the Climatic research Unit precipitation data set and the rainfall gauge data set. Also, when monthly spatiotemporal rainfall from 8-16 bands were compared the result from both datasets were alike, noting a predominance of a cluster group in the sertão of Paraíba and in the upper part of Borborema, in addition to a greater variation of groups in the east of the agreste of Paraíba and on the coast. Considering the global spectrum, the result was similar, however, a little more distant than when analyzing the other two parameters.

Keywords: Wavelet, Rainfall, CRU, Paraíba, Cluster

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Quatro tipos de wavelet distintas	24
Figura 2 - Wavelet-mãe de Morlet	24
Figura 3 - Mesorregiões da Paraíba.....	28
Figura 4 – Topografia do estado da Paraíba	29
Figura 5 - Distribuição dos 105 postos pluviométricos - AESA	30
Figura 6 - Distribuição dos 43 pontos - CRU.....	32
Figura 7 - Análise wavelet do ponto 184.....	35
Figura 8 - Análise wavelet do ponto 185.....	36
Figura 9 - Análise wavelet do ponto 191.....	37
Figura 10 - Análise wavelet do ponto 244.....	38
Figura 11 - Análise wavelet do ponto 267.....	39
Figura 12 - Análise wavelet do ponto 268.....	39
Figura 13 - Análise wavelet do ponto 184 (1998–2018).....	40
Figura 14 - Análise wavelet do ponto 185 (1998–2018).....	41
Figura 15 - Análise wavelet do ponto 191 (1998–2018).....	41
Figura 16 - Análise wavelet do ponto 244 (1998–2018).....	42
Figura 18 - Análise <i>wavelet</i> do ponto 268 (1998–2018).....	43
Figura 19 - Análise wavelet do ponto 4 com dados da AESA de (1998 – 2018)	44
Figura 20 - Análise wavelet do ponto 13 com dados da AESA (1998–2018.....	45
Figura 21 - Análise wavelet do ponto 28 com dados da AESA de (1998 – 2018).....	46
Figura 22 - Análise wavelet do ponto 30 com dados da AESA de (1998 – 2018).....	47
Figura 23 - Análise wavelet do ponto 46 com dados da AESA de (1998 – 2018).....	47
Figura 24 - Análise wavelet do ponto 25 com dados da AESA de (1998 – 2018).....	48
Figura 25 - Análise wavelet do ponto 12 com dados da AESA de (1998 – 2018).....	48
Figura 26 - Dendograma da clusterização por espectro de potência global com os dados do CRU (1920–2019)	50
Figura 27 - Valores das séries dos clusters por espectro de potência global com os dados do CRU (1920–2019)	50
Figura 28 - Espacialização dos pontos dos clusters por espectro de potência global com os dados do CRU (1920–2019)	51
Figura 29 - Dendrograma da clusterização por meio variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8-16 da precipitação com os dados do CRU (1920–2019)	52
Figura 30 - Valores das séries dos clusters por meio variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8-16 da precipitação com os dados do CRU (1920–2019)	53
Figura 31 - – Espacialização dos pontos dos clusters por meio variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8–16 da precipitação com os dados do CRU (1920–2019)	53
Figura 32 - Dendrograma da clusterização por meio da precipitação mensal com os dados do CRU (1920–2019)	54
Figura 33 - Valores das séries dos clusters por meio da precipitação mensal com os dados do CRU (1920–2019)	54
Figura 34 - Espacialização dos pontos dos clusters por meio da precipitação mensal com os dados do CRU (1920–2019).....	55
Figura 35 - Valores das séries dos clusters por meio do espectro global com os dados do CRU (1998–2018).....	56

Figura 36 - Valores das séries dos clusters por meio do espectro global com os dados do CRU (1998–2018).....	57
Figura 37 - Espacialização dos pontos dos clusters por meio do espectro global com os dados do CRU (1998–2018)	57
Figura 38 - Dendrograma da clusterização por meio da variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8-16 da precipitação sobre o estado da Paraíba com os dados do CRU (1998–2018).....	58
Figura 39 - Valores das séries dos clusters por meio da variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8–16 da precipitação sobre o estado da Paraíba com os dados do CRU (1998–2018)	59
Figura 40 - Espacialização dos pontos dos clusters por meio da variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8–16 da precipitação sobre o estado da Paraíba com os dados do CRU (1998–2018).....	59
Figura 41 - – Dendrograma da clusterização por meio da precipitação mensal do estado da Paraíba com os dados do CRU (1998–2018).....	56
Figura 42 - Valores das séries dos clusters por meio da precipitação mensal do estado da Paraíba com os dados do CRU (1998–2018).....	56
Figura 43 - Espacialização dos pontos dos clusters por meio da precipitação mensal do estado da Paraíba com os dados do CRU (1998–2018).....	57
Figura 44 - Dendrograma da clusterização por meio espectro global com os dados da AESA (1998–2018).....	58
Figura 45 - Valores das séries dos clusters por meio espectro global com os dados da AESA (1998–2018).....	58
Figura 46 - Espacialização dos pontos dos clusters por meio espectro global com os dados da AESA (1998–2018)	59
Figura 47 - Dendrograma da clusterização por meio da utilização da variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8-16 da precipitação sobre o estado da Paraíba com os dados da AESA (1998–2018)	65
Figura 48 - Valores das séries dos clusters por meio da utilização da variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8-16 da precipitação sobre o estado da Paraíba com os dados da AESA (1998–2018)	65
Figura 49 - Espacialização dos pontos dos clusters por meio da utilização da variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8–16 da precipitação sobre o estado da Paraíba com os dados da AESA (1998–2018)	66
Figura 50 - Dendrograma da clusterização por meio da utilização da precipitação sobre o estado da Paraíba com os dados da AESA (1998–2018).....	67
Figura 51 - Análise wavelet do ponto 4 com dados da AESA de (1998 – 2018).....	67
Figura 52 - Espacialização dos pontos dos clusters por meio da utilização da precipitação sobre o estado da Paraíba com os dados da AESA (1998–2018).....	68
Figura 53 - Quadro Comparativo das clusterizações realizadas com os dados da AESA (1998-2018) × CRU (1998–2018).....	69
Figura 54 – Quadro Comparativo das clusterizações realizadas com os dados do CRU (1920 – 2019) × CRU (1998–2018)	70

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	OBJETIVOS	18
1.1.1	Objetivo geral.....	18
1.1.2	Objetivo específicos.....	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	PRECIPITAÇÃO.....	19
2.2	DADOS DE PRECIPITAÇÃO PROVENIENTES DO <i>CLIMATIC RESEARCH UNIT</i> – (CRU) × DADOS DE POSTOS PLUVIOMÉTRICOS	20
2.2.1	Dados de postos pluviométricos.....	20
2.2.2	Dados de precipitação proveniente do <i>Climatic Research Unit</i> – (CRU)	21
2.3	WAVELET	22
2.3.1	A transformada <i>wavelet</i>	22
2.4	ANÁLISE DE CLUSTER	25
3	MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1	ÁREA DE ESTUDO	28
3.2	DADOS DE PRECIPITAÇÃO.....	30
3.2.1	Dados de precipitação de postos pluviométricos.....	30
3.2.2	Dados de precipitação - CRU.....	31
3.3	TRANSFORMADA WAVELET	32
3.3.1	Processo de cálculo.....	32
3.4	ANÁLISE DE <i>CLUSTER</i>	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
4.1	DADOS PROVENIENTES DO CRU (1920–2019)	35
4.2	DADOS PROVENIENTES DO CRU DE 21 ANOS (1998–2018)	40
4.3	DADOS PROVENIENTES DA AESA (1998–2018)	43
4.4	ANÁLISE DE CLUSTER	49
4.4.1	Análise com os dados do CRU no período (1920–2019)	49
4.4.2	Análise com os dados do CRU no período (1998–2018)	55
4.4.3	Análise com os dados de postos pluviométricos (AESA) no período de (1998–2018)	62
4.4.4	Comparação entre as análises com os dados da AESA (1998-2018) × análises com os dados do CRU (1998–2018)	68
	<i>Dados do CRU (1998–2018)</i>	69
	<i>Dados do CRU (1998–2018)</i>	70
	<i>Dados do CRU (1920–2019)</i>	70
5	CONCLUSÃO	72
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
	APÊNDICES	77
	DADOS PROVENIENTES DO CRU DE (1920 – 2019) – TODOS OS PONTOS.....	77
	DADOS PROVENIENTES DO CRU DE (1998 – 2018) – TODOS OS PONTOS.....	98
	DADOS PROVENIENTES DA AESA DE (1998 – 2018) – TODOS OS PONTOS	120

1 INTRODUÇÃO

A precipitação é uma das variáveis hidrológicas de maior relevância na gestão de recursos hídricos. A necessidade de seu estudo é explicada pela sua importância nos setores da sociedade. Seu excesso pode gerar danos e inundações, já sua escassez pode causar secas e prejuízos.

Entender a precipitação e seus padrões é de fundamental importância na compreensão das mudanças climáticas, e é vital para uma melhor gestão dos recursos hídricos. Os padrões e características da chuva atuam como alguns dos indicadores da variabilidade do clima na região (SOARES et al., 2016; PASSOS, 2015).

Mudanças nestes padrões são causadas por alterações climáticas. Dessa forma, o estudo e a investigação da precipitação têm impacto imensurável no gerenciamento dos recursos hídricos, visto que a precipitação é um dos principais componentes do ciclo hidrológico (BIRSAN et al., 2005; EVANS; BENNETT; EWENZ, 2009; MANATSA; CHINGOMBE; MATARIRA, 2008, RASHID et al., 2015).

A precipitação é um dos elementos meteorológicos de maior variabilidade espacial, podendo apresentar grandes diferenças em uma mesma região, além de apresentar também variabilidade temporal quanto às distribuições mensais ou anuais (ALMEIDA, 2001, SILVA et al., 2005.).

As regiões semiáridas, por exemplo, apresentam chuvas irregulares, variando espacialmente de um ano para outro, variando consideravelmente até mesmo dentro de alguns quilômetros de distância e em escalas de tempo diferentes, tornando as colheitas das culturas imprevisíveis (ALMEIDA, 2001; ALMEIDA, 2005).

Tendo em vista a variabilidade espacial e temporal da precipitação, no intuito de complementar o entendimento de se obter uma melhor interpretação das características em determinadas regiões, pesquisadores vêm dando um enfoque no processamento de sinais e em suas aplicações na avaliação das séries temporais hidrológicas, como forma de determinar as mudanças de comportamento e estimar danos causados pelas mudanças climáticas nas regiões de estudo (SANTOS et al, 2013; UNAL et al., 2012; TORRENCE E COMPO, 1998; WANG e WANG, 1996; FOUFOULA-GEORGIOU e KUMAR, 1995; JIANG et al. 1997; SANTOS et al. 2019).

Além disso, outro ponto de suma importância na melhor interpretação da precipitação sobre uma determinada região são as fontes de dados. Tradicionalmente, essas informações de precipitação são obtidas com base na coleta de dados de postos pluviométricos, podendo ter seu registro realizado por meio de instrumentos como pluviômetros ou pluviógrafos.

Contudo, essa captação de registros para um país continental de amplo território nacional exige densas redes pluviométricas que representam custo operacional, e raramente possui sua distribuição espacial de pluviômetros abrangendo todo o território sem vazios, a distribuição costuma ser concentrada apenas em países mais desenvolvidos. Em países subdesenvolvidos ou em áreas remotas, tal distribuição apresenta-se irregular, escassa ou inexistente. Isso aliado às falhas de operador nas anotações e outros possíveis erros mecânicos de medição de chuva podem acarretar amostras não condizentes com a realidade, com baixa densidade e confiabilidade (PEREIRA ET AL., 2013; CURTARELLI ET AL., 2014; RAO ET AL., 2015, GOOVAERTS, 2000, SOARES, 2016).

Diante disto, métodos alternativos para a obtenção de dados são cada vez mais utilizados e as estimativas de precipitação provenientes do *Climate Research Unit* - CRU vem se sobressaindo dentre as demais. Por meio desses dados, se faz possível avaliar a precipitação de modo sistemático sobre grandes domínios espaciais, e essas estimativas podem ser então utilizadas como fonte de dados para o desenvolvimento de vários estudos na área dos recursos hídricos (HARRIS et al., 2020).

Com a finalidade de enriquecer o entendimento a respeito da variabilidade espacial e temporal, vem-se dando um maior prestígio e enfoque na avaliação de sinais e na análise da periodicidade da precipitação. Por meio da análise de periodicidade resultante do estudo do processamento de sinais dos dados hidrológicos, surge a possibilidade de se identificar as mudanças do comportamento das séries para uma melhor interpretação sobre os dados, gerando a possibilidade de mitigar impactos danosos que as mudanças possam vir a causar à sociedade (BARRETO et al. 2014, SALVIANO et al., 2016).

Uma das grandes ferramentas que vem sendo utilizada no processo de análise dos sinais das séries temporais hidrológicas é a transformada *wavelet*, cujo uso está vinculado às mais diversas áreas como astronomia, acústica, neurofisiologia, música, ressonância magnética, reconhecimento de voz, óptica, telecomunicações, processamento de imagem, entre outras (SANTOS; FREIRE; TORRENCE, 2013).

Um dos grandes benefícios da análise por meio da transformada *wavelet* é com respeito às análises espectrais clássicas, já que na transformada *wavelet* há possibilidade de se analisar a periodicidade dos eventos em diferentes escalas de variabilidade temporal, além de não se necessitar de uma série estacionária. Dessa forma, é possível utilizar esta ferramenta na análise de eventos regularmente distribuídos e em séries temporais com potências não estacionárias e com diferentes frequências (SANTOS; FREIRE; TORRENCE, 2013).

Ainda levando em consideração tamanha variabilidade da chuva, para melhorar a interpretação dos padrões, estudiosos têm feito a elaboração de regionalizações por agrupamento, onde é possível a identificação de tendências e padrões homogêneos de determinadas variáveis e de seus efeitos climáticos sobre determinadas regiões (SANTOS et al., 2019; SILVA, 2013).

Dessa forma, é possível se fazer uma análise de agrupamento por meio de *cluster* hierárquico. O *cluster* é um método exploratório, cuja finalidade é repartir grupos de populações ou amostra por meio de similaridades e diferenças das características intrínsecas aos relativos grupos. É um tipo de análise multivariada que permite extrair informações a respeito da independência entre as variáveis que caracterizam cada elemento (CORRAR; PAULO e DIAS FILHO, 2007; ANDERSON, 1984).

Segundo Corrar, Paulo e Dias Filho (2007), se a análise de agrupamentos for usada apropriadamente ela pode acrescentar muitas informações que poderiam não ser descobertas por outros meios, atendendo dessa forma a necessidade fundamental de determinadas pesquisas.

Com isso, tendo em vista a influência da precipitação na gestão dos recursos hídricos e nas tomadas de decisão de ordem administrativa governamental, o trabalho contemplará uma análise que contribuirá para o melhor entendimento do comportamento da precipitação pluviométrica no estado da Paraíba. Para isso, serão utilizadas ferramentas como a transformada *wavelet*, que abordará uma análise envolvendo o estudo de processamento de sinais; e a clusterização, que servirá como método de divisão entre os pontos com maior similaridade.

Além de buscar um maior entendimento do comportamento das chuvas, o trabalho também busca analisar a fidedignidade dos dados obtidos por meio de reanálise, provenientes de centros de pesquisas bem-conceituados e amplamente utilizados, como é o caso do *Climatic Research Unit*. Assim, por meio das comparações dos produtos advindos

das análises feitas com as ferramentas supracitadas, é possível comparar os resultados e atestar a satisfação dos resultados obtidos por meio de reanálise.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o comportamento espaço-temporal da precipitação sobre o estado da Paraíba utilizando dados de postos pluviométricos e estimativas de precipitações obtidas por meio do *Climatic Research Unit* – (CRU).

1.1.2 Objetivo específicos

- a) Mostrar o funcionamento e resultados da transformada *wavelet* a partir da sua aplicação em dados de precipitação;
- b) Regionalizar o estado da Paraíba em diferentes zonas estatisticamente homogêneas quanto ao comportamento das chuvas;
- c) Comparar os resultados provenientes da análise feita com os dados do CRU e com os resultados provenientes dos dados observados de campo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PRECIPITAÇÃO

A precipitação, segundo Tucci (2001), é toda água advinda do meio atmosférico que chega à superfície terrestre. Esta, poderá variar de forma apresentando-se como granizo, chuva ou neve. A chuva é o fenômeno mais comum em regiões tropicais e será ela o principal objeto de estudo deste trabalho.

É indiscutível que a escassez de água é um fenômeno de grande impacto na sociedade, e que esta ameaça se apresenta em diversas regiões do mundo. Da mesma forma, as enchentes urbanas têm como seu principal agente causador a precipitação, e a repercussão gerada por tais impactos na sociedade é intitulada de desastres ou catástrofes, isso porque não é raro que nestes eventos ocorra devastações e perdas de vidas humanas. Por isso, de acordo com Brandão (2005), os fenômenos atmosféricos apresentam-se como uma das maiores inquietações dos cientistas que buscam compreender suas causas e encontrar formas de prevenção aos desastres, sejam eles causados pelo excesso ou pela falta de chuva.

Desde os primórdios das civilizações mais antigas, o homem já se preocupava com as análises climáticas. Isso é explicado pelo fato da inerente influência dos fenômenos atmosféricos com a forma de viver da sociedade. Com isso, há uma busca pelo melhor controle e entendimento dos recursos hídricos, já que estes apresentam forte ligação com a melhor administração governamental e, conseqüentemente, melhor desenvolvimento socioeconômico, mostrando-se como pilar fundamental para a sociedade contemporânea.

Sendo a precipitação a principal fonte de entrada do ciclo hidrológico e tendo destaque por sua grande importância das produções agrícolas, seu entendimento e a sua caracterização em termos de variabilidade espaço temporal é imprescindível para uma melhor administração climática e social (SCHNEIDER et al., 2016; MUHAMMAD et al., 2018, TEODORO et al., 2016).

Segundo Farhangi (2016), nas regiões áridas e semiáridas, a escassez de água é um dos maiores problemas enfrentados pela humanidade e pela natureza. Para o autor, o principal problema nessas regiões não é a falta de chuva, mas a sua grande variação com o tempo, o espaço, a intensidade, e duração.

2.2 DADOS DE PRECIPITAÇÃO PROVENIENTES DO *CLIMATIC RESEARCH UNIT* – (CRU) × DADOS DE POSTOS PLUVIOMÉTRICOS

2.2.1 Dados de postos pluviométricos

Tradicionalmente os dados de precipitação são obtidos por meio de coleta de dados de postos pluviométricos, podendo ter seu registro realizado por meio de instrumentos como pluviômetros ou pluviógrafos. Segundo Cao (2018), essas são as informações diretas mais importantes na obtenção de dados de precipitação. Contudo, esta forma de obtenção de dados por meio de monitoramento de chuvas a partir de dados de postos pluviométricos é limitada.

As limitações das medições provenientes de postos pluviométricos ocorrem devido às suas características pontuais, tornando o estudo e o entendimento da chuva em zonas mais desertas ou topograficamente complexas complicado. Ademais, os erros advindos de um processo mecanizado com anotações de dados de chuva por meio de técnicos acabam gerando falhas e erros nos dados.

Não é difícil de se encontrar postos pluviométricos com defeitos, isso ocorre devido aos altos custos de operações e manutenções das estações de medição. Tais erros somados com a característica pontual e muitas vezes não ininterrupta das medições ratificam o aspecto limitado deste processo de medição (PEREIRA et al., 2013; CURTARELLI et al., 2014; RAO et al., 2015, BRASIL NETO, R. M, 2020; GOOVAERTS, 2000, SOARES, 2016; TERINK et al., 2018).

A rede de postos a nível global e de Brasil é espacialmente irregular, mostrando-se insuficiente e prejudicando, às vezes, o estudo espaço temporal da chuva. A grande diversidade entre os regimes climáticos do país é demonstrada por cerca das mais de 25 diferentes regiões pluviométricas espalhadas pelo seu território, enfatizando a necessidade de dados de alta confiança. O Brasil é um país de vasta dimensão e apresenta uma densidade pluviométrica inferior a recomendação do *World Meteorological Organization* (WMO, 1994). Além disso, sua distribuição é irregular e conta com a presença de falhas em seus dados. As regiões nordeste e central do Brasil são as que apresentam mais erros (BRASIL NETO, R. M, 2020).

2.2.2 Dados de precipitação proveniente do *Climatic Research Unit* – (CRU)

Séries temporais com falhas e mal distribuídas são um dos principais fatores da necessidade de uma remodelagem ou reconstrução dos dados de precipitação. A maior democratização e disponibilização de dados meteorológicos advindos de grandes centros mundiais de pesquisa (CRU, CLIMAT e NASA), por meio da internet, corroboram para uma melhor confiabilidade nas análises e nos estudos em climatologia (DEE et al., 2016).

São frequentes os relatos de problemas das estações meteorológicas que podem apresentar erros relacionados à leitura, instalações em locais inadequados, além de diversos outros problemas técnicos. A irregularidade espacial e temporal dos dados acaba dificultando a definição de uma caracterização climática nos estudos climatológicos (DEE et al., 2021).

Dessa forma, grandes centros de pesquisa meteorológicos realizam reanálises de dados e fazem um maior estudo estatístico por meio de modelagens numéricas. Os dados podem ser obtidos por estações meteorológicas convencionais, automáticas, boias em oceanos ou por sensoriamento remoto. Aplicações de técnicas estatísticas e interpolações para grades do modelo são executadas a fim de se obter estimativas de precipitação (DEE et al., 2016).

Os modelos numéricos operacionais variam de acordo com o centro de pesquisa, e são executados para períodos passados relativamente grandes. Um conjunto de dados de reanálise é gerado por uma combinação entre dados observados e esquemas de assimilação dos modelos numéricos de previsão de tempo. Por meio das análises estatísticas e devidas comparações, cria-se uma matriz de dados regularmente espaçados que representam uma estimativa do estado atmosférico para cada ponto de grade (DEE et al., 2021).

As estimativas do *Climatic Research Unit gridded Time Series* (CRU TS) tem fornecido rede de dados mensais de alta resolução por basicamente todo globo com exceção da Antártica. Sua versão mais recente, a CRU TS 4.04, disponibiliza dados de precipitação e de temperatura do ar com resolução de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ de 1901 até 2020 (HARRIS et al., 2020).

Desde sua primeira publicação nos anos 2000, o CRU TS vem sendo bastante utilizado por diversos pesquisadores na área de recursos hídricos. Cada atualização das versões gera melhorias nas eficiências das interpolações e precisões. Mensalmente, através de observações e estudos das variáveis de média, mínima e máxima da temperatura e precipitação, e de dias úmidos e percentual de cobertura por nuvem, as fontes de dados são atualizadas através de

grandes instituições: CLIMAT, WMO (*World Meteorological Organisation*), entre outras (HARRIS et al., 2020).

A utilização de dados globais interpolados em grade espacialmente regular, como é o caso dos dados provenientes do CRU, apresentam vantagens por ter uma possibilidade de espacialização de forma simples. Com isso, as análises de padrões espaciais característicos, ausência de falhas nas séries temporais, a ininterrupção, a longevidade, a consistência temporal e espacial dos dados e a resolução temporal não seriam mais empecilhos nos estudos meteorológicos. Além disso, há uma maior facilidade de comparação com resultados de outras fontes, permitindo assim, maiores discussões a respeito da confiabilidade entre diferentes fontes.

2.3 WAVELET

2.3.1 A transformada *wavelet*

A transformada wavelet apresenta-se como uma ferramenta de destaque na análise de sinais. Muitas das ideias advindas dessa ferramenta já existiam há muito tempo; entretanto, a análise por meio da transformada de wavelet, em si, teve início por volta de 1980, quando foi descoberta e utilizada no estudo de sinais sísmicos. Na engenharia, a maior busca pela utilização da transformada se deu no início dos anos 90.

A transformada wavelet caracteriza-se como uma ferramenta poderosa para análise de sinais. Seu principal diferencial está relacionado com sua habilidade de avaliar simultaneamente o sinal no domínio do tempo e frequência, mostrando-se superior a outras formas de análises, como a transformada de Fourier, que, ao expressar um sinal como soma de senos e cossenos, é capaz de apresentar apenas resolução de frequência sem resolução de tempo, o que possibilita identificar as frequências presentes em um sinal, mas não o momento em que elas ocorrem (SANTOS; FREIRE; TORRENCE, 2013; ADDISON, 2017).

A transformada wavelet utiliza uma função de uma pequena onda como um “modificador”, essas pequenas ondas são utilizadas na transformação do sinal inicial. O sinal previamente investigado é então transformado e representado de outra forma.

Matematicamente, tem-se que a transformada wavelet é a convolução do sinal junto a uma função wavelet, que o torna mais susceptível a interpretações, facilitando sua análise. A

transformação do sinal por meio de uma função de uma pequena onda é conhecida como a transformada wavelet (ADDISON, 2017).

A função que representa a onda pequena, wavelet do inglês ou ondelette do francês, poderá ser esticada, encolhida, além de poder se mover em várias localizações dos sinais. Se a wavelet consegue representar bem a forma do sinal tanto em sua escala como em sua localização, obtém-se um alto valor de transformação. Contudo, se o sinal não estiver bem descrito esse valor é baixo.

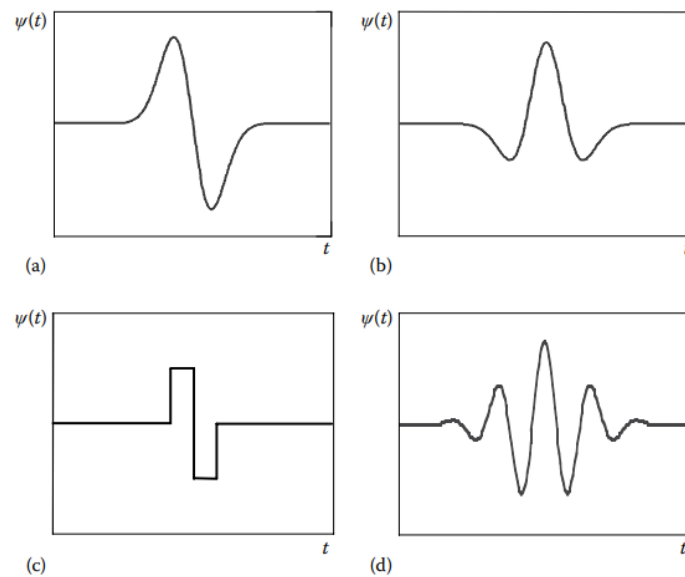
A análise wavelet utiliza janelas moduladas escaladas e ao se deslocar ao longo do sinal realiza as convoluções para cada posição. Esta ação repetida continuamente resulta em um conjunto de representações de tempo-frequência do sinal com resoluções distintas. Se, por meio da convolução entre a wavelet e o sinal em uma determinada configuração da wavelet escolhida há uma boa correspondência, logo, um alto valor da transformada é obtido.

Dessa forma, a transformação é computada para várias localizações do sinal e para várias escalas da função wavelet. Quando isso é feito de maneira contínua, tem-se a formação da wavelet contínua, e quando é feito de maneira discreta, há a formação da wavelet discreta (VALENS, 1999; SANTOS 2013).

Consoante Santos (2013), o objetivo da análise wavelet é a construção de uma imagem bidimensional simultaneamente no domínio tempo-frequência por meio de uma decomposição ou transformação da série temporal inicial. Assim, é possível obter informações sobre a amplitude de qualquer sinal periódico dentro da série e como esta amplitude varia com o tempo.

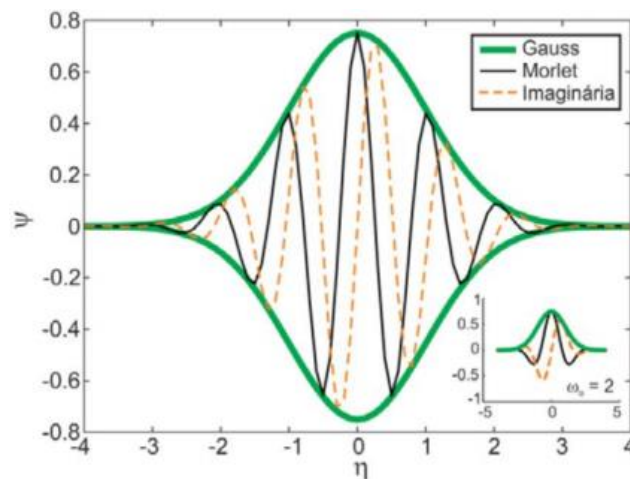
A transformada wavelet é um método de conversão do sinal ou de uma função em uma outra forma distinta que possibilitará: a identificação de determinadas características de difícil análise no sinal original ou que permitirá uma simplificação do sinal de entrada. Para realizar a transformada é preciso de uma função que segue alguns parâmetros matemáticos, denominamos esta função matemática de wavelet. Essa função especial passará por um processo de translação e de dilatação, para que assim, consiga modificar o sinal em uma outra forma que será transformada em uma localização de forma e tempo.

Existem muitos tipos de funções wavelet (Fig.1), por isso, é de fundamental importância a escolha de qual utilizar para que se obtenha um resultado satisfatório. A melhor escolha dependerá do destino da aplicação, da natureza do sinal e de qual análise será feita.

Figura 1 – Quatro tipos de *wavelet* distintas

a) Gaussiana; b) Chapéu mexicano; c) Haar; d) Morlet

Fonte: ADDISON, 2017.

Figura 2 - Wavelet-mãe de Morlet

Fonte: SANTOS; FREIRE; TORRENCE, 2013

Para que seja possível caracterizar a função como wavelet ela deverá: 1) apresentar energia finita; 2) ter média zero, seguindo a condição de admissibilidade, e 3) sua transformada de Fourier deverá ser real e deve desaparecer para frequências negativas. O princípio da admissibilidade transforma a função em um filtro passa faixa, isso significa que a wavelet só irá deixar passar os componentes dos sinais que são compostos por um

determinado intervalo de frequência e em proporções características do espectro da própria wavelet.

Por meio de uma série temporal composta por várias frequências distintas, a transformada *wavelet* permite uma melhor compreensão dos dados, elimina ruídos, detecta semelhanças entre pontos, além de apresentar também uma análise dos sinais brutos. Sendo assim, para estudos com séries temporais de precipitação, consegue decompor os sinais das chuvas nos domínios de frequência e tempo simultaneamente, permitindo a realização de previsões em uma análise mais clara dos acontecimentos.

2.4 ANÁLISE DE CLUSTER

A divisão entre zonas com características homogêneas é tida pelos pesquisadores climáticos como uma das tarefas mais difíceis. A definição de critérios e a forma para tomada de decisão relacionada com o monitoramento dos fenômenos naturais não é uma tarefa fácil, tendo em vista que muitas vezes tais divisões acabam sendo influenciadas por delimitações políticas divergindo das caracterizações proveniente dos regimes naturais (GOYAL E GUPTA, 2014; BRASIL NETO, R. M, 2020).

Um dos artifícios mais utilizados na literatura como classificação de variáveis que representam um comportamento da natureza com caráter multidisciplinar, levando em consideração sua relevância, sua versatilidade, seus padrões, suas similaridades e as dissimilaridades é análise de *clusters* (BRASIL NETO, R. M, 2020).

Análise por agrupamento (*cluster*) é um método estatístico de análise multivariada que permite extrair informações a respeito da independência entre as variáveis que caracterizam cada elemento (ANDERSON 1984, CORRAR; PAULO e DIAS FILHO 2007, SILVA, 2013). Segundo Wang (2015), a análise de *cluster* é uma técnica estatística que vai diferenciar as variáveis organizando-as em grupos homogêneos, onde as dissimilaridades entre os componentes de um mesmo grupo é minimizada e as diferenças entre os diferentes grupos são maximizadas. Os grupos são formados pelos diferentes objetos analisados que se relacionam entre si por meio de uma determinada condição de similaridade ou dissimilaridade.

A análise de cluster agrupa elementos, indivíduos, produtos, comportamentos ou outra variável de uma determinada amostra com base em suas semelhanças ou diferenças a determinadas características. Por meio da análise por agrupamento é possível acrescentar muitas informações que poderiam não serem descobertas por outros meios (ANDERSON 1984; CORRAR; PAULO e DIAS FILHO 2007; SILVA, 2013).

Se faz necessário, em uma análise de agrupamento, haver uma seleção dos elementos ou da amostra que será agrupada; posteriormente, um conjunto das variáveis deverá ser definido a partir das informações necessárias para o agrupamento; em seguida, se faz necessário definir a forma de medição da semelhança ou da distância entre os elementos e escolher um algoritmo estatístico de classificação; por último, é necessário validar os resultados encontrados (CORRAR et al., 2007 apud SILVA, 2013).

A etapa mais importante na clusterização é a escolha da medida de similaridade ou dissimilaridade na qual o processo de agrupamento se baseia. A similaridade corresponde à medida de correspondência ou semelhança entre os objetos a serem agrupados e é por meio da medida dessa característica que se formam os clusters (CORRAR et al., 2007 apud SILVA, 2013). Consoante com Mingoti (2005), é imprescindível que se especifique qual a medida de similaridade que será utilizada no agrupamento, pois existem várias medidas e cada uma delas produz um determinado tipo de agrupamento.

Segundo Santos (2019), o método hierárquico é caracterizado por uma sucessão de divisões dos elementos, onde estes são agregados ou desagregados. Os métodos hierárquicos são subdivididos em aglomerativos e divisivos. No método hierárquico, os grupos são normalmente representados por um diagrama chamado de dendrograma ou diagrama de árvore. No método aglomerativo, cada elemento começa representando um grupo e a cada passo do algoritmo um grupo é ligado a outro de acordo com sua similaridade ou dissimilaridade, o passo é repetido até que haja um único grupo com todos os elementos.

O método hierárquico divisivo trabalha por meio de decomposições múltiplas de um determinado grupo formando vários outros grupos, o método hierárquico aglomerativo trabalha com grupos de modo sucessivo até compor um único grupo que é formado por todos os componentes. Uma das vantagens de trabalhar com o cluster hierárquico é que ele agrupa as séries homogêneas com base em diferentes métodos e métricas de dissimilaridade, sendo assim interpretada como uma técnica flexível que pode ser adequada para diferentes tipos de problemas de regionalização

Enquanto os métodos de clusterização estão relacionados com a forma em que as distâncias entre os clusters são calculadas, a exemplo: ligação simples, ligação completa, método de centroide, métodos de Ward, distância média; a medida de similaridade se refere à medição estatística que relaciona os elementos que irão formar os grupos, a exemplo: distância euclidiana, *correlation*, *cityblocks*, e parâmetro de Spearman (SANTOS et al., 2019; ANDERBERG, 1973; CORRAR et al., 2007; UNAL et al., 2003).

Segundo Santos (2019), a escolha do método afetará nas distâncias entre os clusters,

enquanto a escolha da métrica de similaridade afetará na relação entre os dados amostrais estudados.

A métrica de similaridade está relacionada a uma forma de análise da similaridade dos objetos integrantes de um mesmo cluster. Dois elementos podem ser similares quando analisados por meio de um ponto de vista “X”, porém analisadas de um ponto de vista “Y” podem ser considerados não similares.

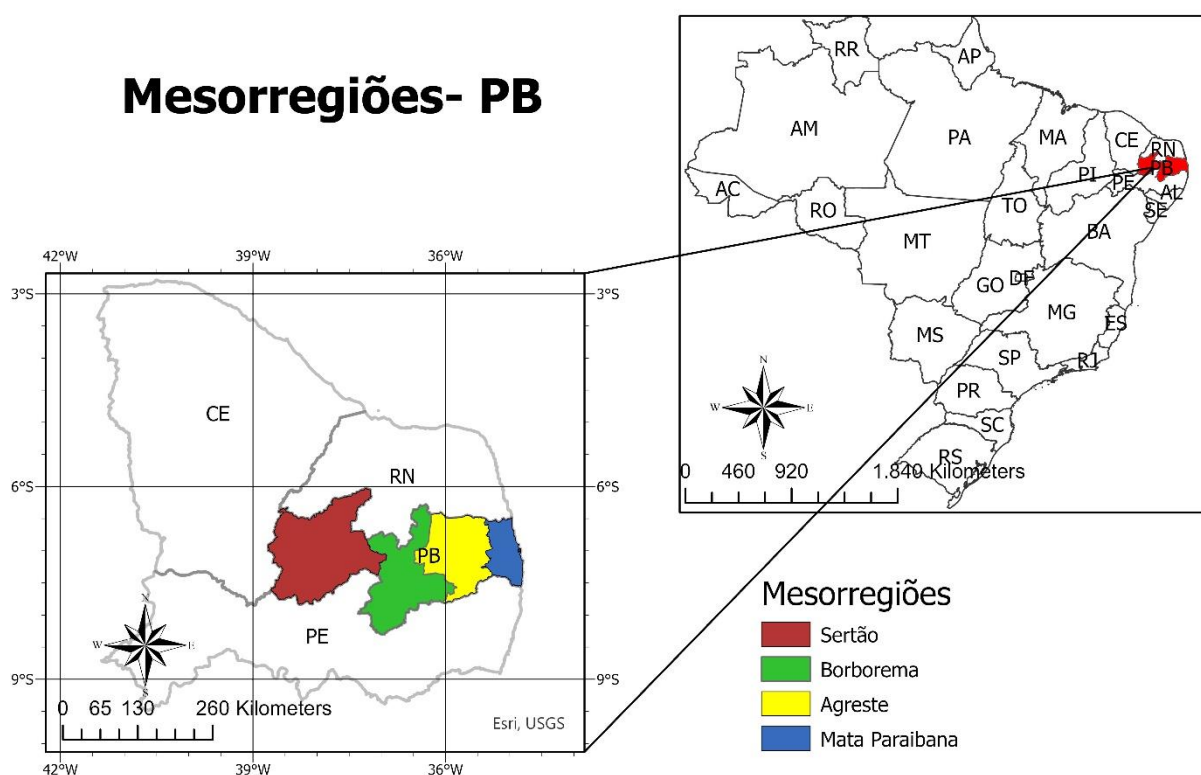
Uma forma completa de representar uma clusterização hierárquica é por meio do dendrograma, pois a partir dele é possível representar a métrica de similaridade por meio das distâncias no eixo vertical, além de se representar a clusterização dos elementos amostrais no eixo horizontal.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A Paraíba é um estado do nordeste brasileiro e está localizada entre as coordenadas 5.875°S, 8.625°S, 38,875°W e 34.625°W. A região encontra-se quase que inteiramente dentro do semiárido brasileiro. A Paraíba tem uma área de 56469,78 km² e possui um total de 223 municípios. As mesorregiões geográficas (Fig. 3) são divididas em agreste paraibano (12.914 km²), Borborema (15.572 km²), mata paraibana (5.242 km²), sertão (22.720 km²) (SANTOS et al., 2019; SOARES; PAZ; PICCILLI, 2016).

Figura 3- Mesorregiões da Paraíba

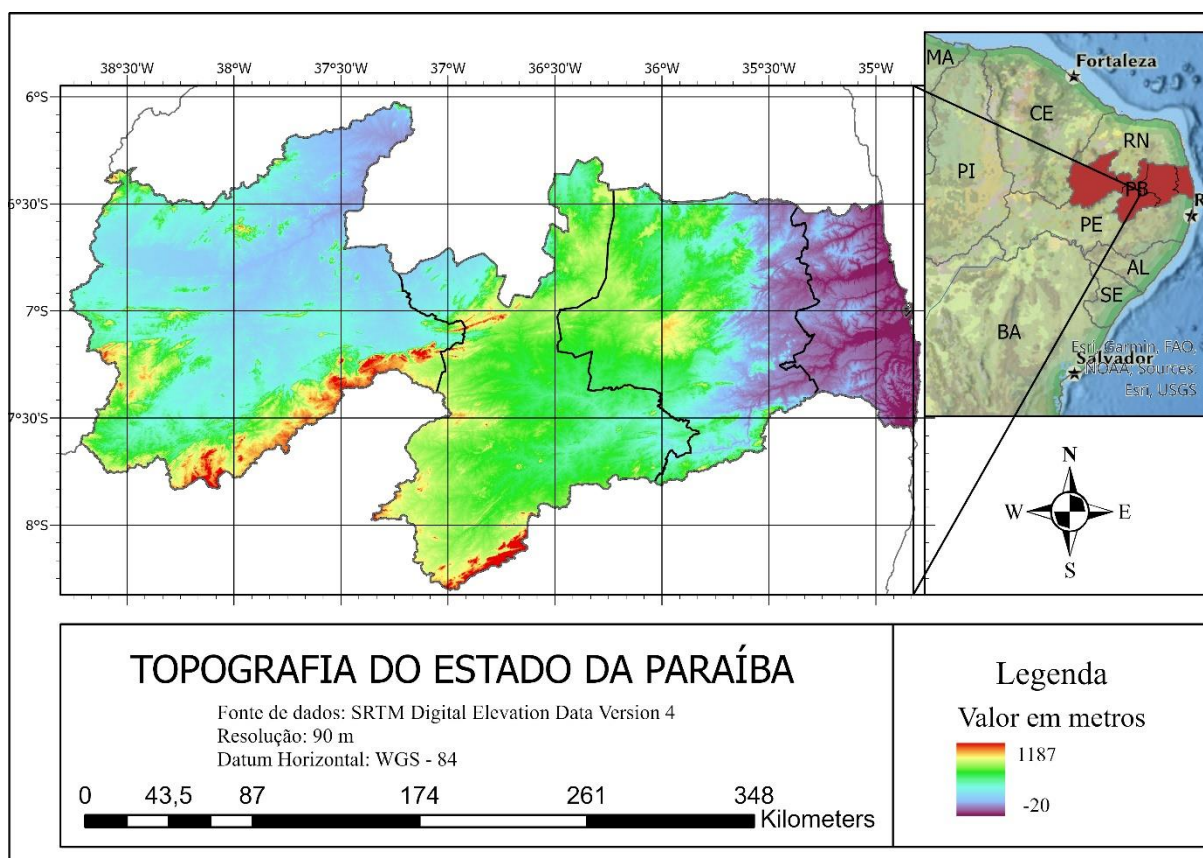


Fonte: Autor

O estado da Paraíba faz fronteira com o Ceará, com o Rio Grande do Norte e com Pernambuco (Fig. 3), apresenta uma população de cerca de quatro milhões de habitantes e 223 municípios.

As planícies litorâneas e florestas da mata atlântica caracterizam a região da mata paraibana, compreendida no litoral do estado e se estende do mar até aproximadamente 80 km para o oeste; é a menor mesorregião. Nela encontra-se a área mais populosa da Paraíba onde está localizada a capital do estado, João Pessoa. Nesta região, o clima é úmido litorâneo ou tropical atlântico e as temperaturas médias variam de 24 a 27 °C (SOARES; PAZ; PICCILLI, 2016; MOREIRA, 1988; BRASIL NETO, R. M, 2020).

Figura 4 – Topografia do estado da Paraíba



Fonte: Autor

A mesorregião agreste, com seu ecossistema de transição entre a mata atlântica e a caatinga, representa 21,5% da quantidade total dos municípios paraibanos. Sua vegetação é conhecida como mata do brejo e apresenta características da mata atlântica. O relevo é dividido em depressão sublitorânea e agreste serrano. Em função da altitude, nota-se uma queda de temperatura de 22 a 25 °C (BELARMINO, 2003; MOREIRA, 1988).

No centro do estado paraibano, encontra-se a Borborema. A região apresenta altitudes que variam entre 400 e 900 m (Fig 4), e tem a menor população do estado com os menores índices de chuvas (BELARMINO, 2003; MOREIRA, 1988).

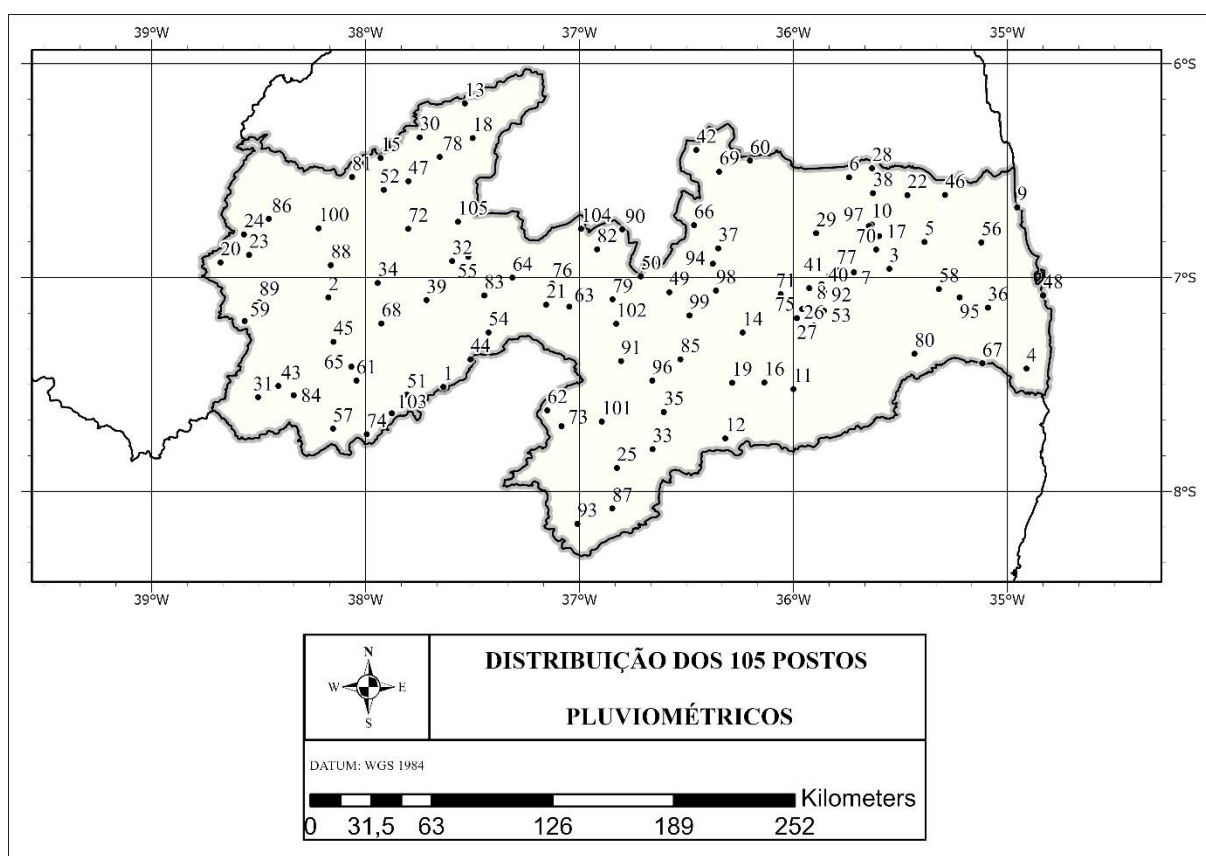
O clima quente e seco é repetido na região do sertão, a qual localiza-se na porção mais a oeste do estado, onde a precipitação anual apresenta-se distribuída regularmente com as temperaturas médias anuais superiores a 24°C. Nesta região, o relevo é formado majoritariamente por depressões sertanejas, onde o ponto mais alto da Paraíba encontra-se, o pico do Jabre com cerca de 1187 m de altura (Fig. 4) (BELARMINO, 2003; MOREIRA, 1988).

3.2 DADOS DE PRECIPITAÇÃO

3.2.1 Dados de precipitação de postos pluviométricos

A AESA foi criada pela Lei nº 7.779, de 07/07/2005, sob a forma jurídica de uma Autarquia, com autonomia administrativa e financeira, vinculada à Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia – SERHMACT.

Figura 5 - Distribuição dos 105 postos pluviométricos - AESA



Fonte: Autor

Os objetivos da AESA consistem no gerenciamento dos domínios subterrâneos e superficiais do estado da Paraíba, das águas originárias de bacias hidrográficas localizadas em outros estados, deslocadas por obras do governo federal ou por delegação de funções conforme lei que regulamenta as águas de domínio da União e que pertencem ao estado.

Com isso, conforme o art. 2º do Decreto N° 26.224, de 14/09/2005, a AESA deverá implantar e manter atualizados cadastro de usuários de recursos hídricos do estado, instruir a licença de obras hídricas e de outorgas de direito de uso dos recursos hídricos no domínio do estado, atividade de monitoramento e previsão do tempo e do clima, monitoramento de uso dos recursos hídricos e de variáveis hidrológicas dos mananciais, operar, manter e atualizar a rede hidrometeorológica do estado, elaborar relatório anual sobre a situação dos recursos hídricos do estado, entre outras atividades correlatas.

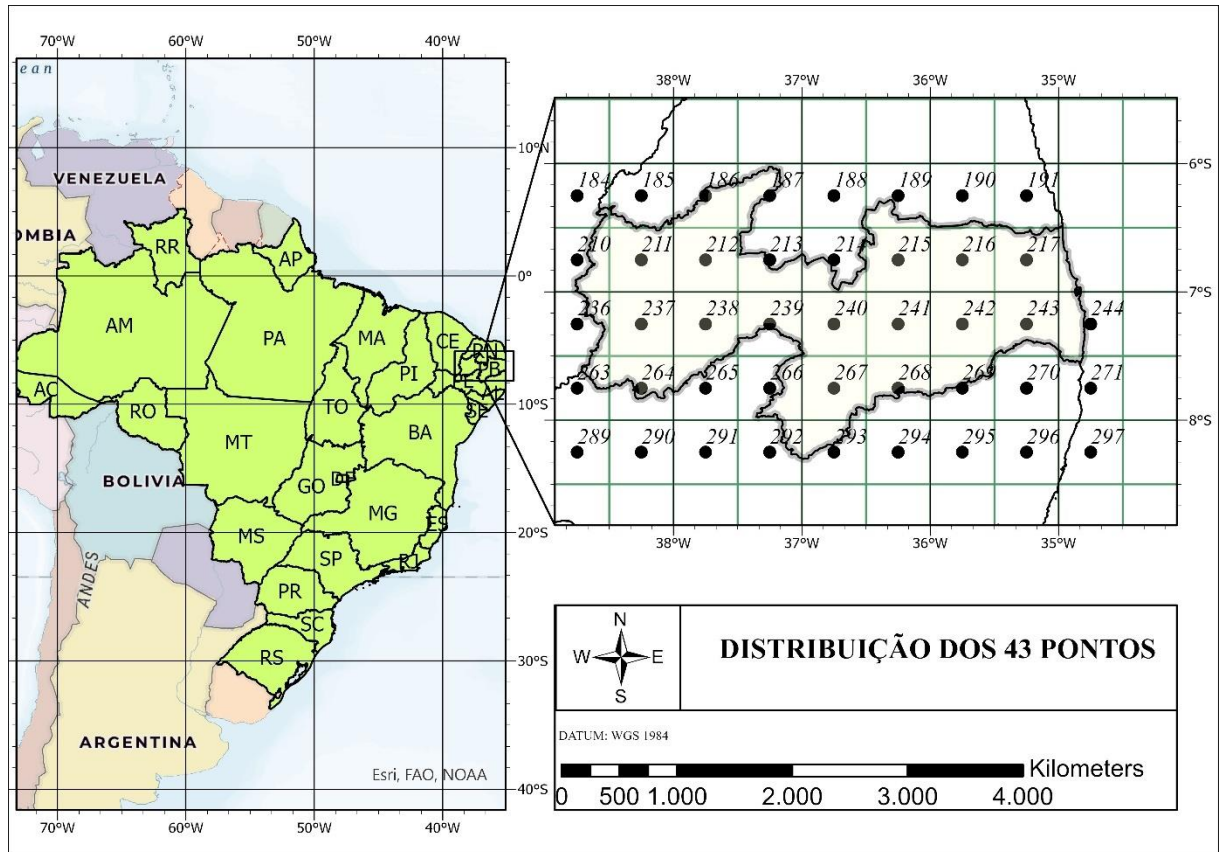
Dessa forma, por esse órgão ter grande responsabilidade na administração e monitoramento da previsão do tempo e do clima do estado da Paraíba, é encarregado da administração do monitoramento nas estimativas de previsão concebidas por meio do recolhimento dos dados provenientes de postos pluviométricos espalhados pelo estado. Logo, entrou-se em contato com a instituição, quando foi solicitado as estimativas de precipitação. Os 105 postos disponibilizados estão representados na figura 5 e representam um período de 21 anos de 1998 a 2018.

3.2.2 Dados de precipitação - CRU

Os dados, neste trabalho, são mensais e foram obtidos por meio do *Climatic Research Unit* – (CRU) da *University of East Anglia*. O CRU é amplamente reconhecido como uma das maiores instituições do mundo que trabalha no estudo da variação climática. Os dados são administrados por pesquisadores de projetos inseridos no CRU e muitos são disponibilizados online.

A resolução horizontal dos dados é de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$. Foram analisados 43 pixels igualmente distribuídos sobre todo o estado da Paraíba durante 100 anos (1920–2019). Foi construído um grid, onde foi possível local os pontos de medições CRU no centroide das quadrículas que medem de $0,5^\circ$ (Fig. 6).

Figura 6 - Distribuição dos 43 pontos - CRU



Fonte: Autor

3.3 TRANSFORMADA WAVELET

3.3.1 Processo de cálculo

As *wavelets* são formadas com base em uma única função principal, chamada de *wavelet*-mãe $\psi_{s,t}(t)$:

$$\psi_{s,t}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) \quad \text{Eq 1}$$

onde s é o fator de dilatação destinado para a mudança da escala, τ é o fator de translação usado para deslizar no tempo e o fator $\sqrt{s}$ é para a normalização de energia nas diferentes escalas.

Na equação 1 percebe-se que as funções da base *wavelet* não são predeterminadas,

deixando uma maior liberdade de escolha da *wavelet*. O parâmetro s , deverá ser sempre maior do que zero, representa a escala temporal da perturbação (uma escala menor corresponde a uma frequência superior) e o parâmetro τ corresponde aos diferentes instantes ao longo do tempo. Deste modo, na versão contínua, a transformada *wavelet* é definida como a integral da equação 1 com relação ao tempo.

A transformada de *wavelets* contínua pode ser descrita da seguinte forma:

$$\gamma(s, \tau) = \int f(t) \psi_{s,t}^*(t) dt \quad \text{Eq 2}$$

onde $*$ denota o conjugado complexo. A equação 1 indica como uma função $f(t)$ é decomposta em um conjunto de funções básicas $\psi_{s,t}(t)$ chamadas de *wavelets*. As variáveis s e τ são as novas dimensões, escala e translação, após a transformada *wavelet*.

A *wavelet*-mãe escolhida para análise neste trabalho foi a Morlet (Fig. 2), que pode ser definida como um produto de um envelope gaussiano ($\pi^{-0,25} e^{-0,5\eta^2}$) e uma onda exponencial complexa ($e^{iw_0\eta}$):

$$\psi_0(\eta) = \pi^{-0,25} e^{-0,5\eta^2} e^{iw_0\eta} \quad \text{Eq 3}$$

onde $\psi_0(\eta)$ é o valor da *wavelet* no tempo η adimensional, e w_0 é a frequência adimensional.

A transformada *wavelet* se resume em um produto interno entre a função *wavelet* e a série temporal original. Segundo Santos apud (TORRENCE; COMPO, 1998), o cálculo se resume em escolher uma *wavelet*-mãe, encontrar a transformada de Fourier e da *wavelet*-mãe, encontrar a transformada de Fourier da série temporal, escolher as escalas e repetir os seguintes procedimentos para cada uma delas: Calcular a *wavelet*-filha em cada escala por meio da equação 4, normalizar a *wavelet*-filha dividindo pela raiz quadrada da variância total da *wavelet*, multiplicar o resultado pela transformada de Fourier da série temporal e, por fim, inverter transformando de volta para o espaço real por meio da equação 5.

$$\Psi(sw_k) = \left(\frac{2\pi s}{\delta t}\right)^{0,5} \Psi''_0(sw_k) \quad \text{Eq 4}$$

onde o sinal (") indica a transformada de Fourier, o (s) indica o parâmetro de dilatação e seus vários valores de escala, cada valor da série temporal é separado no tempo para o intervalo de tempo constante representado por δt .

$$W_n(s) = \sum_{k=0}^{N-1} X''_k \Psi'' * (sw_k) e^{iw_k n \delta t} \quad \text{Eq 5}$$

onde ω_k é a frequência angular, igual a $2\pi k/N\delta t$ para $k \leq N/2$ ou igual a $-2\pi k/N\delta t$ para $k > N/2$. Posteriormente faz-se um mapa de contorno com os resultados.

3.4 ANÁLISE DE CLUSTER

Neste trabalho, o método de clusterização utilizado foi o de ligação média (*average linkage*), já o método de similaridade foi de correlação (*correlation*). Segundo Santos (2019), ambos geram resultados satisfatórios quando aplicados a variáveis de estudos climáticos. Foram realizados três tipos de clusterizações:

- 1) tendo como base amostral o espectro global retirado da transformada *wavelet* dos 43 pontos;
- 2) a variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8–16 da precipitação sobre o estado da Paraíba;
- 3) a precipitação mensal em todo o estado.

A distância de correlação é calculada por meio da seguinte equação:

$$d_{st} = 1 - \frac{(x_s - \bar{x}_s)(x_t - \bar{x}_t)}{\sqrt{(x_s - \bar{x}_s)(x_s - \bar{x}_s)}\sqrt{(x_t - \bar{x}_t)(x_t - \bar{x}_t)}} \quad \text{Eq. 6}$$

Onde:

$$\bar{x}_s = \frac{1}{n} \sum_j x_{sj}$$

$$\bar{x}_t = \frac{1}{n} \sum_j x_{tj}$$

A ligação média pode ser calculada por meio da seguinte equação:

$$d(r, s) = \frac{1}{n_r n_s} \sum_{i=1}^{n_r} \sum_{j=1}^{n_s} \text{dist}(x_{ri}, x_{sj}) \quad \text{Eq. 7}$$

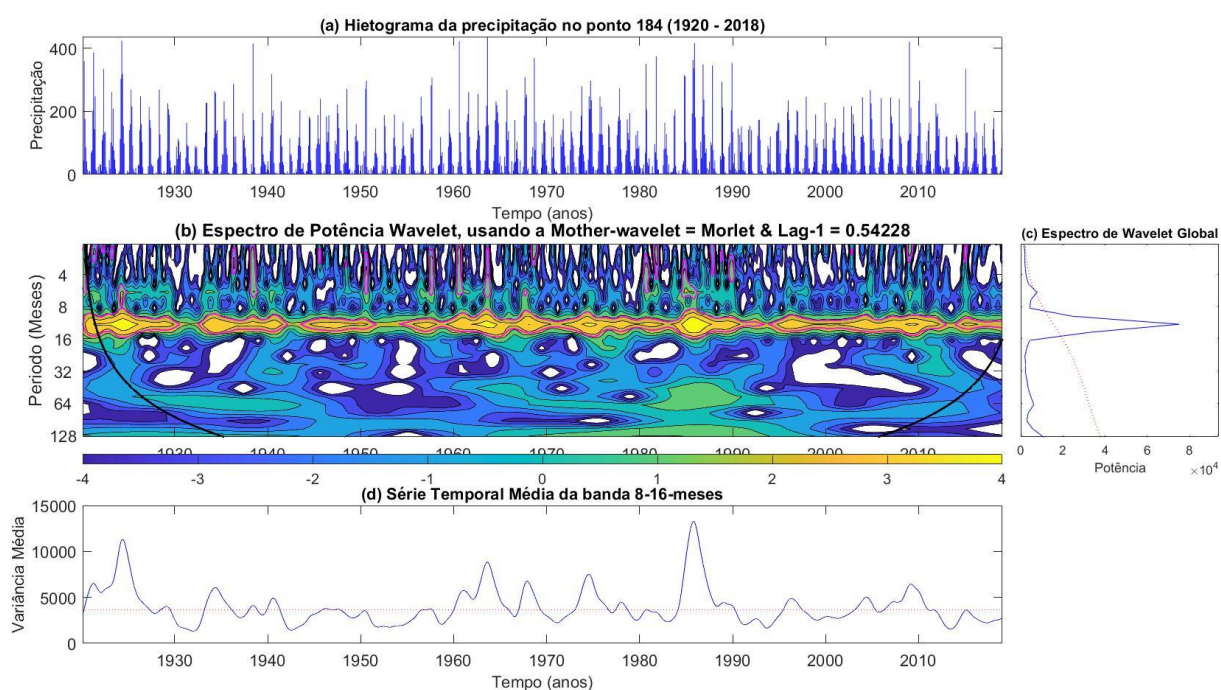
No *average linkage*, se utiliza a média das distâncias de todos os pontos de um *cluster* com relação ao outro, onde supondo-se que um cluster r seja formado pelos clusters p e q , n_r é o número de objetos no cluster r e x_{ri} é o i -ésimo objeto no *cluster* r .

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DADOS PROVENIENTES DO CRU (1920–2019)

A figura 7a mostra um gráfico em barras denominado hietograma, onde se apresenta a série temporal de precipitação mensal para o devido ponto em estudo (ponto 184) durante o período de 1920–2019. Por meio de tal representação, é possível comparar precipitação entre o decorrer dos anos e ainda obter uma estimativa da intensidade de chuvas na região estudada. Foram formulados gráficos similares à figura 7 para todos os pontos de estudos e provenientes do CRU, bem como da AESA e apresentados no apêndice do trabalho.

Figura 7 - Análise wavelet do ponto 184

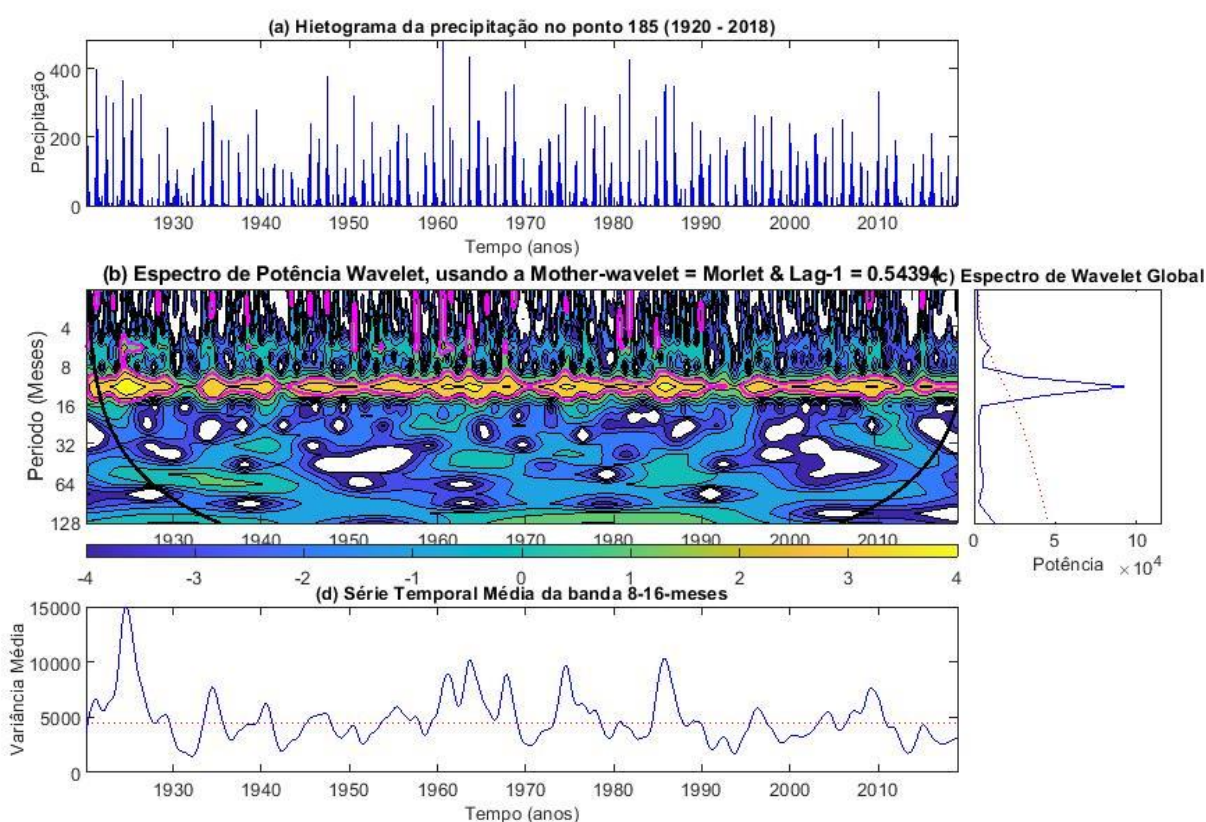


Fonte: Autor

Analisando o hietograma da figura 7a, percebe-se um padrão de chuva anual, onde há períodos de chuva de intensidade maior na metade de cada ano. Já no início e no final, os níveis de precipitação são bem mais baixos. Tal característica se repetiu durante os 100 anos analisados e para os outros pontos (Figuras 8, 9, 10, 11 e 12), porém, com grandes diferenças na quantidade de chuva. Na figura 12a, é possível observar os valores máximos de precipitação por volta dos 200 mm, enquanto na figura 10, os maiores valores ultrapassam 800 mm.

A figura 7b apresenta o espectro de potência *wavelet* para o ponto 184. A região externa à linha em negrito é denominada de cone de influência, cujo preenchimento com zero reduz a variância e torna a análise nestes pontos não significativa, tal preenchimento é feito visando minimizar o custo computacional gerado no cálculo da transformada de Fourier, já que o aumento é feito até que o comprimento da série chegue a próxima potência de 2. O contorno por meio da linha de cor magenta é o nível de 5% de significância usando o ruído branco ($\alpha = 0,0$) como espectro de fundo. A intensidade da potência varia de forma decrescente da seguinte maneira: amarelo, laranja, verde, azul e branco.

Figura 8 - Análise wavelet do ponto 185



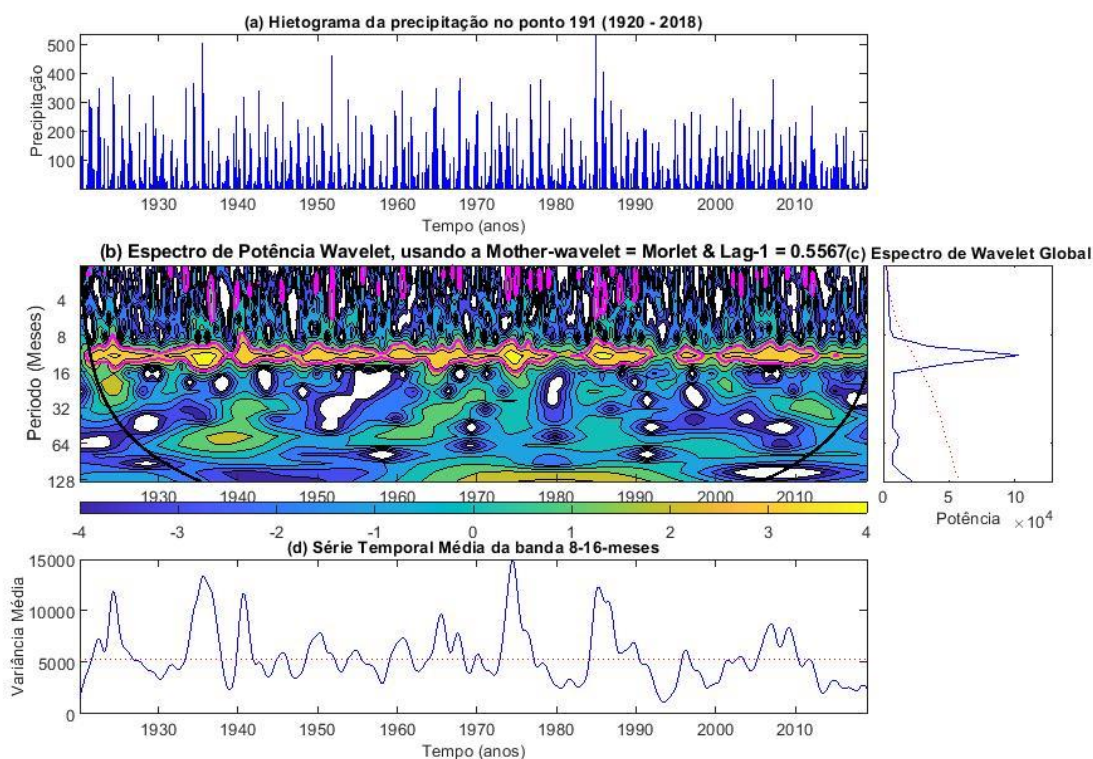
Fonte: Autor

Ainda neste item, a frequência anual (periodicidade de 12 meses) é confirmada por meio do contorno da linha magenta entre a banda 8–16-meses, demonstrando um sinal anual forte. Tal comportamento se repetiu para nas figuras 8b, 9b, 10b, 11b e 12b, e para todos os 43 pontos estudados na região da Paraíba durante os 100 anos analisados. Além disso, destacou-se também a escala característica de 4–8-meses que apresentou picos ao nível de significância de 5% nas figuras 8b, 9b, 10b, 11b e 12b.

As figuras 11 e 12 se destacam das demais, pois, além de possuírem picos com escala característica de 4 a 8 meses e um forte sinal anual representado pela banda de 8–16-meses, apresentam também períodos de baixa frequência contornados pela linha magenta. Dessa forma, nessas regiões entre 1970–1990 há um destaque também para as bandas de baixas frequências de 32 a 128 meses.

Os espectros globais estão nas figuras 7c, 8c, 9c, 10c, 11c e 12c, as quais representam a potência do sinal global espectral em mm^2 . A linha tracejada representa um nível de significância determinado, tendo em vista que estamos trabalhando a um nível de significância de 5%, temos então o nível de confiança de 95% no sinal espectral que ultrapassar a linha tracejada. Em todos os 43 espectros de potências globais analisados, a frequência anual ultrapassou a linha e é a que mais se destaca.

Figura 9 - Análise wavelet do ponto 191



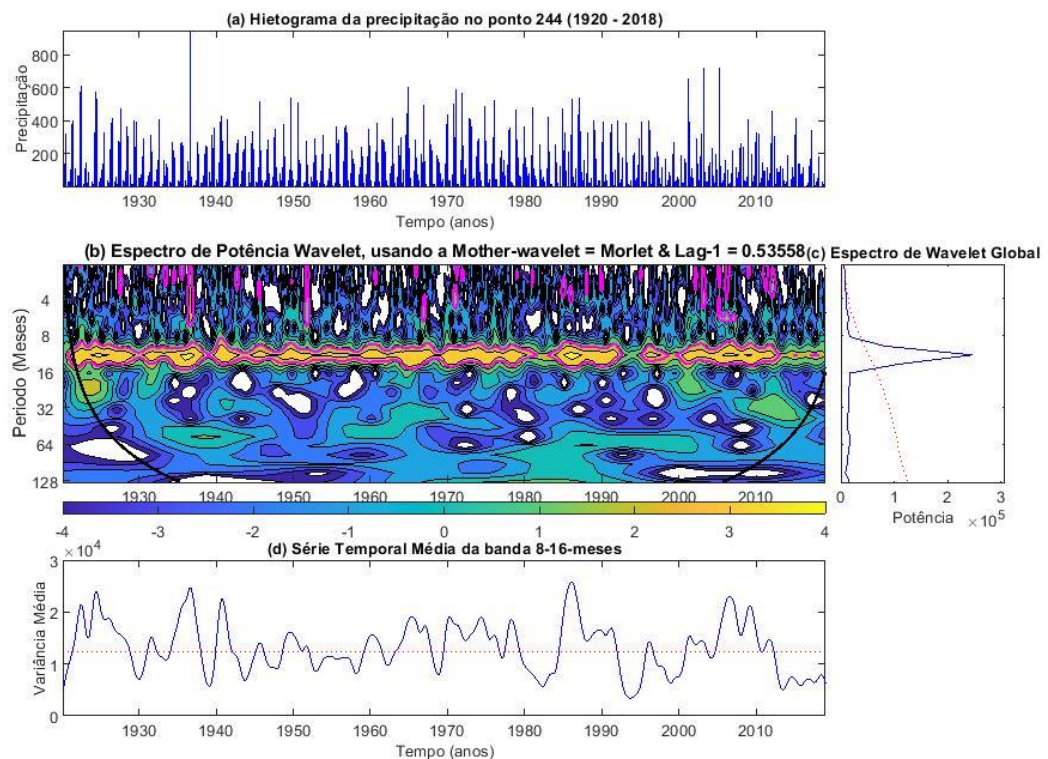
Fonte: Autor

Nas figuras 7d, 8d, 9d, 10d, 11d e 12d, estão representadas as séries temporais médias pela escala de 8–16-meses, ou seja, com estes gráficos são feitas as análises da variação pluviométrica anual. O gráfico é utilizado para examinar a modulação de uma série por outra ou modulação de uma frequência por outra dentro da mesma série temporal.

Estas séries apresentam uma ideia de uma série mais limpa, sem ruídos. Dessa forma, podem ser utilizadas como entrada em modelos hidrológicos do tipo chuva vazão e hidrossedimentológicos. Essas figuras são construídas por meio de médias das figuras dos espectros de potência *wavelet* (item b) sobre todas as escalas entre os meses 8 e 16, assim obtém-se uma variância média anual ao longo do tempo.

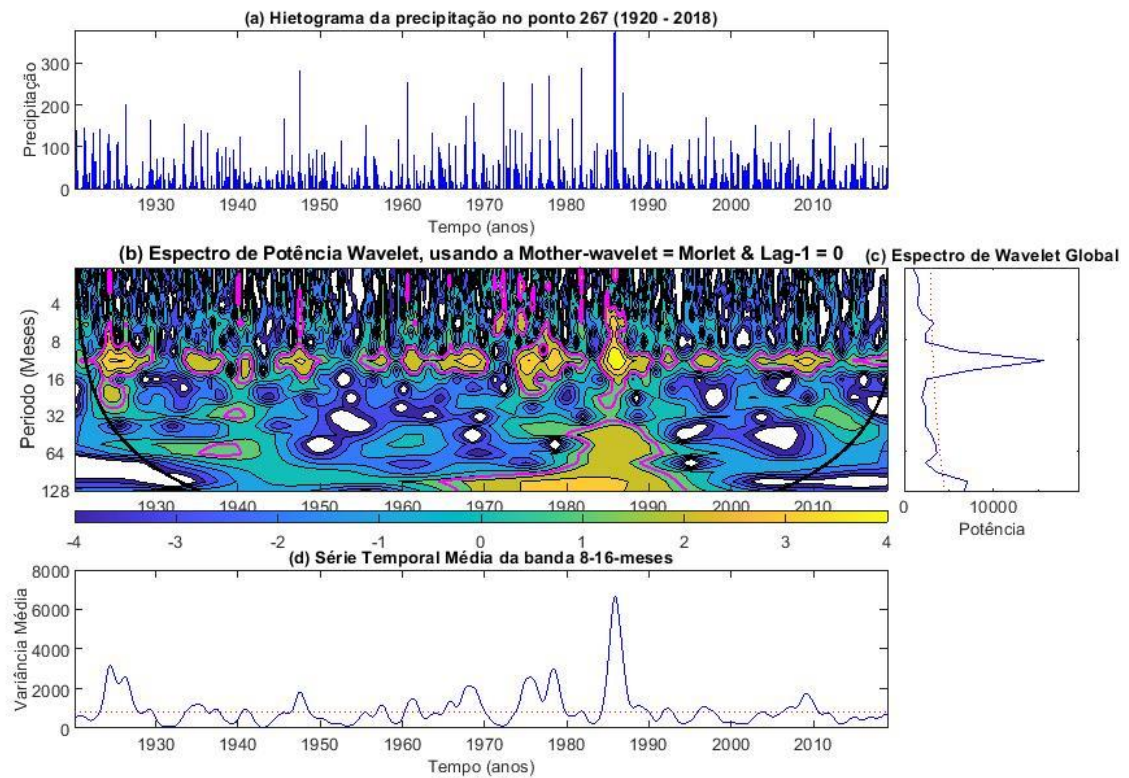
Valores mais altos de variância representam uma maior quantidade de chuva, enquanto valores mais baixos de variância estão relacionados com chuvas menos intensas. Similar ao que ocorre nas figuras anteriores, a linha tracejada representa o nível de significância de 5%, assim, temos 95% de confiança que os valores acima dela estejam corretos. As figuras 9 (d) e 10 (d) se destacam com maiores valores em suas variabilidades que as demais figuras apresentadas neste trabalho.

Figura 10 - Análise wavelet do ponto 244



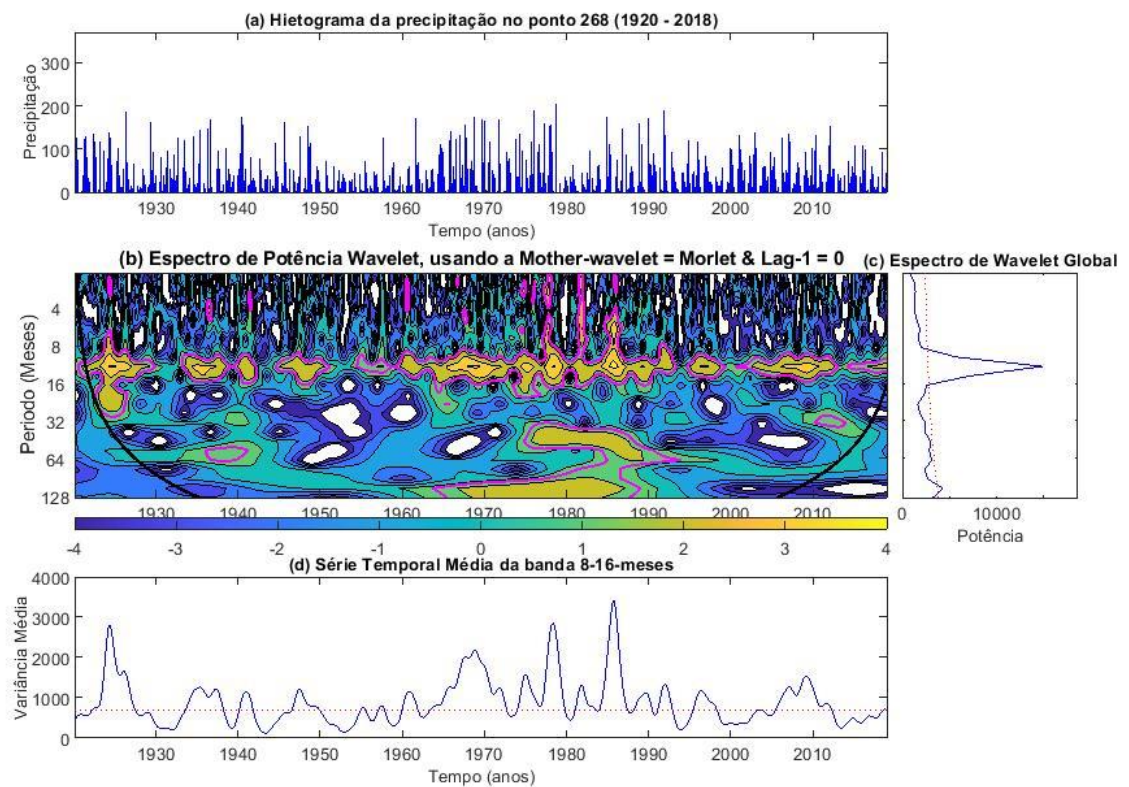
Fonte: Autor

Figura 11 - Análise wavelet do ponto 267



Fonte: Autor

Figura 12 - Análise wavelet do ponto 268

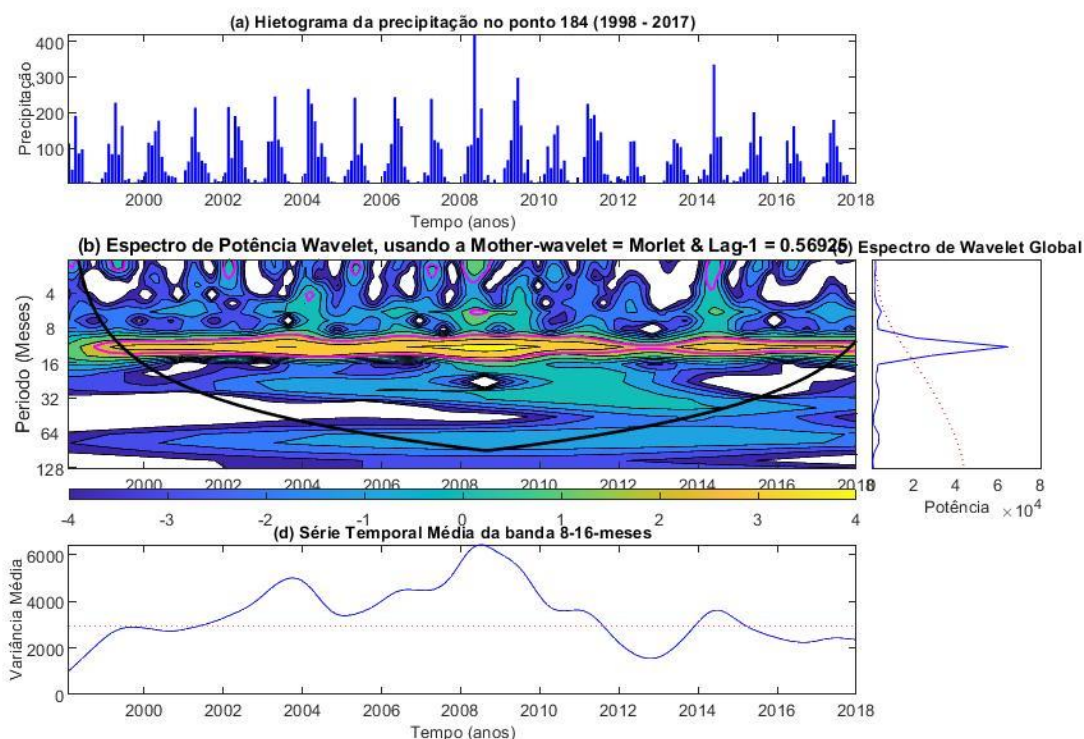


Fonte: Autor

4.2 DADOS PROVENIENTES DO CRU DE 21 ANOS (1998–2018)

Na análise por meio da transformada *wavelet* e formulação dos espectros de potência *wavelet* e espectros de *wavelet* global utilizando os dados de 21 anos do CRU, destaca-se a semelhança dos resultados com os obtidos utilizando 100 anos de dados (1920–2019).

Figura 13 - Análise *wavelet* do ponto 184 (1998–2018)



Fonte: Autor

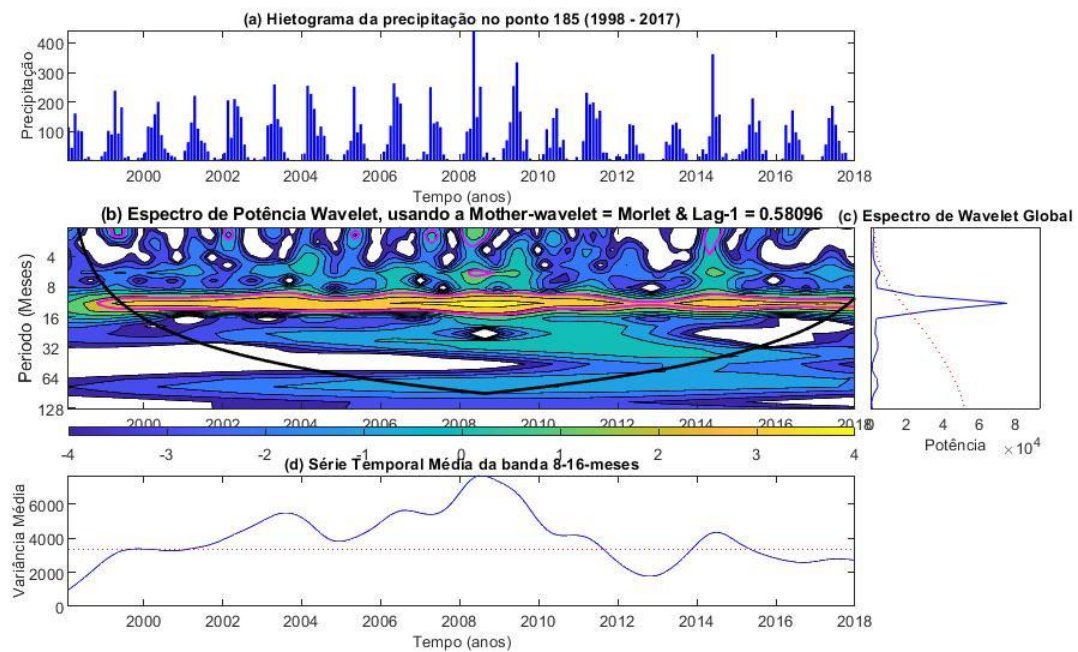
Da mesma forma da análise anterior, os espectros de potência *wavelet* demonstraram uma clara periodicidade anual em todos os pontos analisados. Existe ainda algumas periodicidades nas bandas de 0–8-meses, entretanto, esta é encontrada com mais frequência na análise de 100 anos, basta comparar as figuras 13 e 7.

As bandas de baixa frequência que se destacaram nas imagens 11 e 12, representando os pontos 267 e 268 na análise com 100 anos, aparecem novamente nas imagens 17 e 18, mas agora no intervalo de 2008 e 2015; e 2009 e 2016, respectivamente e entre os períodos de 30 a 64 meses.

A figura 14 tem como sua maior precipitação cerca de 400 mm, apresentou em seu espectro de potência *wavelet* uma periodicidade anual de destaque durante todo o período de

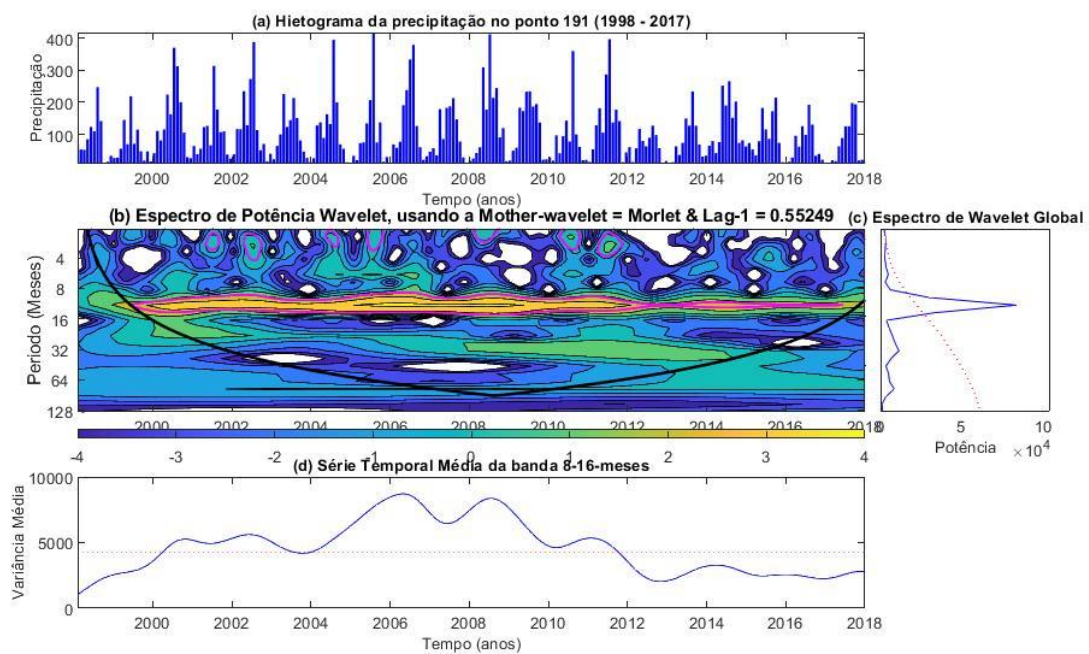
tempo analisado, bem como uma periodicidade de 0–4 meses nos anos de 1999, 2002 2006, 2007, 2008 e 2015. Ainda destaca-se uma periodicidade de 4–8 meses em 2008.

Figura 14 - Análise wavelet do ponto 185 (1998–2018)



Fonte: Autor

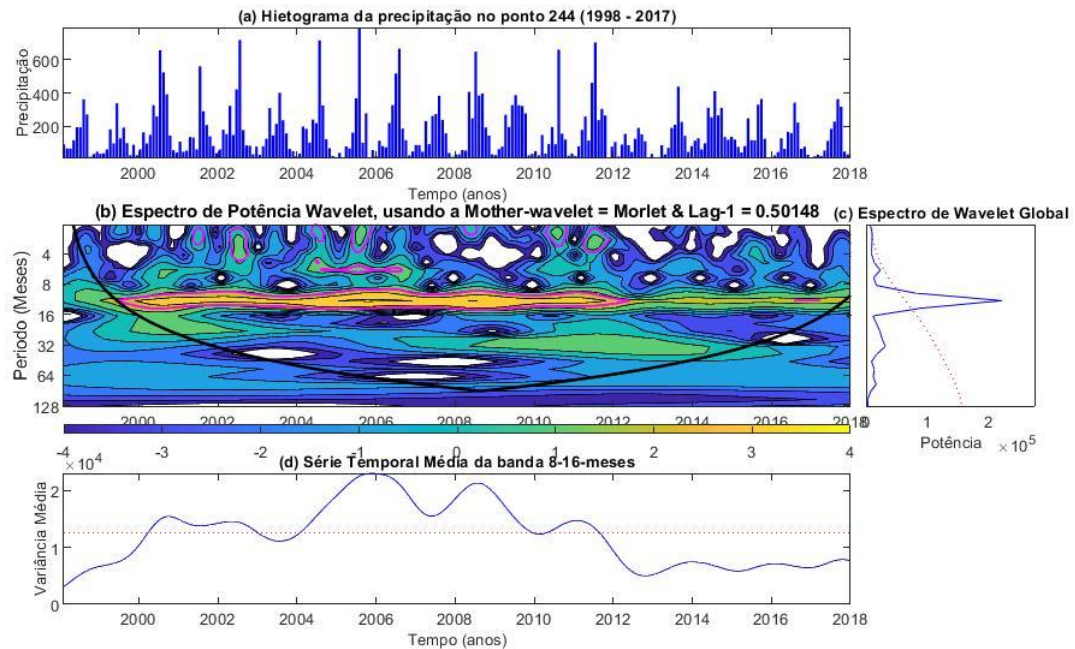
Figura 15 - Análise wavelet do ponto 191 (1998–2018)



Fonte: Autor

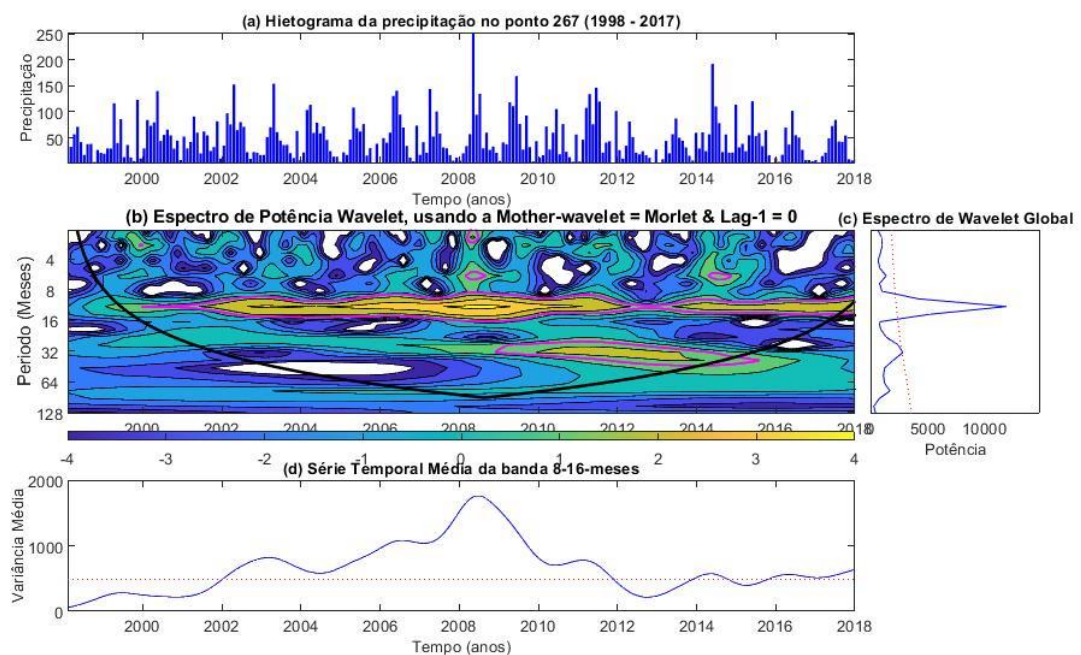
A aparição de maior destaque com respeito à periodicidade na análise da figura 15 foi a anual, alguns pontos de periodicidade 0–4 meses também foram encontrados nos anos de 2001, 2003, 2005, 2009 e 2011.

Figura 16 - Análise wavelet do ponto 244 (1998–2018)



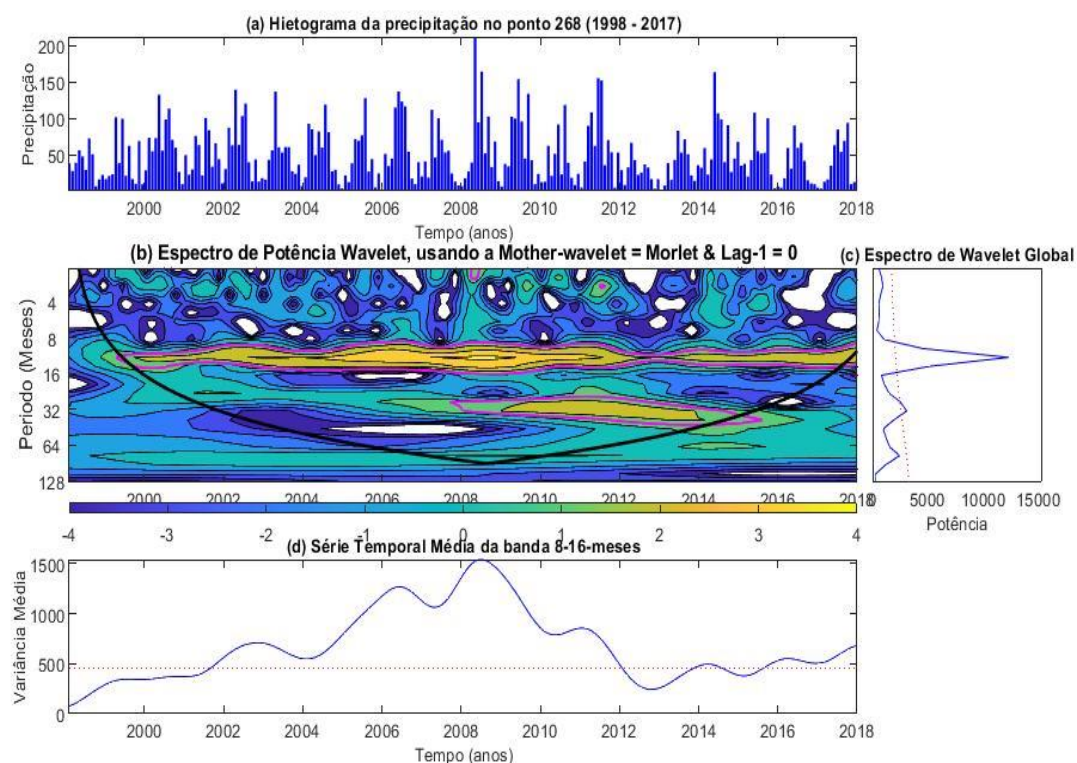
Fonte: Autor

Figura 17 - Análise wavelet do ponto 267 (1998–2018)



Fonte: Autor

Figura 18 - Análise wavelet do ponto 268 (1998–2018)



Fonte: Autor

4.3 DADOS PROVENIENTES DA AESA (1998–2018)

O ponto 13, analisado por meio de dados provenientes dos postos pluviométricos retirados dos bancos de dados da AESA, se localiza em uma região similar à do ponto 184 do banco de dados do CRU, presente nas figuras 7 e 13.

Neste ponto há uma periodicidade entre as bandas 8–16, o que representa uma constância dos eventos de chuva durante um período médio de 1 ano, além disso, houve semelhança quando se comparou as figuras 13 e 20 e encontra-se periodicidade nas bandas de 0–4 e 0–8 meses. No ano de 2008, por exemplo, encontra-se uma significância nas bandas de 0–8 meses na figura 20, assim como na figura 13.

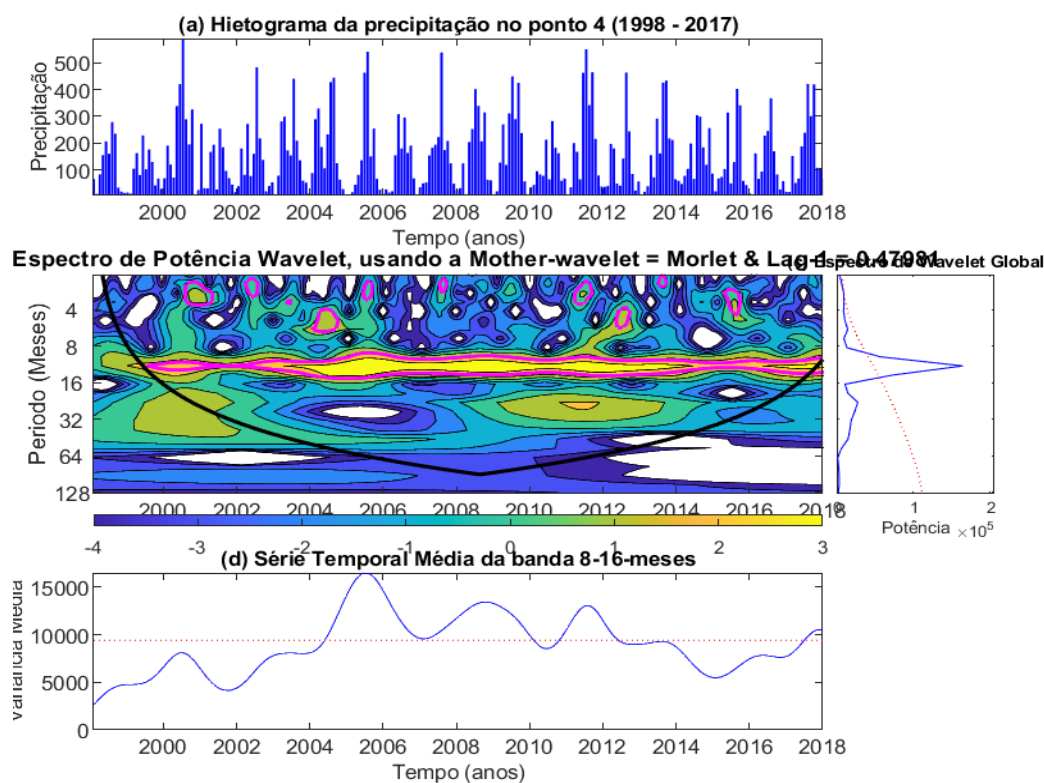
O ponto 30, analisado por meio de dados provenientes dos postos pluviométricos retirados dos bancos de dados da AESA, se localiza em uma região similar à do ponto 185 do banco de dados de CRU, presente nas figuras 8 e 14.

Houve uma grande similaridade quando analisamos e comparamos as figuras 14 e 21, ambas mostraram periodicidade anual durante todo o período analisado, além de um destaque no ano de 2008 para uma periodicidade nas bandas de 4–8 meses que ocorreu nas duas.

O ponto 46, analisado por meio de dados provenientes dos postos pluviométricos retirados dos bancos de dados da AESA, se localiza em uma região similar à do ponto 191 do banco de dados de CRU, presente nas figuras 9 e 15.

A imagem 23 se apresenta de forma similar à figura 15, com um padrão de periodicidade anual, entretanto, nota-se também uma periodicidade de frequência mais baixa nas bandas de 16–32 meses entre os anos de 2010 e 2013 na figura 23, fenômeno que não se repetiu no espectro da figura 15. Pode-se observar também por meio das figuras anexadas no apêndice deste trabalho que outros pontos próximos desta região, como por exemplo os pontos 28 e 22, também apresentaram um destaque na periodicidade de baixa frequência, quando analisada as bandas de 16–32 meses.

Figura 19 - Análise *wavelet* do ponto 4 com dados da AESA (1998–2018)



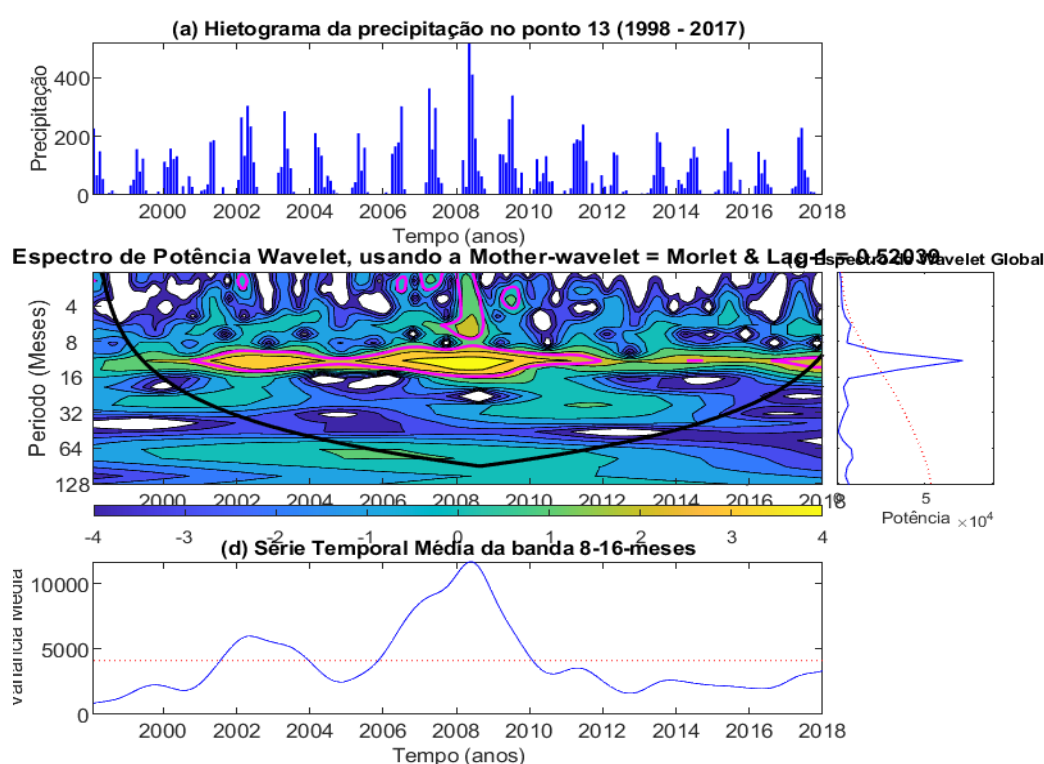
Fonte: Autor

O ponto 4, analisado por meio de dados provenientes dos postos pluviométricos retirados dos bancos de dados da AESA, se localiza em uma região similar à do ponto 244 do banco de dados de CRU, presente nas figuras 10 e 16.

Percebe-se que há uma periodicidade anual representada pelas linhas magentas sombreadas, durante todo o período analisado e entre as bandas 8–16 meses. As figuras 10, 16 e 19 apresentam também uma periodicidade de 0–4 e 0–8 em períodos distintos e com uma regularidade menor que a analisada para um período de 8–16 meses. Quando comparadas as figuras 16 e 19, percebe-se um comportamento muito similar com a presença de destaque para a periodicidade anual e, em segundo plano, a aparição de periodicidades 0–8 meses.

O ponto 25, analisado por meio de dados provenientes dos postos pluviométricos retirados dos bancos de dados da AESA, se localiza em uma região similar à do ponto 267 do banco de dados do CRU, presente nas figuras 11 e 17.

Figura 20 - Análise wavelet do ponto 13 com dados da AESA (1998–2018)



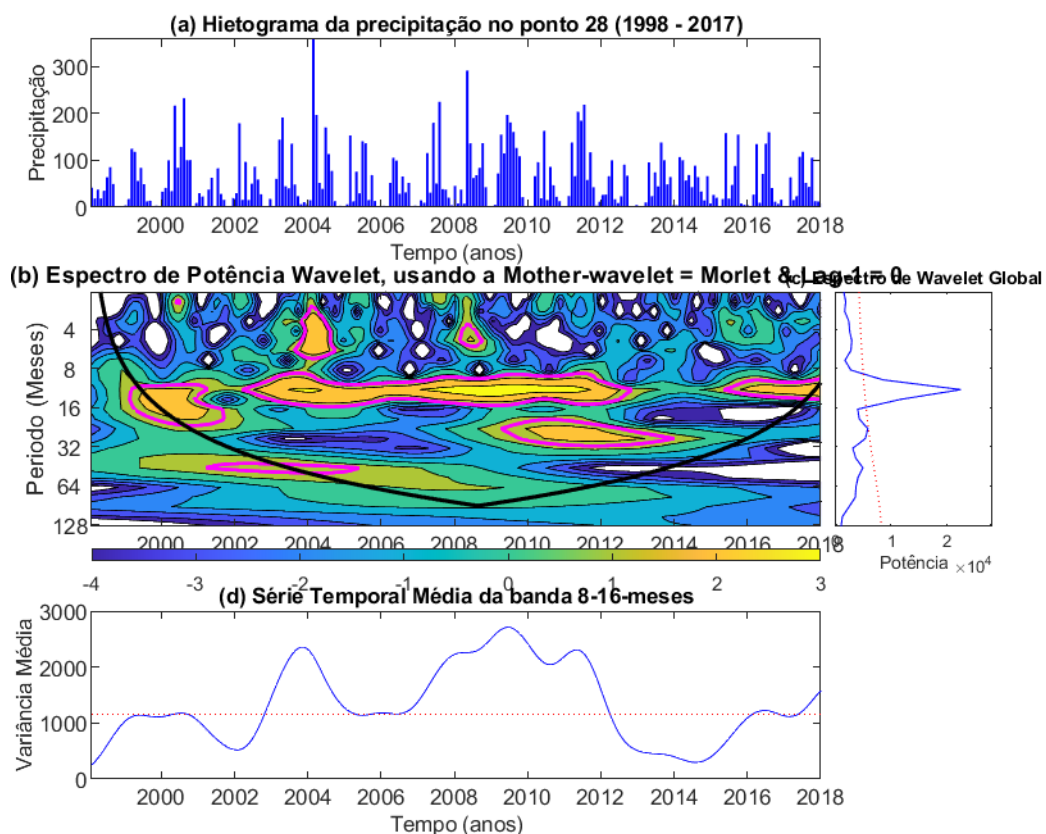
Fonte: Autor

Mais uma vez, destacou-se a periodicidade anual no ponto, presente em quase todo o intervalo de tempo analisado. Além disso, houve a presença de uma periodicidade de frequência mais baixa em destaque representado pela envoltória de cor magenta entre os anos de 2009 e 2013, tal fenômeno ocorreu em ambas as figuras 17 e 24. Outrossim, o comportamento também se repetiu em postos pluviométricos próximos ao ponto 25, podendo ser verificado no apêndice deste trabalho, são eles os pontos 101 e 33.

O ponto 12, analisado por meio de dados provenientes dos postos pluviométricos retirados dos bancos de dados da AESA, se localiza em uma região similar à do ponto 268 do banco de dados do CRU, presente nas figuras 12 e 18.

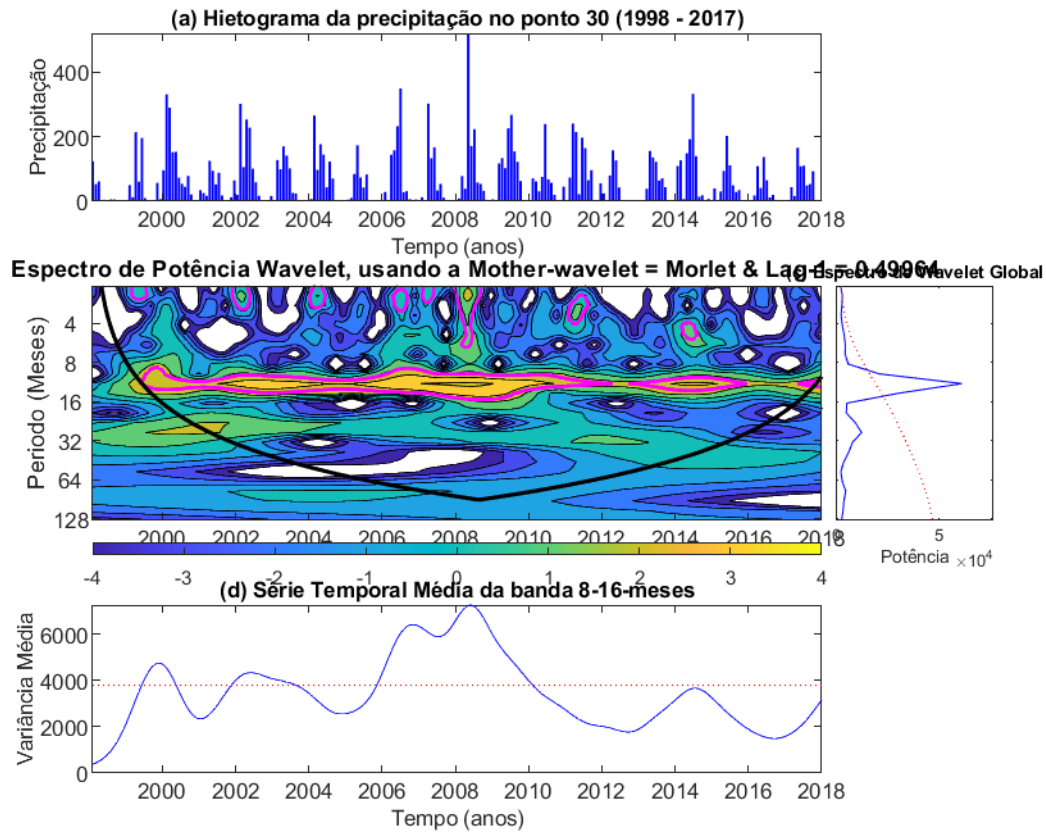
Nessa localização, houve a presença de uma periodicidade anual, sendo uma característica similar entre as figuras 18 e 25. Porém, percebe-se que aparecem algumas periodicidades de baixa frequência entre os anos de 2003, 2004 e 2011, na figura 25, enquanto que na figura 18 a periodicidade de baixa frequência aparece nos anos de 2008 a 2013. Nos pontos próximos ao 12, o comportamento foi semelhante.

Figura 21 - Análise *wavelet* do ponto 28 com dados da AESA (1998–2018)



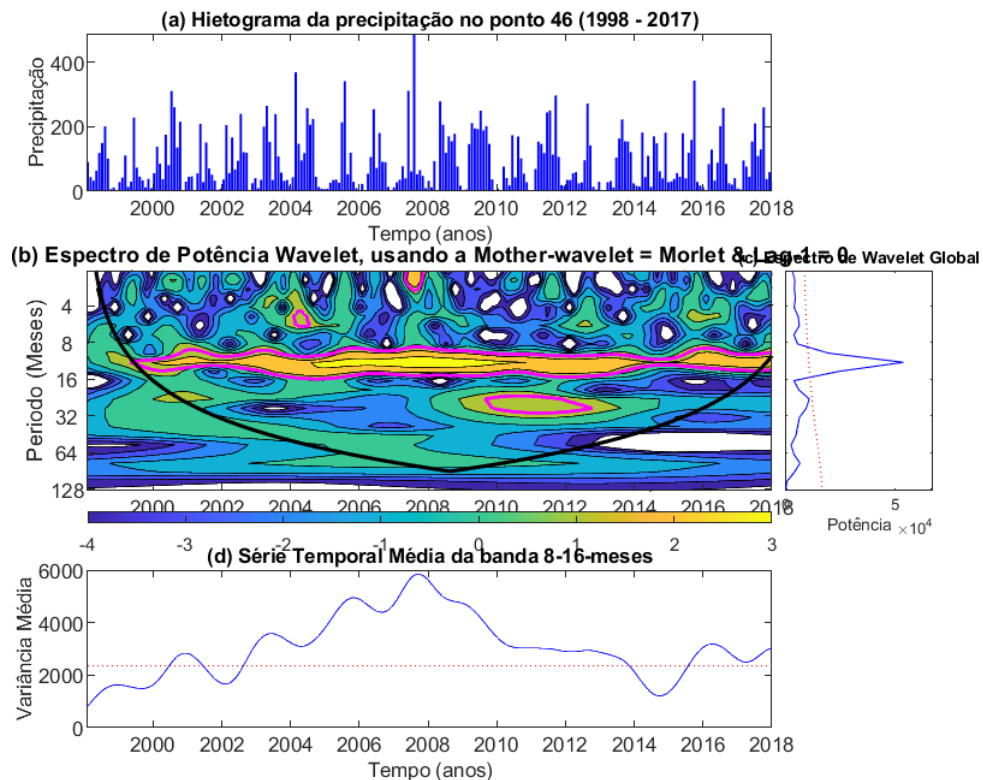
Fonte: Autor

Figura 22 - Análise wavelet do ponto 30 com dados da AESA (1998–2018)



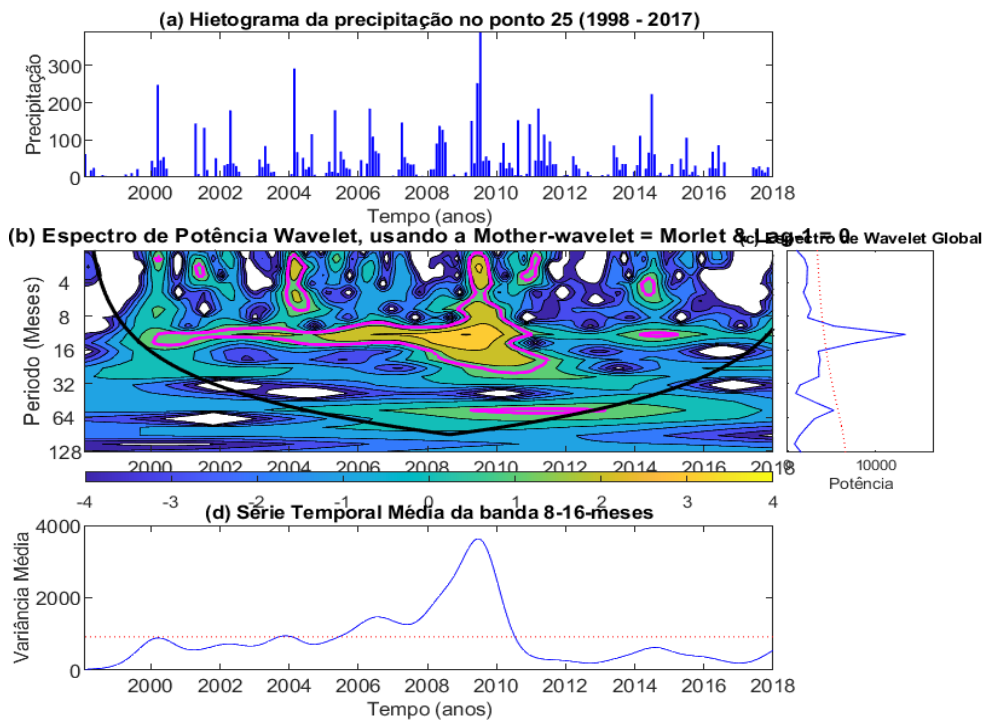
Fonte: Autor

Figura 23 - Análise wavelet do ponto 46 com dados da AESA (1998–2018)



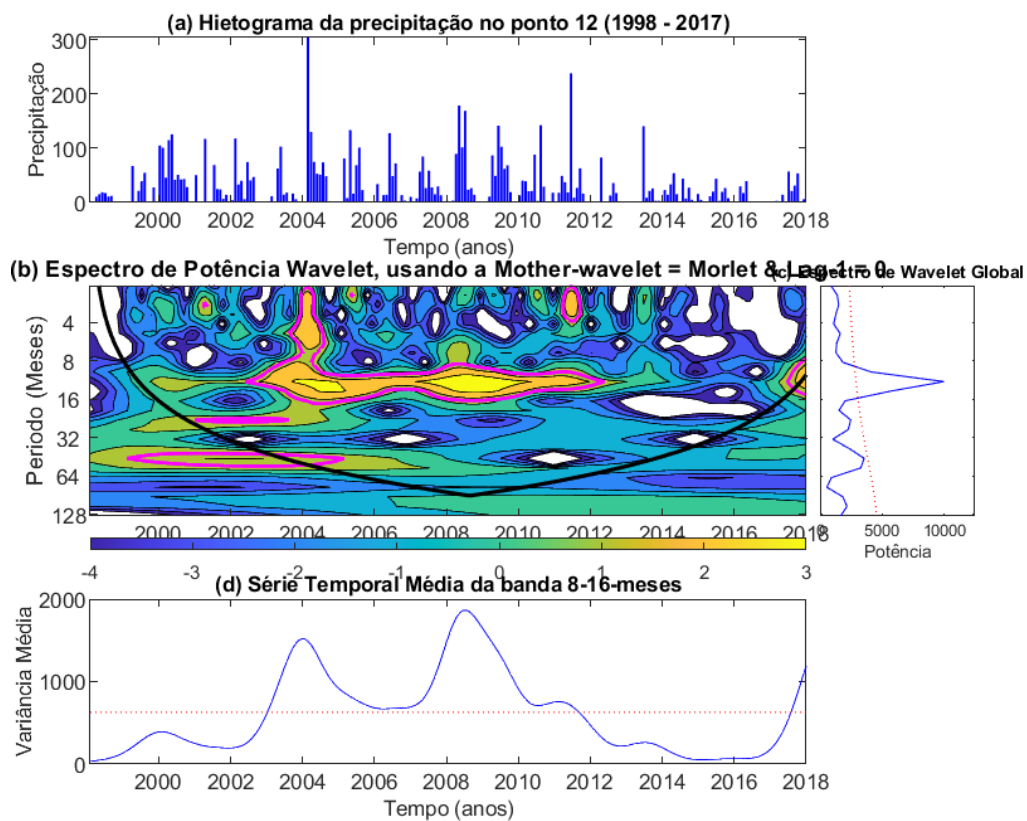
Fonte: Autor

Figura 24 - Análise wavelet do ponto 25 com dados da AESA (1998–2018)



Fonte: Autor

Figura 25 - Análise wavelet do ponto12 com dados da AESA (1998–2018)



Fonte: Autor

4.4 ANÁLISE DE CLUSTER

4.4.1 Análise com os dados do CRU no período (1920–2019)

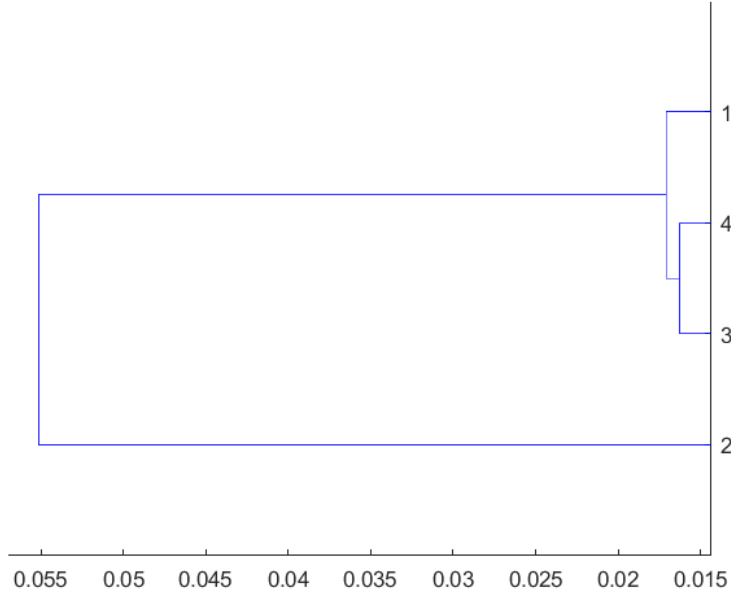
Com o intuito de entender e analisar o comportamento e a distribuição espacial da precipitação sobre a região da Paraíba aplicou-se um agrupamento por correlação entre os 43 pontos estudados de 3 formas distintas. A primeira análise de cluster foi por meio da observação do espectro global retirado da transformada *wavelet* (Figuras 26, 27 e 28). A segunda analisou os valores da variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8-16 da precipitação (Figuras 29,30, e 31) e, a última, observou-se a precipitação para se fazer o agrupamento (Figuras 32,33, e 34).

O espectro de potência global representa uma estimativa do espectro de potência verdadeiro da série temporal, ele é uma forma de representar e caracterizar a variabilidade da série. Por meio dele, consegue-se resumir a variabilidade temporal da região e compará-la com outras regiões, assim, a clusterização por meio do espectro global de potência se torna um artifício na identificação dos pontos hidrologicamente semelhantes.

Construiu-se o dendrograma (Fig. 26), onde se observa a ligação entre as classes agrupadas. As classes 4 e 3 demonstraram maior similaridade, seguidas pela classe 1, que apresenta um resultado mais similar que a classe 2.

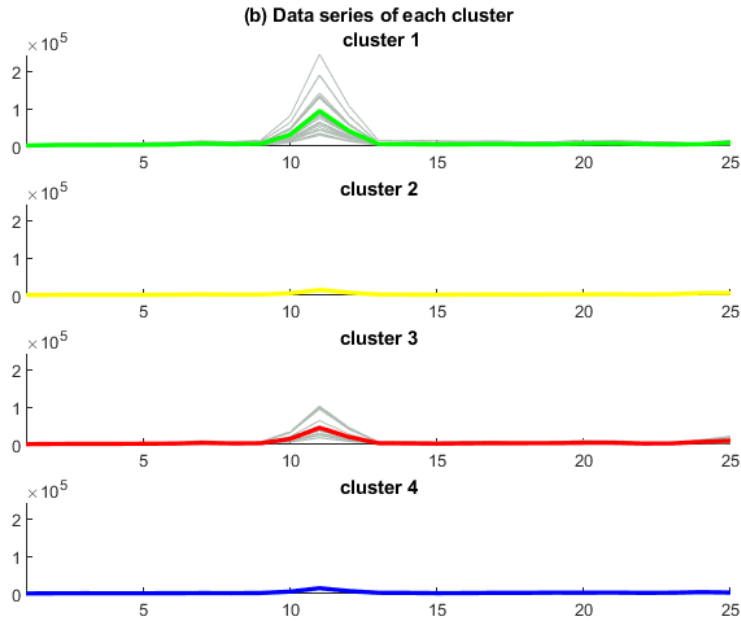
A Figura 27 apresenta os valores da série de cada classe gerada, assim, se torna possível a análise das semelhanças entre os dados presentes em cada cluster.

Figura 26 - Dendrograma da clusterização por espectro de potência global com os dados do CRU (1920–2019)



Fonte: Autor

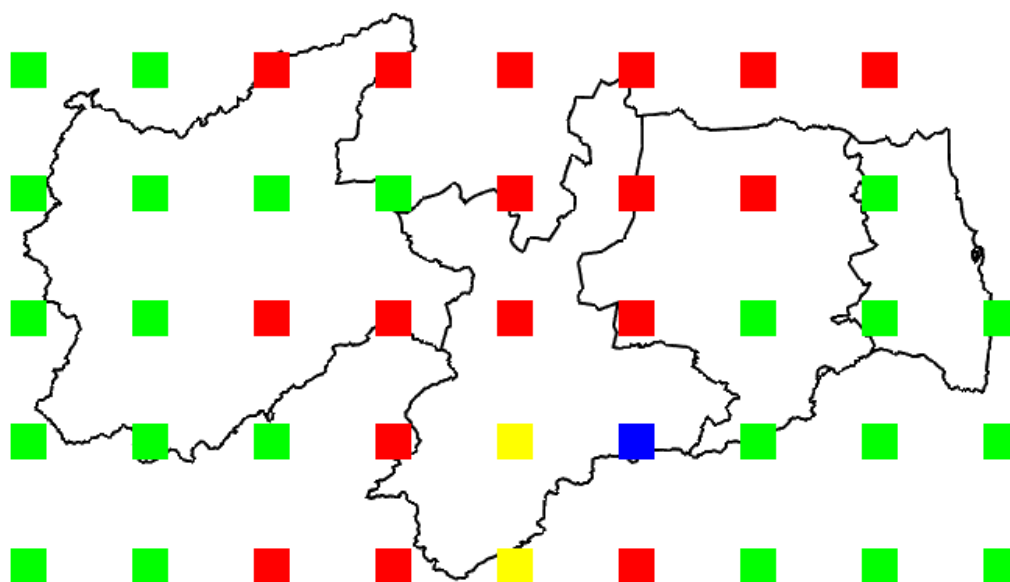
Figura 27 - Valores das séries dos clusters por espectro de potência global com os dados do CRU (1920–2019)



Fonte: Autor

A figura 28 representa a espacialização dos pontos estudados no estado da Paraíba, percebe-se uma grande distribuição do cluster 1 ao leste e ao oeste do estado, enquanto os outros 3 grupos se distribuem mais ao centro na mesorregião do alto da Borborema e em pequenas parcelas do agreste e do sertão.

Figura 28 – Espacialização dos pontos dos clusters por espectro de potência global com os dados do CRU (1920–2019)

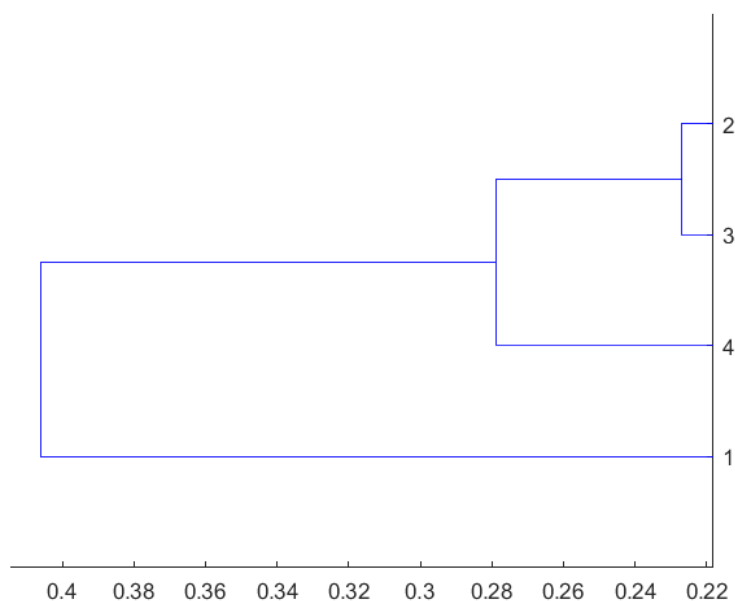


Fonte: Autor

O segundo tipo de clusterização, foi por meio da utilização da variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8-16 da precipitação sobre o estado da Paraíba (Figuras 29,30,31).

Se elaborou um dendrograma representando os agrupamentos (Fig.29). Nele, percebe-se grande similaridade entre os clusters 2 e 3, seguidos pela classe 4 que apresenta um resultado mais distinto do que as classes 2 e 3, porém, mais semelhante as classes 2 e 3 do que a classe 1.

Figura 29 – Dendrograma da clusterização por meio variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8-16 da precipitação com os dados do CRU (1920–2019)



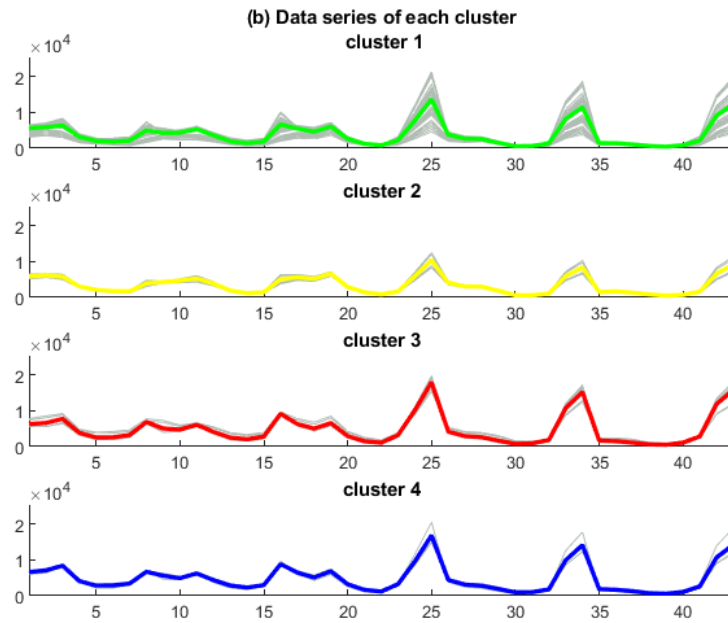
Fonte: Autor

A Figura 30 apresenta os valores da série de cada classe gerada, assim, se torna possível a análise das semelhanças entre os dados presentes em cada cluster.

A figura 31 representa a espacialização dos pontos estudados no estado da Paraíba, por meio da clusterização, analisando a variabilidade espaço temporal mensal. Percebe-se uma majoritária distribuição do cluster 4 por todo estado, principalmente no sertão paraibano e na mesorregião da Borborema. O agreste e a mata paraibana apresentam ao norte predominância do cluster 1 e ao sul presença dos clusters 2 e 3.

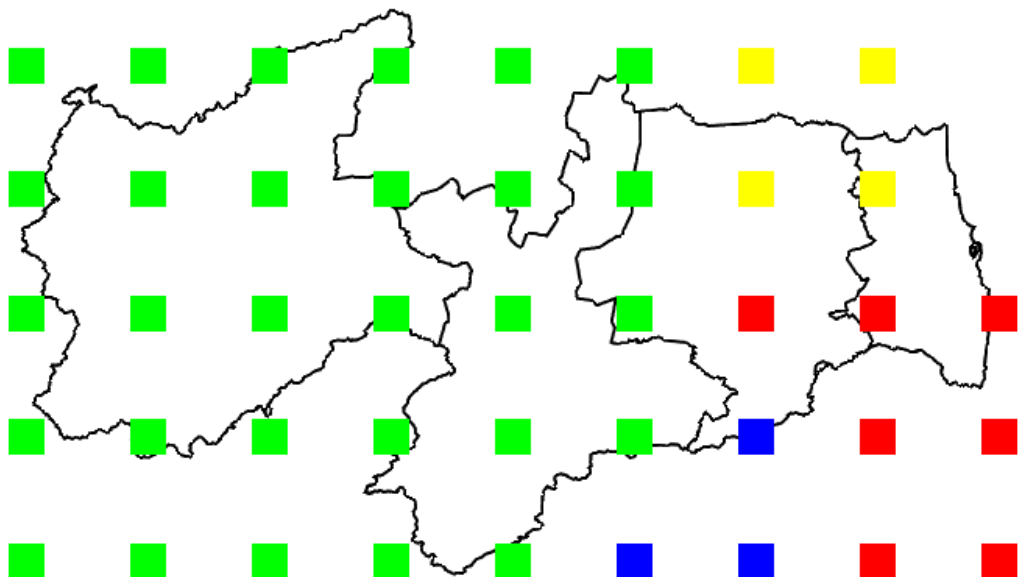
A última análise de clusterização levou em consideração a precipitação mensal em todo o estado (Figuras 32, 33 e 34). Da mesma forma, se elaborou um dendrograma representando os agrupamentos (Fig.32), em que se percebe grande similaridade entre os clusters 2 e 3, seguidos pela classe 4 que apresenta um resultado mais distinto do que as classes 2 e 3, porém, mais semelhante as classes 2 e 3 do que a classe 1.

Figura 30 – Valores das séries dos clusters por meio variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8-16 da precipitação com os dados do CRU (1920–2019)



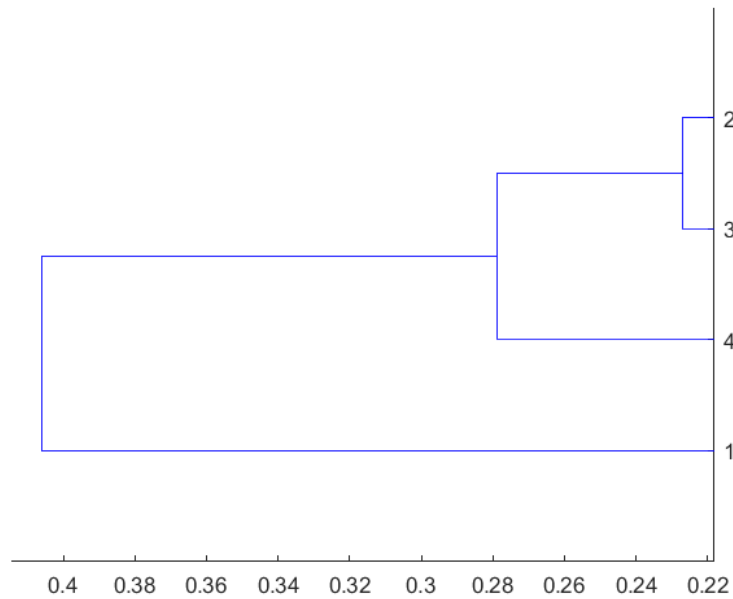
Fonte: Autor

Figura 31 – Espacialização dos pontos dos clusters por meio variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8–16 da precipitação com os dados do CRU (1920–2019)



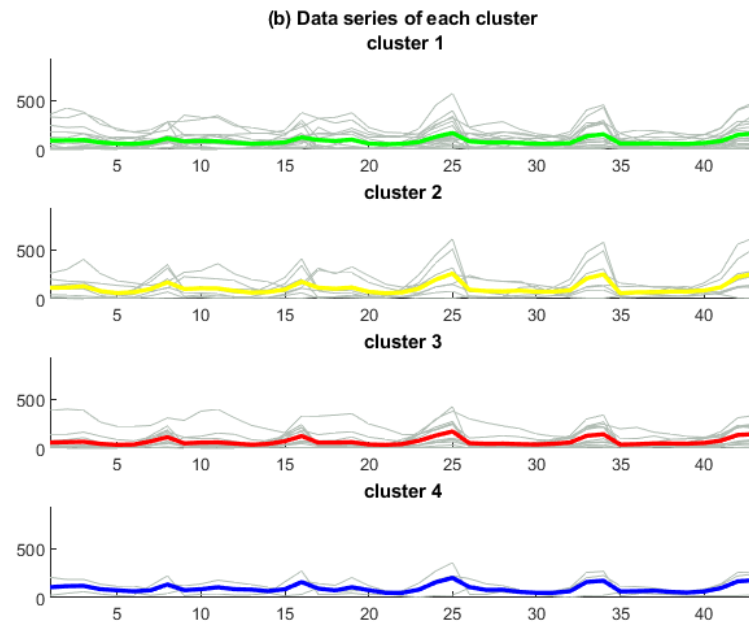
Fonte: Autor

Figura 32 – Dendrograma da clusterização por meio da precipitação mensal com os dados do CRU (1920–2019)



Fonte: Autor

Figura 33 – Valores das séries dos clusters por meio da precipitação mensal com os dados do CRU (1920–2019)

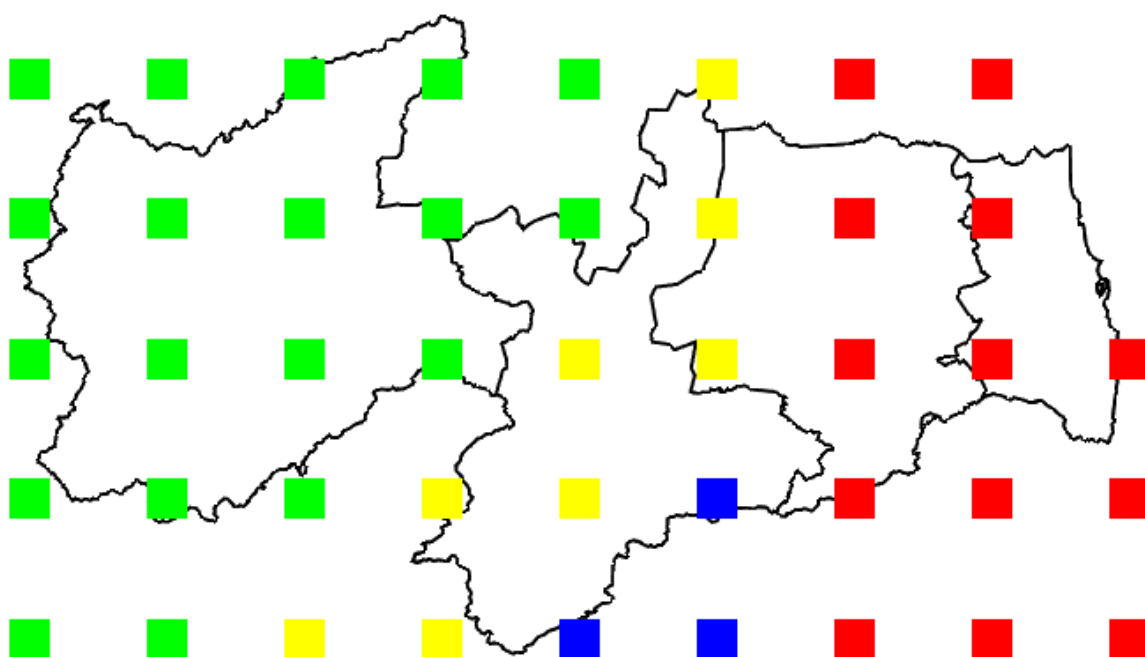


Fonte: Autor

A Figura 33 apresenta os valores da série de cada classe gerada, assim, se torna possível a análise das semelhanças entre os dados presentes em cada cluster.

A figura 34 representa a espacialização dos pontos estudados no estado da Paraíba por meio da clusterização analisando a precipitação mensal. O cluster 3 predominou na região do litoral do estado, no sertão o cluster 1 foi predominante, já nas mesorregiões do alto da Borborema e do agreste, na parte central do estado, houve a presença dos clusters 1,2 e 4.

Figura 34 – Espacialização dos pontos dos clusters por meio da precipitação mensal com os dados do CRU (1920–2019)



Fonte: Autor

4.4.2 Análise com os dados do CRU no período (1998–2018)

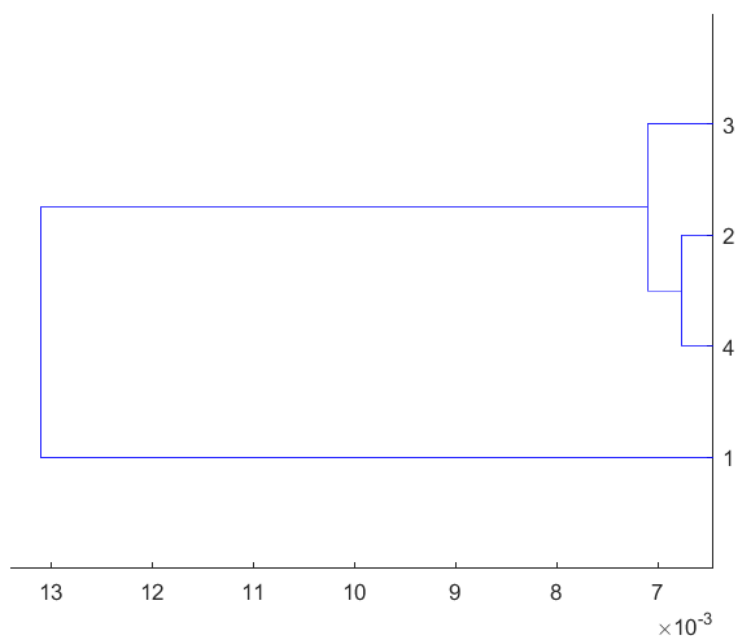
De maneira similar ao realizado para análise dos 100 anos, aplicou-se um agrupamento por correlação entre os 43 pontos estudados de 3 formas distintas para o período de 1998-2018. A primeira análise de cluster foi por meio da observação do espectro global retirado da transformada *wavelet* (Figuras 35, 36 e 37). A segunda analisou-se os valores da

variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8-16 da precipitação (Figuras 38,39 e 40) e, por último, observou-se a precipitação para se fazer o agrupamento (Figuras 41, 42 e 43).

Da mesma forma, construiu-se o dendrograma (Fig. 35) com os 21 anos avaliando o espectro global, onde se observa a ligação entre as classes agrupadas, as classes 2 e 4 demonstraram maior similaridade, seguidas pela classe 3, que apresenta um resultado mais distinto que a ligação entre as classes 2 e 4, porém, mais semelhante as classes 2 e 4 do que a classe 1.

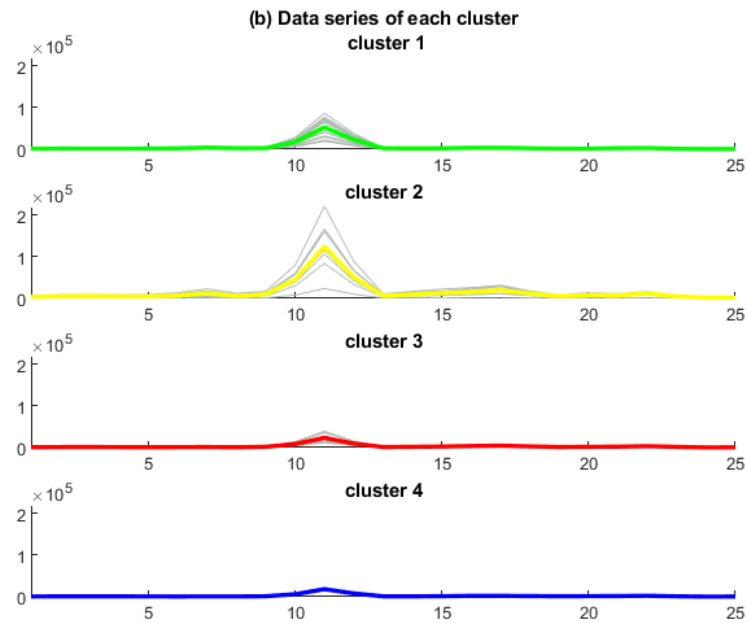
A Figura 36 apresenta os valores da série de cada classe gerada, assim, se torna possível a análise das semelhanças entre os dados presentes em cada cluster.

Figura 35 – Dendrograma da clusterização por meio do espectro global com os dados do CRU (1998–2018)



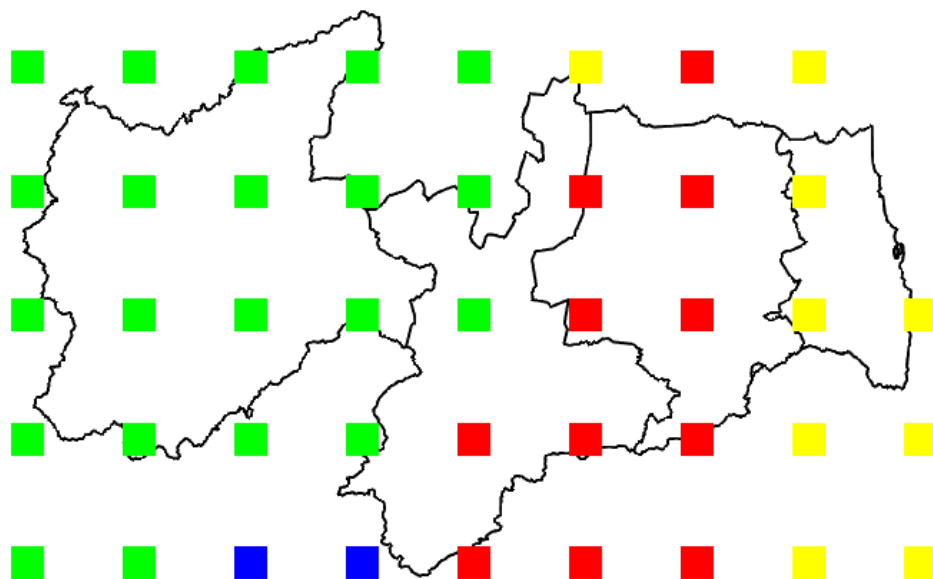
Fonte: Autor

Figura 36 – Valores das séries dos clusters por meio do espectro global com os dados do CRU (1998–2018)



Fonte: Autor

Figura 37 – Espacialização dos pontos dos clusters por meio do espectro global com os dados do CRU (1998–2018)



Fonte: Autor

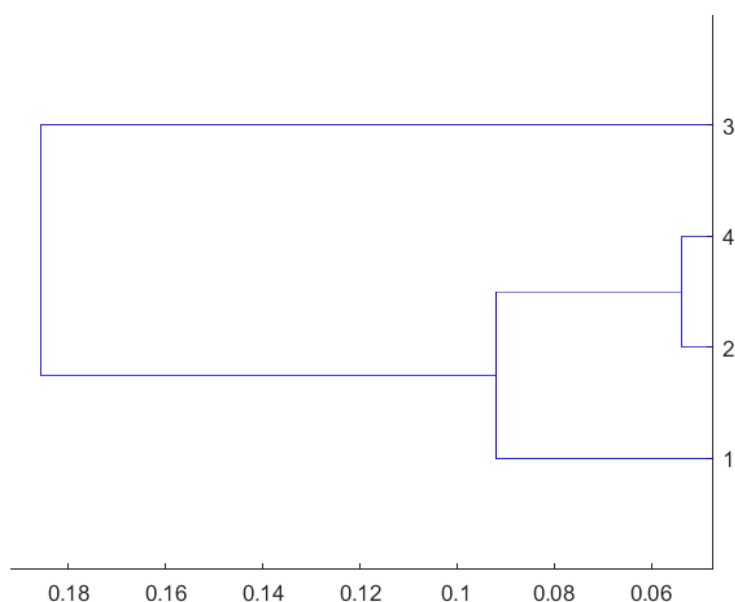
A figura 37 representa a espacialização dos pontos estudados no estado da Paraíba, por meio da clusterização do espectro global, ao analisar os dados de 21 anos da AESA. Percebe-se uma majoritária distribuição do cluster 1 pelo sertão da Paraíba e pelo centro do alto da Borborema, o cluster 2 predominou no litoral do estado, já o cluster 3 apareceu no agreste e no leste do alto da Borborema. Na parte sul da Borborema, fazendo divisa com Pernambuco, encontram-se os clusters 3 e 4.

O segundo tipo de clusterização foi por meio da utilização da variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8-16 da precipitação sobre o estado da Paraíba (Figuras 38,39,40).

Elaborou-se um dendrograma, representando os agrupamentos (Fig.38), em que se, percebe grande similaridade entre os clusters 2 e 4, seguidos pela classe 1, que apresenta um resultado mais distinto do que o obtido entre as classes 4 e 2, porém, mais semelhante as classes 2 e 4 do que a classe 3.

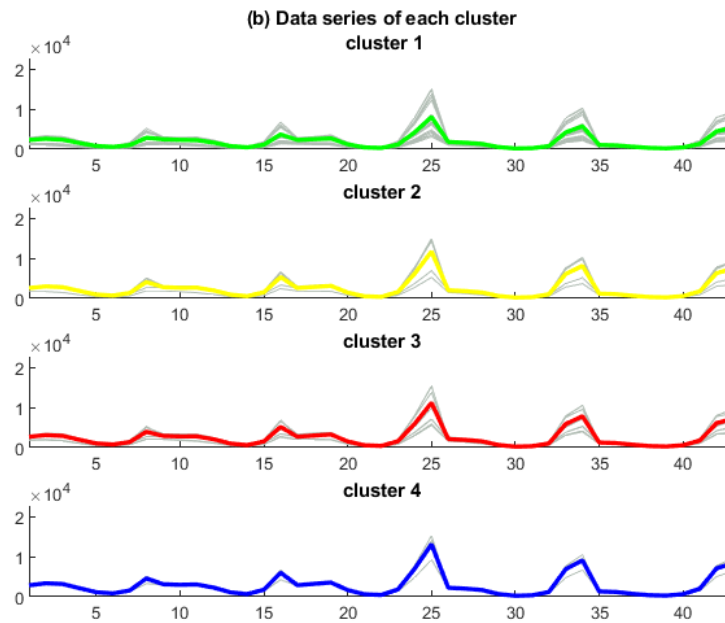
A Figura 39 apresenta os valores da série de cada classe gerada, assim, se torna possível a análise das semelhanças entre os dados presentes em cada cluster.

Figura 38 – Dendrograma da clusterização por meio da variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8-16 da precipitação sobre o estado da Paraíba com os dados do CRU (1998–2018)



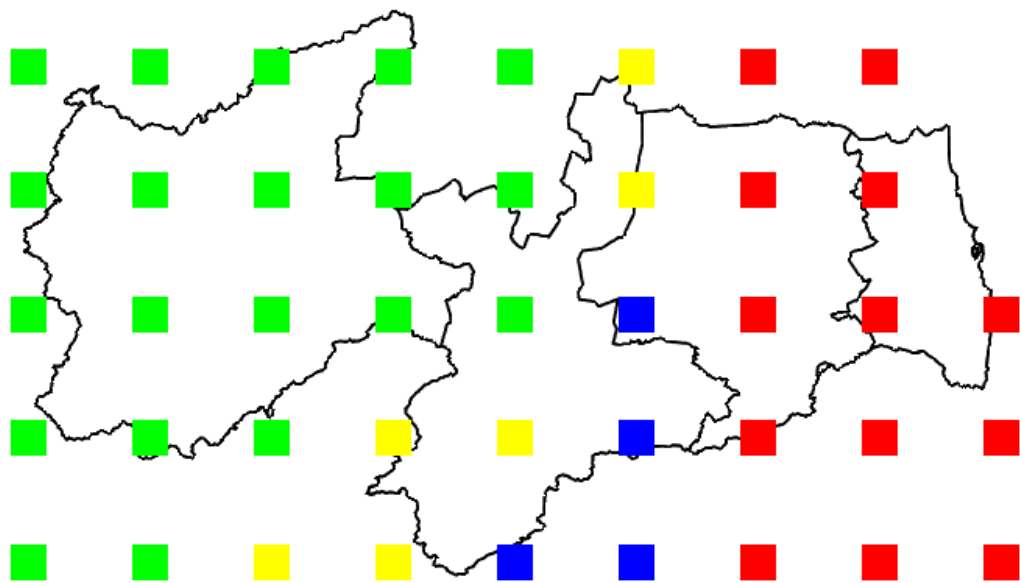
Fonte: Autor

Figura 39 – Valores das séries dos clusters por meio da variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8–16 da precipitação sobre o estado da Paraíba com os dados do CRU (1998–2018)



Fonte: Autor

Figura 40 – Espacialização dos pontos dos clusters por meio da variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8–16 da precipitação sobre o estado da Paraíba com os dados do CRU (1998–2018)



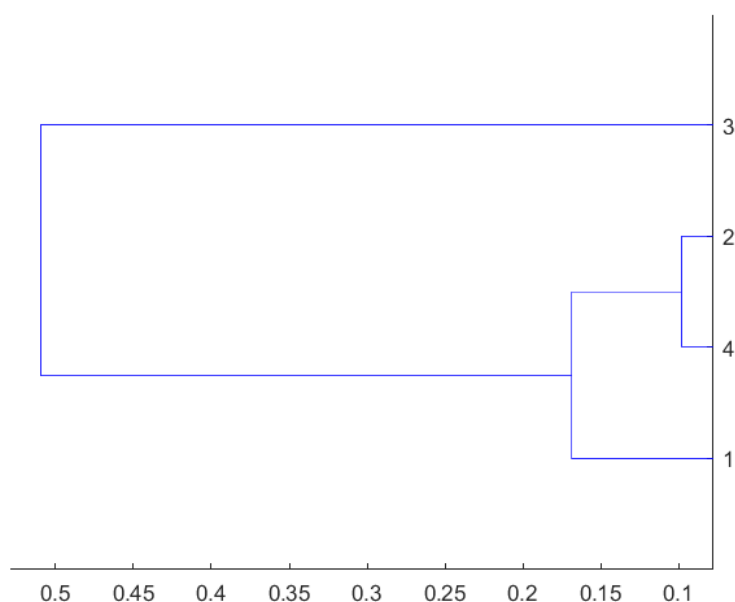
Fonte: Autor

A figura 40 representa a espacialização dos pontos estudados no estado da Paraíba, por meio da clusterização, analisando variabilidade espaço temporal mensal. Percebe-se uma majoritária distribuição do cluster 1 pelo sertão da Paraíba. O cluster 3 predomina no litoral e no leste do agreste paraibano, no alto da Borborema aparecem os clusters 1, 2 e 4.

A última análise de clusterização envolvendo os dados do CRU no período de 1998 - 2018, levou em consideração a precipitação mensal em todo o estado (Figuras 41, 42 e 43). Da mesma forma, se elaborou um dendrograma representando os agrupamentos (Fig.41), em que se percebe grande similaridade entre os clusters 2 e 4, seguidos pela classe 1, que apresenta um resultado mais distinto que as classes 4 e 2, porém, mais semelhante que a classe 3.

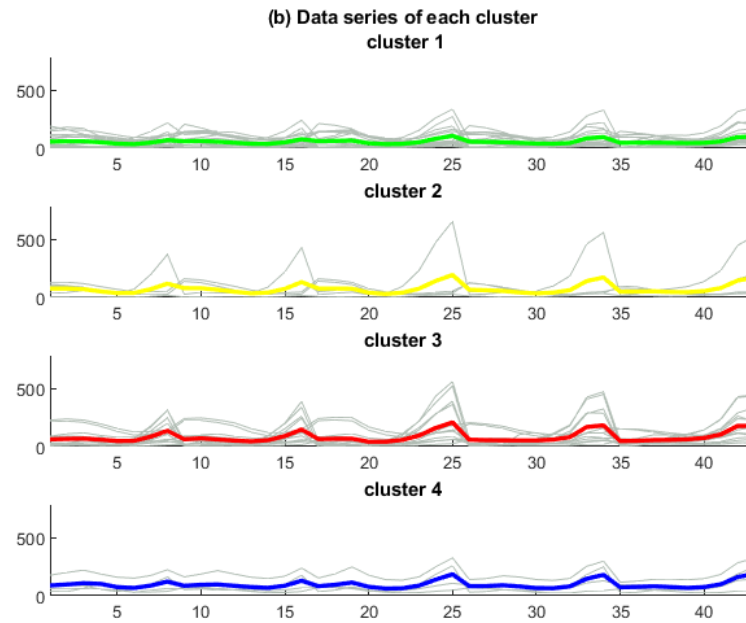
A Figura 42 apresenta os valores da série de cada classe gerada, assim, se torna possível a análise das semelhanças entre os dados presentes em cada cluster.

Figura 41 – Dendrograma da clusterização por meio da precipitação mensal do estado da Paraíba com os dados do CRU (1998–2018)



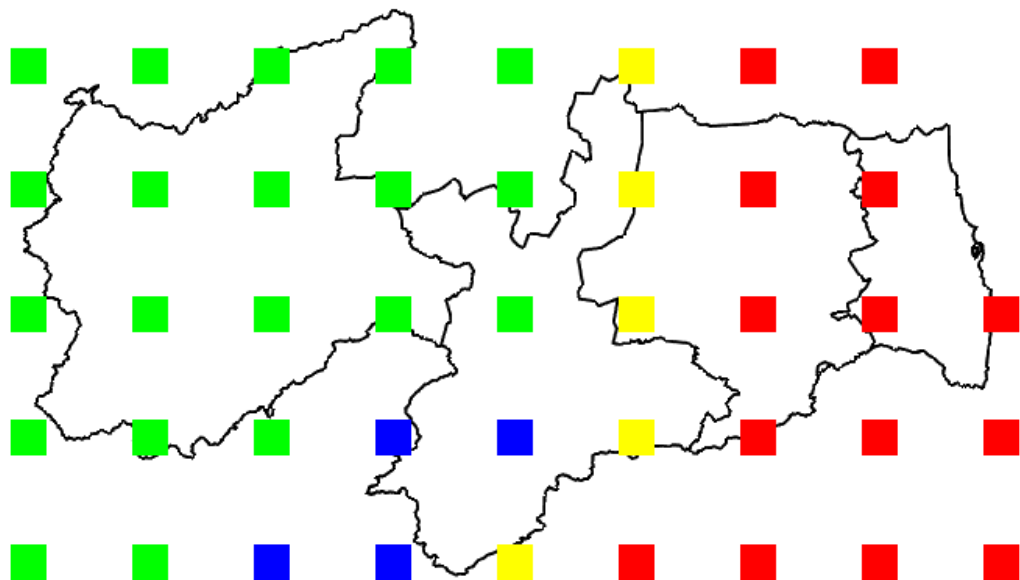
Fonte: Autor

Figura 42 – Valores das séries dos clusters por meio da precipitação mensal do estado da Paraíba com os dados do CRU (1998–2018)



Fonte: Autor

Figura 43 – Espacialização dos pontos dos clusters por meio da precipitação mensal do estado da Paraíba com os dados do CRU (1998–2018)



Fonte: Autor

A figura 43 representa a espacialização dos pontos estudados no estado da Paraíba, por meio da clusterização, analisando a precipitação mensal de 1998 - 2018. Percebe-se uma majoritária distribuição do cluster 1 pelo sertão da Paraíba. O cluster 3 predomina no litoral e no leste do agreste paraibano, no alto da Borborema aparecem os clusters 1, 2 e 4.

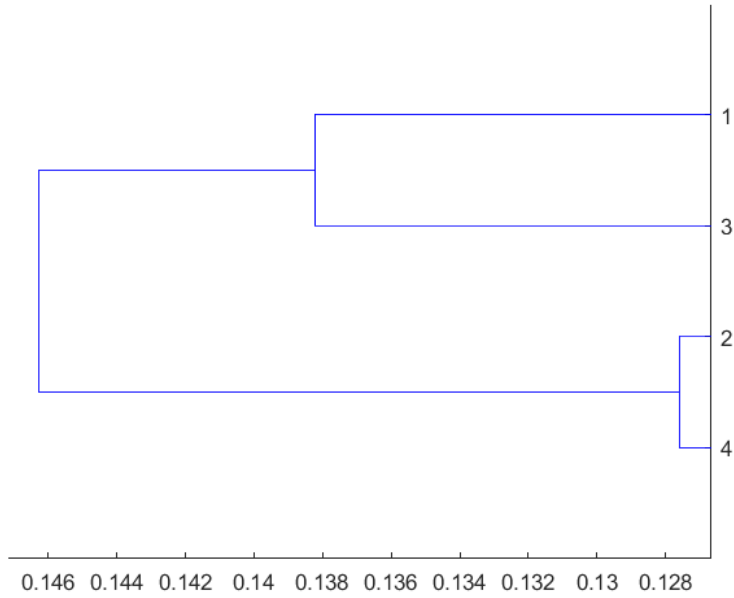
4.4.3 Análise com os dados de postos pluviométricos (AESAs) no período de (1998–2018)

Da maneira similar ao realizado para as análises anteriores, aplicou-se um agrupamento por correlação entre os 105 pontos estudados provenientes da AESA de 3 formas distintas para o período de 1998-2018. A primeira análise de cluster foi por meio da observação do espectro global retirado da transformada *wavelet* (Figuras 44, 45 e 46). Na segunda, analisou-se os valores da variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8-16 da precipitação (Figuras 47, 48 e 49) e, por último, observou-se a precipitação para se fazer o agrupamento (Figuras 50, 51 e 52).

Da mesma forma, construiu-se o dendrograma (Fig. 44) em relação ao período de 21 anos (1998 – 2018), avaliando o espectro global, em que se observa a ligação entre as classes agrupadas, as classes 2 e 4 demonstraram maior similaridade, seguidas pela classe 3 e 1 que apresentam um resultado mais distinto que a ligação entre as classes 2 e 4, porém, mais semelhantes entre si.

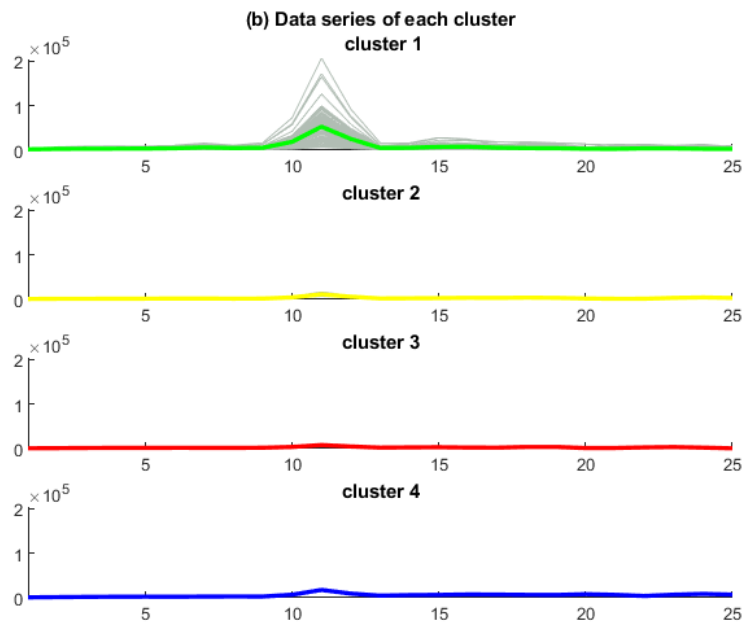
A Figura 45 apresenta os valores da série de cada classe gerada, assim, se torna possível a análise das semelhanças entre os dados presentes em cada cluster.

Figura 44 – Dendrograma da clusterização por meio espectro global com os dados da AESA (1998–2018)



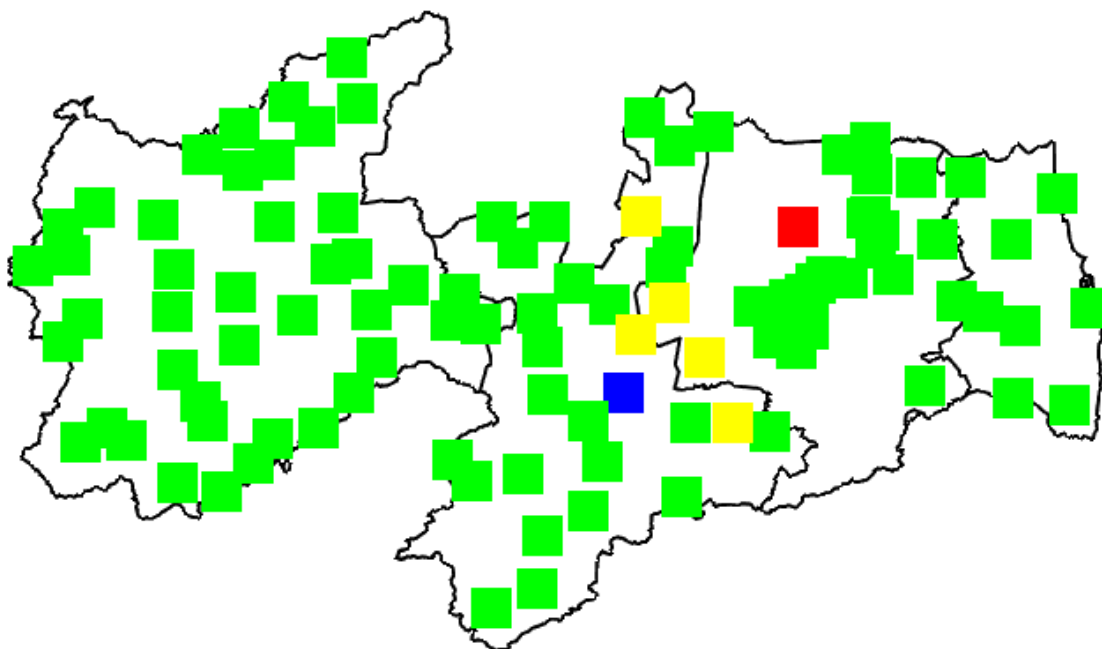
Fonte: Autor

Figura 45 – Valores das séries dos clusters por meio espectro global com os dados da AESA (1998–2018)



Fonte: Autor

Figura 46 – Espacialização dos pontos dos clusters por meio espectro global com os dados da AESA (1998–2018)



Fonte: Autor

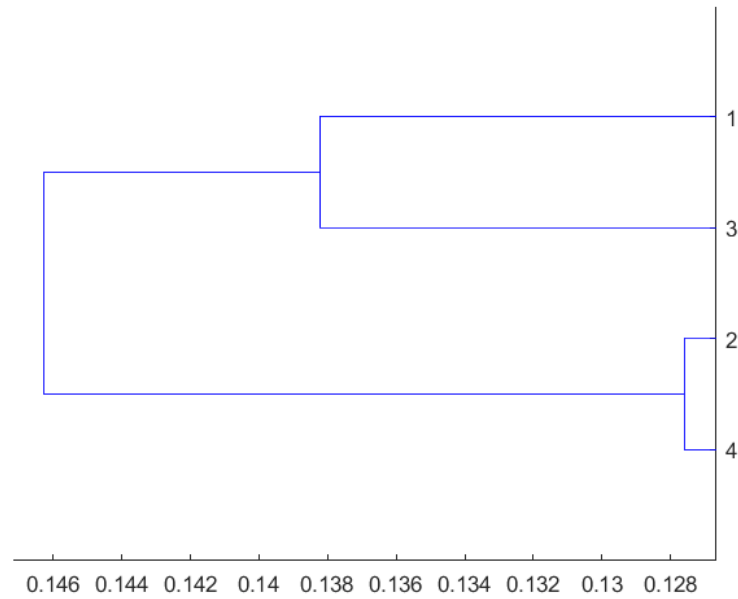
A figura 46 representa a espacialização dos pontos estudados no estado da Paraíba, por meio da clusterização, analisando o espectro global de 1998 - 2018. Percebe-se uma majoritária distribuição do cluster 1 por toda a Paraíba. Cinco pontos representam o cluster 2 no leste do alto da Borborema, dos poucos representantes de outros clusters ainda temos um ponto ao norte do agreste do estado, representando o cluster 3 e um no centro do alto da Borborema representando o cluster 4.

O segundo tipo de clusterização, foi por meio da utilização da variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8-16 da precipitação sobre o estado da Paraíba (Figuras 47,48,49).

Elaborou-se um dendrograma, representando os agrupamentos (Fig.47), em que se percebe grande similaridade entre os clusters 2 e 4, e uma similaridade entre as classes 1 e 3. Percebe-se ainda que o vínculo é mais forte entre as classes 2 e 4 do que entre as classes 1 e 3.

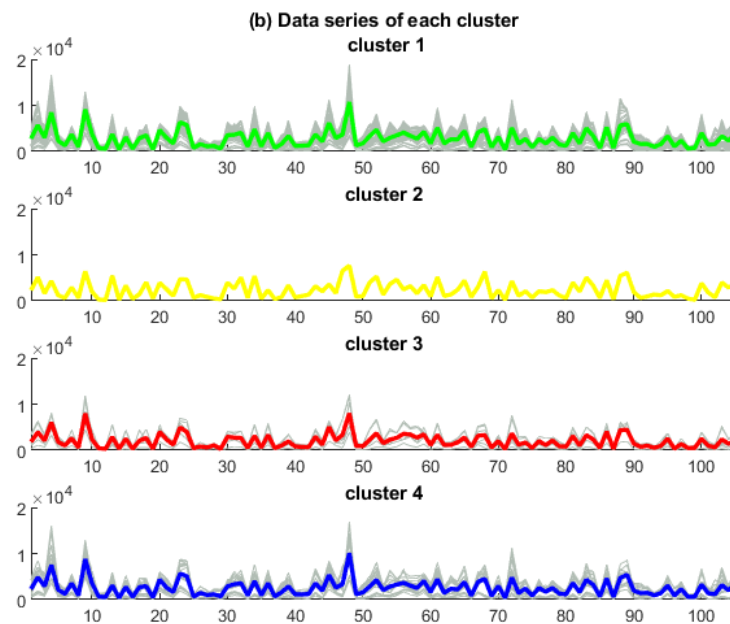
A Figura 48 apresenta os valores da série de cada classe gerada, assim, se torna possível a análise das semelhanças entre os dados presentes em cada cluster.

Figura 47 – Dendrograma da clusterização por meio da utilização da variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8-16 da precipitação sobre o estado da Paraíba com os dados da AESA (1998–2018)



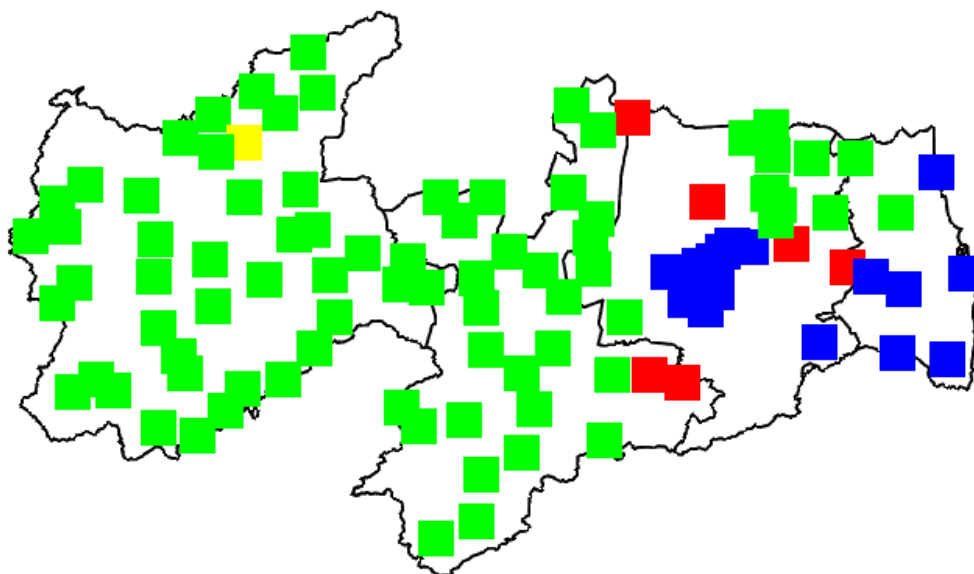
Fonte: Autor

Figura 48 – Valores das séries dos clusters por meio da utilização da variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8-16 da precipitação sobre o estado da Paraíba com os dados da AESA (1998–2018)



Fonte: Autor

Figura 49 – Espacialização dos pontos dos clusters por meio da utilização da variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8–16 da precipitação sobre o estado da Paraíba com os dados da AESA (1998–2018)



Fonte: Autor

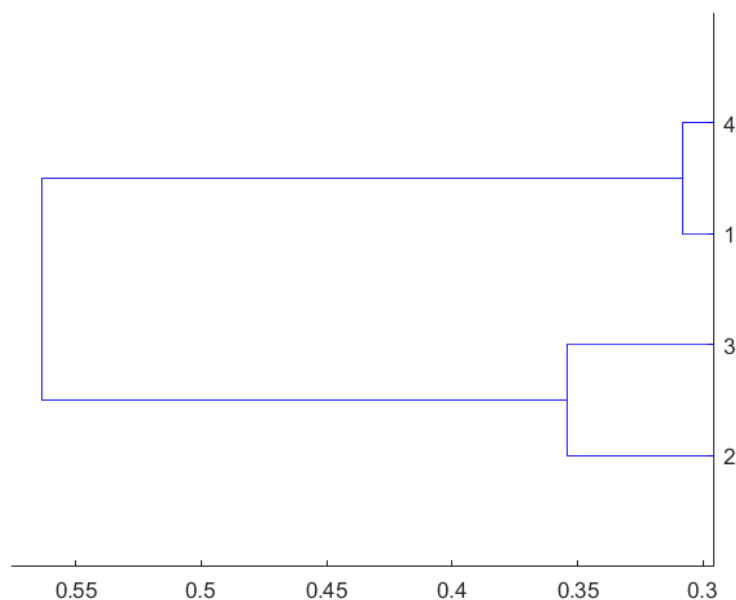
A figura 49 representa a espacialização dos pontos estudados no estado da Paraíba, por meio da clusterização, analisando a variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8-16 da precipitação sobre o estado da Paraíba de 1998 – 2018 com os dados de postos pluviométricos. Percebe-se uma majoritária distribuição do cluster 1 por toda a Paraíba, com ênfase no sertão paraibano. O agreste foi a mesorregião que apresentou maior diversidade quanto ao número de clusters, tendo na sua parte central a presença do cluster 3 e 4, enquanto sua parte nordeste foi predominada pelo cluster 1. Houve uma aparição discreta de apenas um ponto do sertão paraibano do cluster 1. No litoral, predominou-se o cluster 4, além deste houve a presença do cluster 1 que apareceu também no litoral na parte superior que faz divisa com o agreste.

A última análise de clusterização envolvendo os dados dos postos pluviométricos no período de 1998 – 2018 levou em consideração a análise precipitação mensal em todo o estado (Figuras 50, 51 e 52).

Da mesma forma, elaborou-se um dendrograma, representando os agrupamentos (Fig.50), em que se percebe grande similaridade entre os clusters 1 e 4, seguidos pela similaridade das classes 2 e 3.

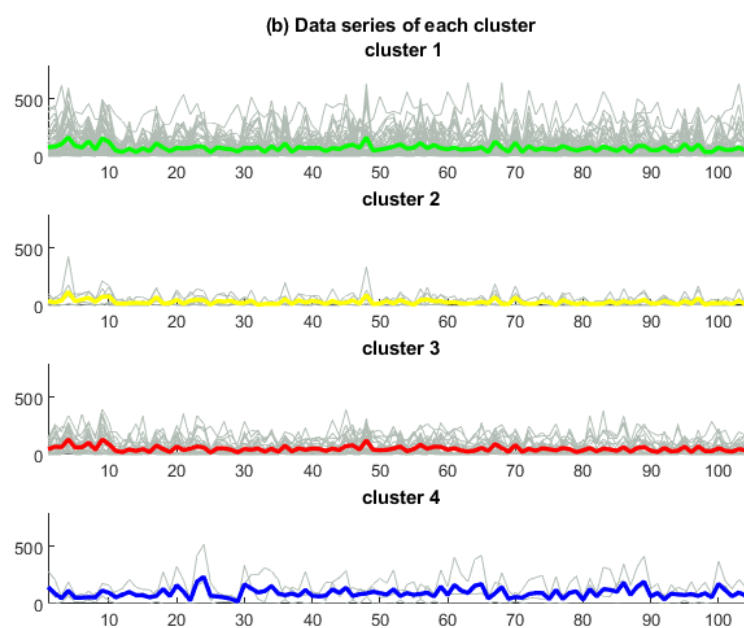
A Figura 51 apresenta os valores da série de cada classe gerada, assim, se torna possível a análise das semelhanças entre os dados presentes em cada cluster.

Figura 50 – Dendrograma da clusterização por meio da utilização da precipitação sobre o estado da Paraíba com os dados da AESA (1998–2018)



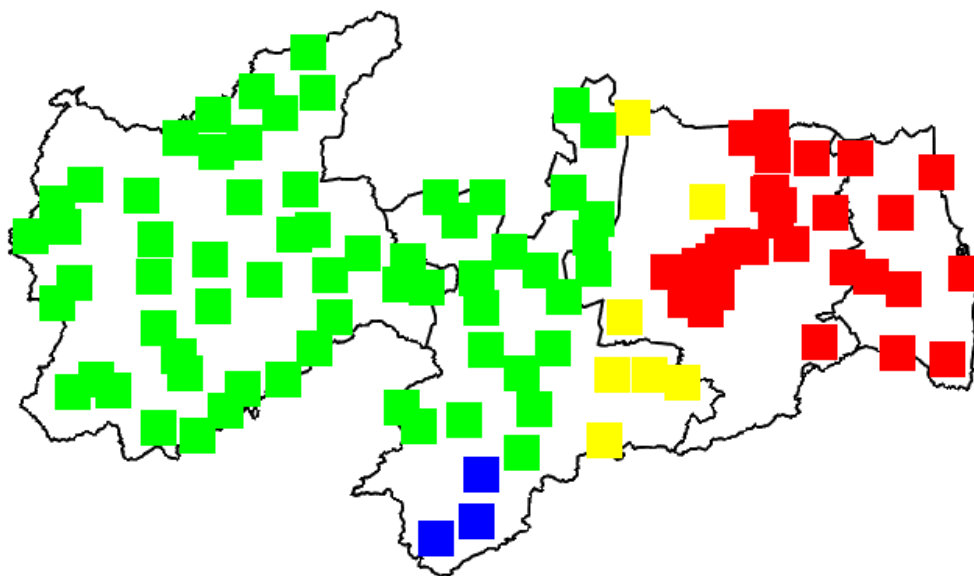
Fonte: Autor

Figura 51 – Valores das séries dos clusters por meio da utilização da precipitação sobre o estado da Paraíba com os dados da AESA (1998–2018)



Fonte: Autor

Figura 52 – Espacialização dos pontos dos clusters por meio da utilização da precipitação sobre o estado da Paraíba com os dados da AESA (1998–2018)



Fonte: Autor

A figura 52 representa a espacialização dos pontos estudados no estado da Paraíba, por meio da clusterização, analisando a precipitação sobre o estado da Paraíba de 1998–2018 com os dados de postos pluviométricos.

Percebe-se uma predominância do cluster 3 no litoral do estado, bem como ao leste do agreste paraibano. Na divisa entre o agreste e o alto da Borborema, há presença do cluster 2, o sertão paraibano e o alto da Borborema são majoritariamente do cluster 1, tendo como exceção apenas o sul do alto da Borborema, que é predominado pelo cluster 4 e a parte sudeste com divisa ao agreste aonde se encontra postos caracterizados como cluster 2.

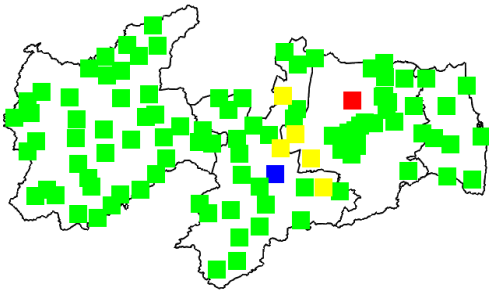
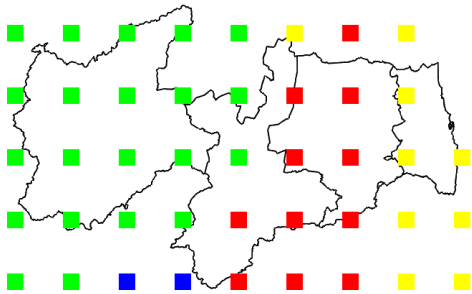
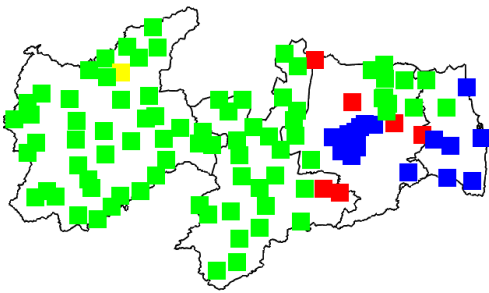
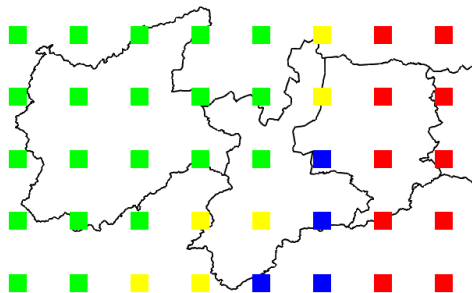
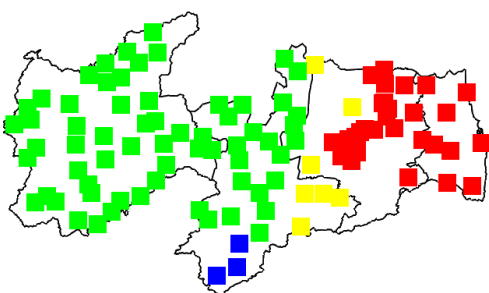
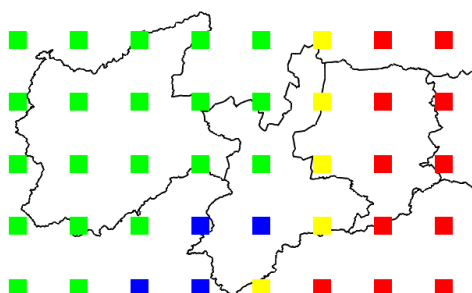
4.4.4 Comparação entre as análises com os dados da AESA (1998-2018) × análises com os dados do CRU (1998–2018)

Quando analisadas e comparadas as clusterizações provenientes da AESA e do CRU, percebe-se uma grande semelhança nos três tipos de análise: utilizando espectro global, a variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8–16 e a precipitação (Fig. 53).

Quando comparado a clusterização feita por meio da análise do espectro global, percebe-se uma predominância de um cluster no sertão da Paraíba, no litoral e em quase todo

o agreste pelos dados da AESA. Já pelo CRU, houve uma maior diversificação, onde foi possível encontrar uma predominância de um determinado cluster no agreste no alto da Borborema de maneira similar ao observado nos dados da AESA. Porém, os dados do CRU mostram uma caracterização diferente para o litoral e para o agreste e voltam a apresentar semelhança com os dados da AESA quando analisado a divisa entre o alto da Borborema e agreste.

Figura 53 – Quadro Comparativo das clusterizações realizadas com os dados da AESA 1998-2018) × CRU (1998–2018)

Tipo de Análise	Dados da AESA (1998–2018)	Dados do CRU (1998–2018)
Espectro Global		
Variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8-16		
Precipitação Mensal		

Fonte: Autor

Figura 54 – Quadro Comparativo das clusterizações realizadas com os dados do CRU (1920 – 2019) × CRU (1998–2018)

<i>Tipo de Análise</i>	<i>Dados do CRU (1998–2018)</i>	<i>Dados do CRU (1920–2019)</i>
<i>Espectro Global</i>		
<i>Variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8-16</i>		
<i>Precipitação Mensal</i>		

Fonte: Autor

Utilizando a variabilidade espaço temporal mensal das bandas 8-16 como parâmetro de análise, verificou-se uma similaridade muito grande entre o estudo feito com os dados da AESA e do CRU. Percebe-se uma predominância de um cluster em grande parte do sertão paraibano e no alto da Borborema em ambas as análises, uma maior variabilidade dos tipos de cluster no agreste e uma predominância no litoral de apenas um grupo.

Em termos de similaridade, o tipo de análise que demonstrou ser mais parecido nos resultados das análises de cluster entre os dados obtidos da AESA e os dados obtidos do CRU, foi a análise realizada com a utilização da precipitação mensal. Quando comparados os

mapeamentos feitos com as duas fontes de dados distintas, nota-se a predominância de um cluster no sertão paraibano e no leste do alto da Borborema, a mata paraibana caracterizada por outro cluster em toda a sua extensão, o agreste dividido em 2 tipos de cluster um caracterizando as regiões mais próximas do litoral e outro as regiões próximas à fronteira com a mesma região do alto da Borborema e um cluster distinto do sul do alto da Borborema. Todas essas características foram demonstradas em ambas as análises.

Dessa forma, os dados provenientes do CRU mostraram comportamento muito similar aos provenientes de postos pluviométricos já corrigidos pela AESA, o que implica em uma grande confiabilidade acerca de tal fonte de dados. Os dados do CRU acabam abrangendo um período muito maior de tempo e podem trazer informações mais completas como as que foram apresentadas nos itens 4.1 e 4.4.1.

5 CONCLUSÃO

Através das análises realizadas por meio da transformada *wavelet*, tornou-se possível a identificação de frequências existentes nas séries temporais analisadas em toda Paraíba, além disso, esta abordagem permitiu também a identificação de quando cada uma ocorreu. A representação de um comportamento periódico anual, identificado ainda na análise dos hietogramas, foi reafirmada por meio de uma análise mais profunda com a construção dos espectros de potências *wavelet*.

Dessa forma, notou-se uma forte presença de uma frequência nas bandas de 8-16 meses na região da Paraíba, quando analisados 100 anos de dados provenientes do CRU, o que representa uma periodicidade anual das chuvas, tal comportamento obteve grande significância por meio das análises em todos os 43 pontos estudados. Outro comportamento que se repetiu por toda a região, mas de menor intensidade, foi aparição de frequências nas bandas que variam de 0-8 meses. Houve também, em algumas regiões, uma periodicidade de baixa frequência representada por uma escala entre 32 e 128 meses.

Tendo em vista as variações de intensidade das precipitações ao longo da Paraíba, o surgimento de periodicidade de baixa frequência em alguns dos pontos estudados e de alta frequência em vários outros, foi possível subdividir e regionalizar a Paraíba utilizando a clusterização tendo como base 3 aspectos distintos.

A presença de frequência anual também foi um ponto em comum nas análises de 1998-2018 de ambas as fontes de dados CRU e AESA. Houve aparição de frequências nas bandas que variam de 0-8 meses. Ademais, em algumas regiões, notou-se uma periodicidade de baixa frequência representada por uma escala entre 32 e 128 meses na Paraíba.

Quando analisadas as espacializações das clusterizações realizadas através de dados da AESA e as realizadas por dados do CRU, os resultados mostraram comportamentos muito similares aos provenientes de postos pluviométricos já corrigidos pela AESA, o que implica em uma grande confiança acerca de tal fonte de dados.

Destaca-se a grande similaridade entre os resultados obtidos na clusterização a partir dados da AESA e a partir do CRU quando o parâmetro utilizado foi a própria precipitação mensal. Tal constatação reitera a credibilidade e confiabilidade dos dados obtidos por meio do CRU.

Assim, torna-se possível utilizar uma quantidade de dados muito maior do que as disponibilizadas pela AESA, permitindo a realização de análises como as feitas nos itens 4.1 e 4.4.1, as quais proporcionam a regionalização espaço temporal da precipitação do estado, através de 100 anos de dados.

Por fim, esse estudo conseguiu por meio das interpretações das transformadas *wavelet* e da própria precipitação, regionalizar o estado da Paraíba de acordo com as características espaço temporais da precipitação. Além disso, demonstrou-se a confiabilidade da utilização de dados CRU por meio da comparação entre os resultados obtidos das clusterizações de dados provenientes da AESA, já previamente corrigidos, e dados do CRU, em que se percebe imensa similaridade nos resultados.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDISON, Paul S. The illustrated wavelet transform handbook: introductory theory and applications in science, engineering, medicine and finance. CRC press, 2017.
- ALMEIDA, H. A. de. Probabilidade de ocorrência de chuvas no Sudeste da Bahia. Ilhéus, CEPLAC/CEPEC. Boletim Técnico, n.182. 32p. 2001.
- ANDERSON, T. W. An introduction to multivariate statistical analysis, New York: John Wiley & Sons, 1984, 675 p
- BELARMINO, M. N. Geografia: textos, contextos e pretextos para o planejamento ambiental. 1. ed. Guarabira, PB: Gráfica São Paulo, 2003.
- BIRSAN, M. V. et al. Streamflow trends in Switzerland. Journal of Hydrology, v. 314, n. 1–4, p. 312–329, 2005.
- BRANDÃO, A. M. Clima Urbano e Enchentes na Cidade do Rio de Janeiro. In. GUERRA, A. J.T.; CUNHA, S. B. da. (orgs.) Impactos Ambientais Urbanos no Brasil. 3ª Ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2005.
- BRASIL NETO, R. M. Avaliação da seca e de suas características sobre o estado da Paraíba utilizando dados trmm e de pluviômetros (1998–2017). Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 2020.
- BUSSAB, W. DE O; MIAZAKI, E. S; ANDRADE, D. Introdução à análise de agrupamentos. São Paulo: Associação Brasileira de Estatística, 1990. 105p
- Cao Y., Zhang W. e Wang W. 2018. Evaluation of TRMM 3B43 data over the Yangtze River Delta of China. Scientific Reports, 8(1), 5290–5301. doi: 10.1038/s41598-018-23603-z
- Climate Research. Alemanha: , v.20, 9-17, 2002. Wang, B. e Wang, Y. (1996) Temporal structure of the Southern Oscillation as revealed by waveform and wavelet analysis, Journal of Climate, 9, 1586-1598.
- CORRAR, Luiz J.; PAULO, Edílson; DIAS FILHO, José Maria (Coords.). Análise multivariada: para os cursos de administração, ciências contábeis e economia. São Paulo: Atlas, 2007. 541 p.
- Curtarelli M.P., Renno C.D. e Alcantara E.H. 2014. Evaluation of the Tropical Rainfall Measuring Mission 3B43 product over an inland area in Brazil and the effects of satellite boost on rainfall estimates. Journal of Applied Remote Sensing, 8(14), 1–14. doi: 10.1117/1.JRS.8.083589
- Dee, D. P., Balmaseda, M., Balsamo, G., Engelen, R., Simmons, A. J., & Thépaut, J.-N. (2014). Toward a Consistent Reanalysis of the Climate System, Bulletin of the American Meteorological Society, 95(8), 1235-1248. Retrieved Nov 3, 2021, from <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/95/8/bams-d-13-00043.1.xml>
- DEE, D., FASULLO, J., SHEA, D., WALSH, J. The climate data guide: atmospheric reanalysis: overview & comparison tables. Disponível em . Acesso em 03/11/2021

EVANS, A. D.; BENNETT, J. M.; EWENZ, C. M. South Australian rainfall variability and climate extremes. *Climate Dynamics*, v. 33, n. 4, p. 477–493, 2009.

Farhangi M., Kholghi M. e Chavoshian S.A. 2016. Rainfall Trend Analysis of Hydrological Subbasins in Western Iran. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 142(10), 1–11. doi: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001040

Foufoula-Georgiou, E. e Kumar, P. (1995) *Wavelets in Geophysics*. Academic Press.
Grossman, A.; Morlet, J. Decomposition of Hardy functions into square integrable wavelets of constant shape. *SIAM J. Math. Anal.*, 15, 1984. 723736.

GOOVAERTS, P. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *Journal Of Hydrology*, Michigan, (228-2), pp. 113-129. 2000

Harris I., Osborn T.J., Jones P., Lister D. 2020. Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Scientific Data*, 7, 109. doi: 10.1038/s41597-020-0453-3

Jiang, J., Zhang, D. e Fraedrich, K. (1997) Historical Climate Variability of Wetness in East China (1960-1992): A Wavelet Analysis, *International Journal of Climatology*, 17, 969-981.

MANATSA, D.; CHINGOMBE, W.; MATARIRA, C. H. The impact of the positive Indian Ocean dipole on Zimbabwe droughts Tropical climate is understood to be dominated by. *International Journal of Climatology*, v. 2029, n. March 2008, p. 2011–2029, 2008

MOREIRA, E. R. F. Mesorregiões e Microrregiões da Paraíba: delimitação e caracterização. João Pessoa, PB: Gaplan, 1988.

PASSOS, J. S. A. Variabilidade Espaço Temporal da precipitação do Alto São Francisco Sub-40 utilizando dados do sensor PR/TRMM. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba. Joao Pessoa, Paraíba, 2015.

Pereira G., Silva M.E.S., Moraes E.C. e Cardozo F.S. 2013. Avaliação dos Dados de Precipitação Estimados pelo Satélite TRMM para o Brasil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 18(3), 139–148. doi: 10.21168/rbrh.v18n3.p139-148

Rao V.B., Franchito S.H., Santo C.M.E. e Gan M.A. 2015. An update on the rainfall characteristics of Brazil: seasonal variations and trends in 1979–2011. *International Journal of Climatology*, 36(1), 291–302. doi: 10.1002/joc.4345

RASHID, M.M., Beecham, M., Chowdhury, R.K., 2015. Assessment of trends in point rainfall using Continuous Wavelet Transforms. *Adv. Wat Res.*, 82, 1-15.

SANTOS, C. A. G. et al. Cluster analysis applied to spatiotemporal variability of monthly precipitation over Paraíba state using tropical rainfall measuring mission (TRMM) data. *Remote Sensing*, v. 11, n. 6, 2019.

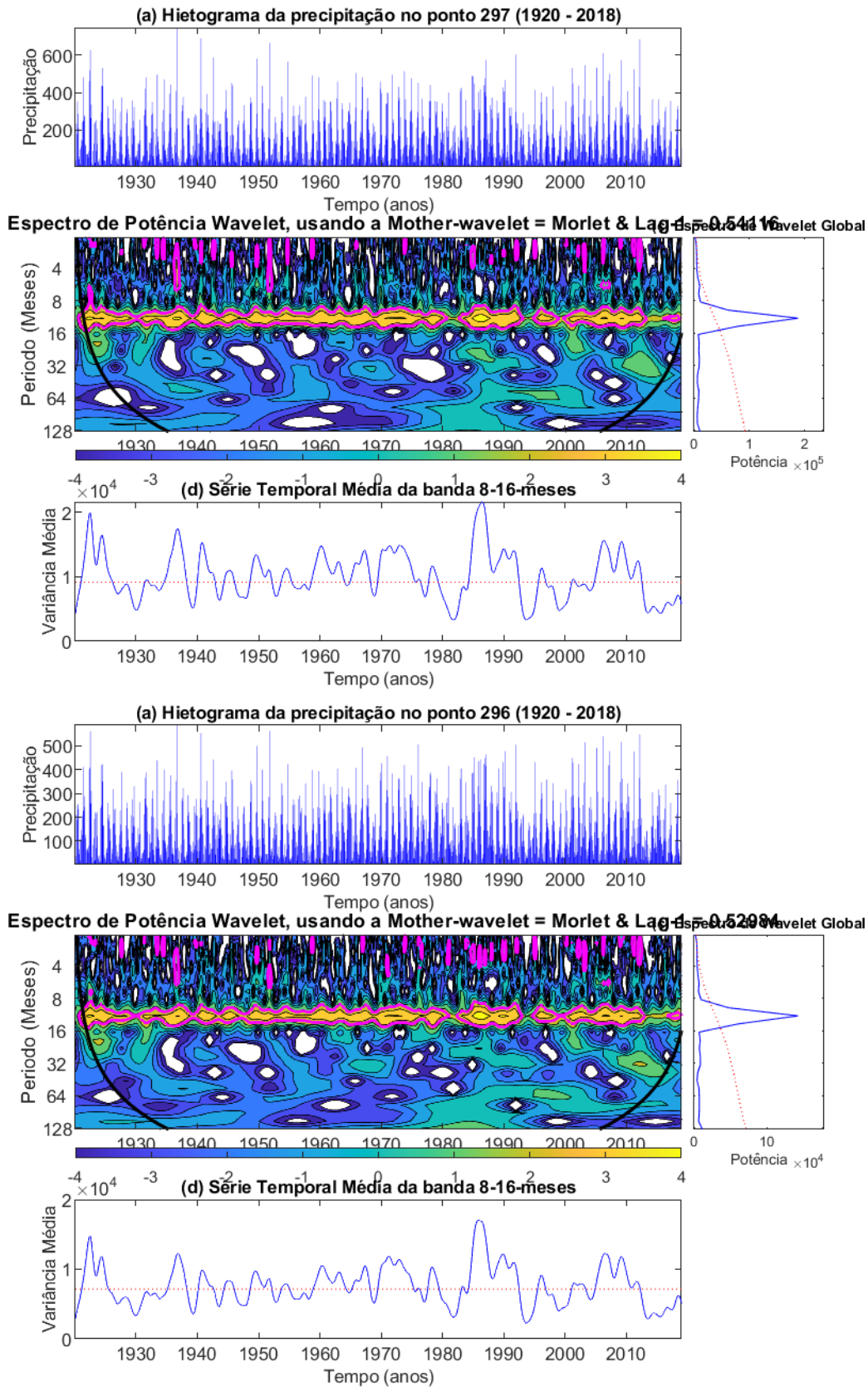
SANTOS, C.; FREIRE, P.; TORRENCE, C. A Transformada Wavelet e sua Aplicação na Análise de Séries Hidrológicas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 18, n. 3, p. 271–280, 2013

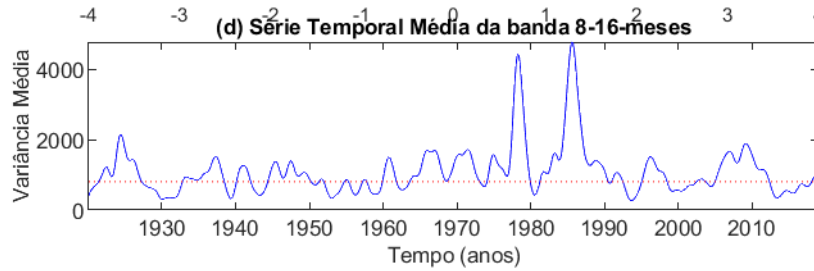
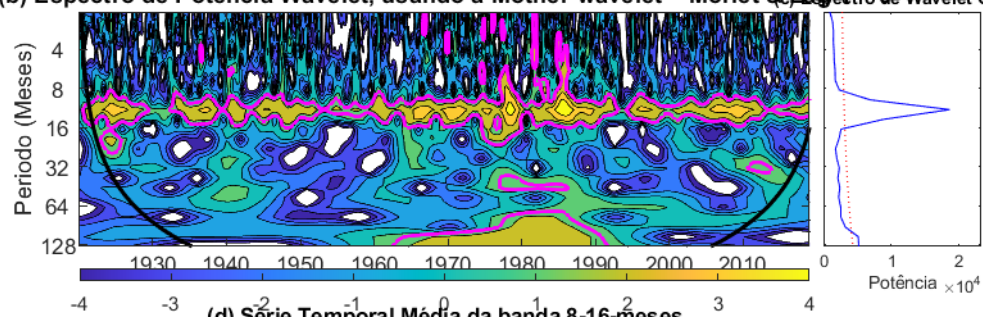
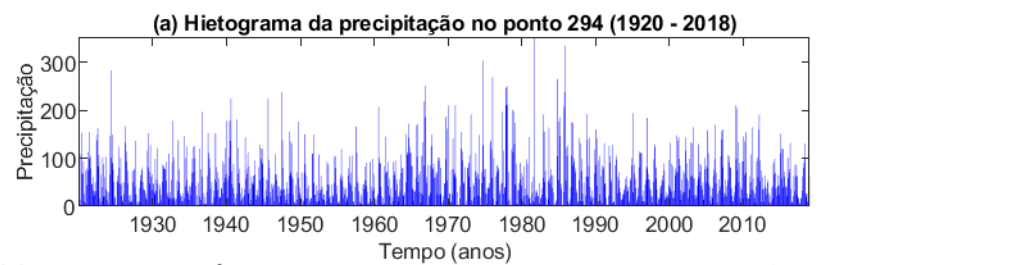
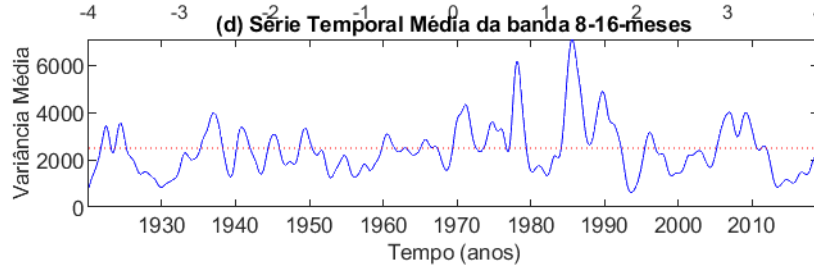
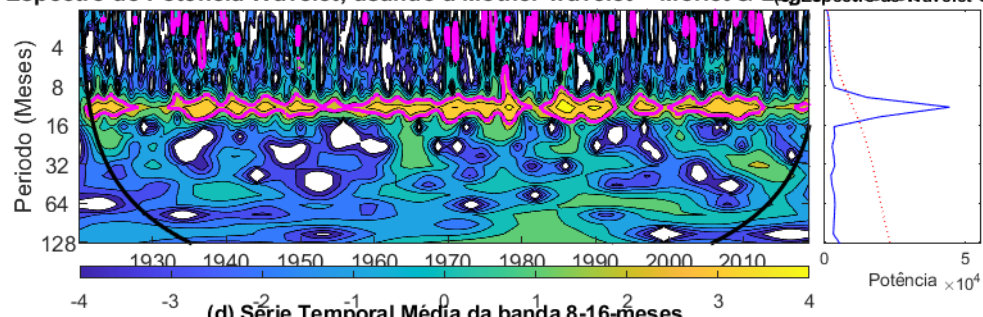
SANTOS, C. A. G., GALVÃO, C. O., SUZUKI, K., TRIGO, R. M. Matsuyama city rainfall data analysis using wavelet transform. *Proceedings of Hydraulic Engineering*, Tokyo, v. 45, 211-216, 2001.

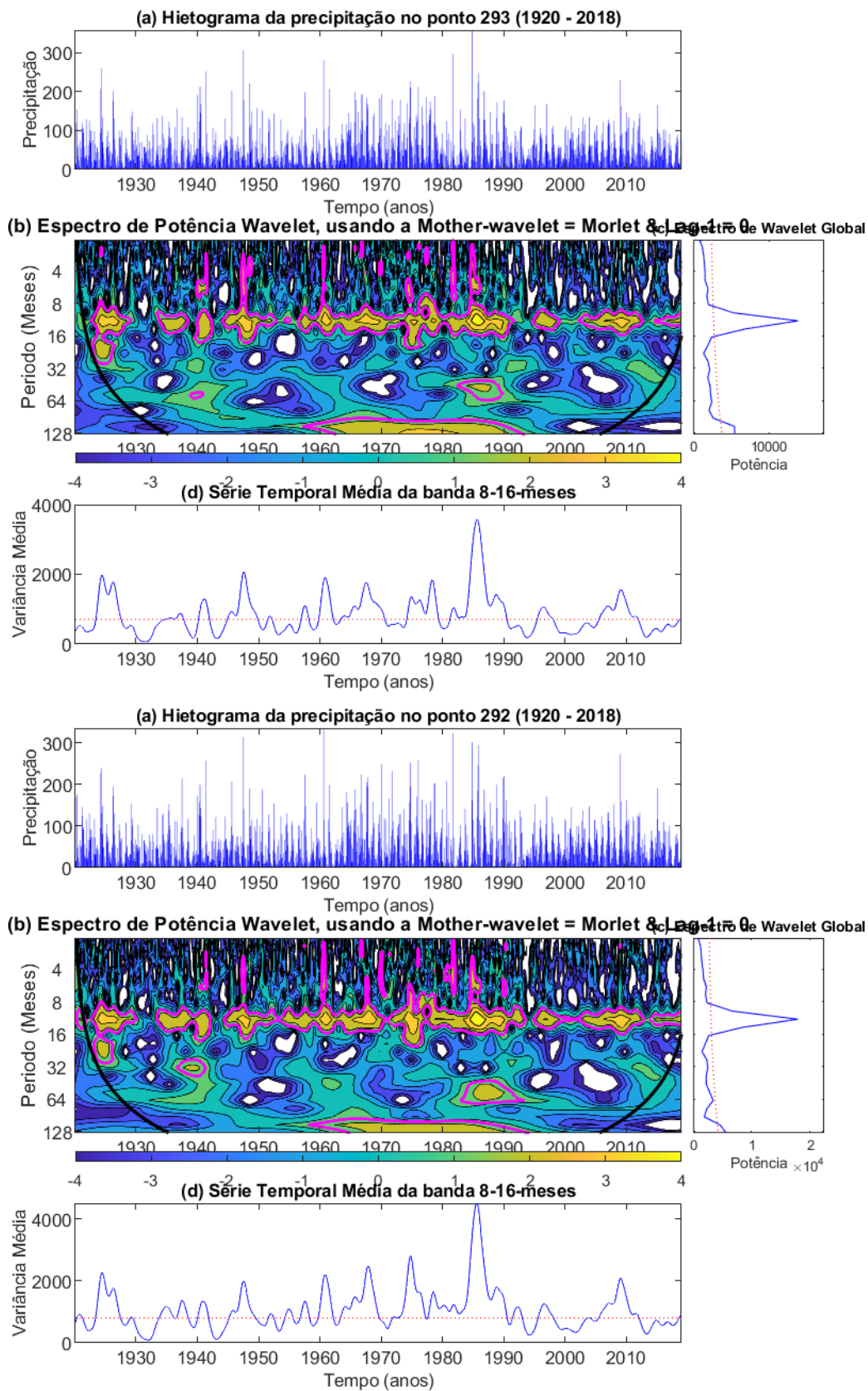
- Schneider U., Ziese M., Meyer-Christoffer A., Finger P., Rustemeier E. e Becker A. 2016. The new portfolio of global precipitation data products of the Global Precipitation Climatology Centre suitable to assess and quantify the global water cycle and resources. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 374, 29–34. doi: 10.5194/piahs-374-29-2016
- SILVA, L., ALMEIDA, H. A., COSTA FILHO, J. F. Captação de água de chuvas na zona rural: uma alternativa para a convivência no semiárido nordestino. In: *Simpósio de Captação de água de chuvas no semiárido*, 5, Teresina, PI. CD-ROM, 2005
- SILVA, T. L. G. Método Estatístico de Análise de Cluster Aplicado aos dados de uma Associação de Proteção Veicular. 2013. 42 p. Monografia (Especialização) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, Belo Horizonte, 2013.
- Soares A.S.D., Da Paz A.R e Piccilli D.G.A. 2016. Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 21(2), 288–299. doi: 10.21168/rbrh.v21n2.p288-299
- SOARES, A. S. D. Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 21, n.2, p.288-299.
- SOARES, A.; PAZ, A.; PICCILLI, D. Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba / Assessment of rainfall estimates of TRMM satellite on Paraíba state. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 21, n. 2, p. 288–299, 2016
- Teodoro P.E., Oliveira-Júnior J.F., Cunha E.R., Correa C.C.G., Torres F.E., Bacani V.M., Gois G. e Ribeiro L.P. 2016. Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Mato Grosso do Sul State, Brazil. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 128(2), 197–209. doi: 10.1007/s00703-015-0408-y
- Terink W., Leijnse H., Eertwegh G. e Uijlenhoet R. 2018. Spatial resolutions in areal rainfall estimation and their impact on hydrological simulations of a lowland catchment. *Journal of Hydrology*, 563, 319–335. doi: 10.1016/j.jhydrol.2018.05.045
- TORRENCE, C. e COMPO, G.P. A practical guide to wavelet analysis. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) - Ehime University. (1998)
- Tucci C.E.M. 2001. Hidrologia: ciência e aplicação. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul–ABRH, Porto Alegre, 943 p.
- Unal Y., Kindap T. e Karaca M. 2003. Redefining the climate zones of Turkey using cluster analysis. *International Journal of Climatology*, 23(9), 1045–1055. doi: 10.1002/joc.910
- VALENS, C. A Really Friendly Guide to Wavelets, 1999. Disponível em: <http://math.ecnu.edu.cn/~qgu/friendintro.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2020.
- WMO, World Meteorological Organization, 1994. Guide to Hydrological Practices: Data Acquisition and Processing, Analysis, Forecasting and Other Applications.

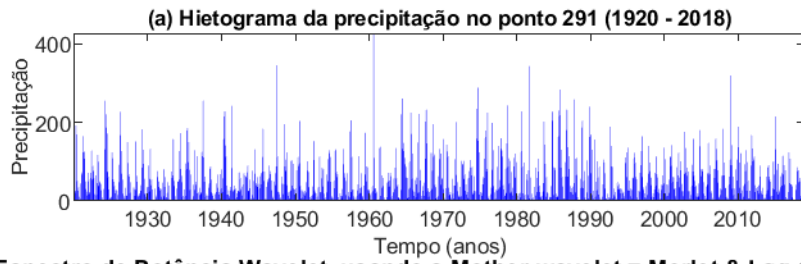
APÊNDICES

DADOS PROVENIENTES DO CRU DE (1920 – 2019) – TODOS OS PONTOS

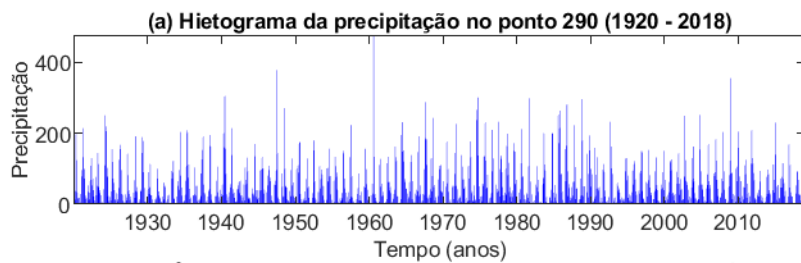
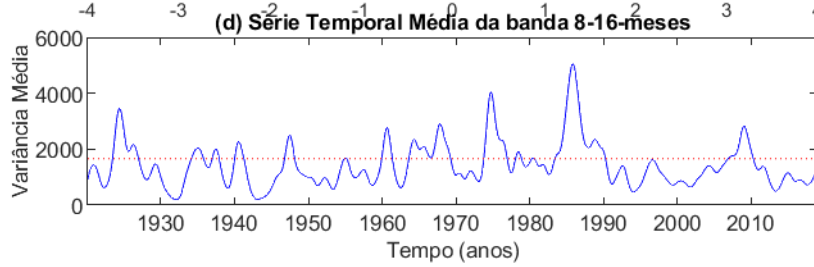
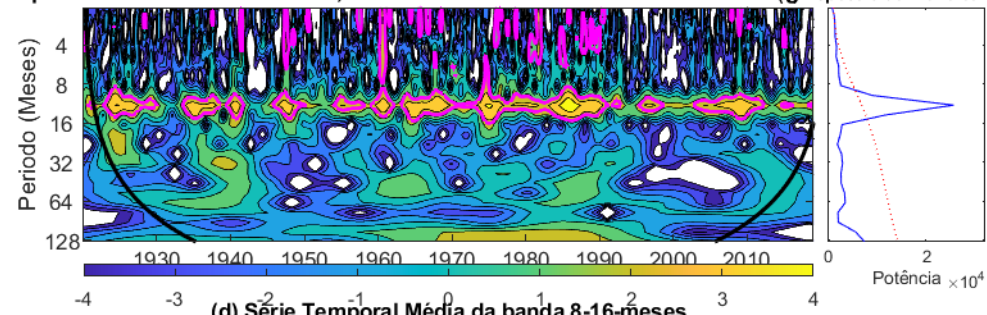




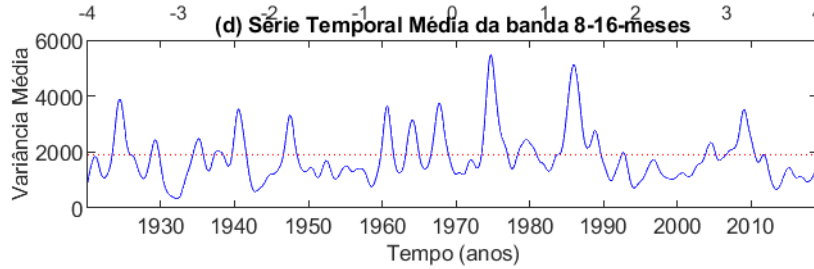
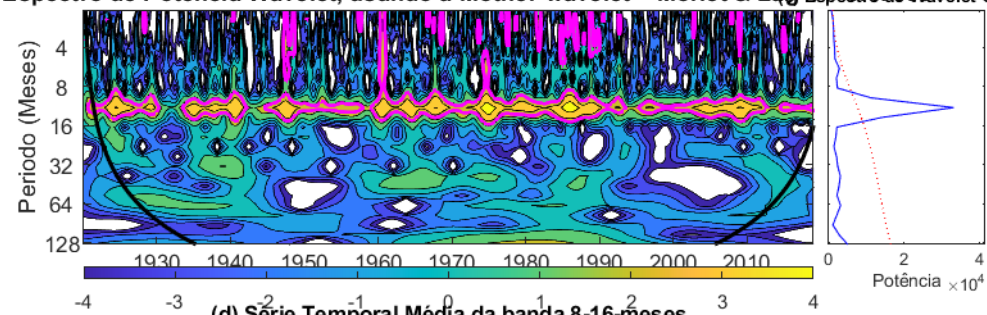


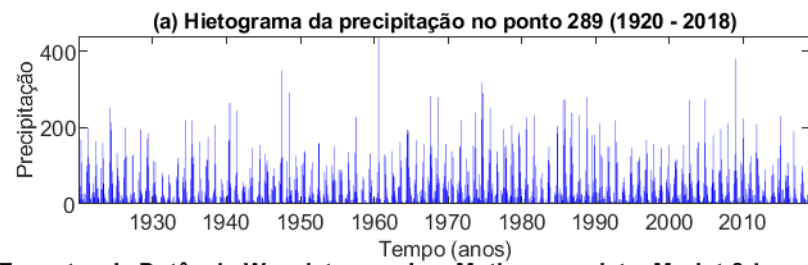


Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.46376

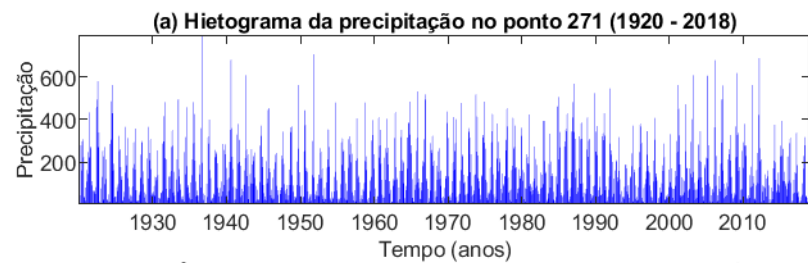
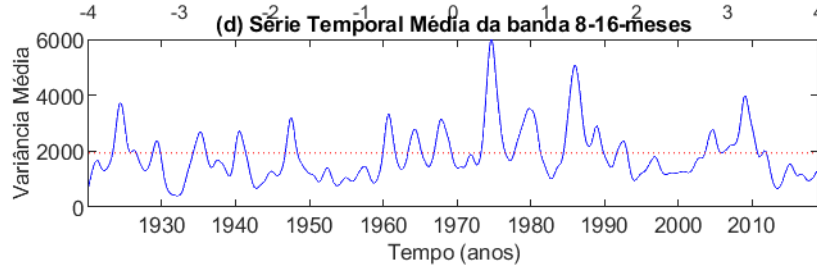
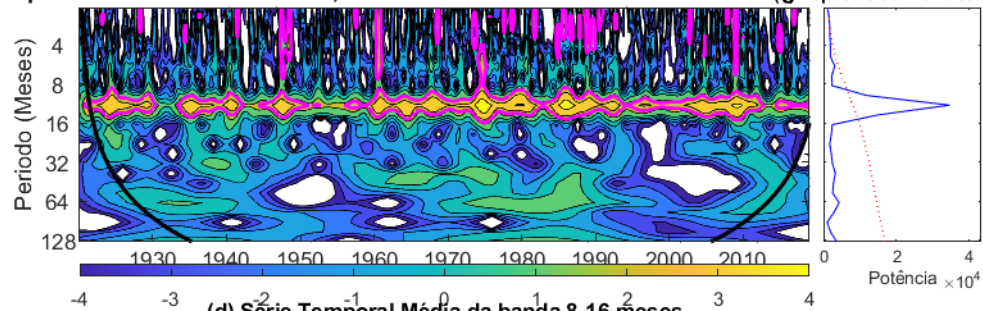


Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.47582

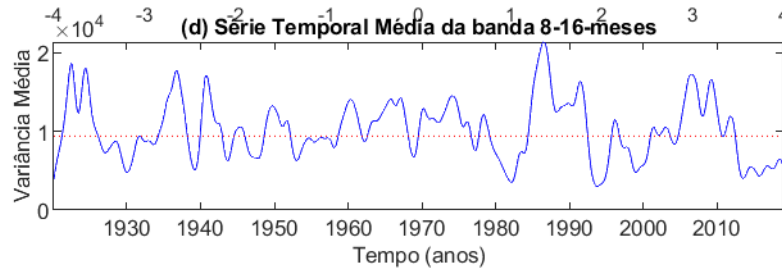
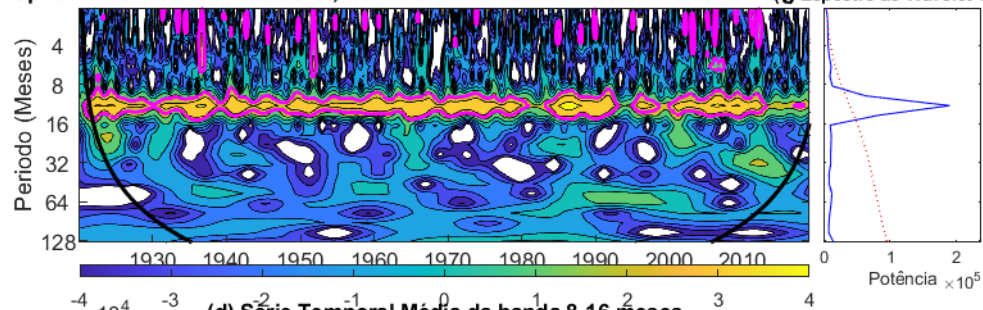


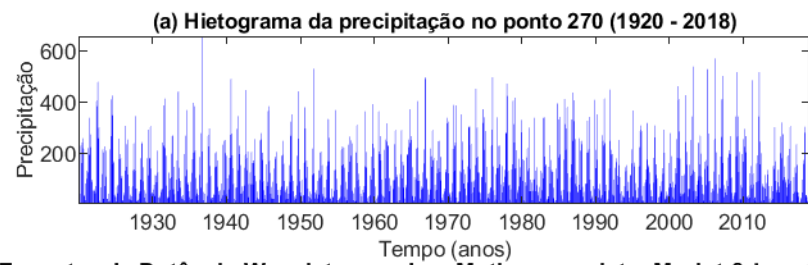


Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.47394

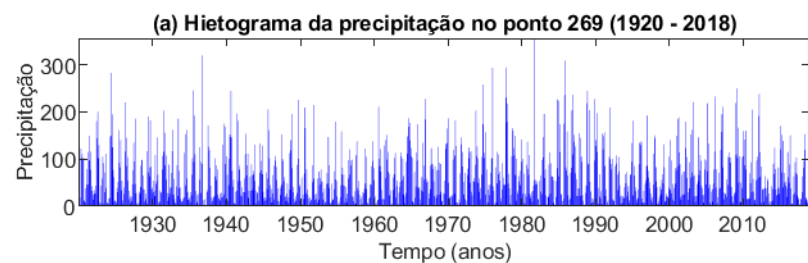
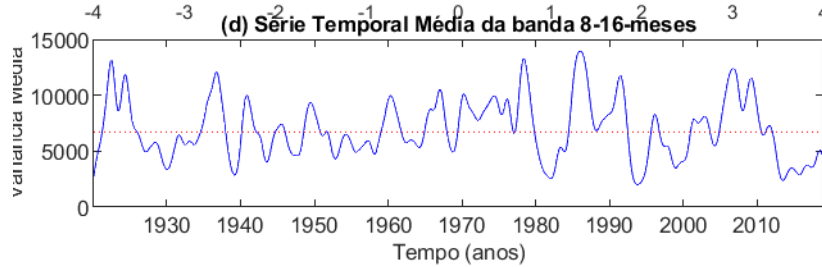
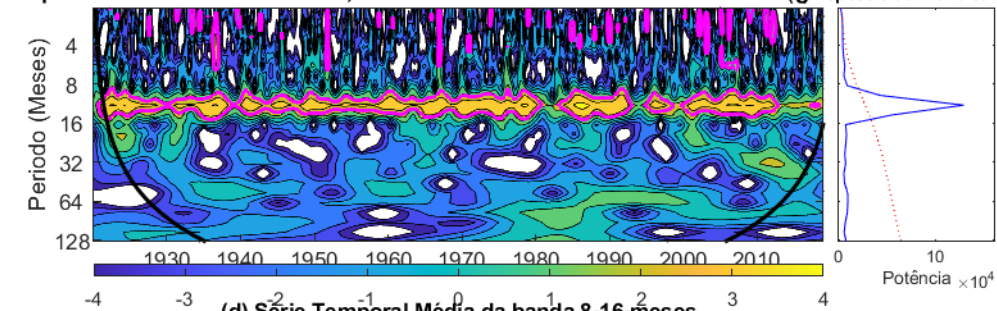


Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.53636

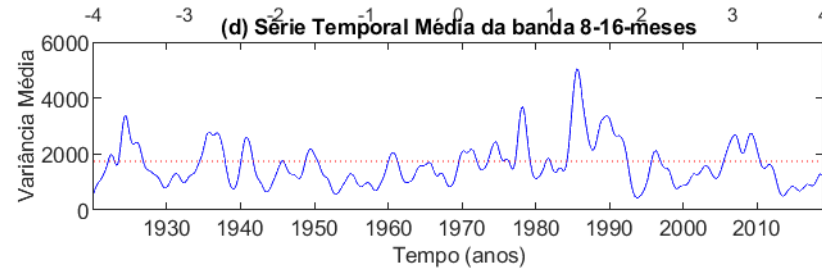
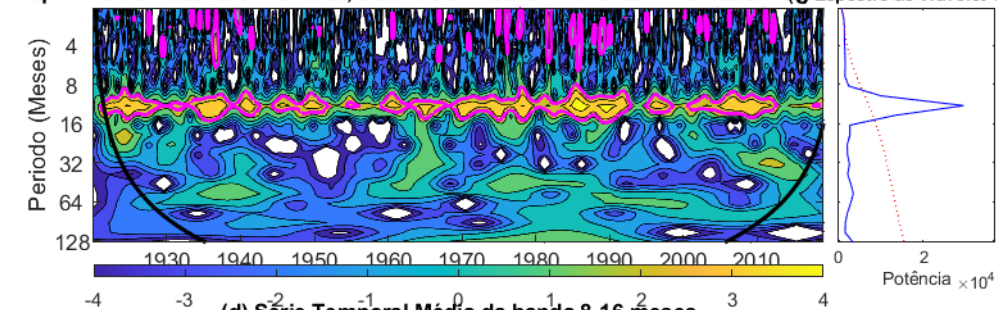


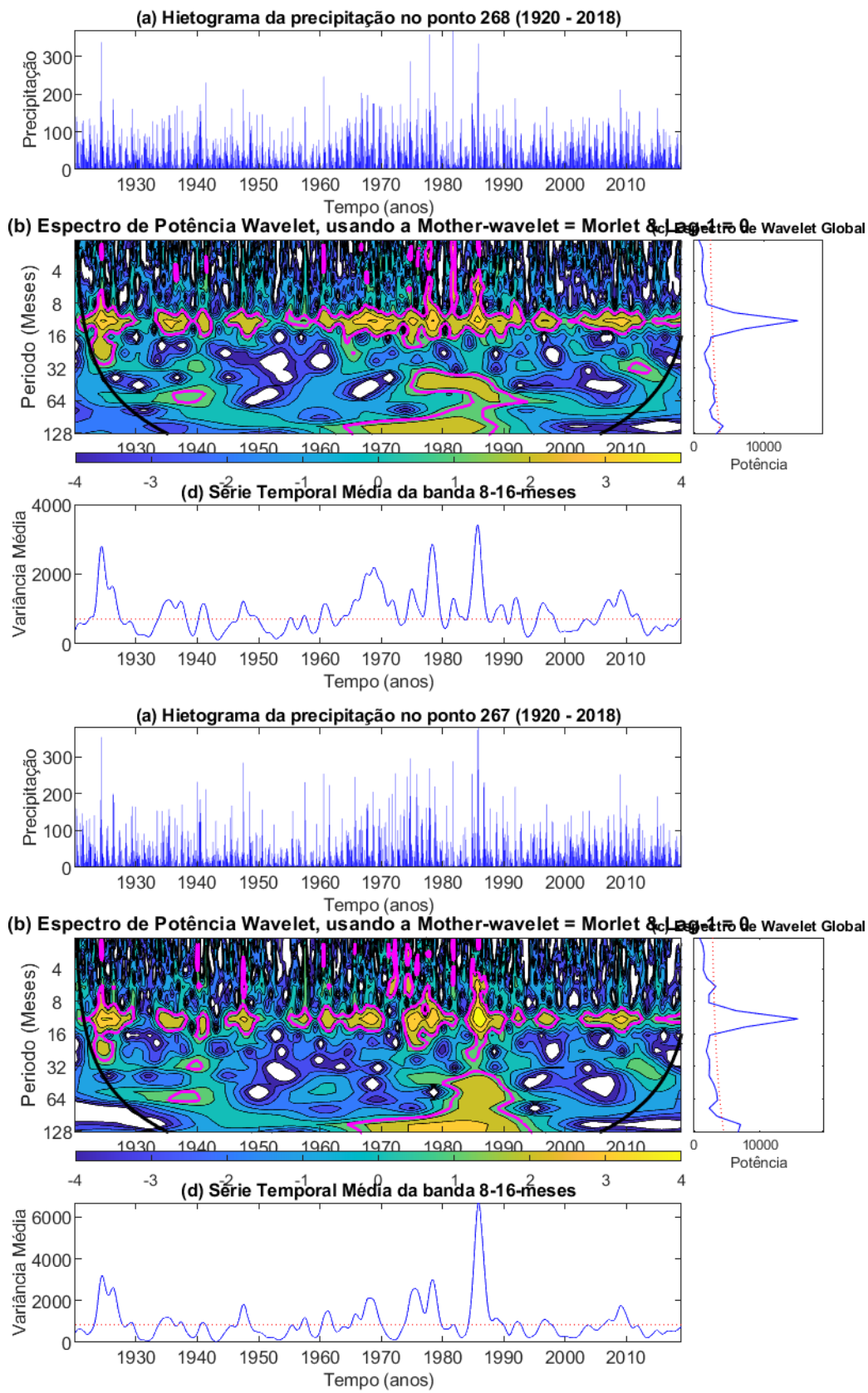


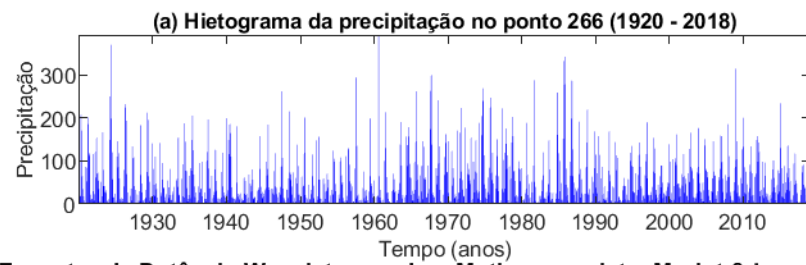
Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.51847



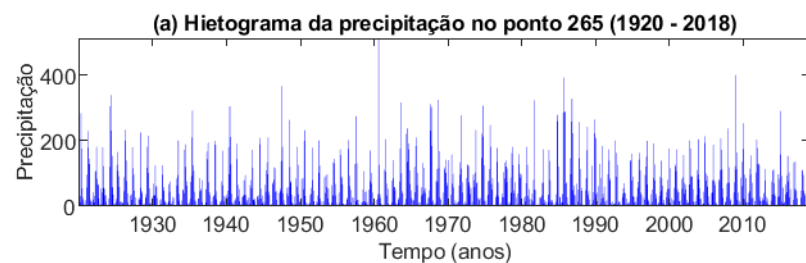
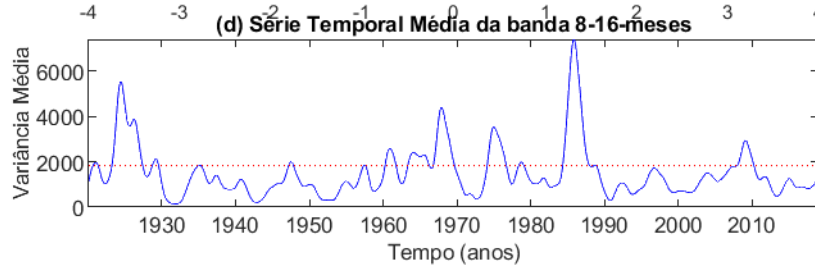
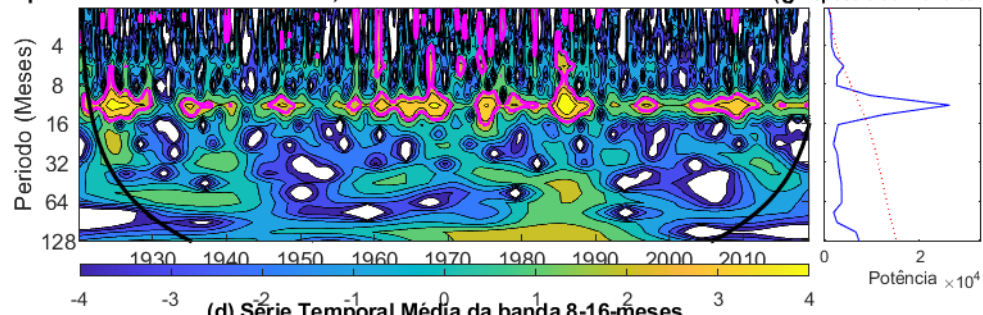
Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.48397



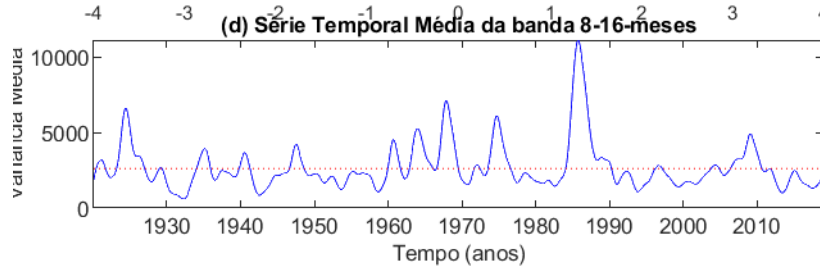
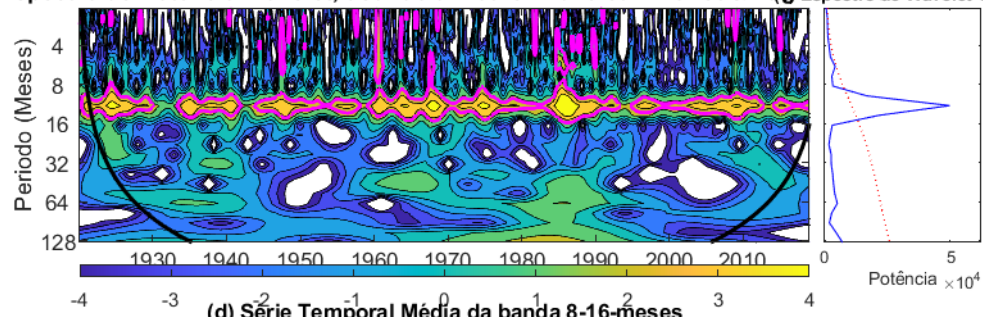


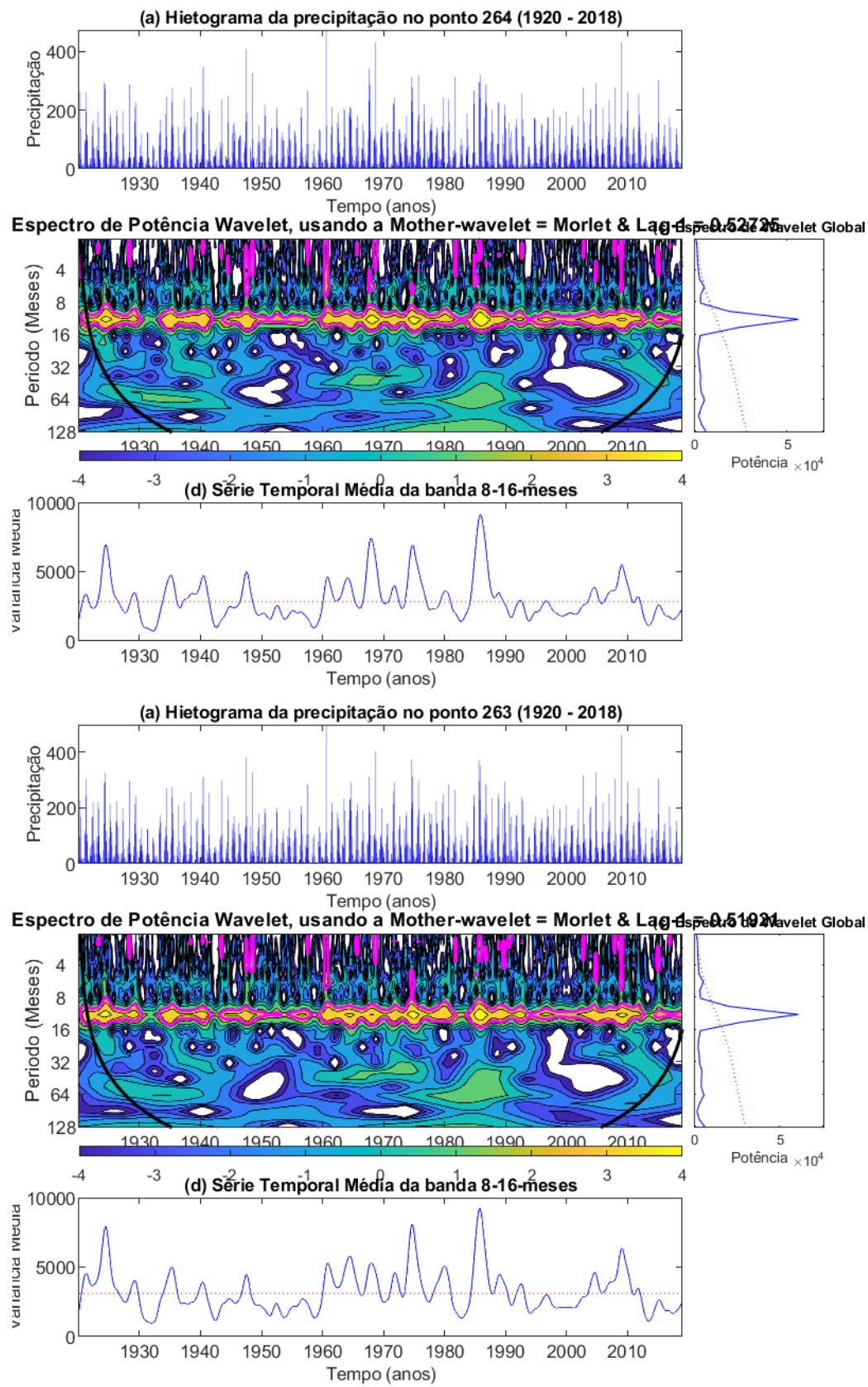


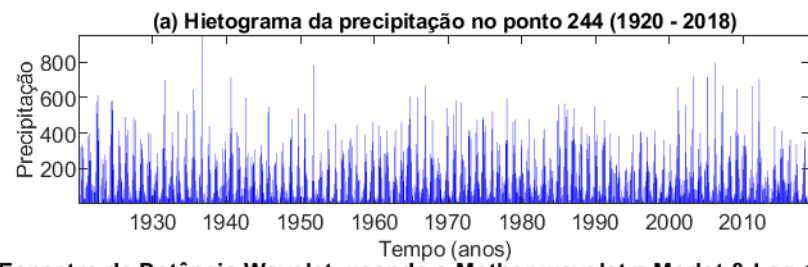
Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.45221



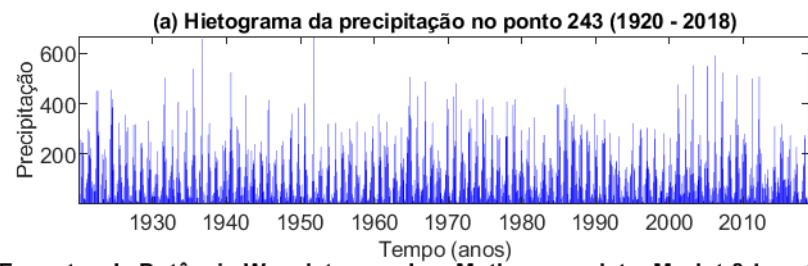
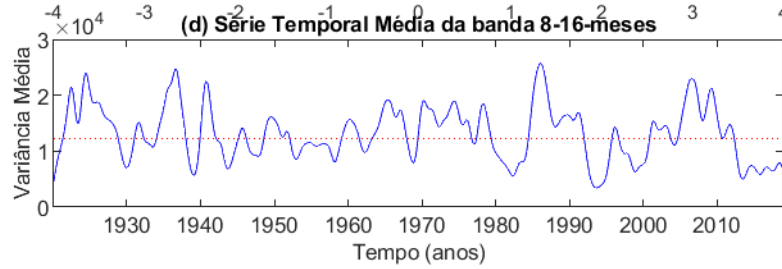
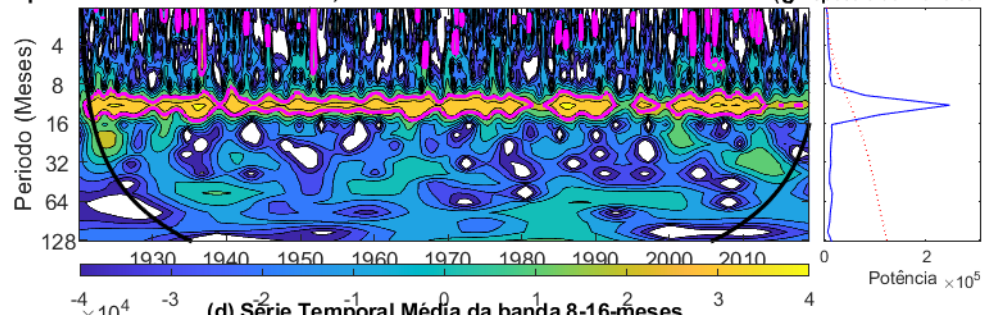
Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.53071



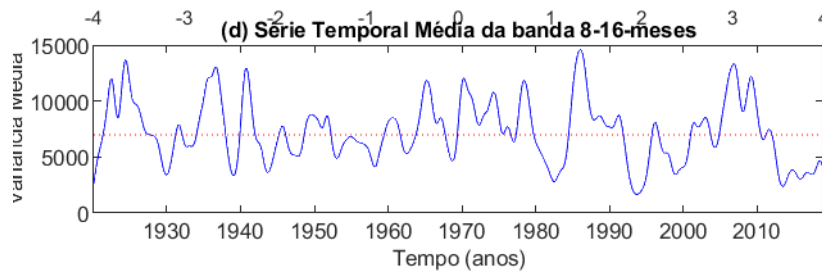
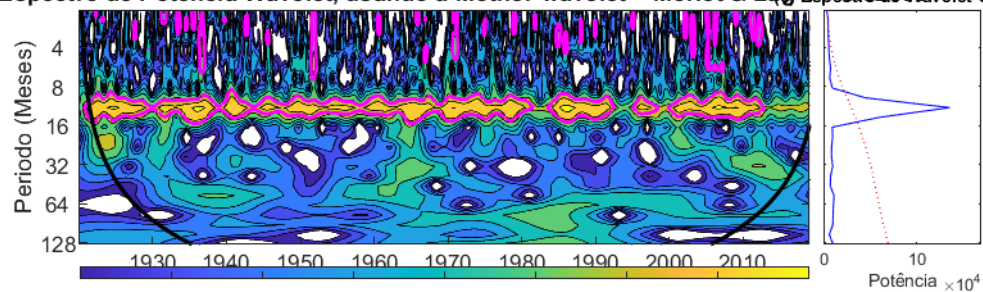


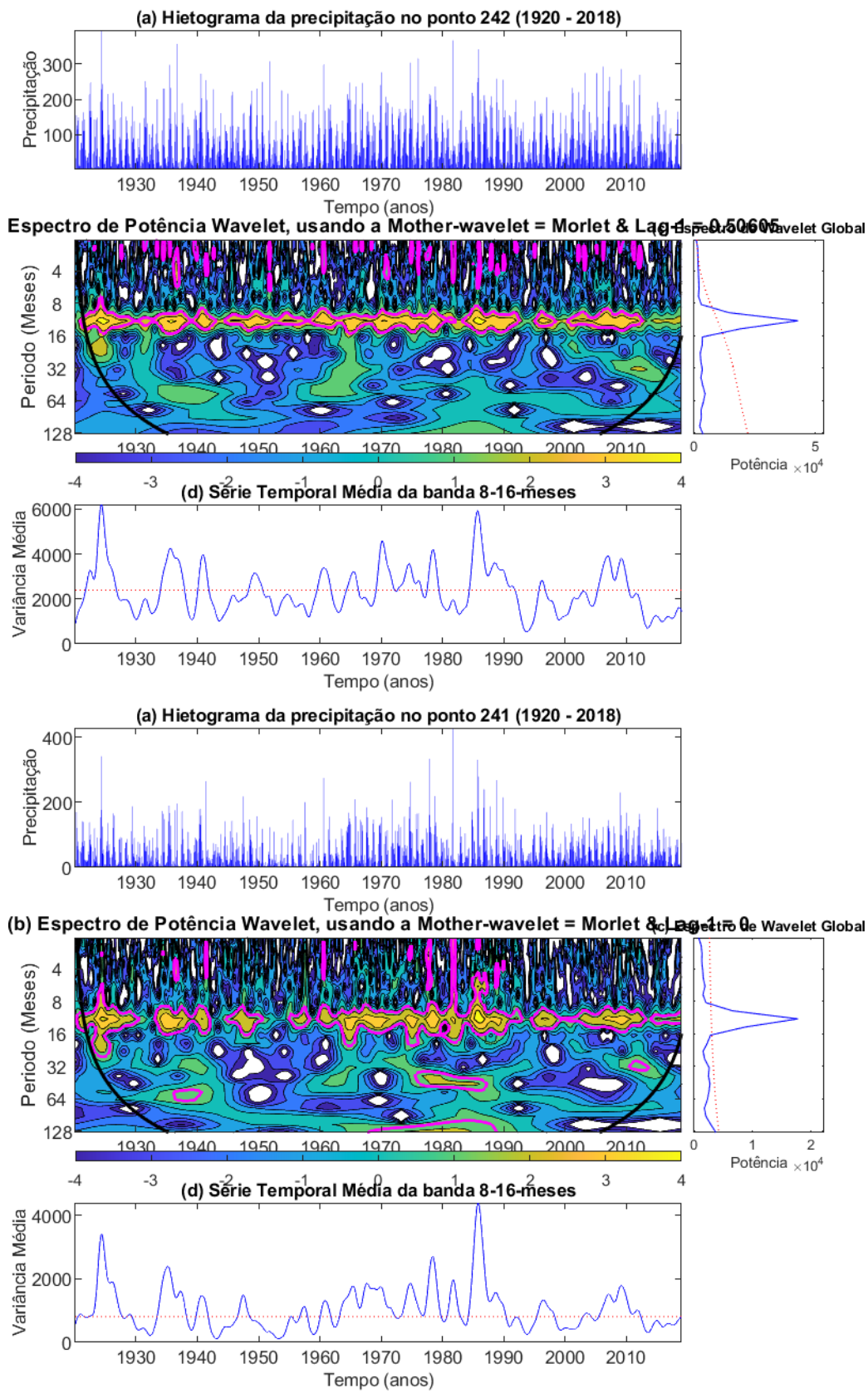


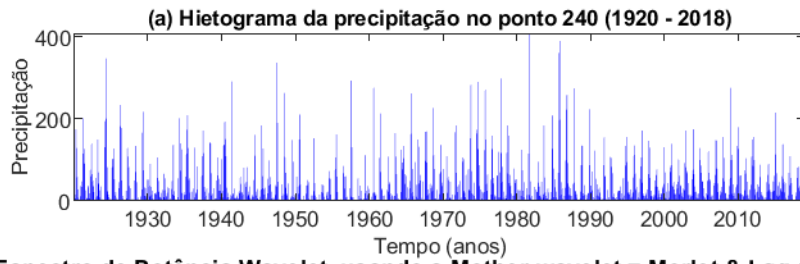
Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.53558



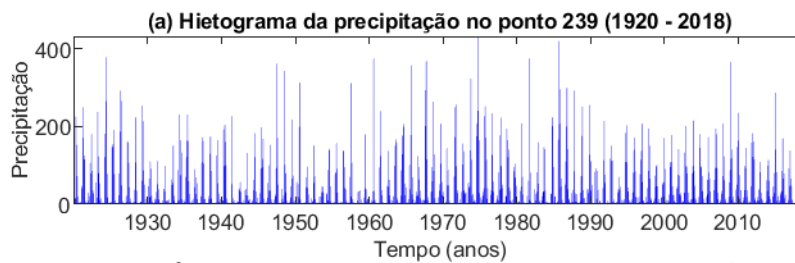
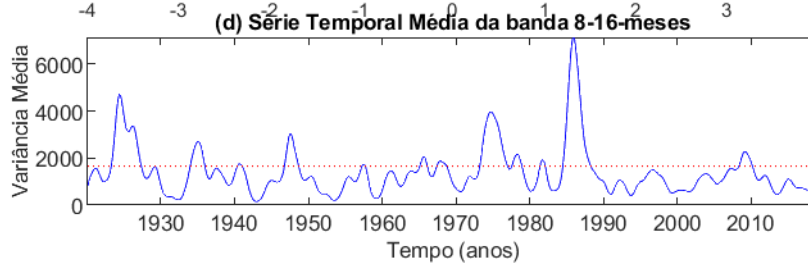
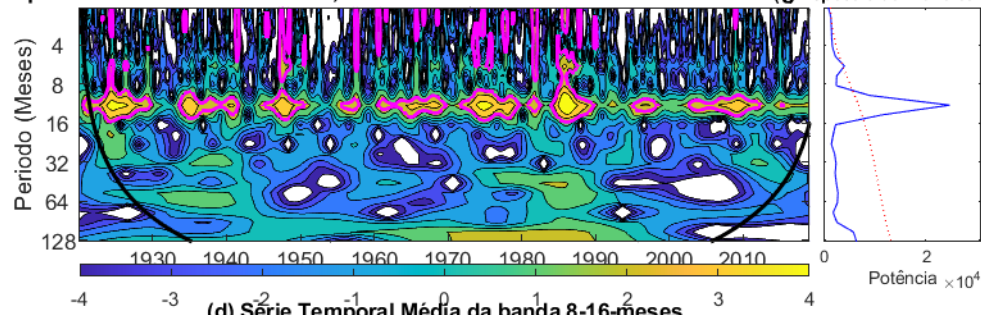
Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.52592



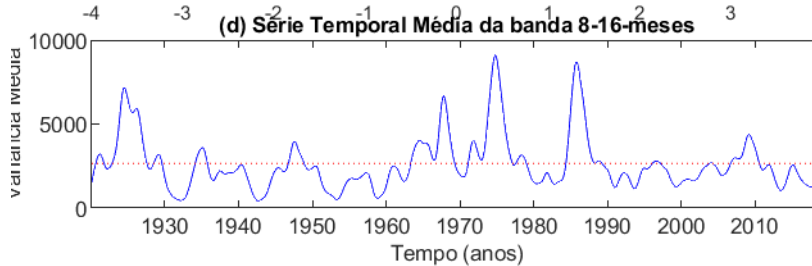
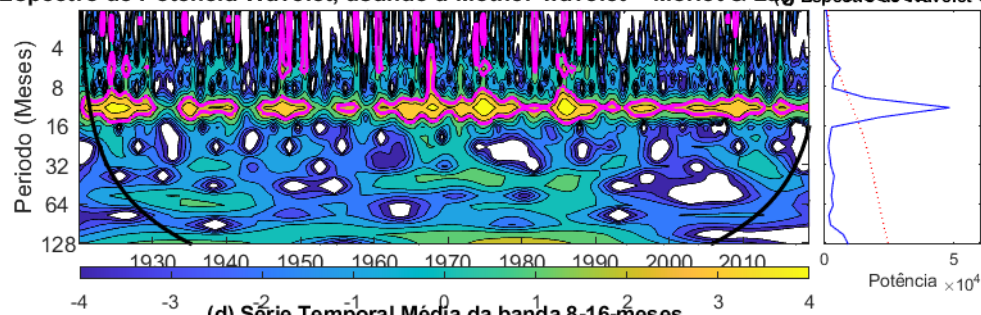


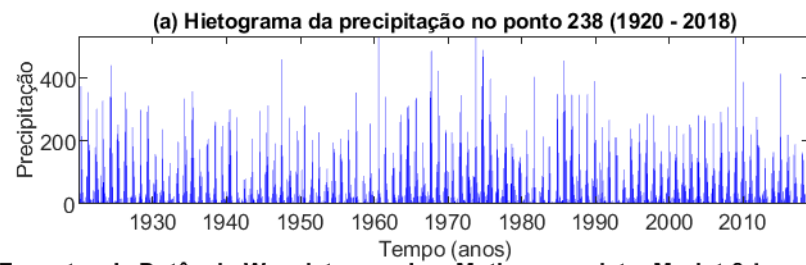


Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.42571

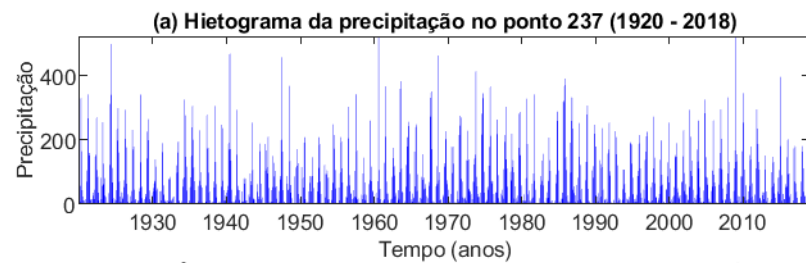
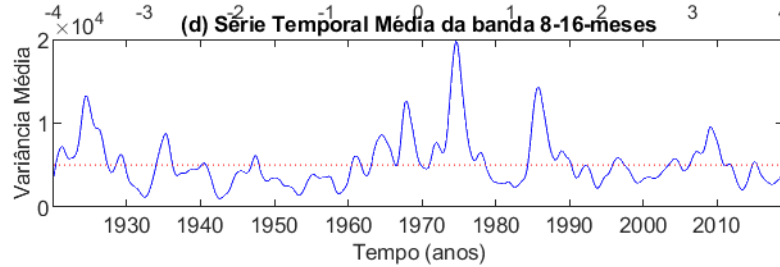
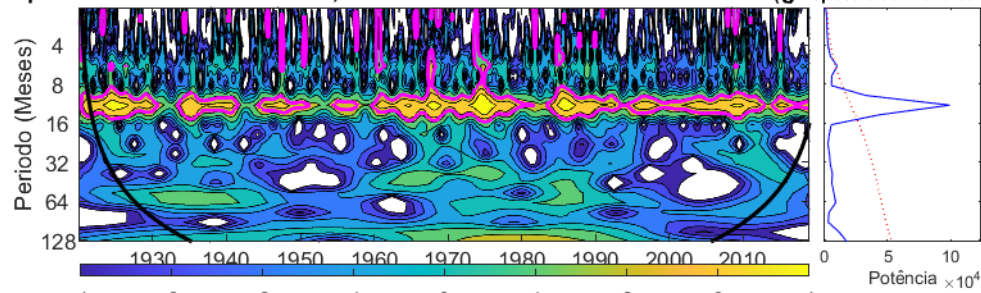


Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.50632

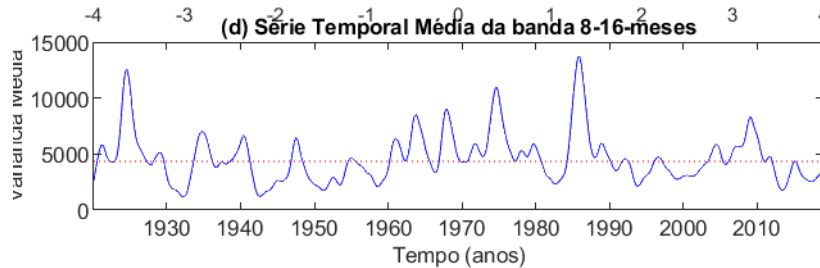
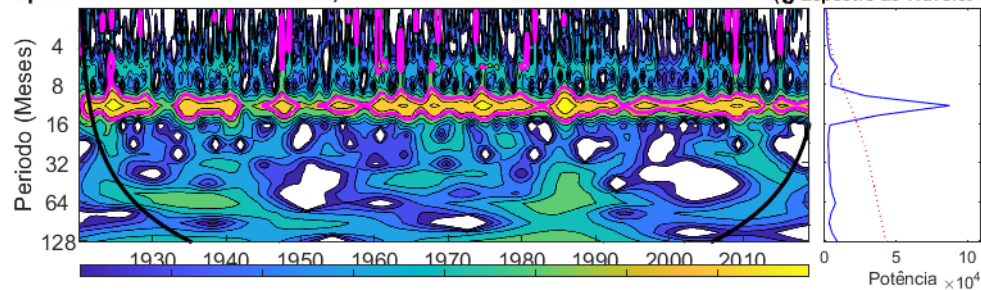


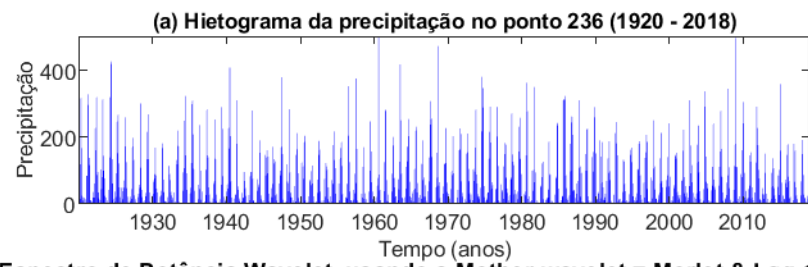


Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.54924

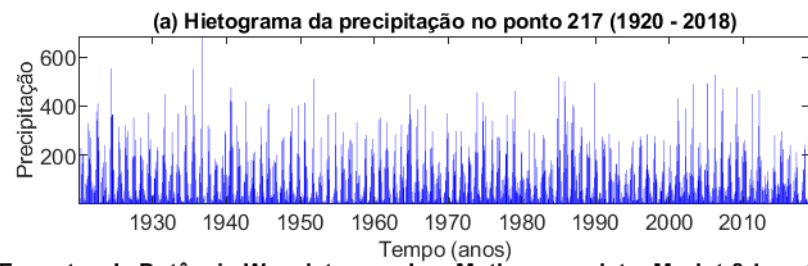
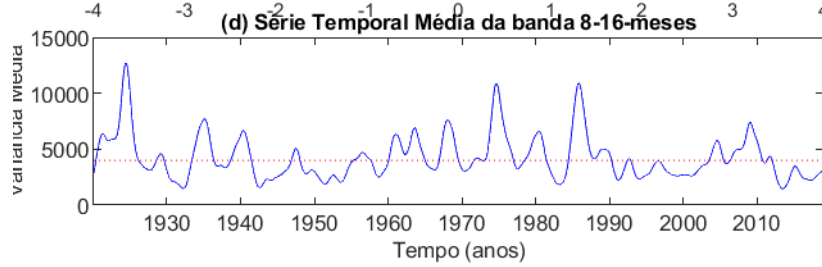
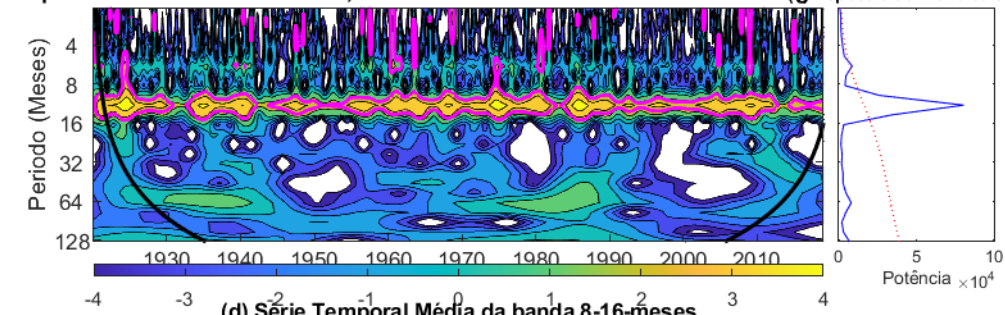


Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.53021

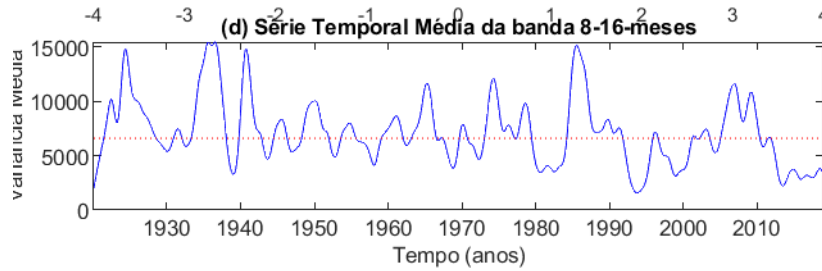
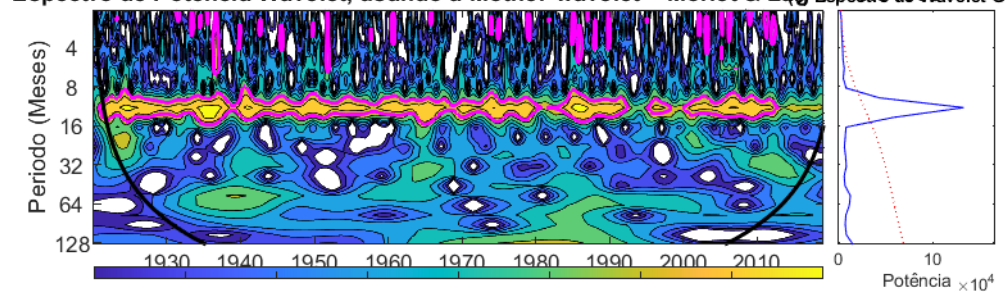


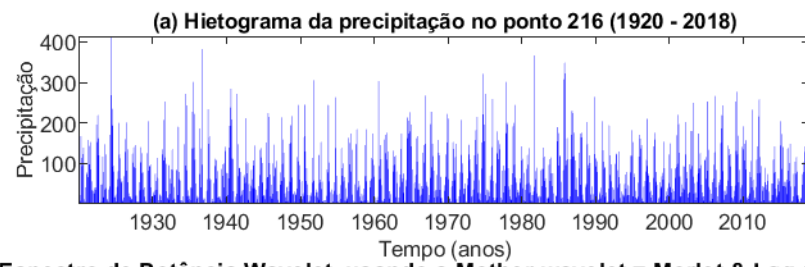


Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.52426

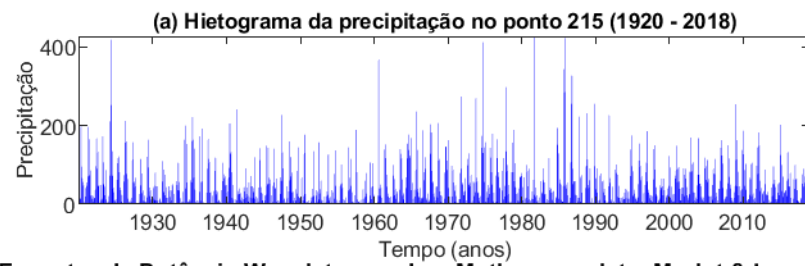
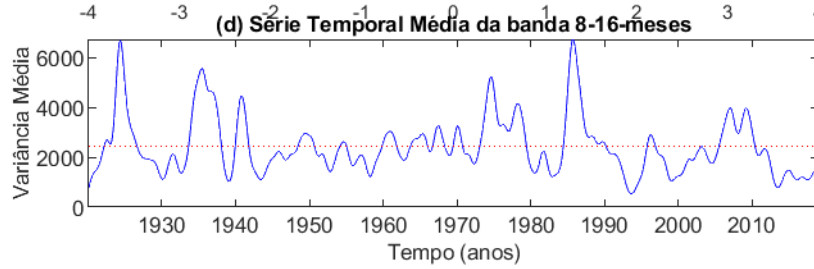
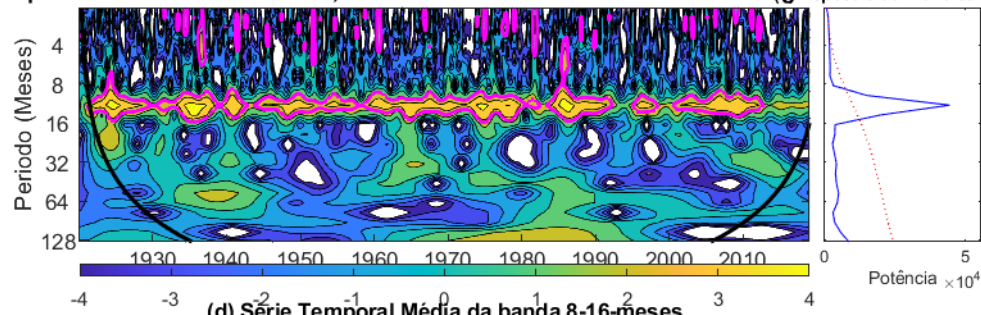


Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.54865

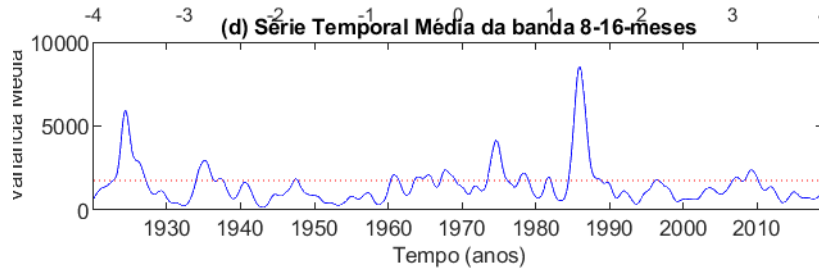
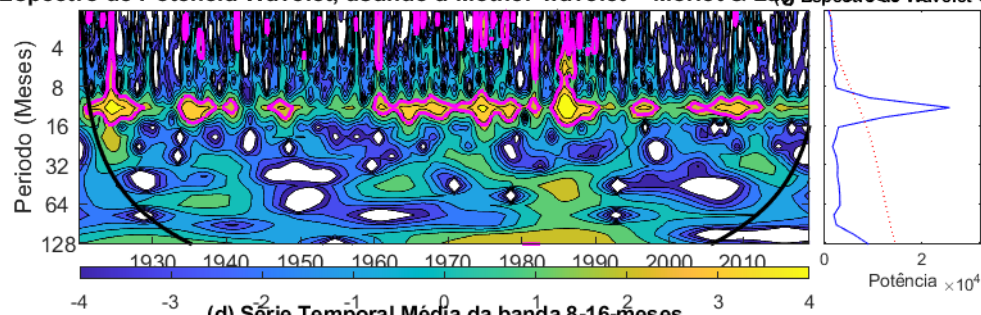


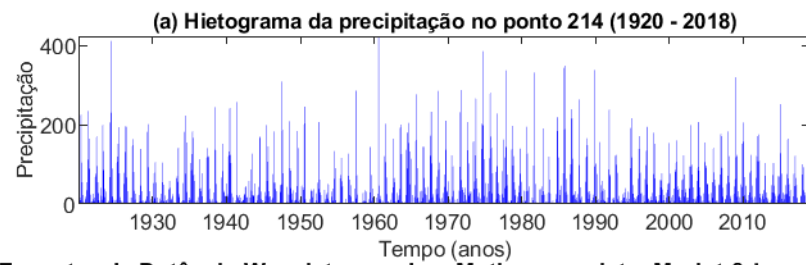


Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.53258

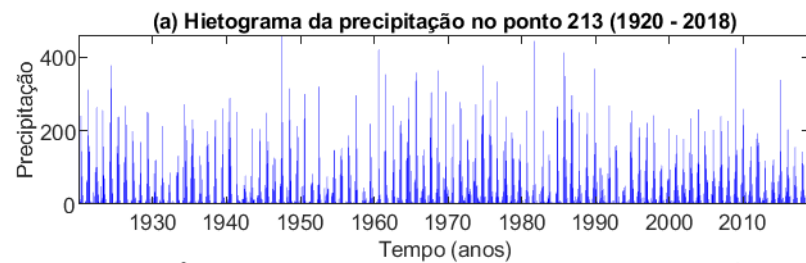
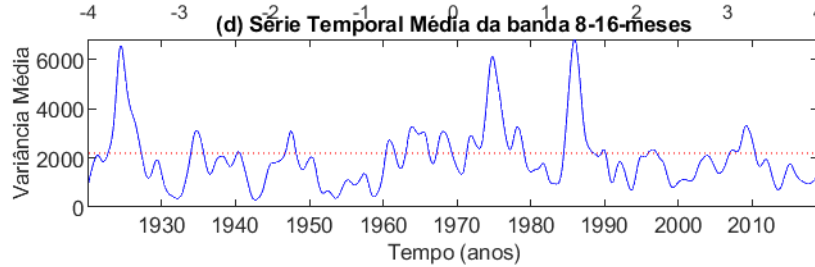
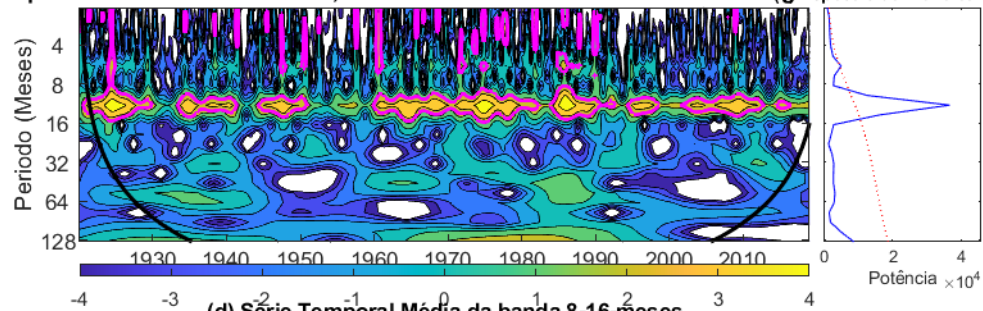


Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.45346

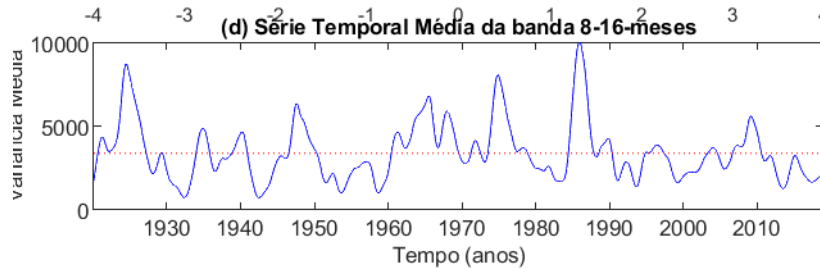
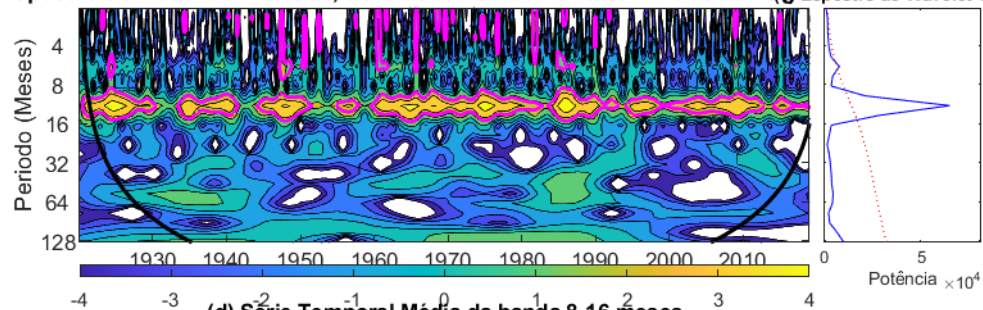


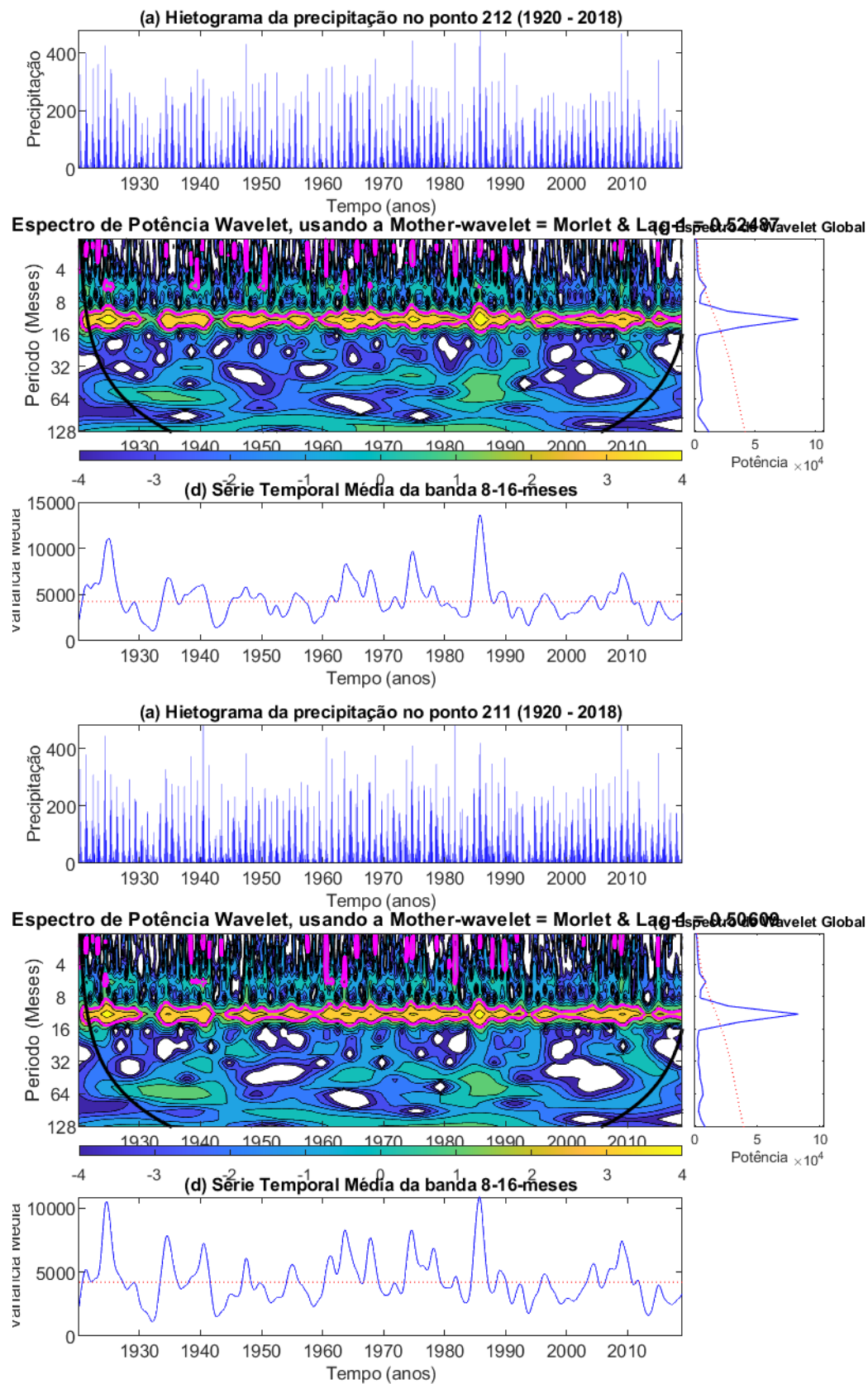


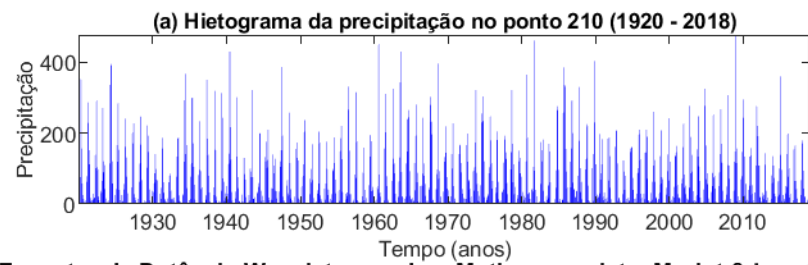
Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.4612



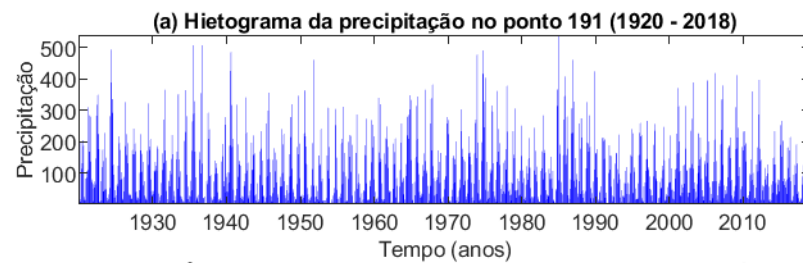
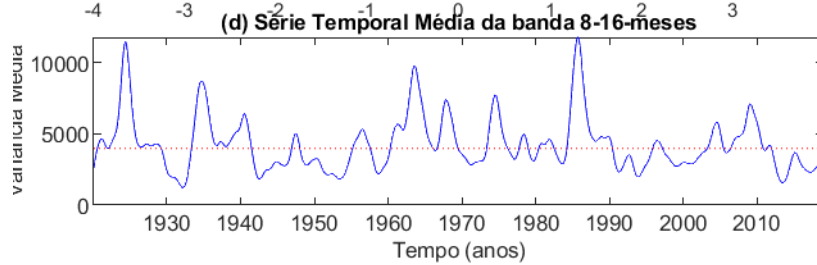
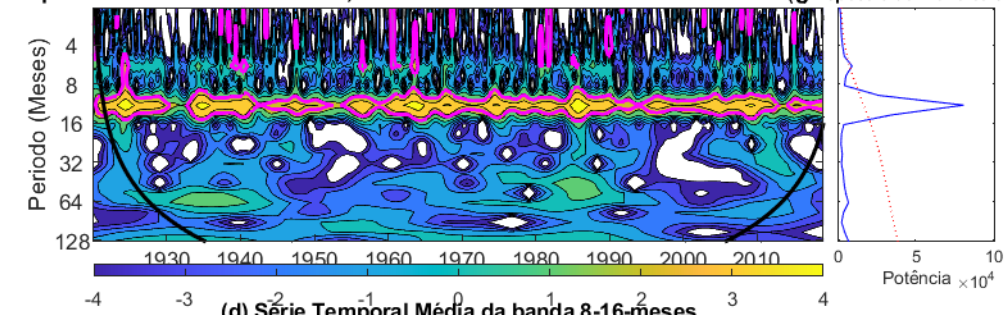
Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.50916



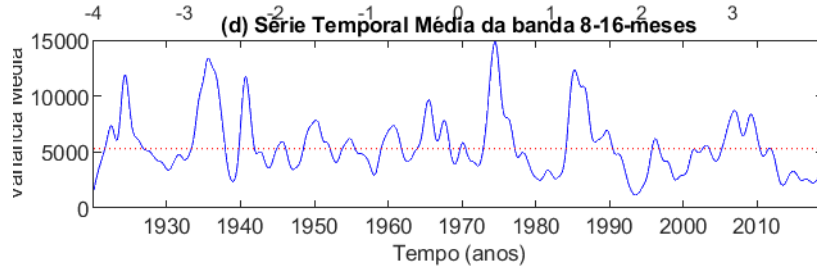
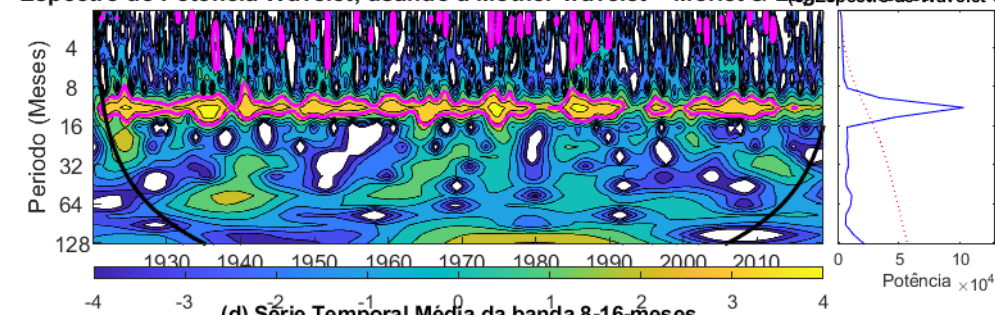


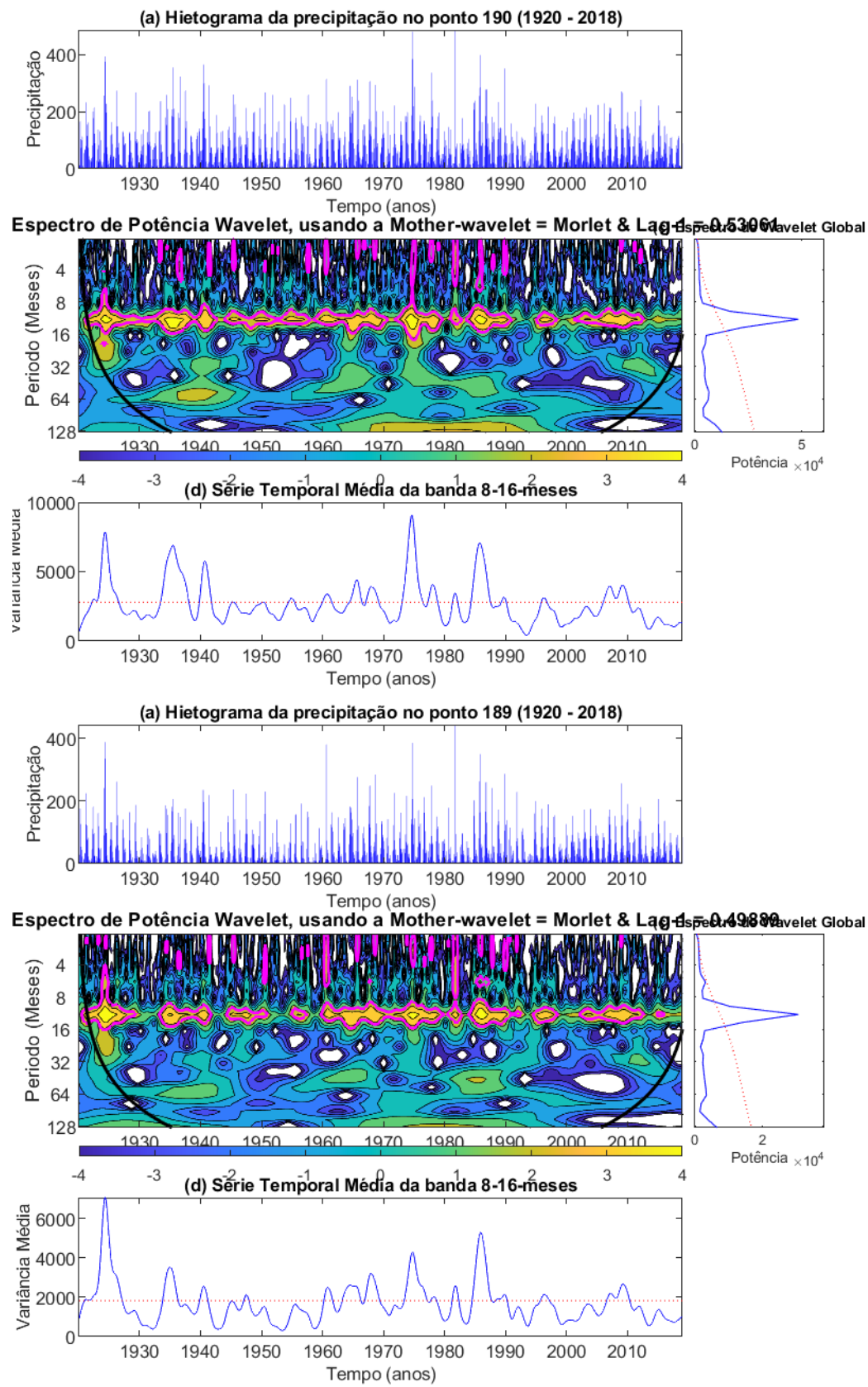


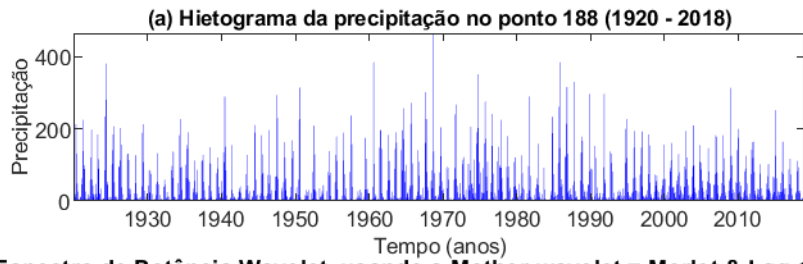
Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag1 = 0.51982



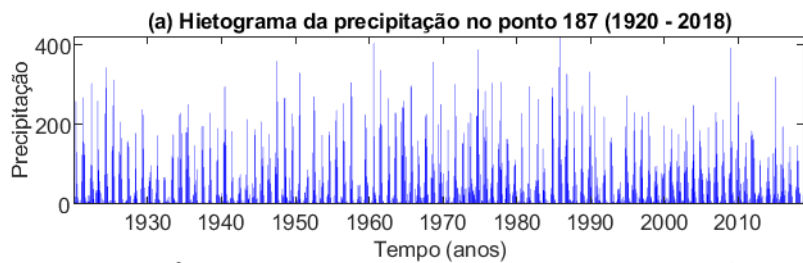
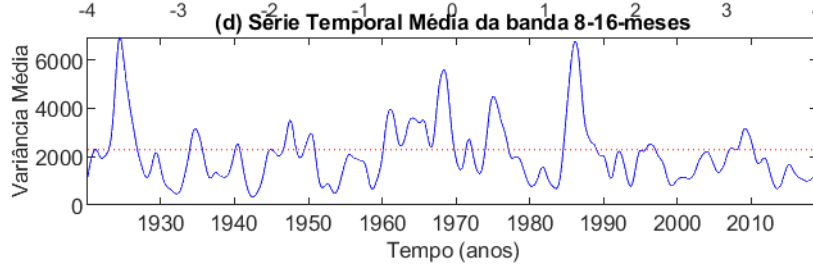
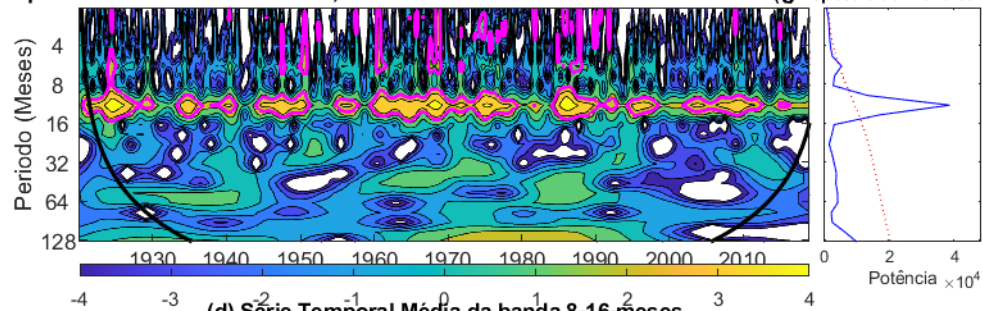
Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag1 = 0.5567



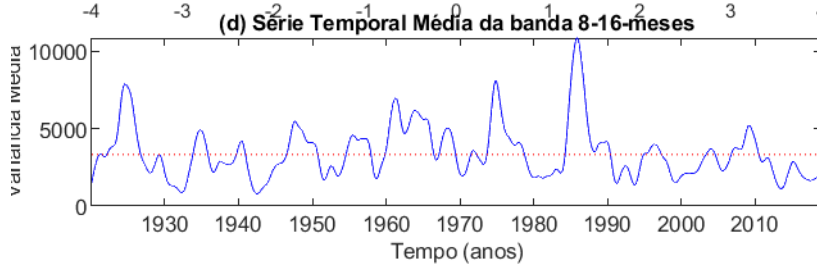
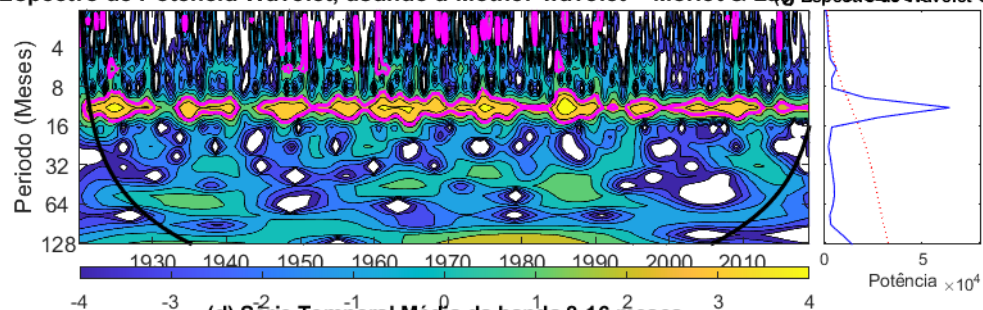


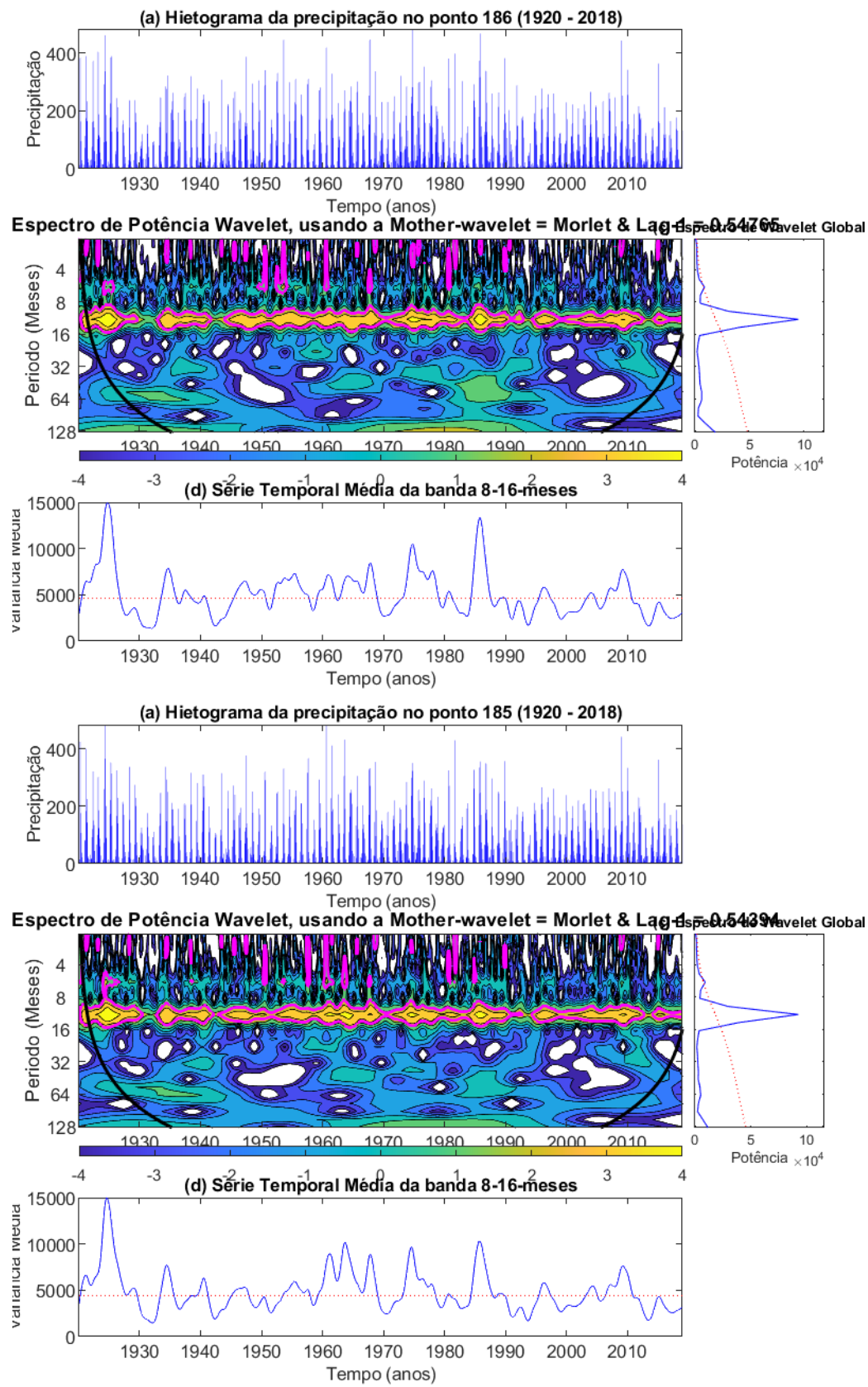


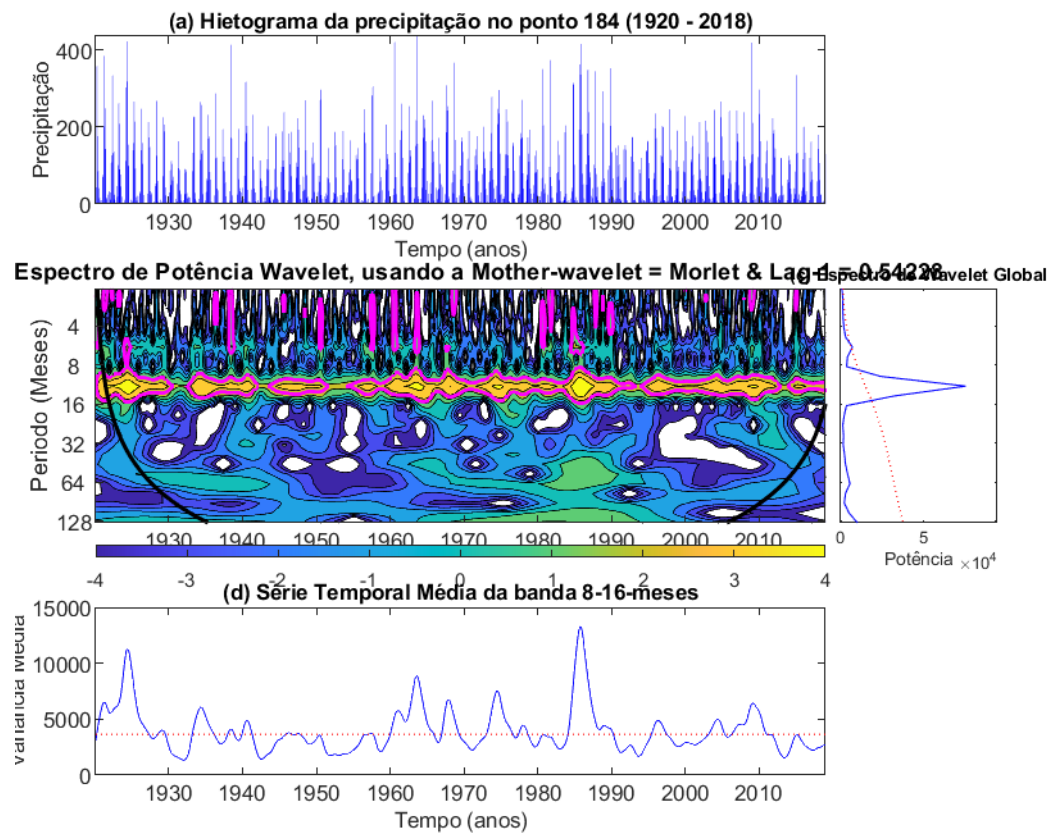
Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.48655



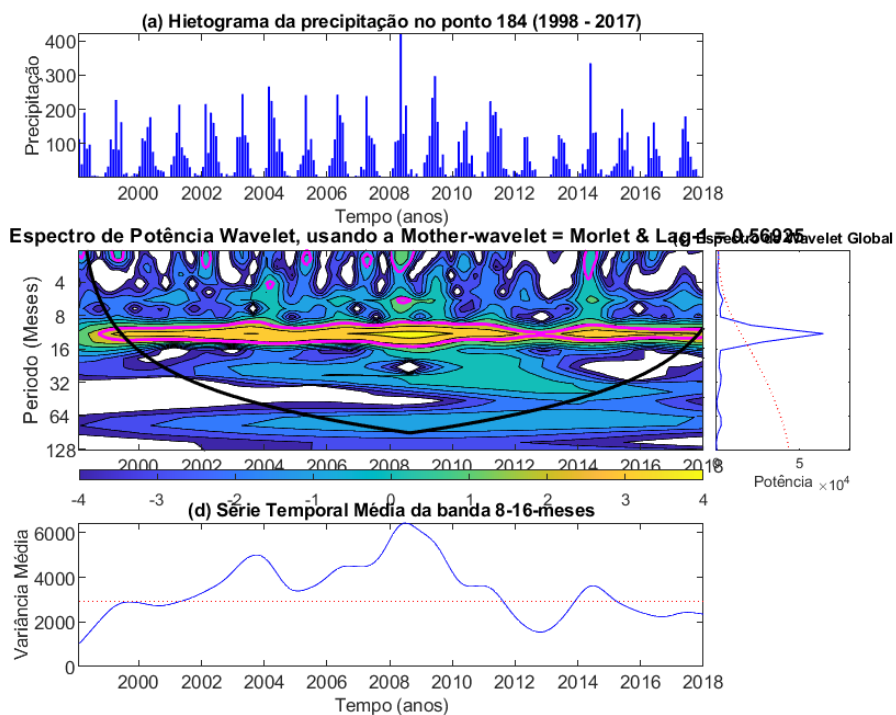
Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.52531

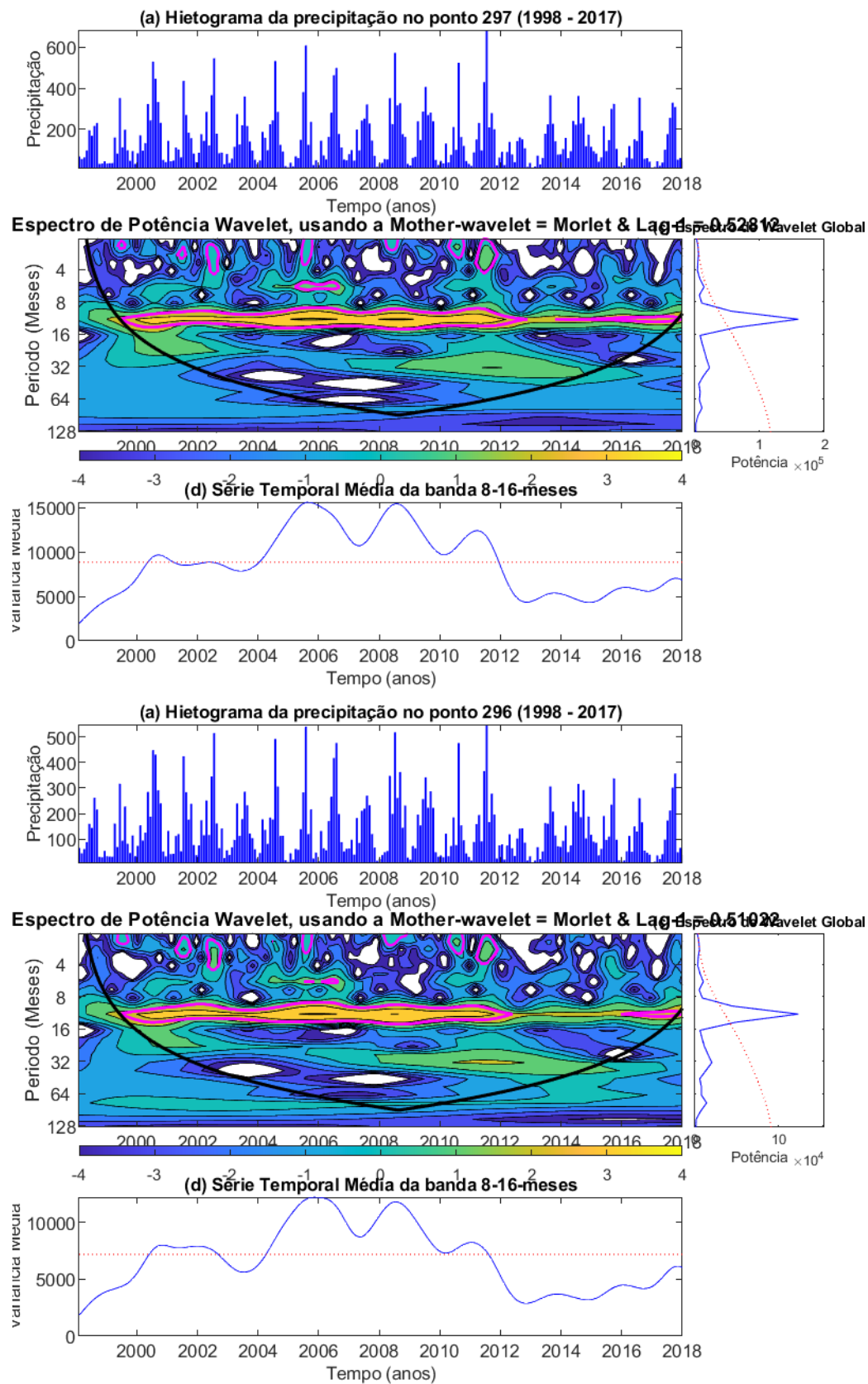


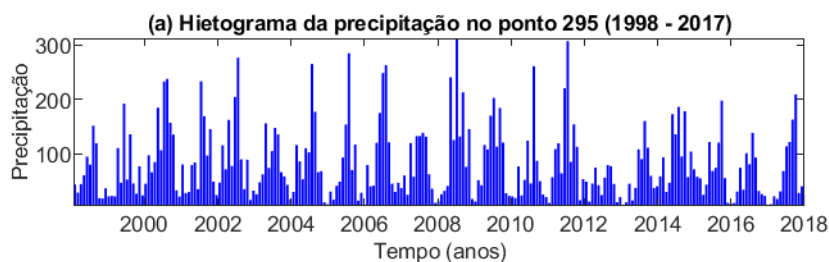




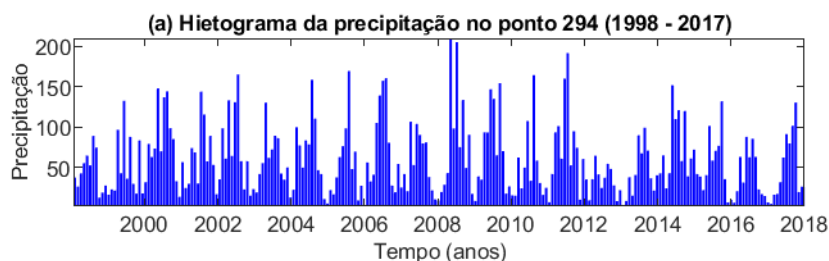
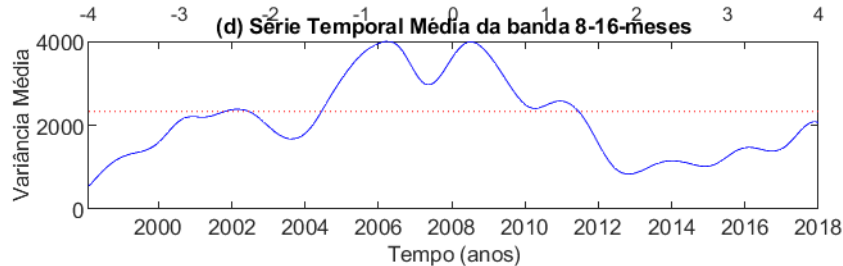
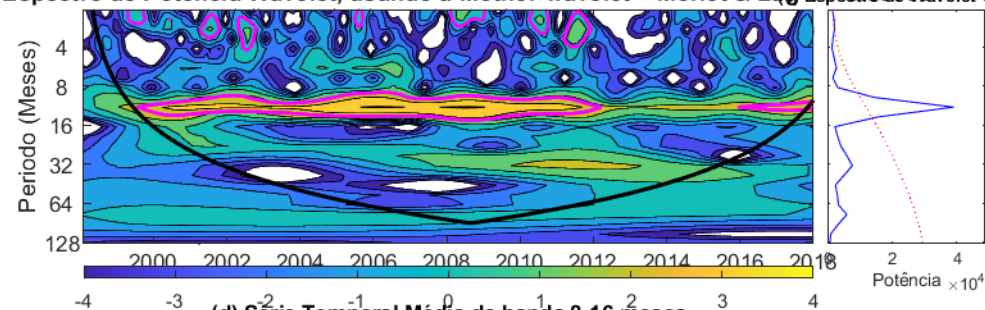
DADOS PROVENIENTES DO CRU DE (1998 – 2018) – TODOS OS PONTOS



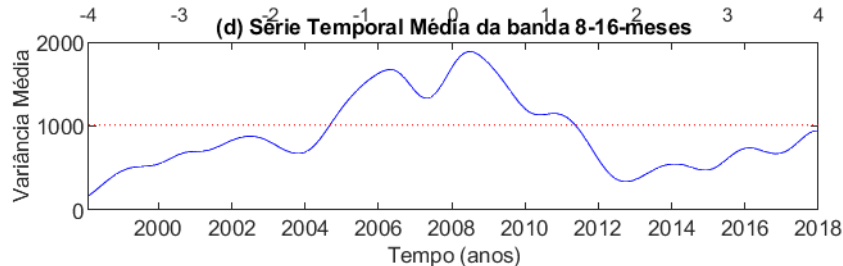
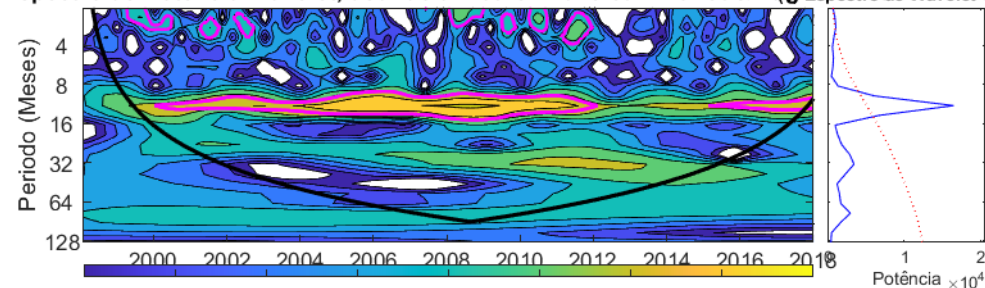


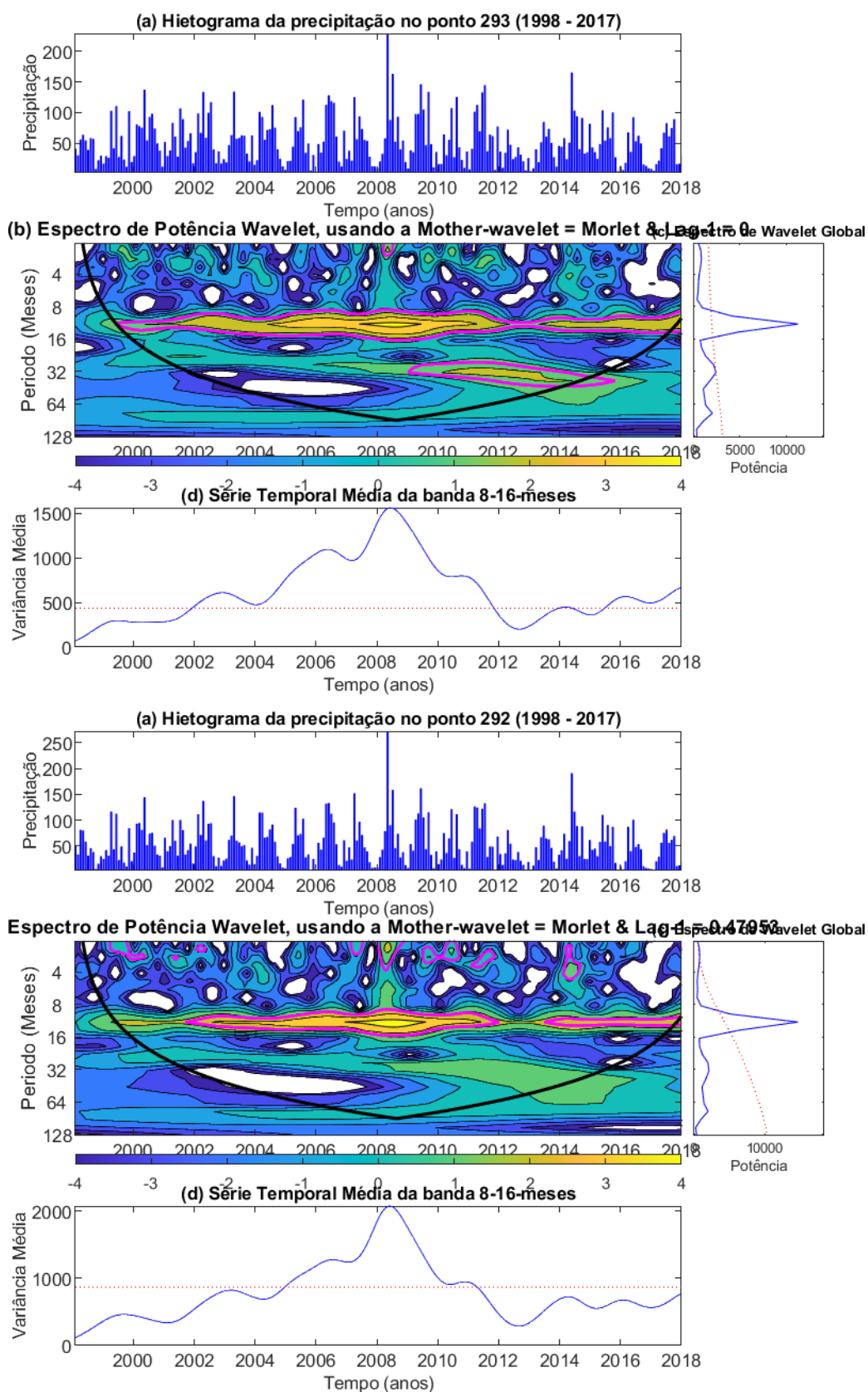


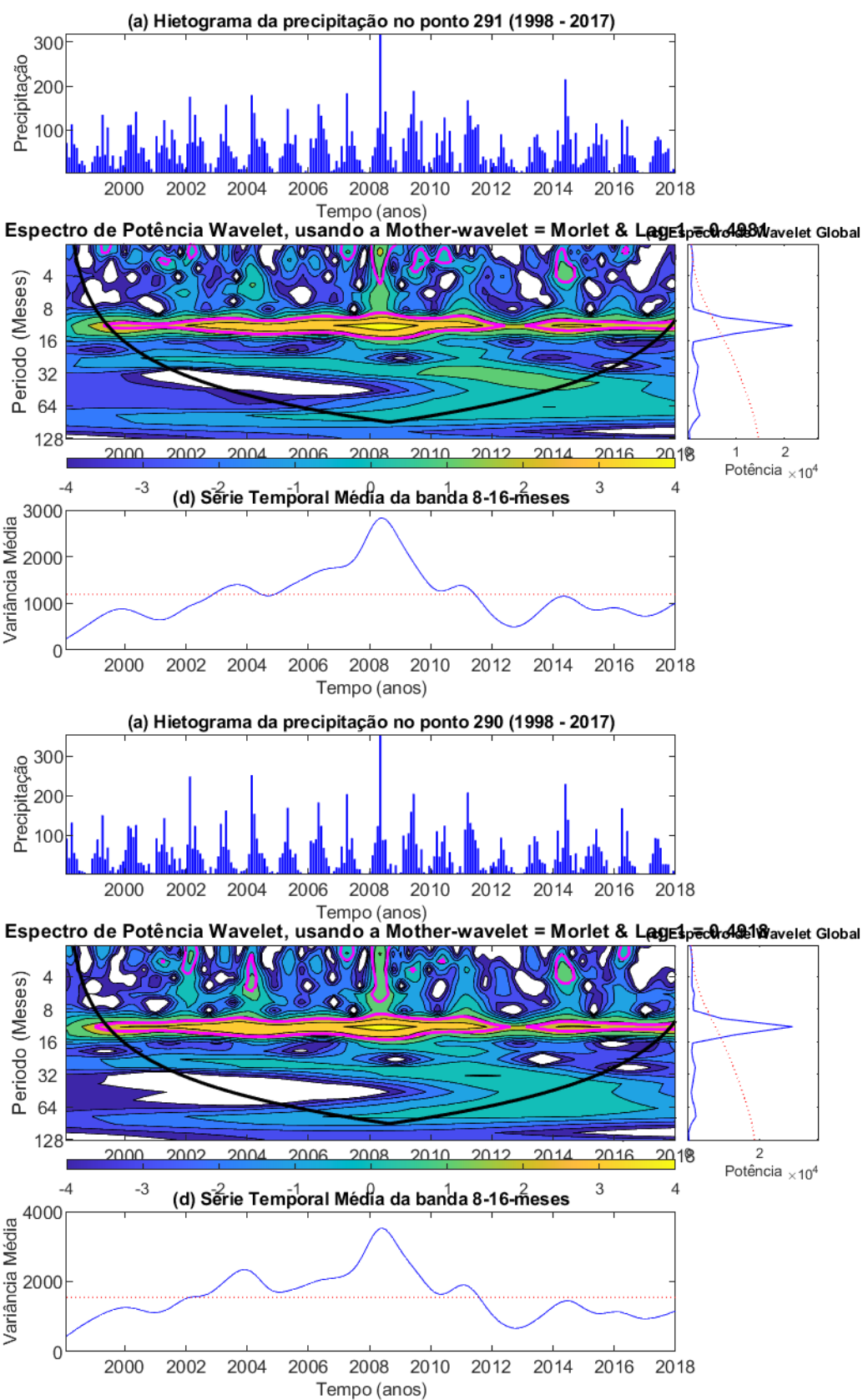
Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.50739

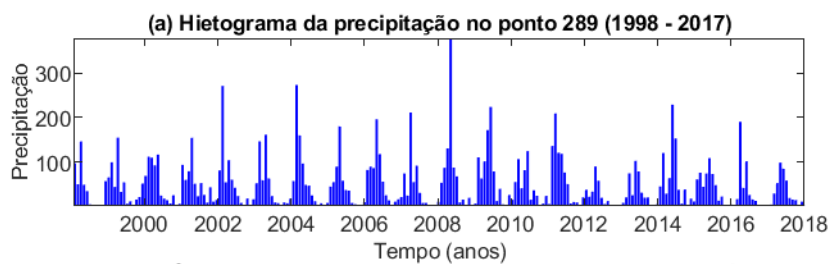


Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.49501

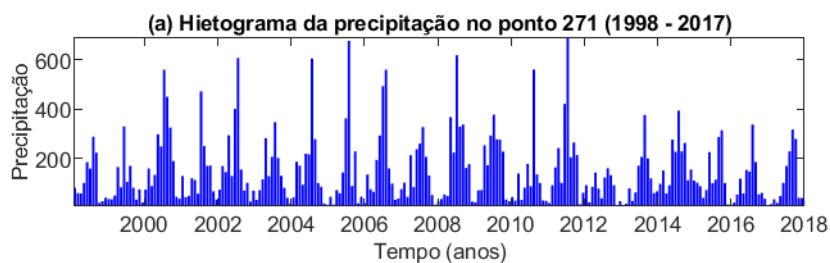
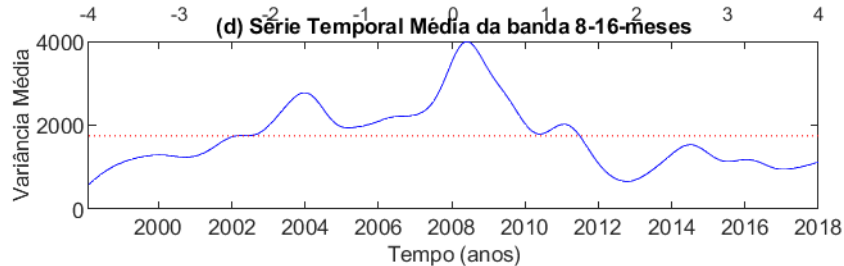
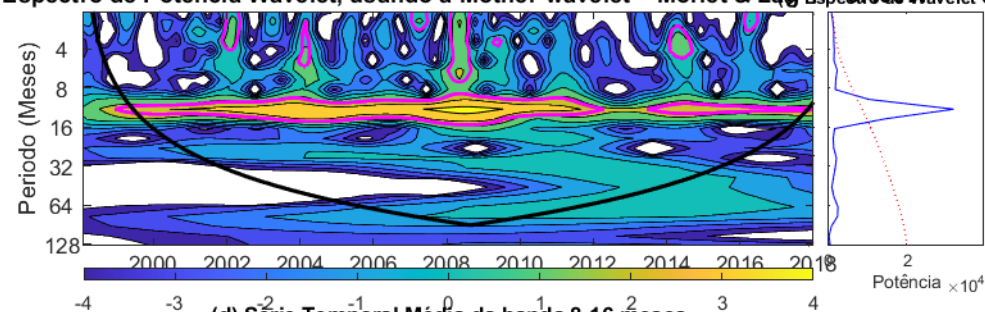




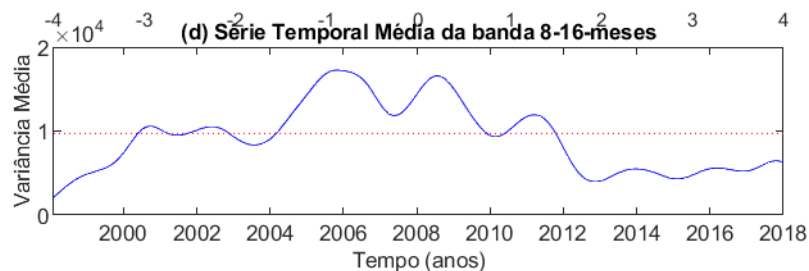
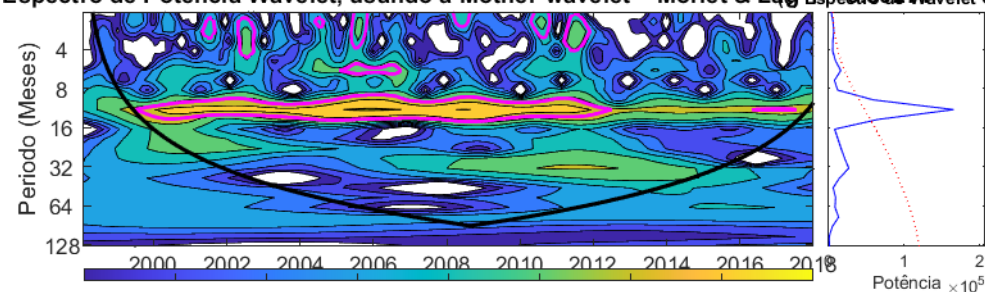


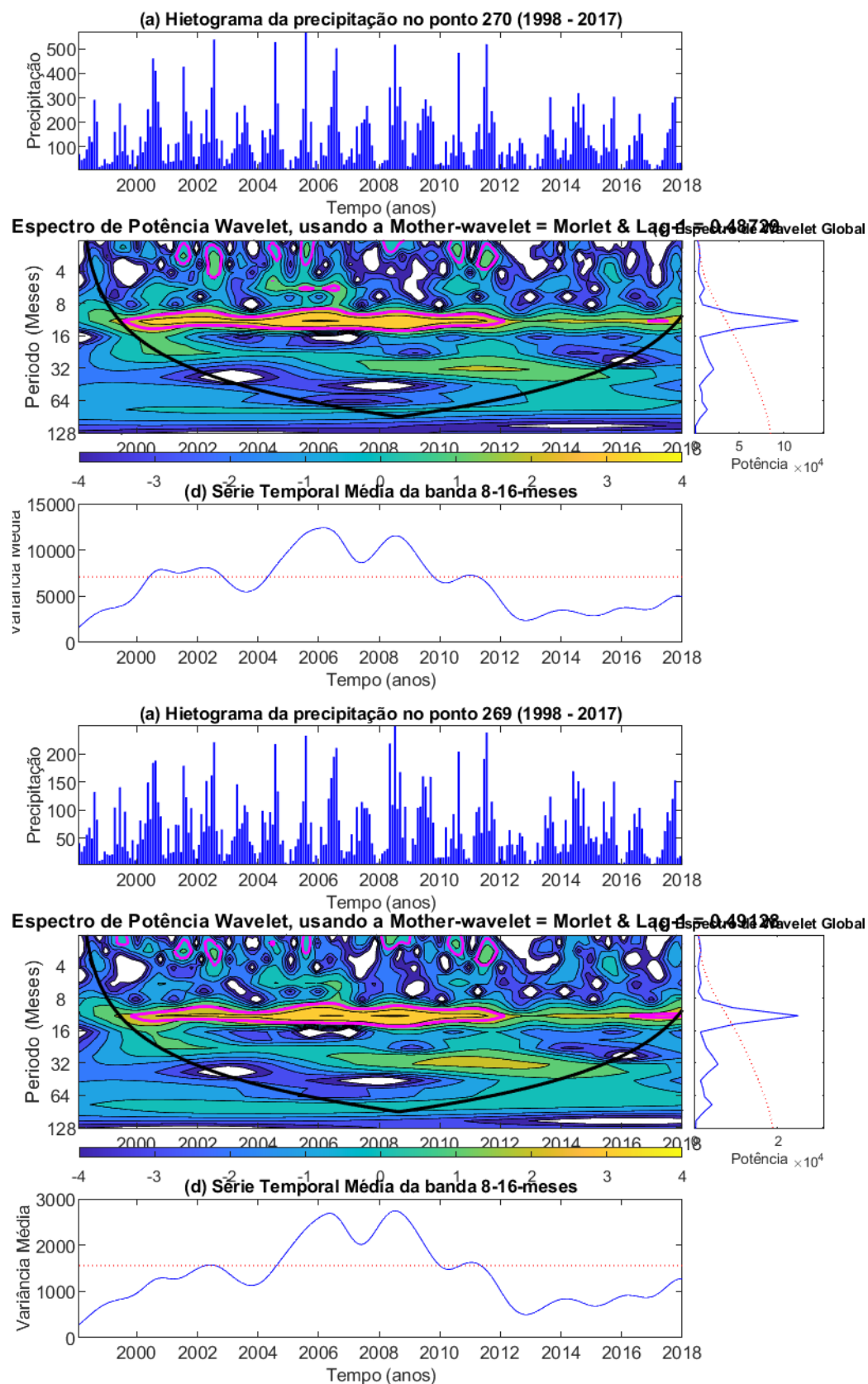


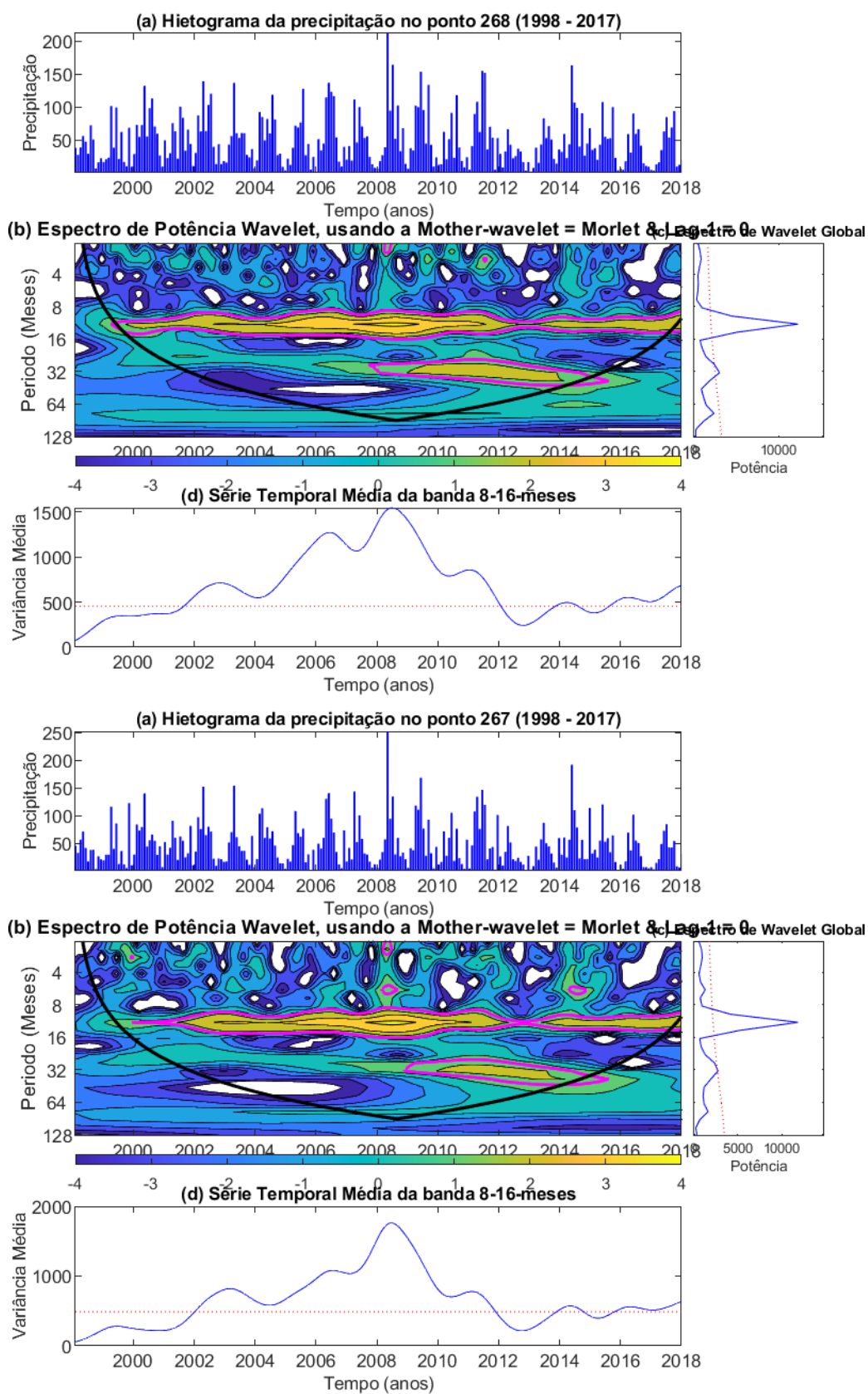
Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.46977

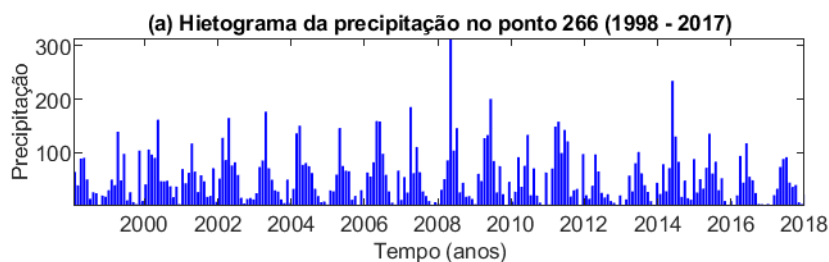


Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.50271

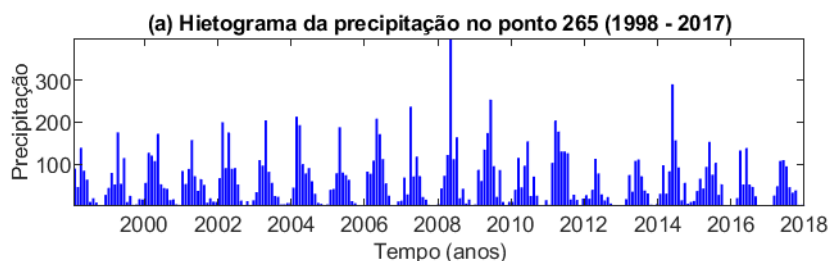
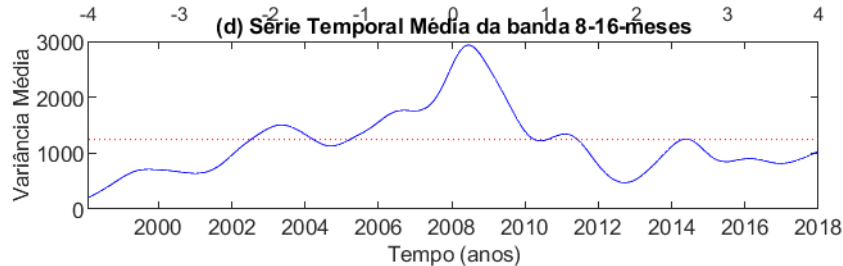
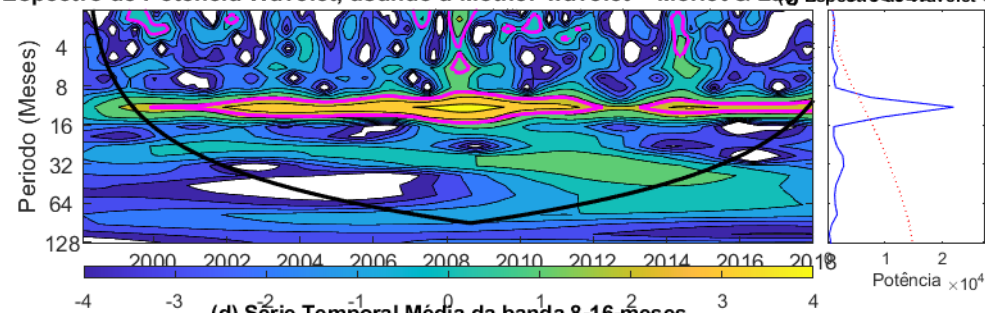




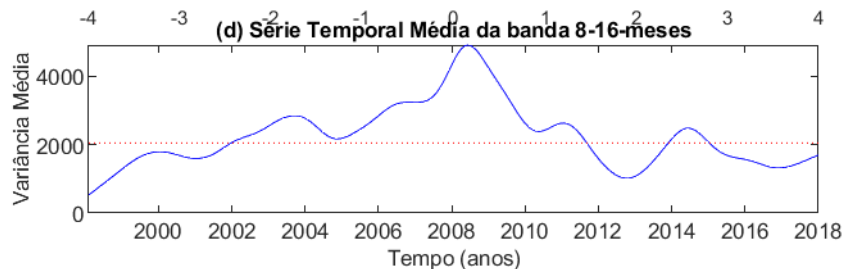
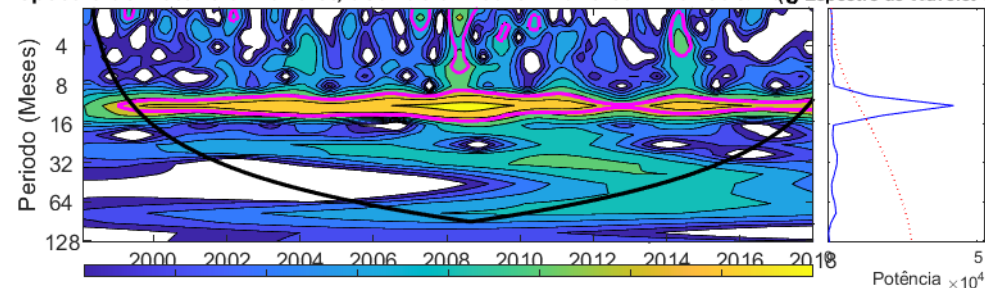


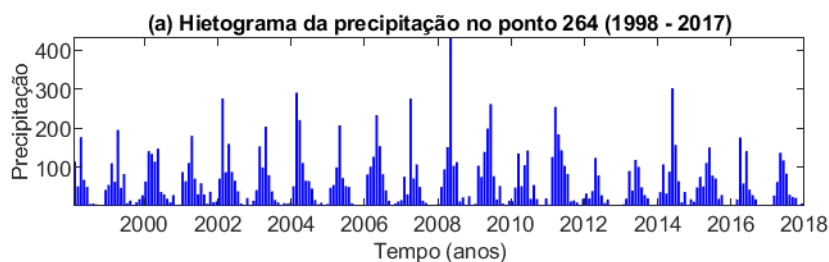


Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.48523

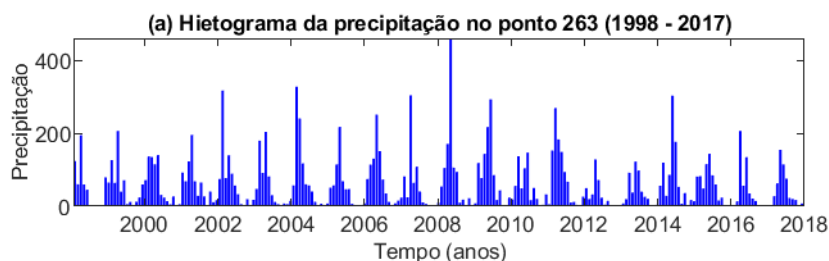
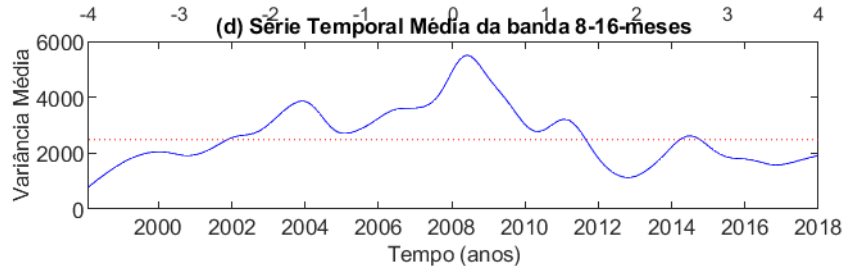
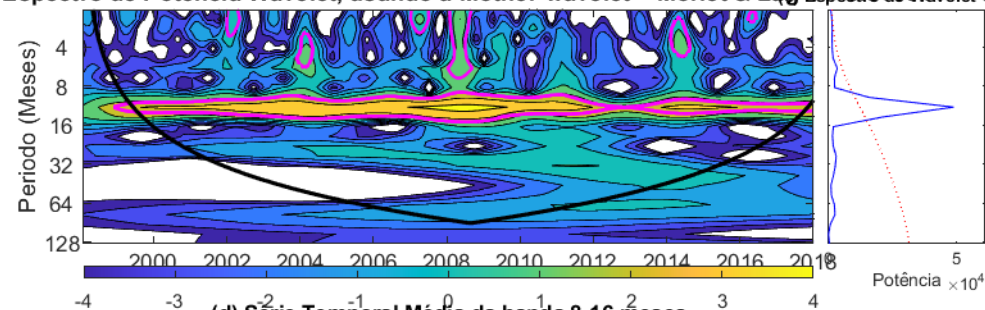


Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.54108

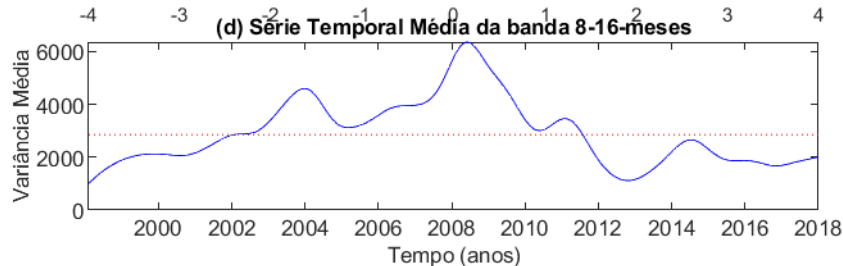
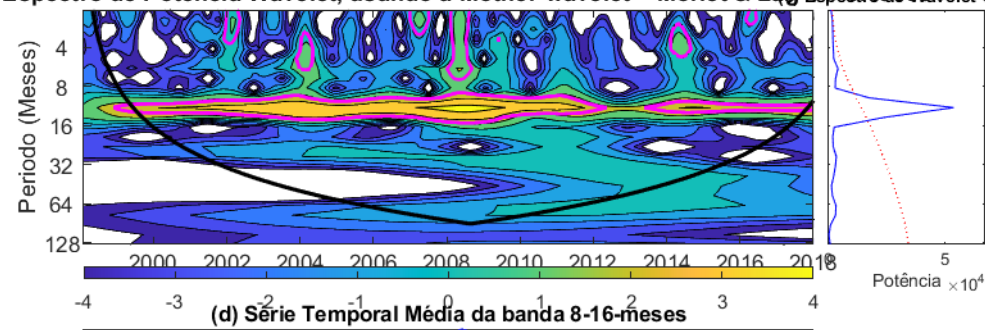


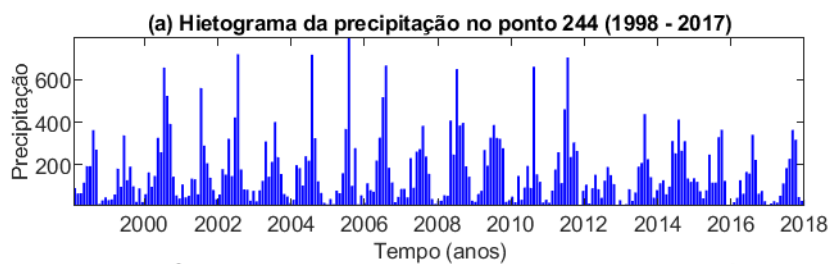


Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.51384

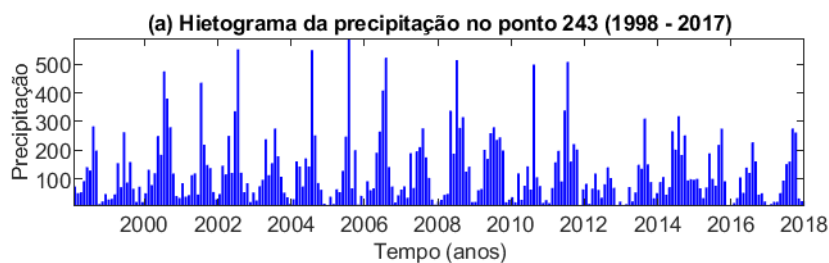
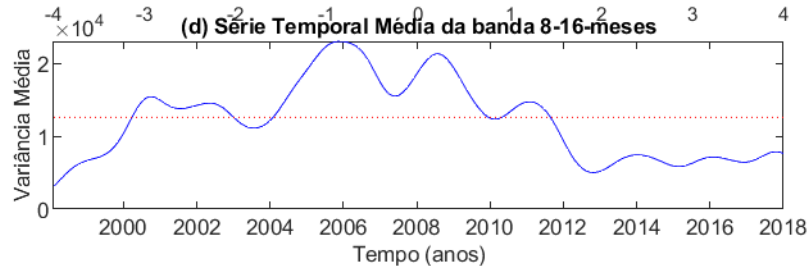
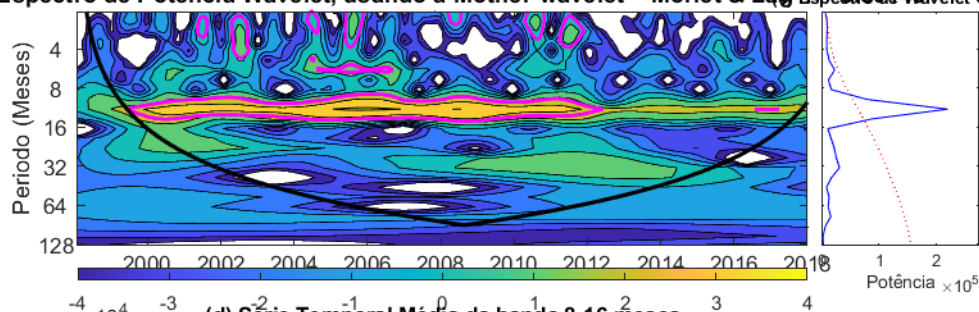


Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.49086

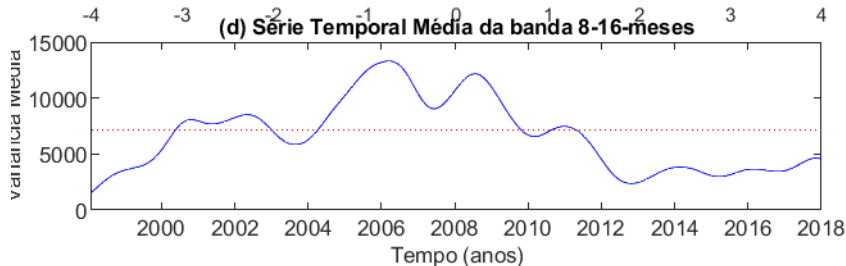
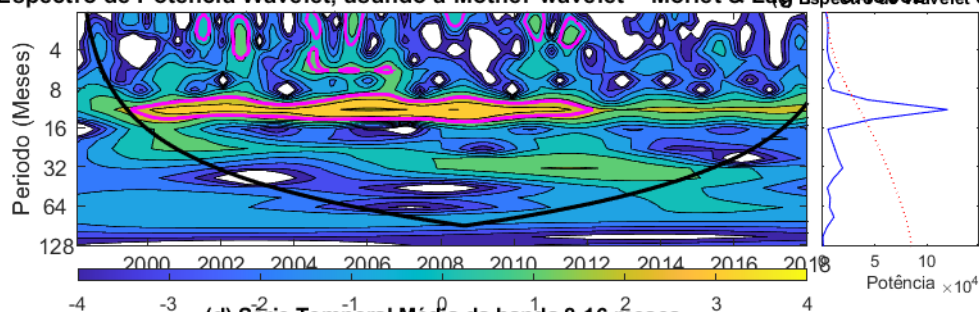


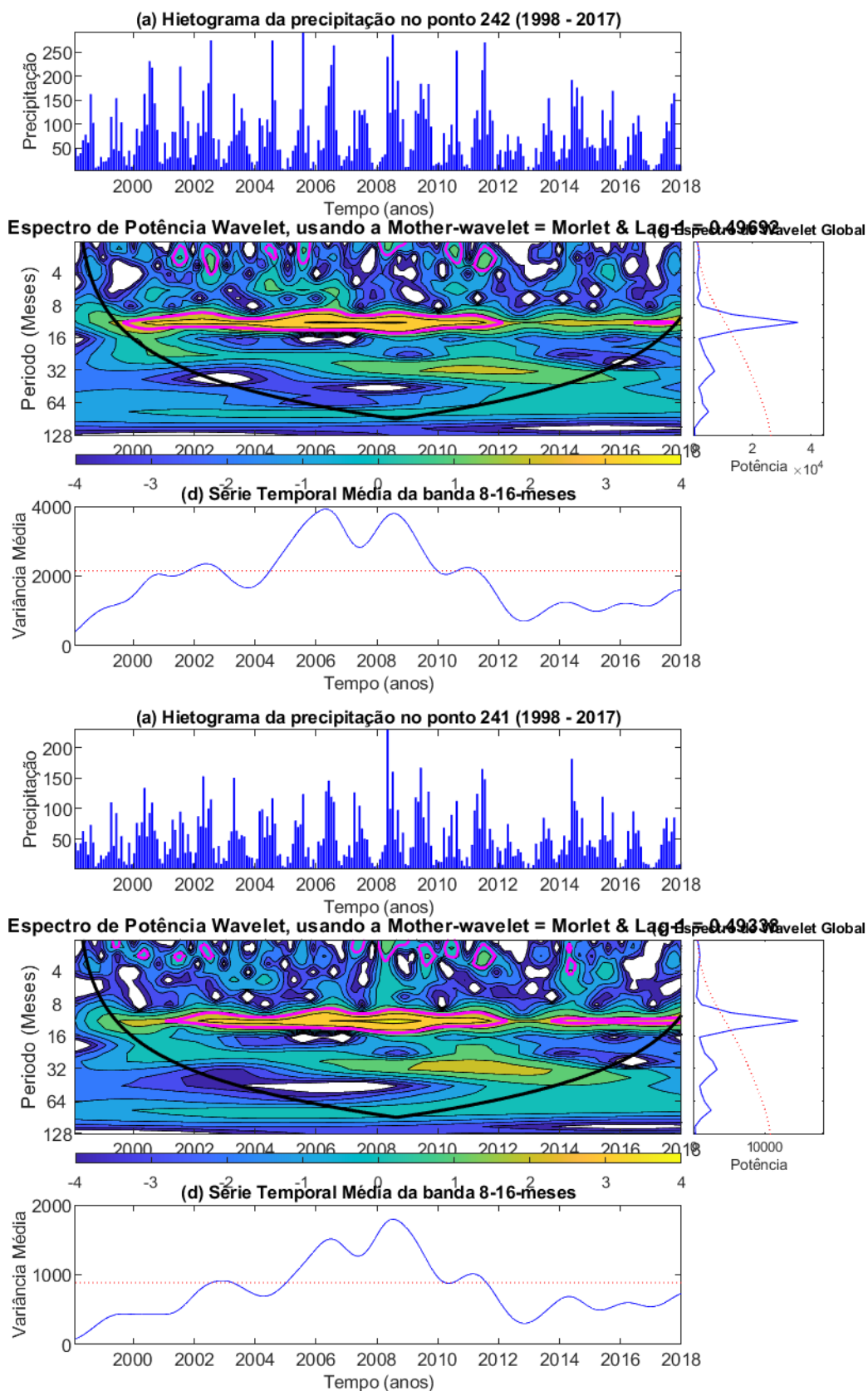


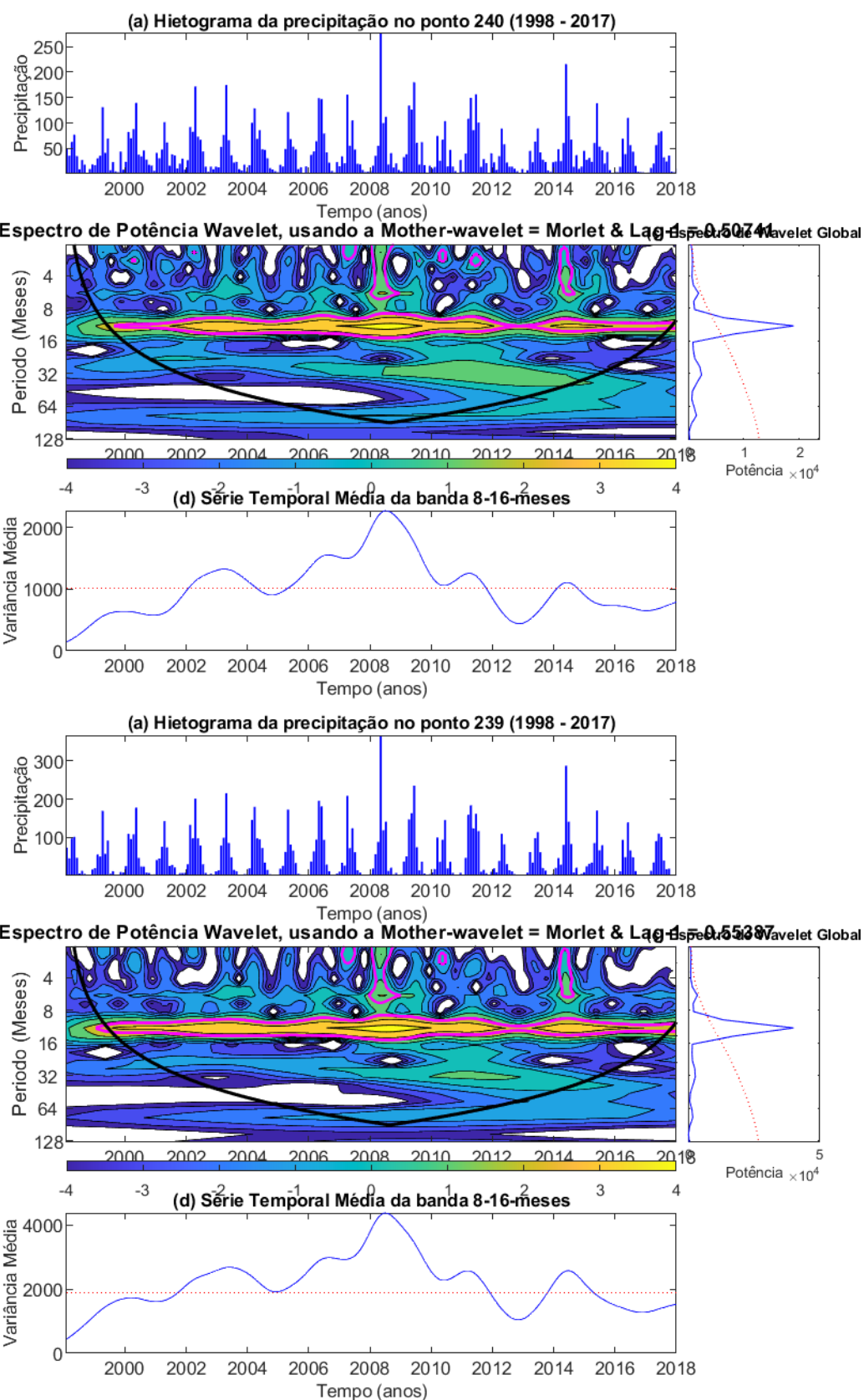
Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.50148

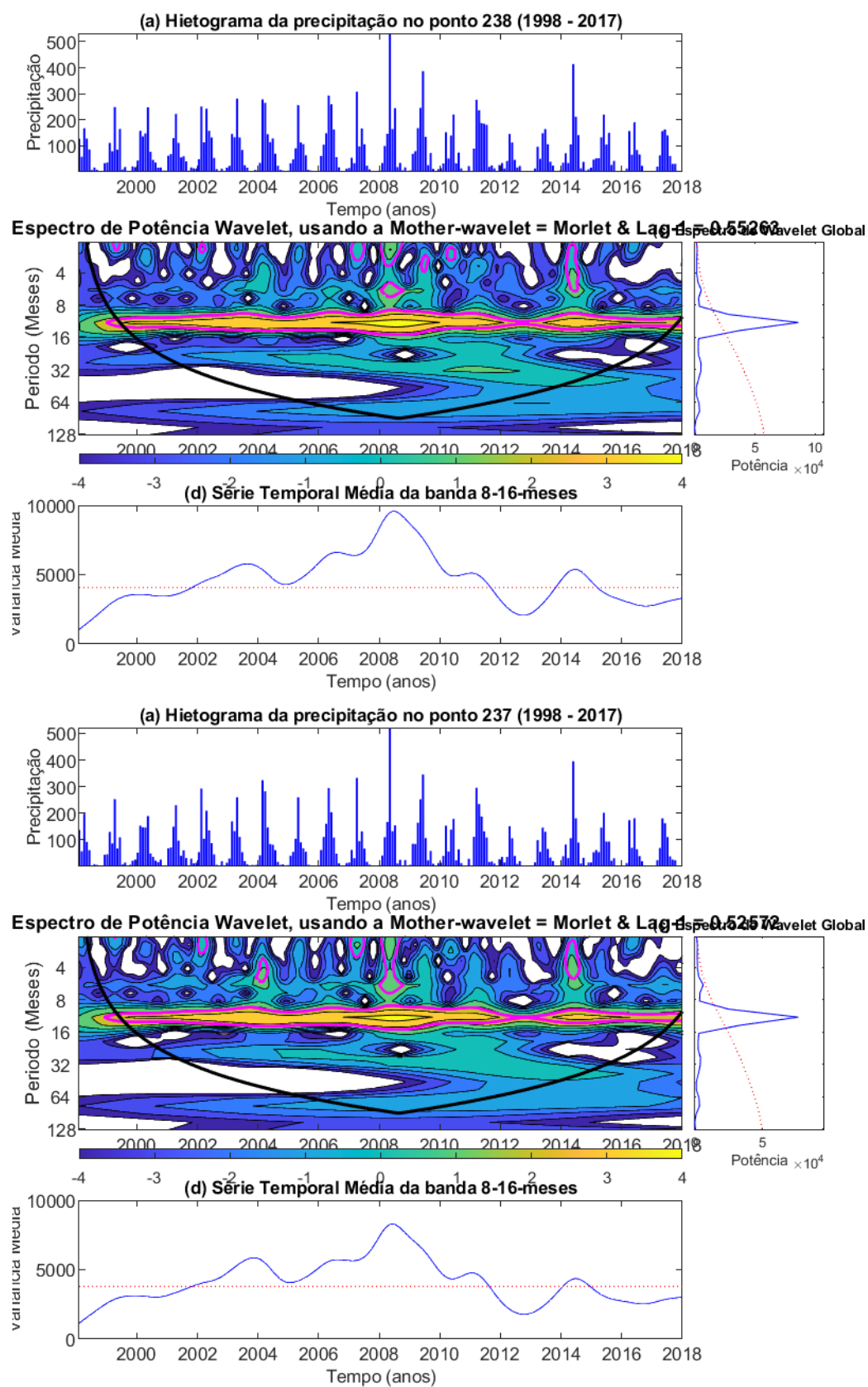


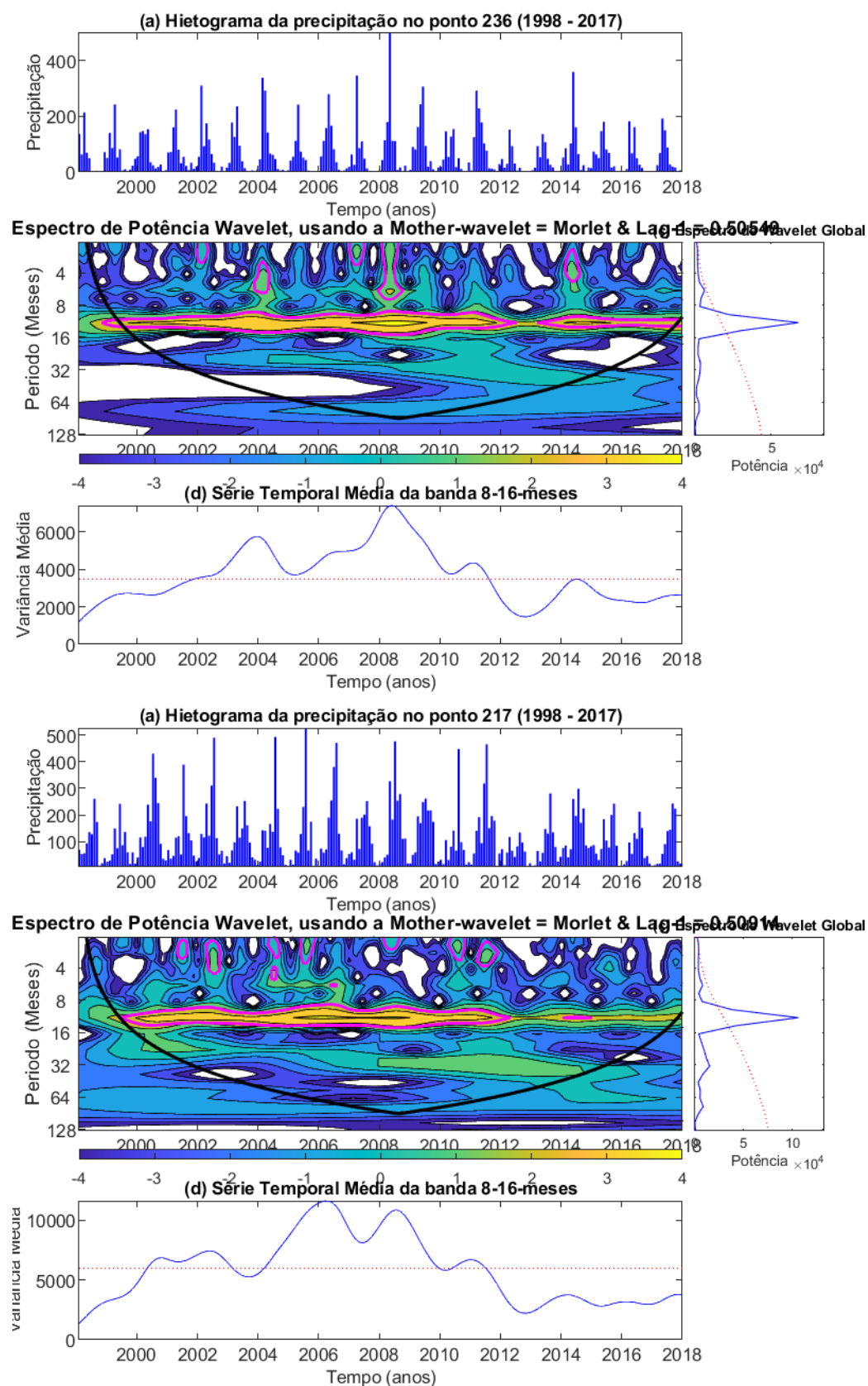
Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.48652

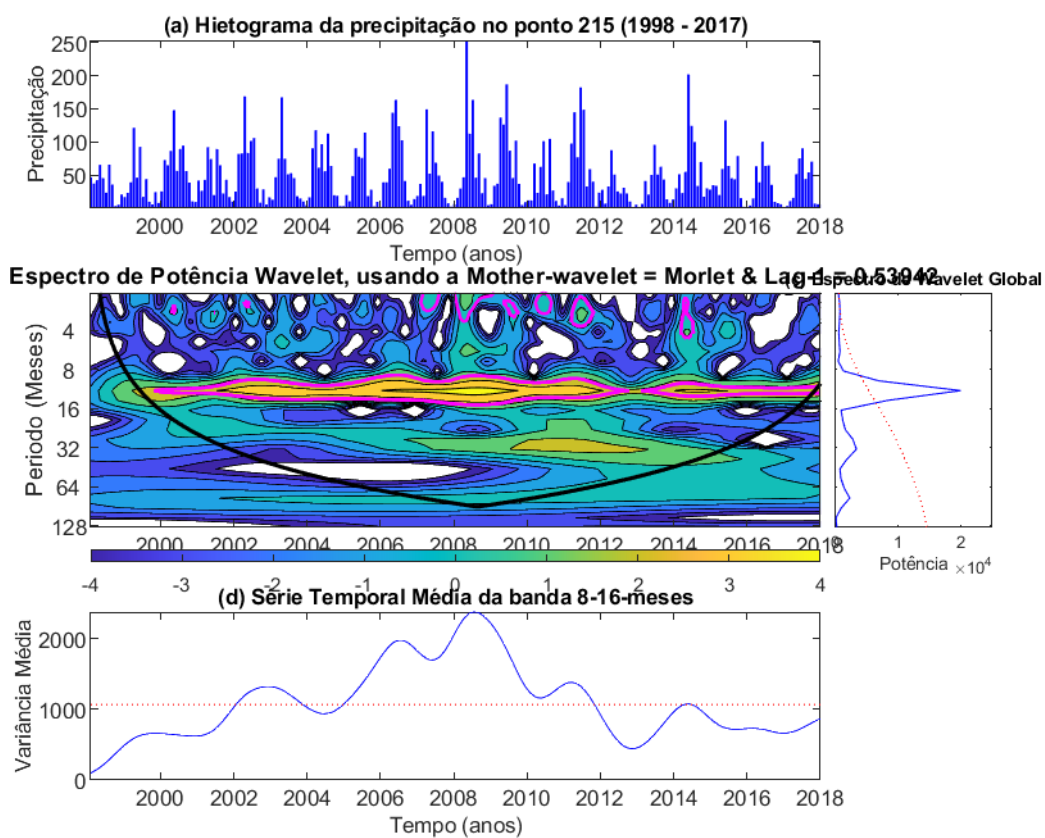
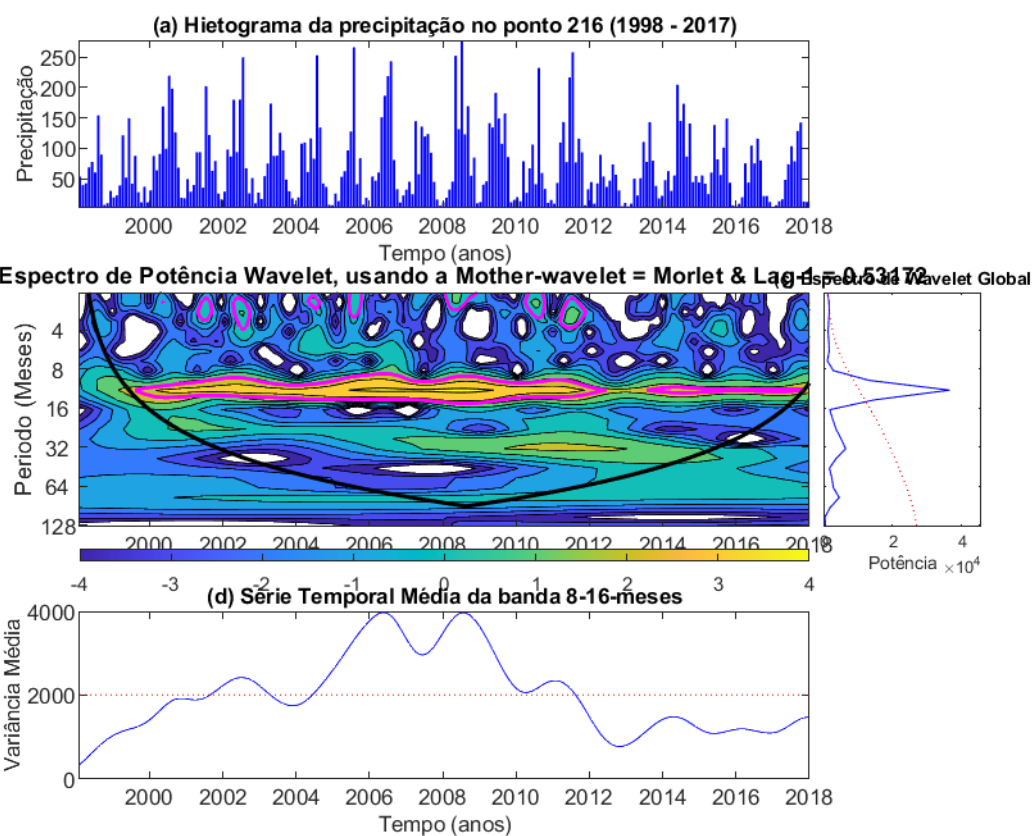


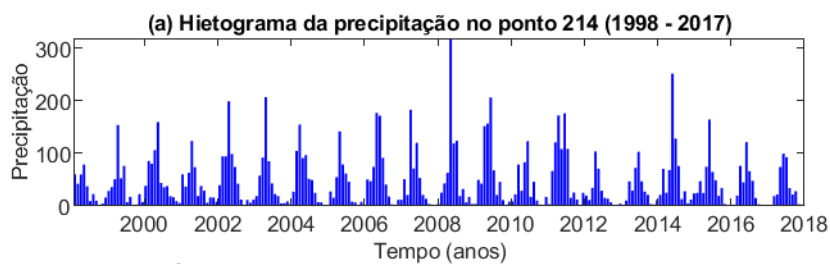




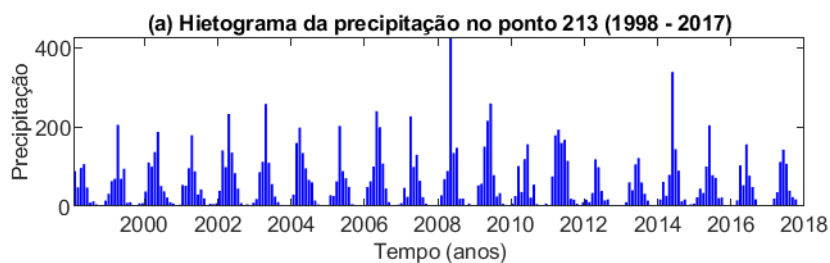
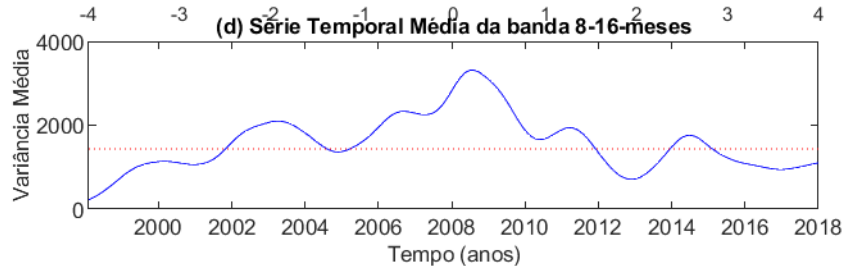
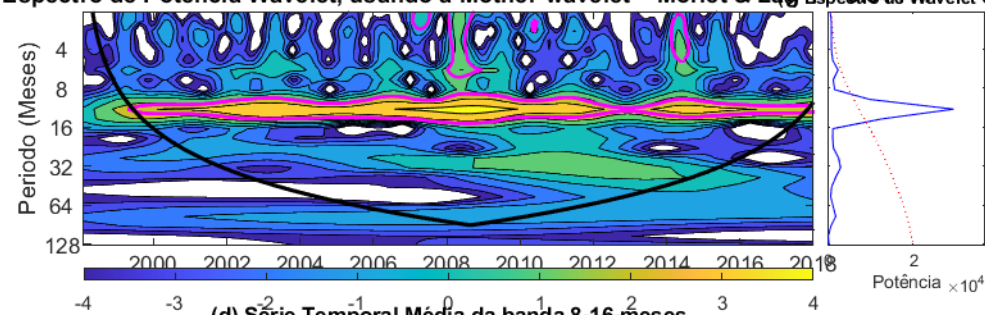




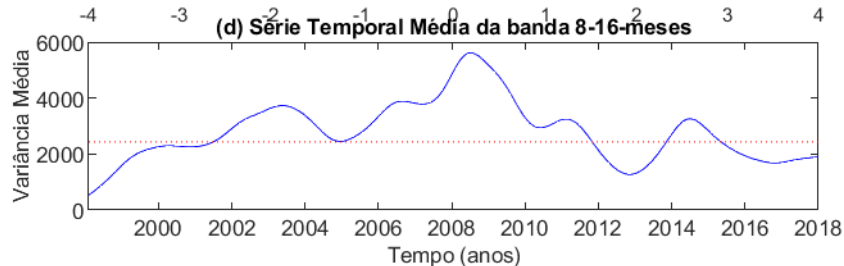
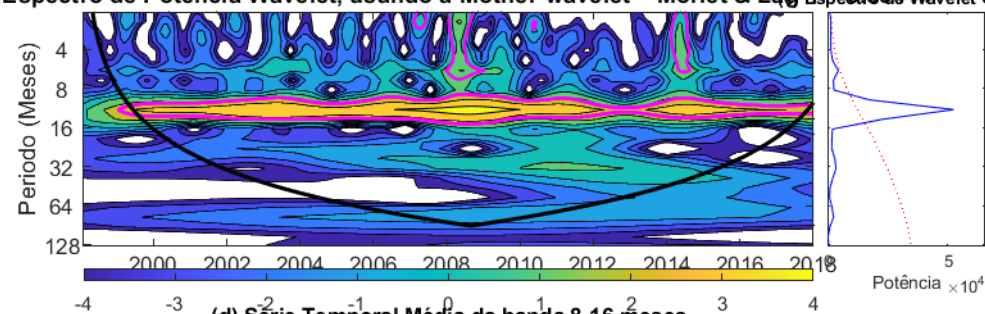


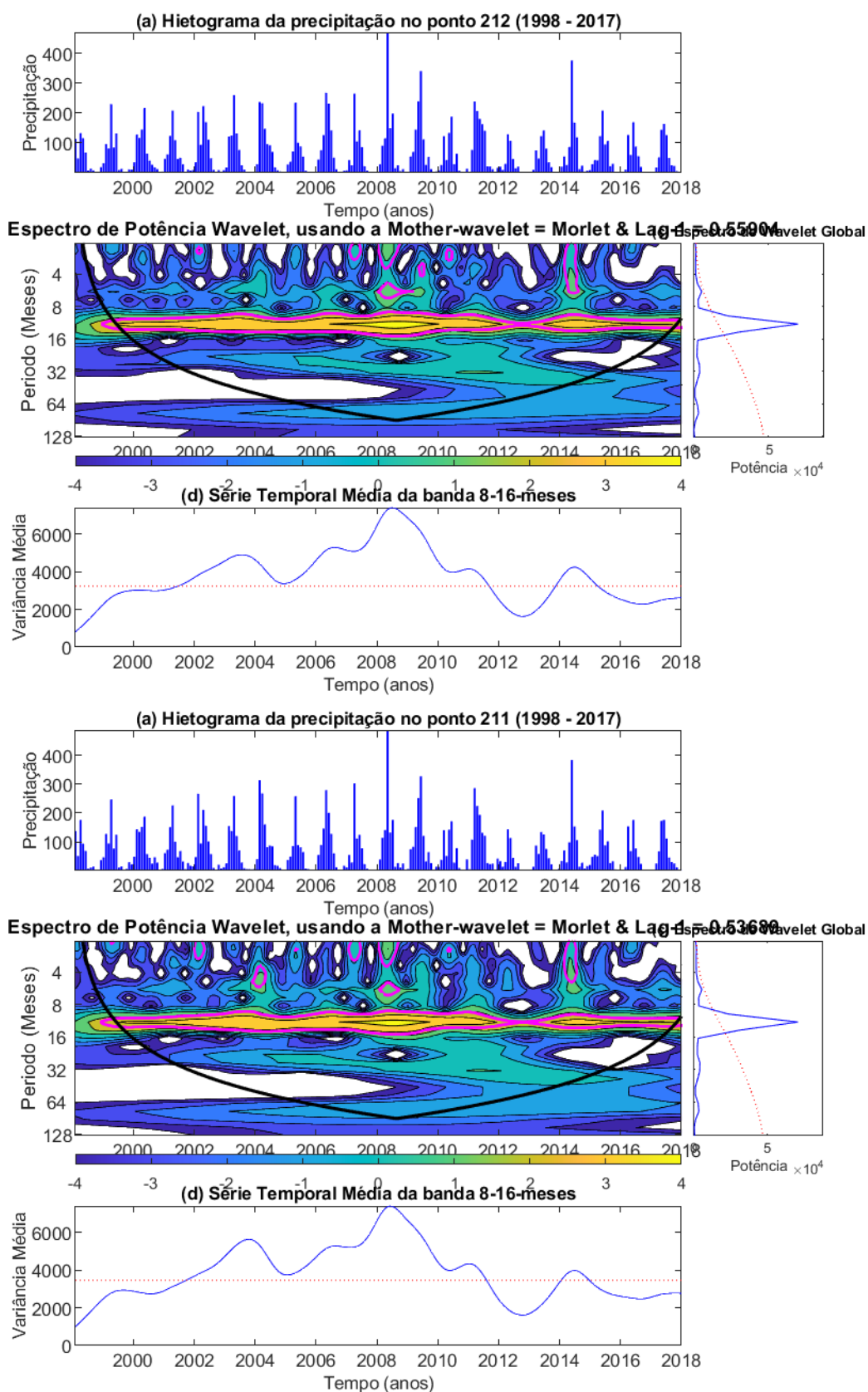


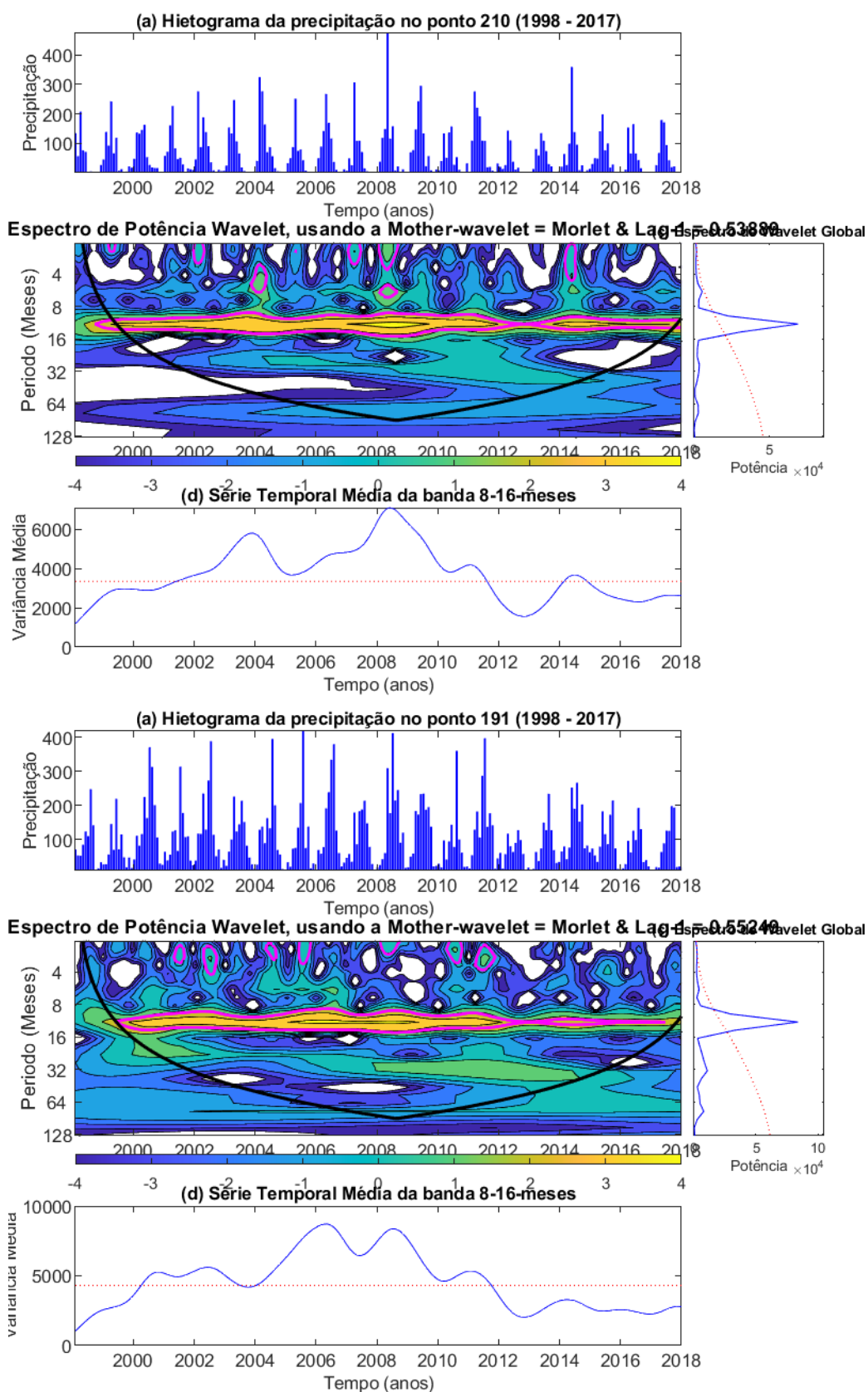
Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.5414

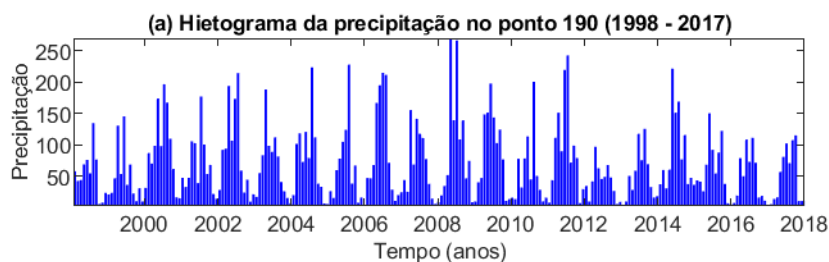


Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.5414

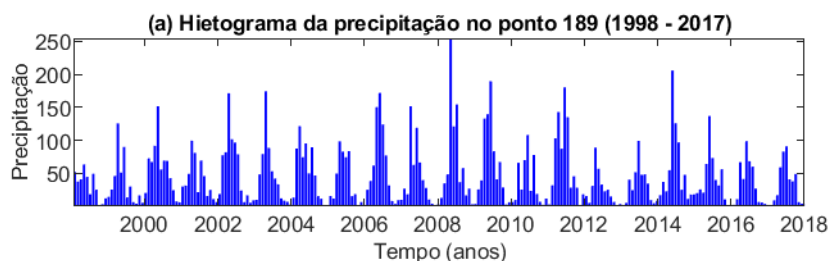
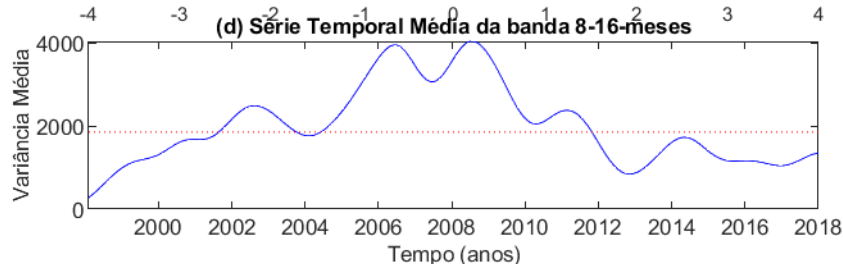
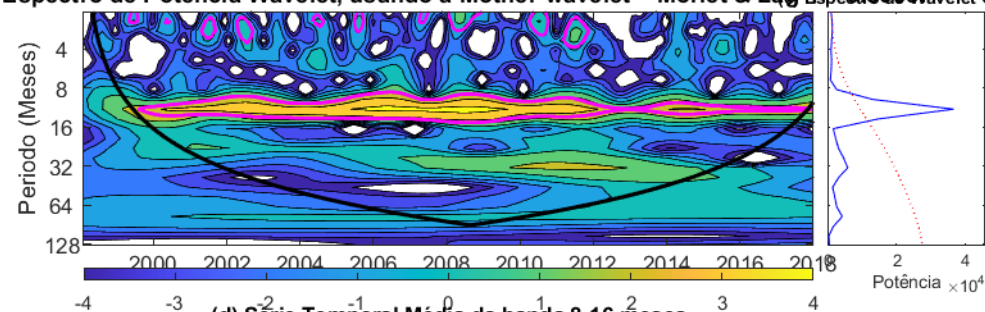




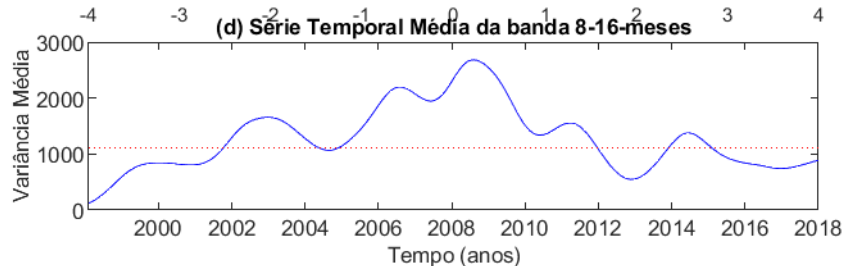
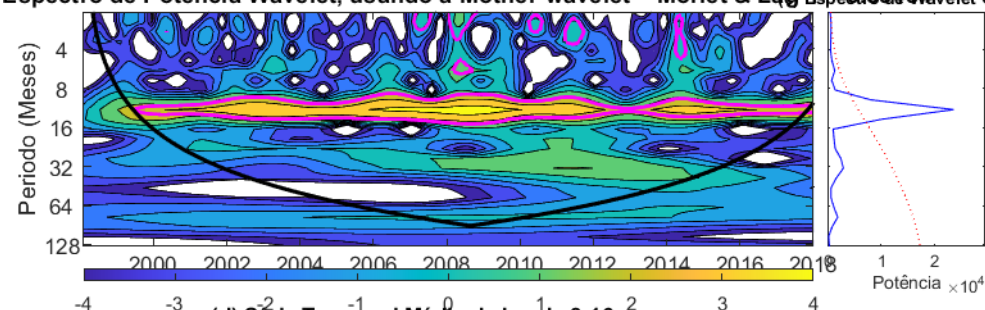


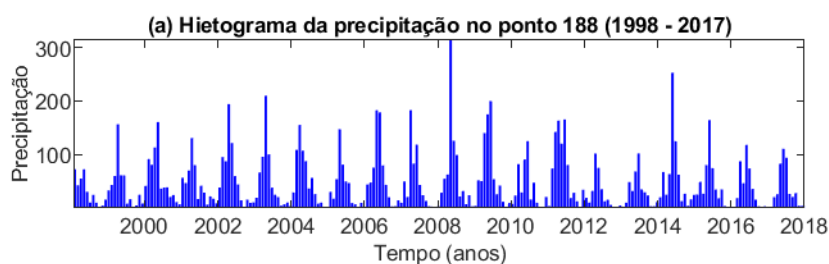


Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.56657

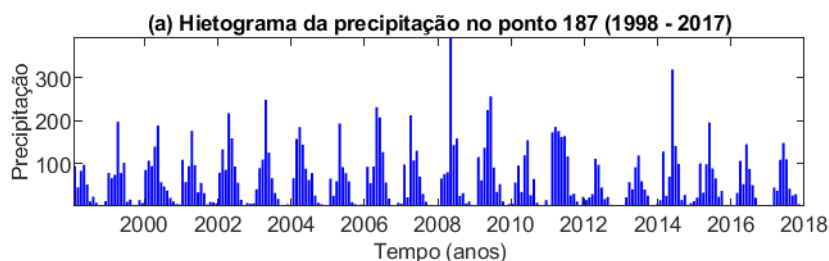
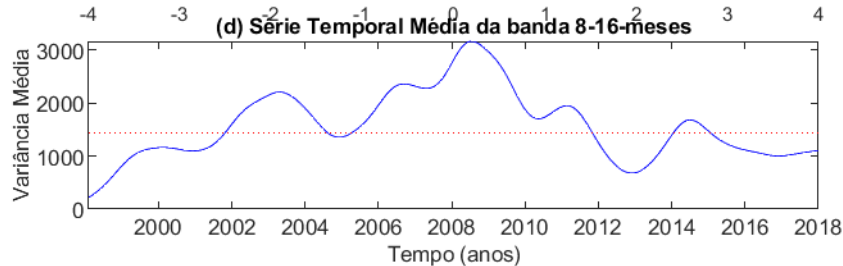
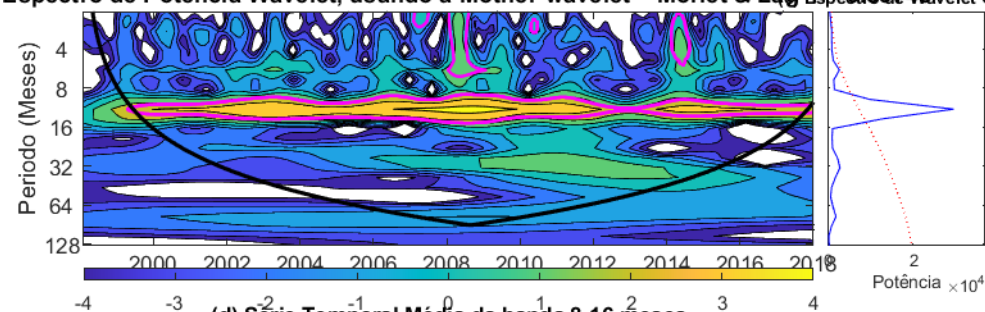


Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.58184

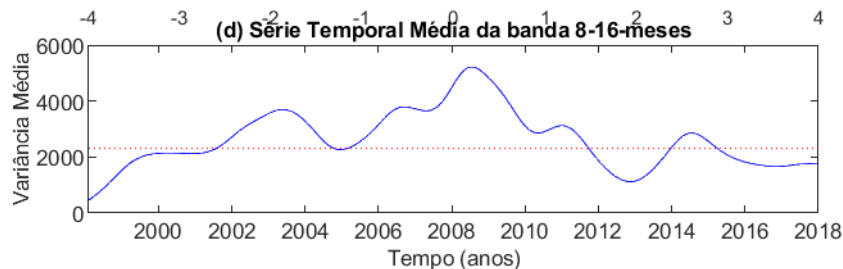
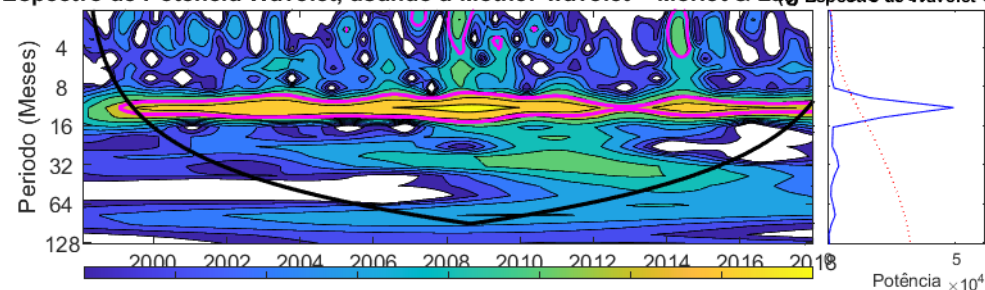


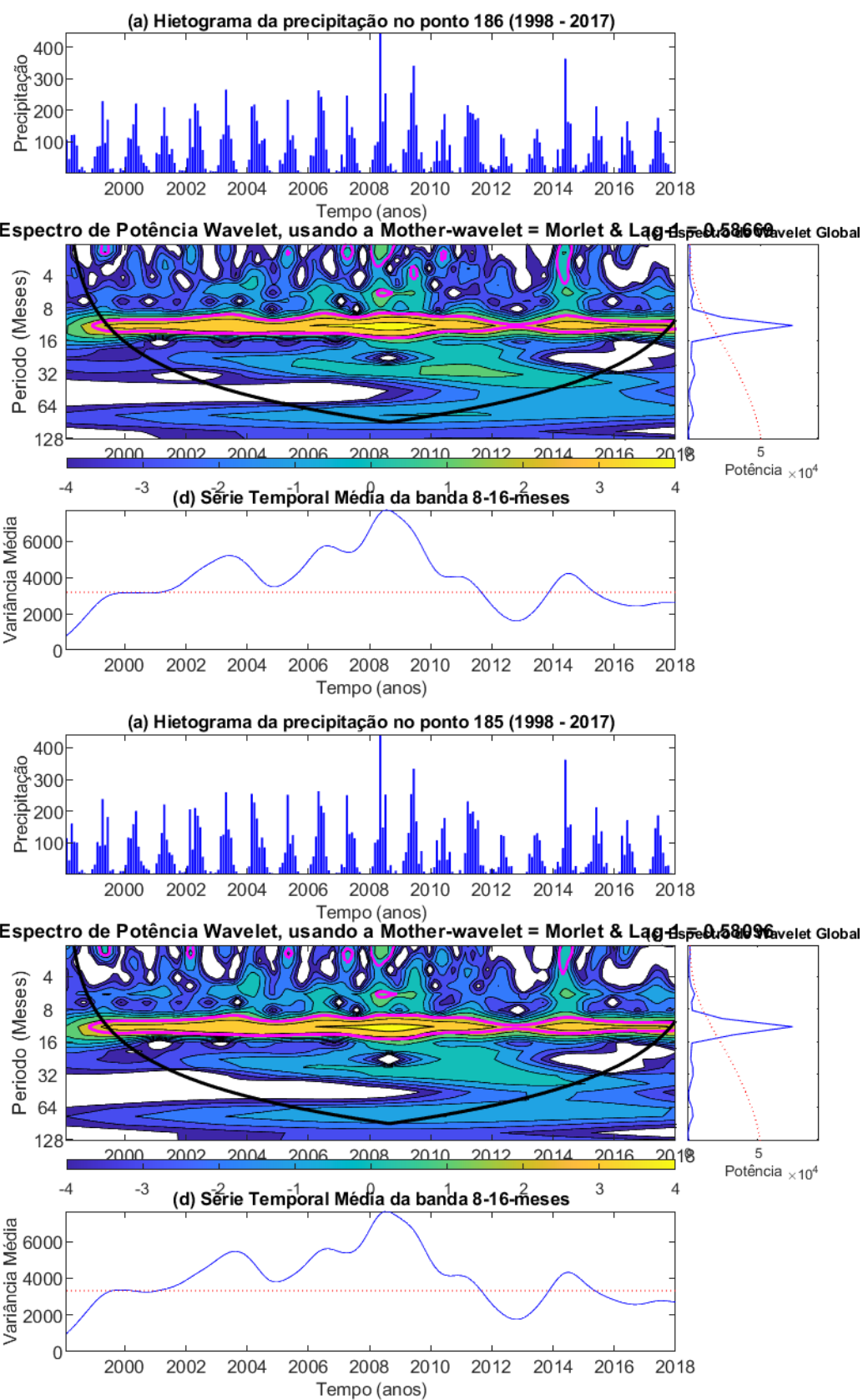


Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.53748

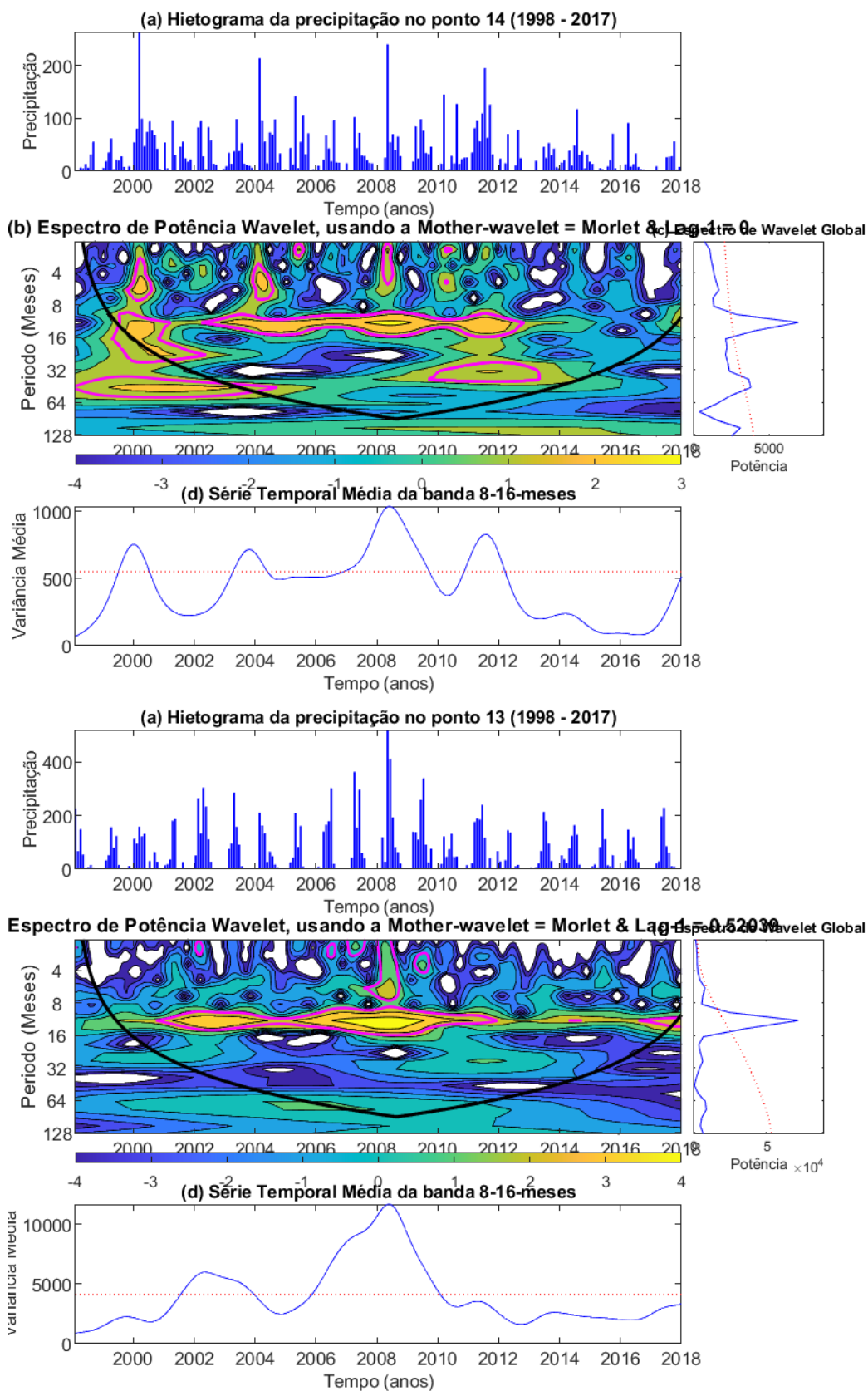


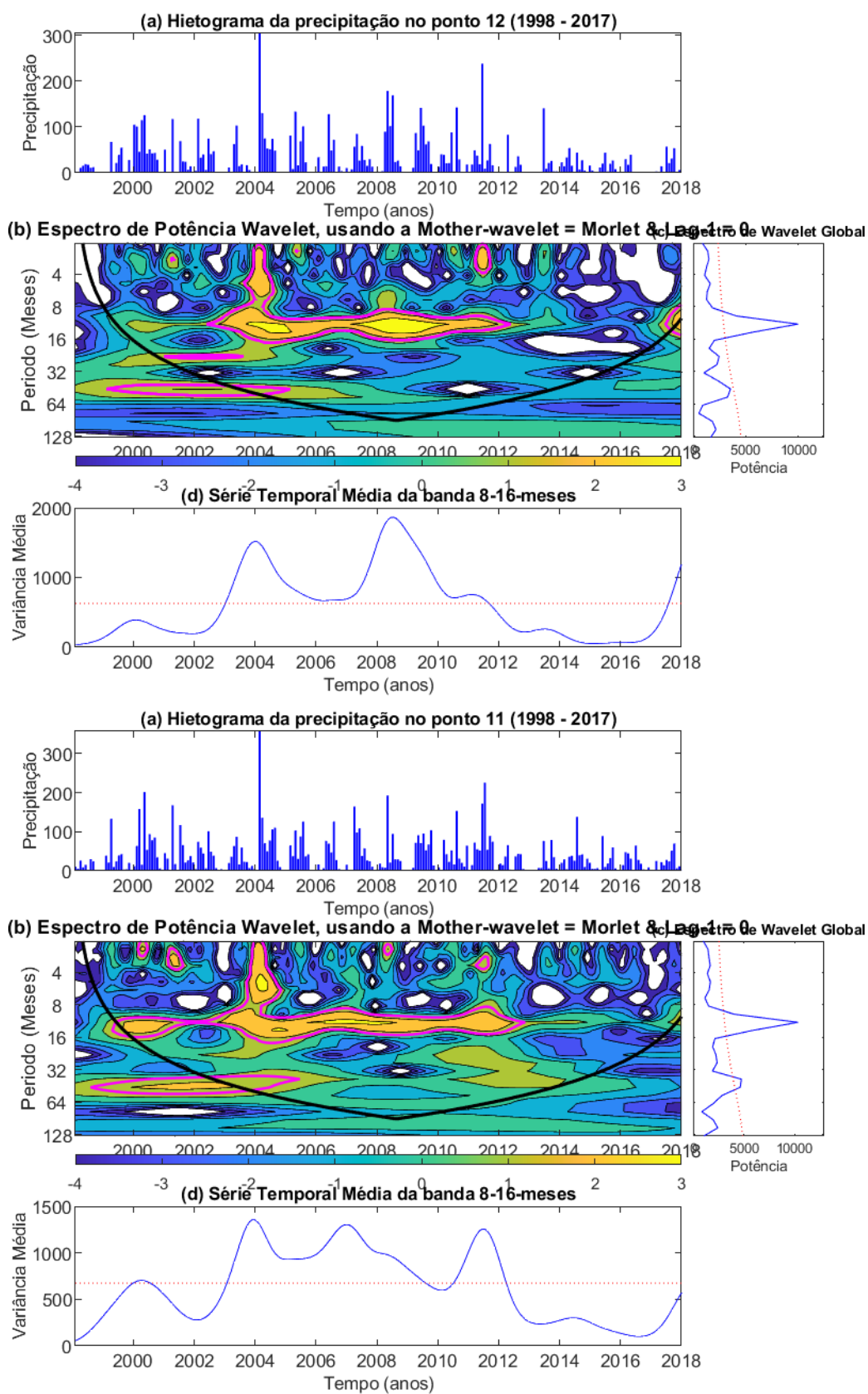
Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.54777

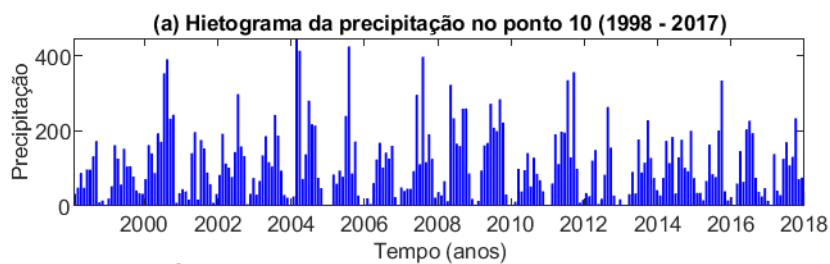




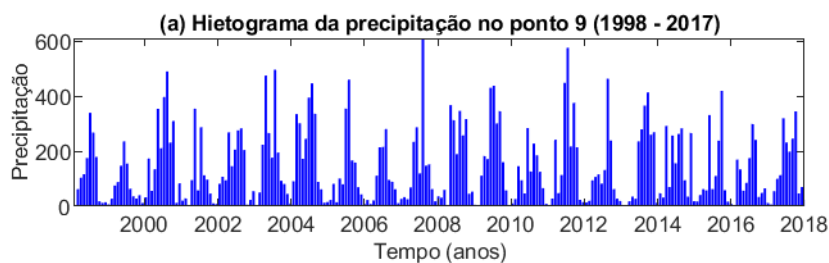
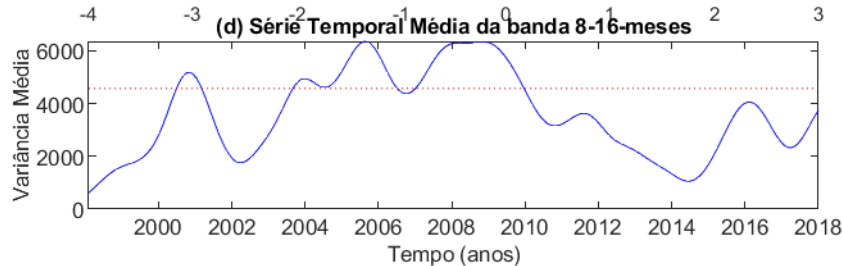
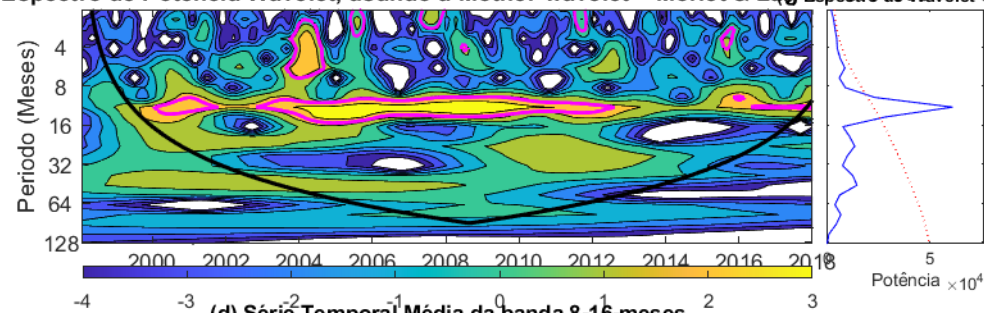
DADOS PROVENIENTES DA AESA DE (1998 – 2018) – TODOS OS PONTOS



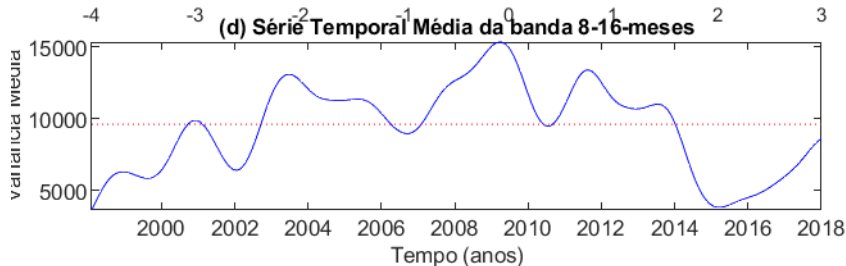
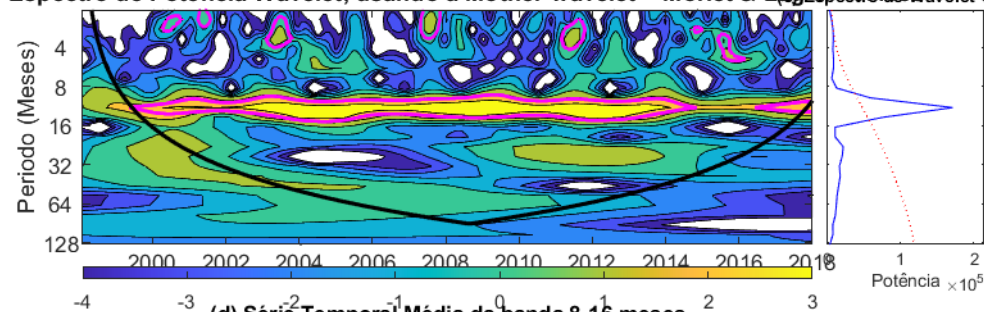


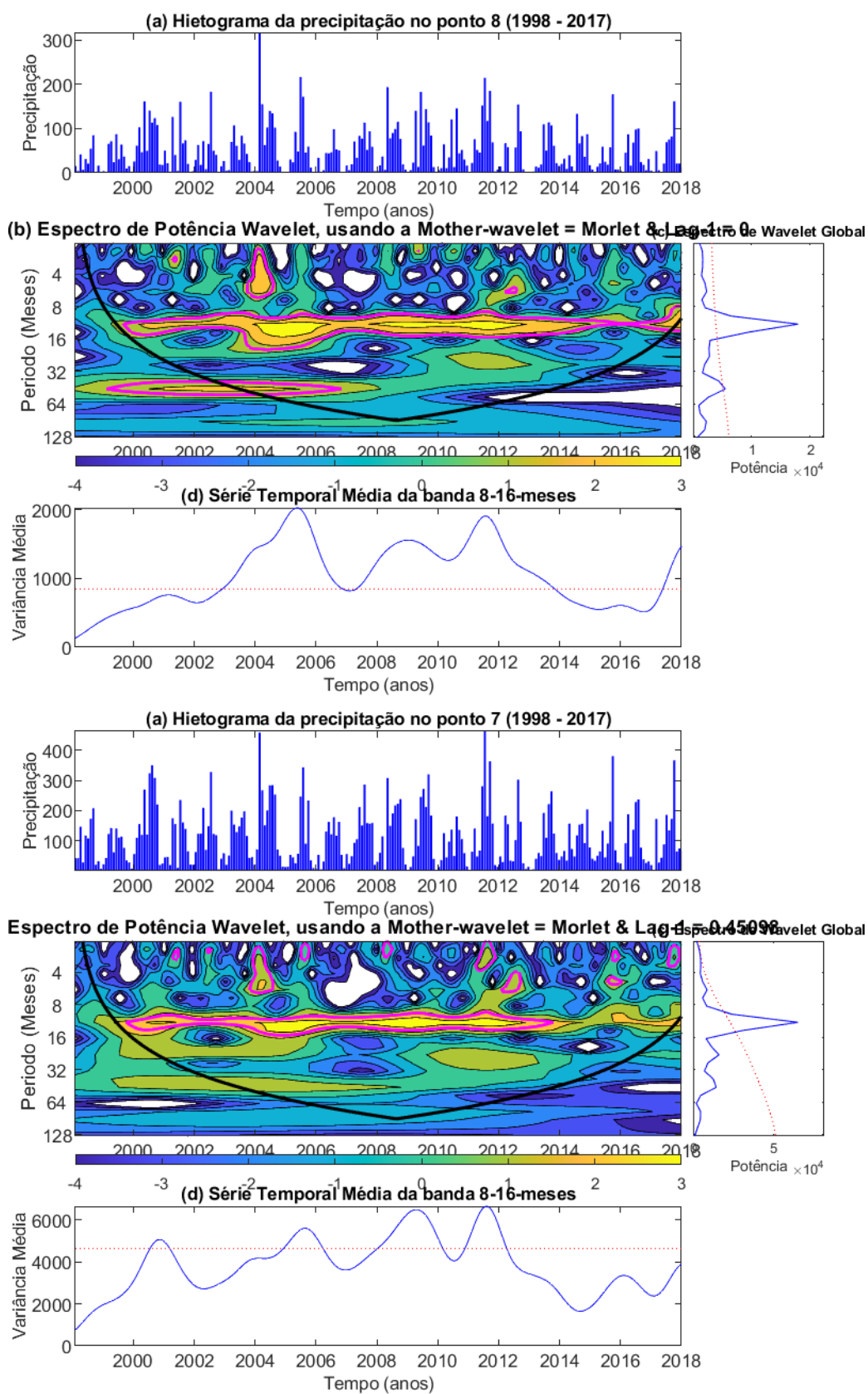


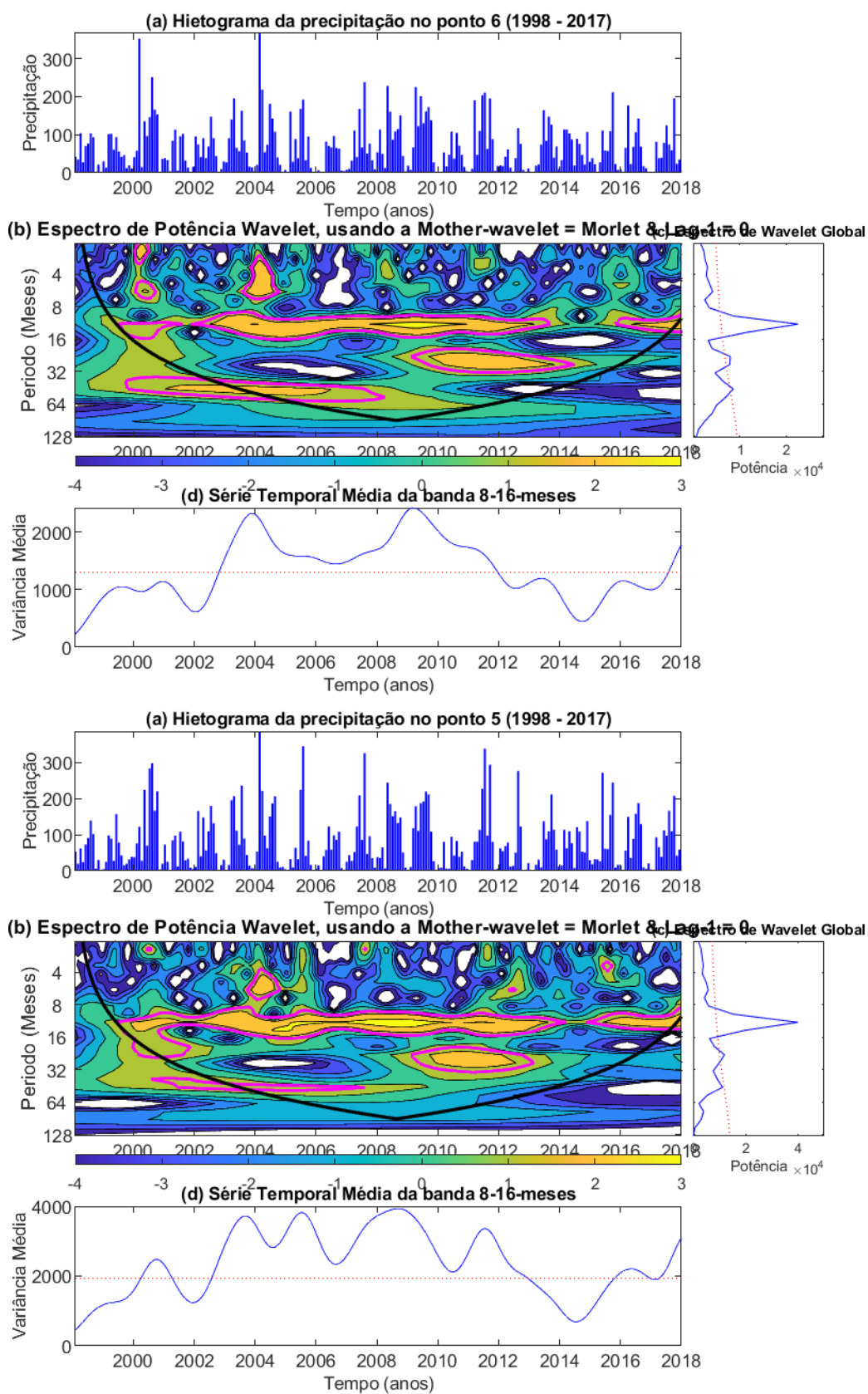
Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.44075

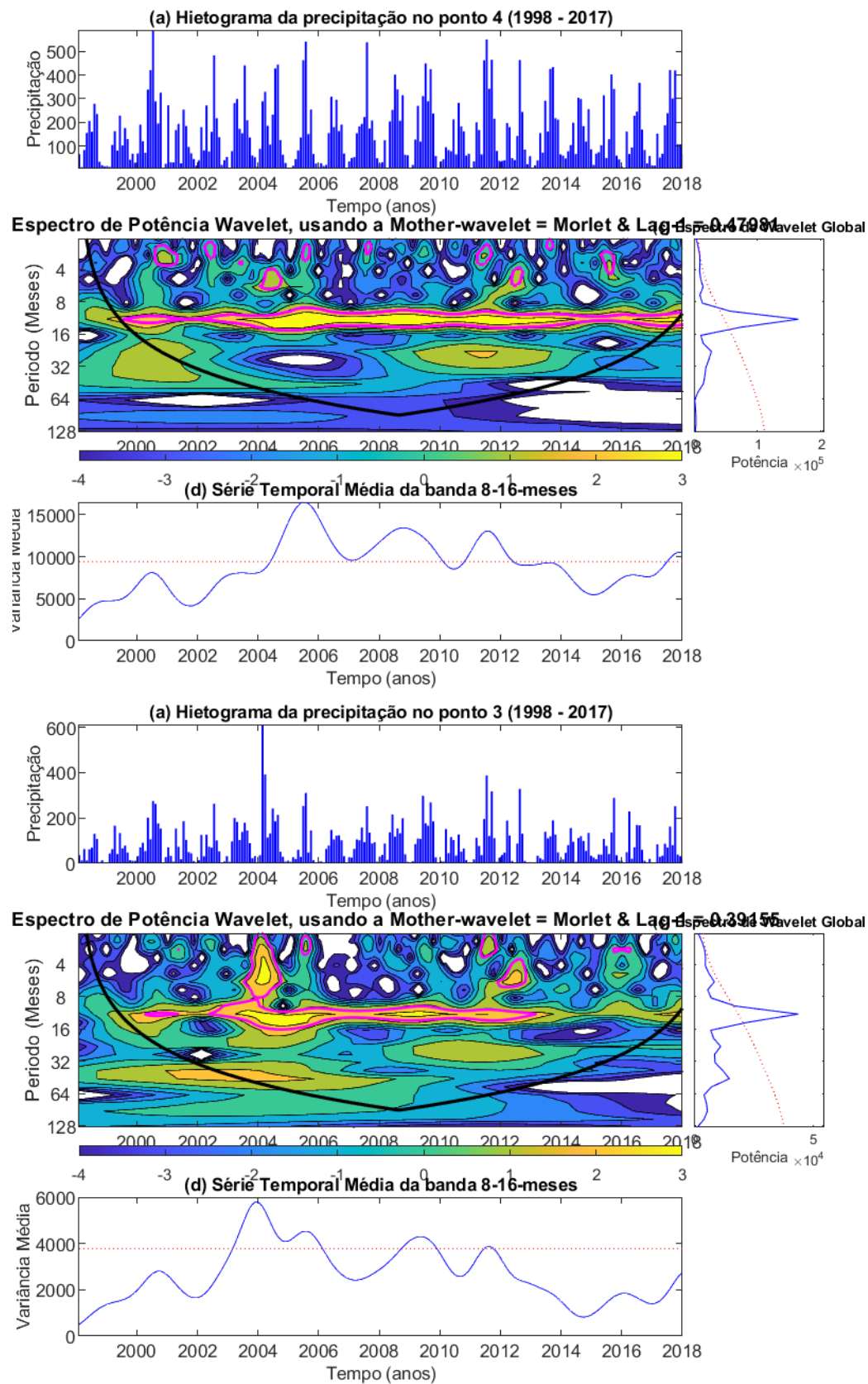


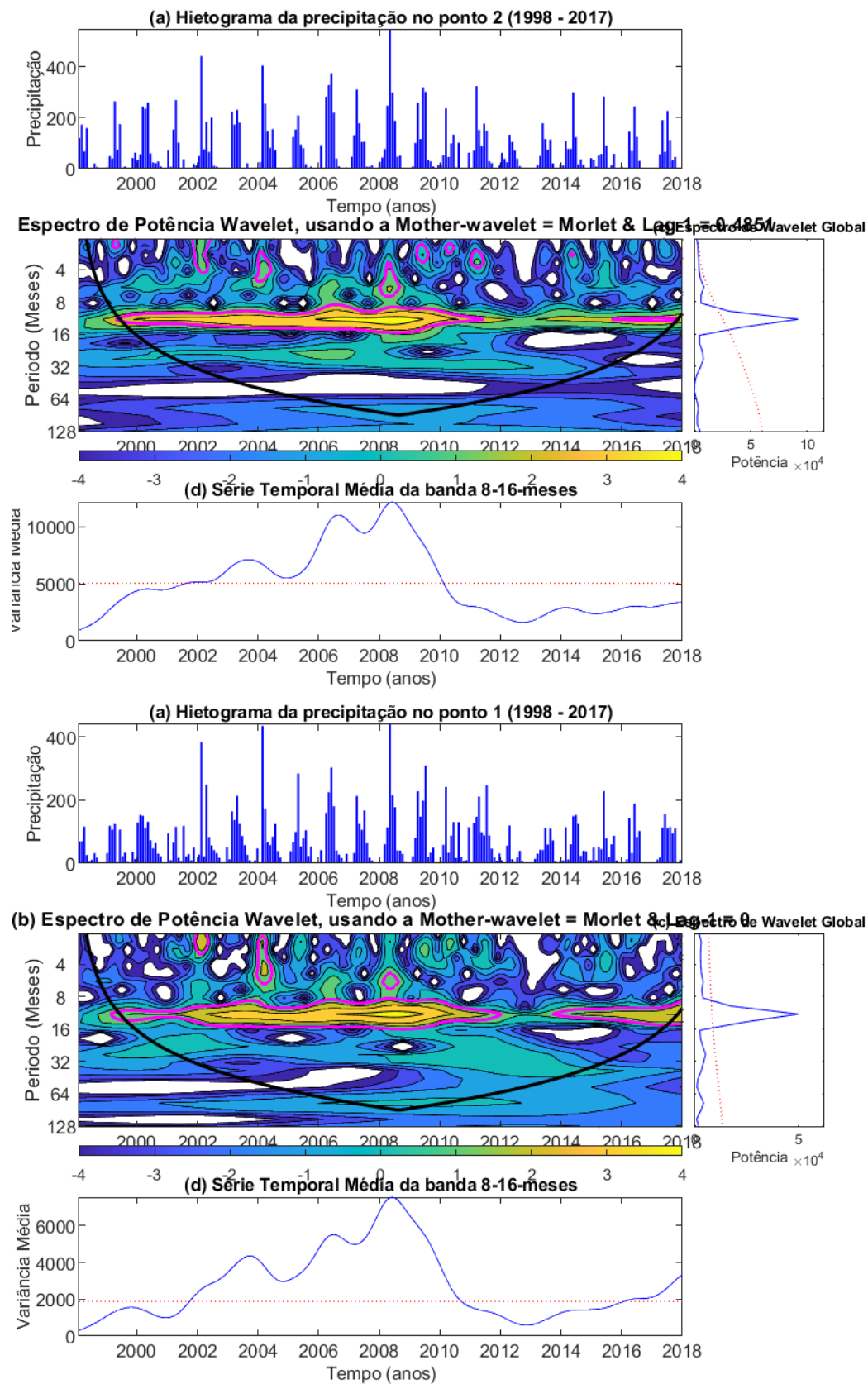
Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.4998

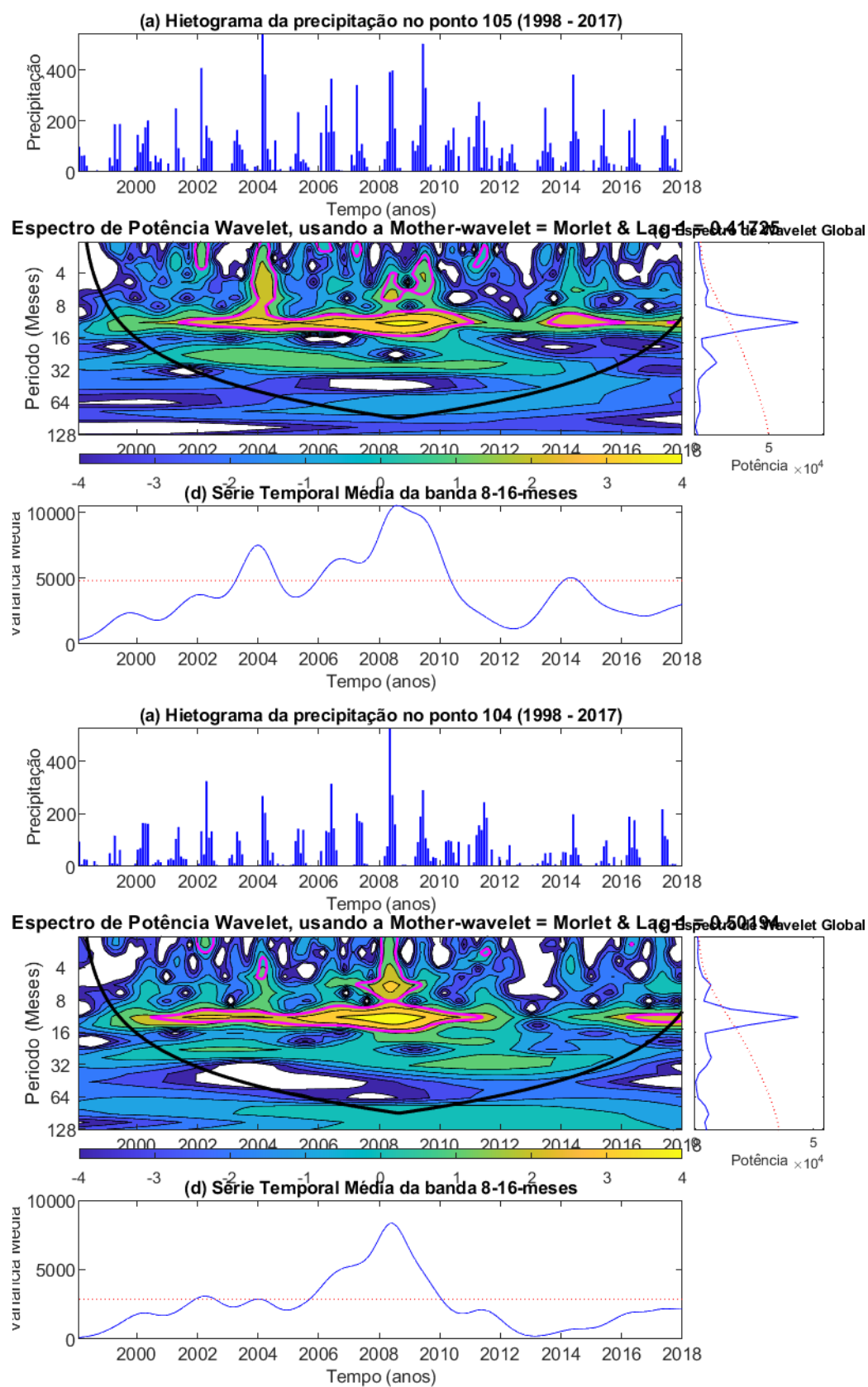


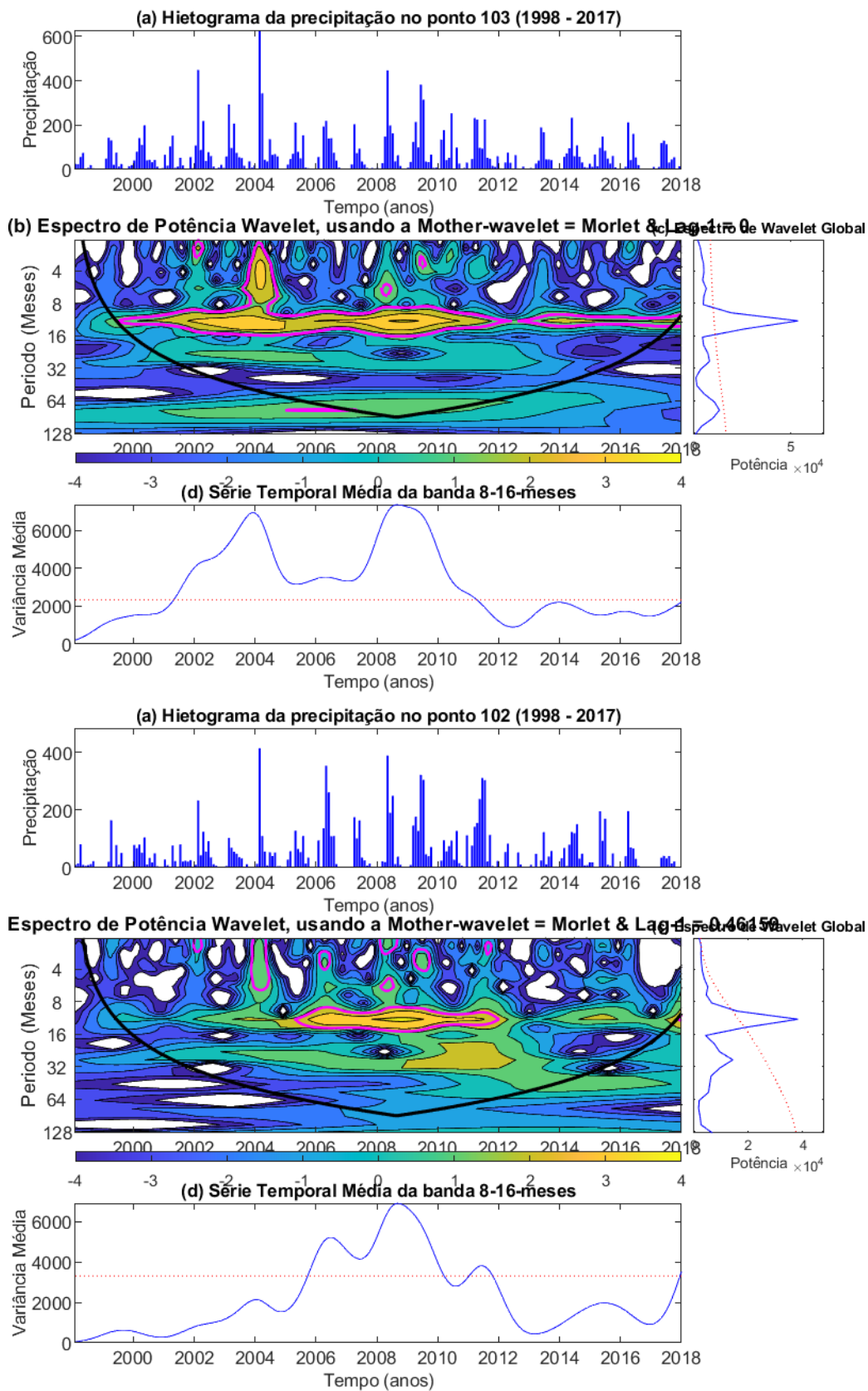


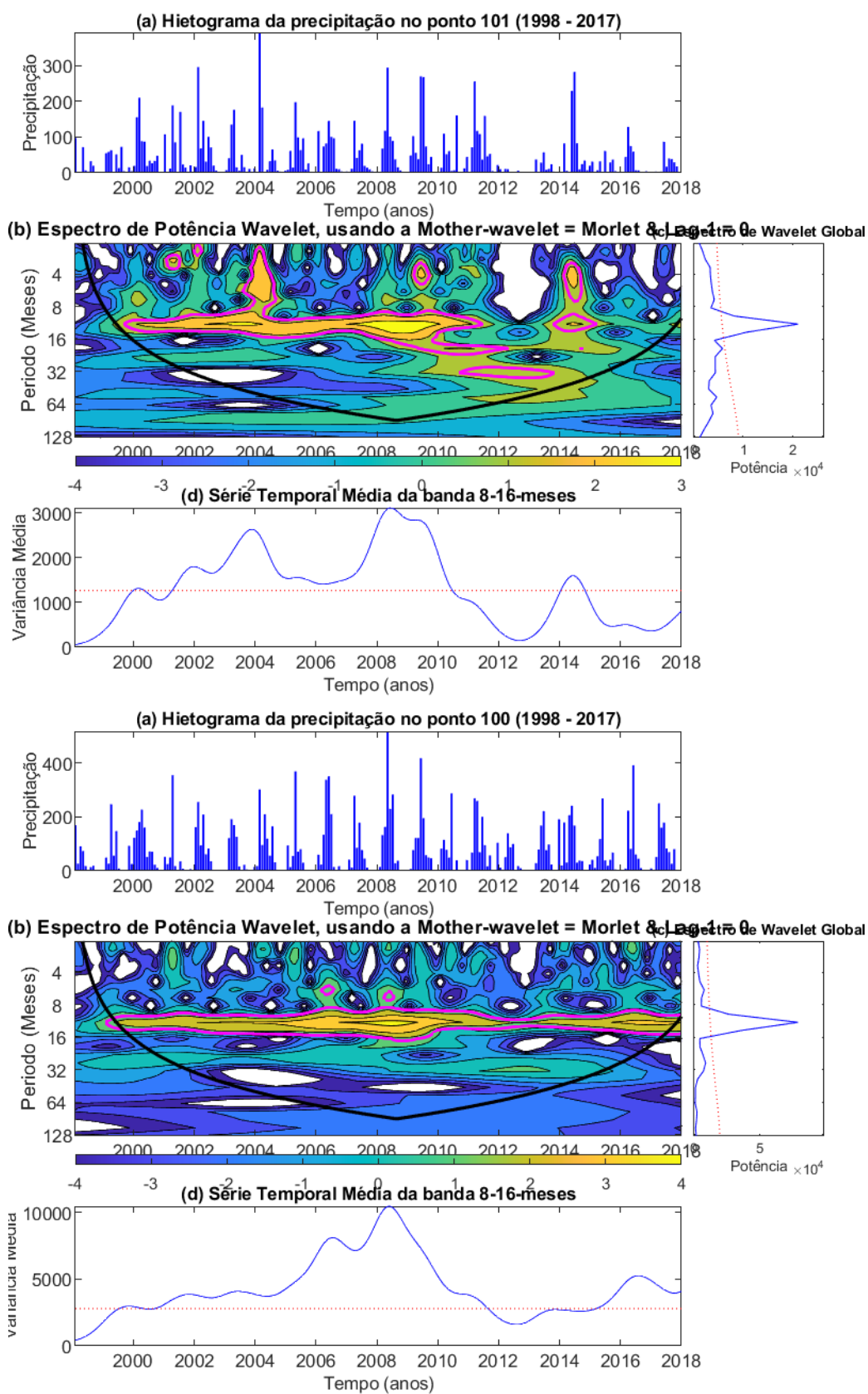


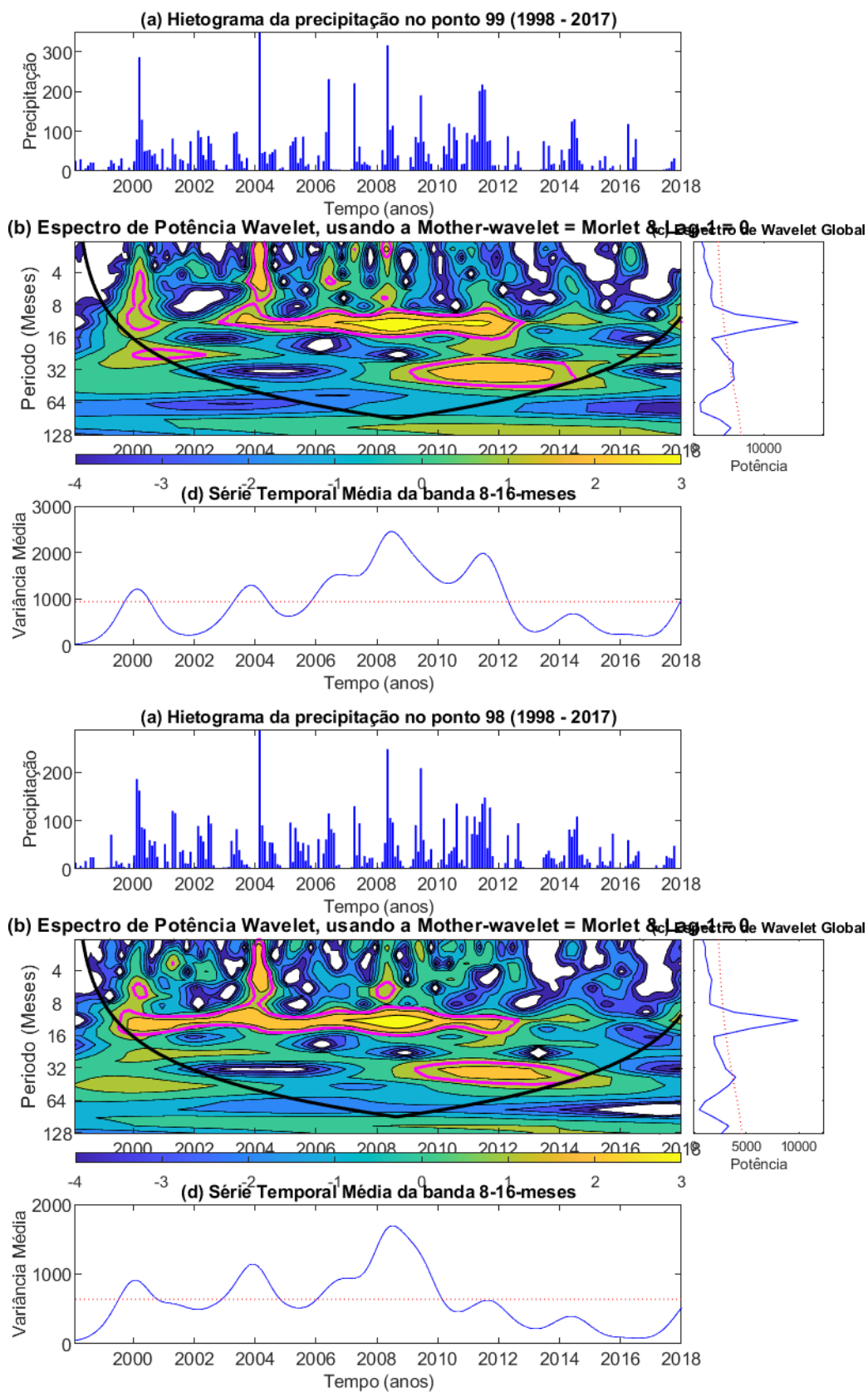


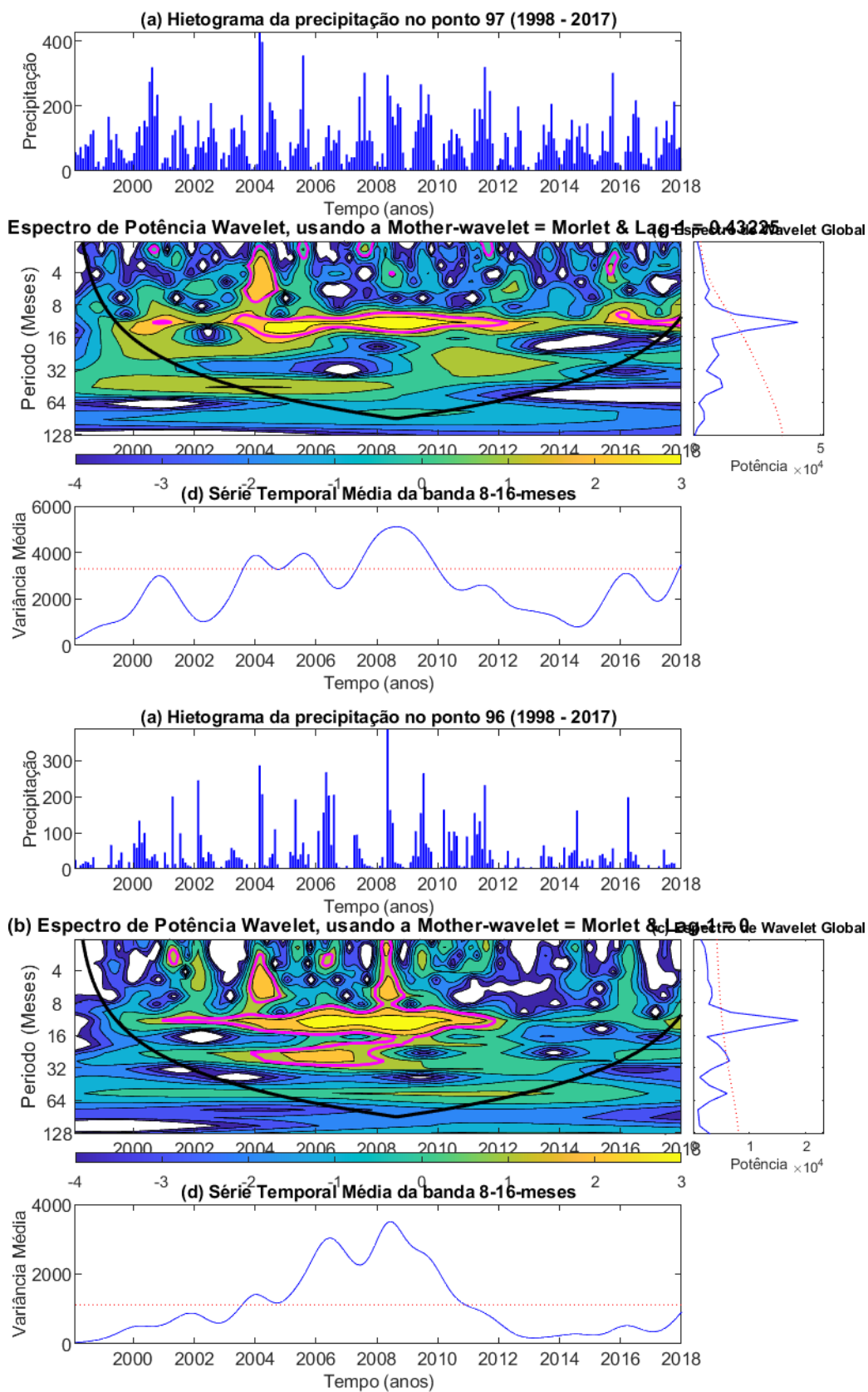


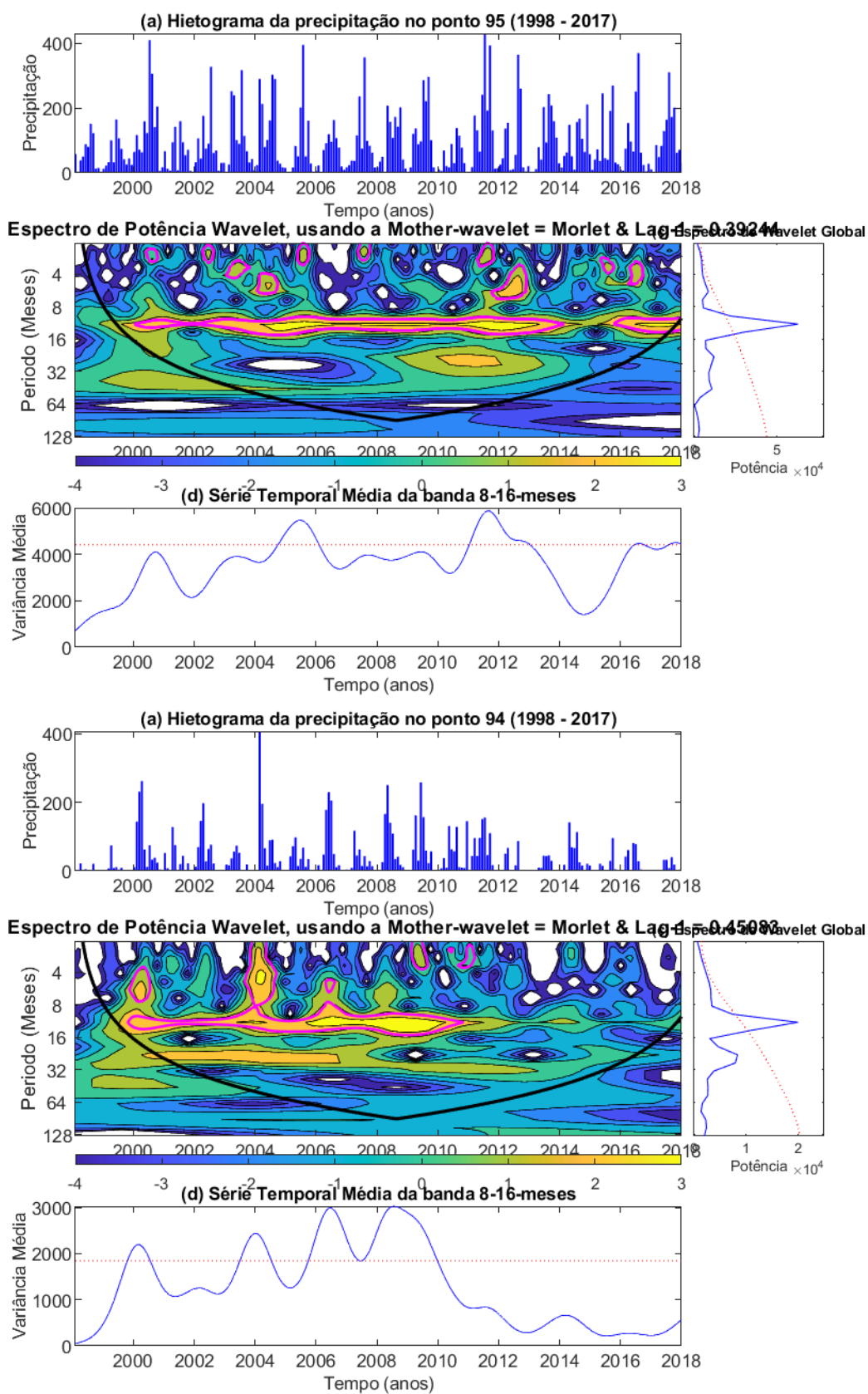


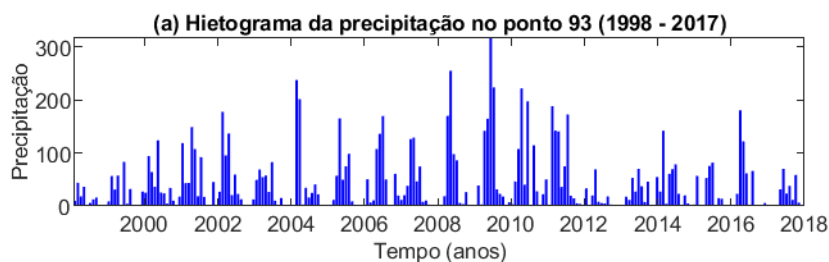




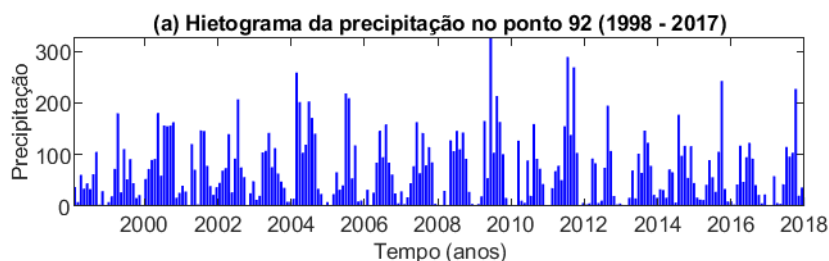
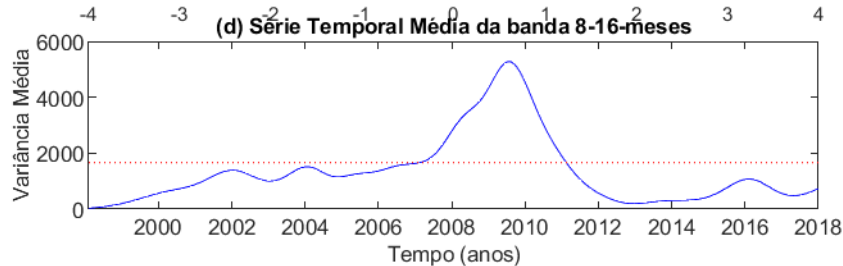
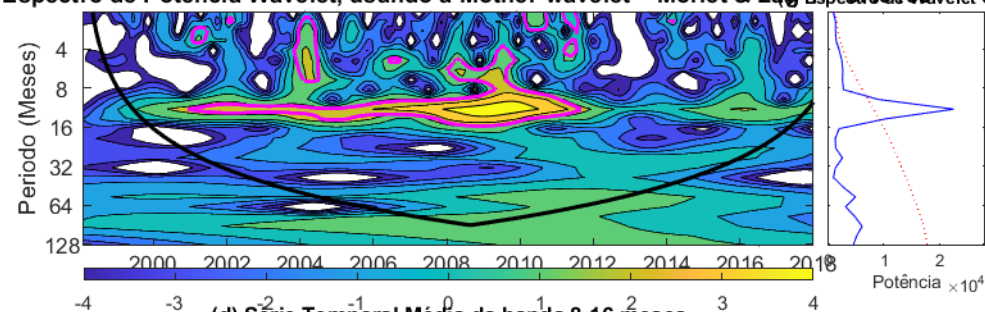




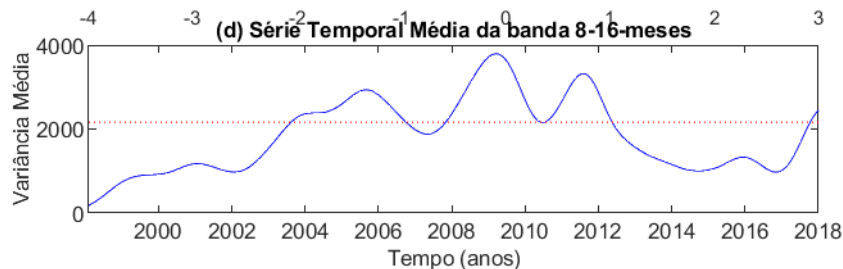
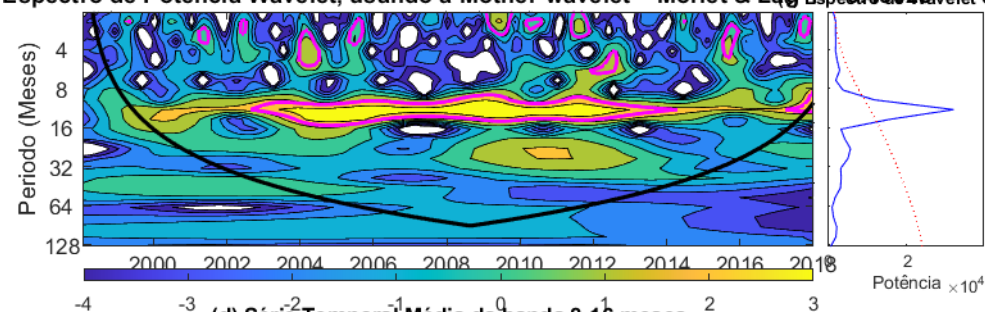


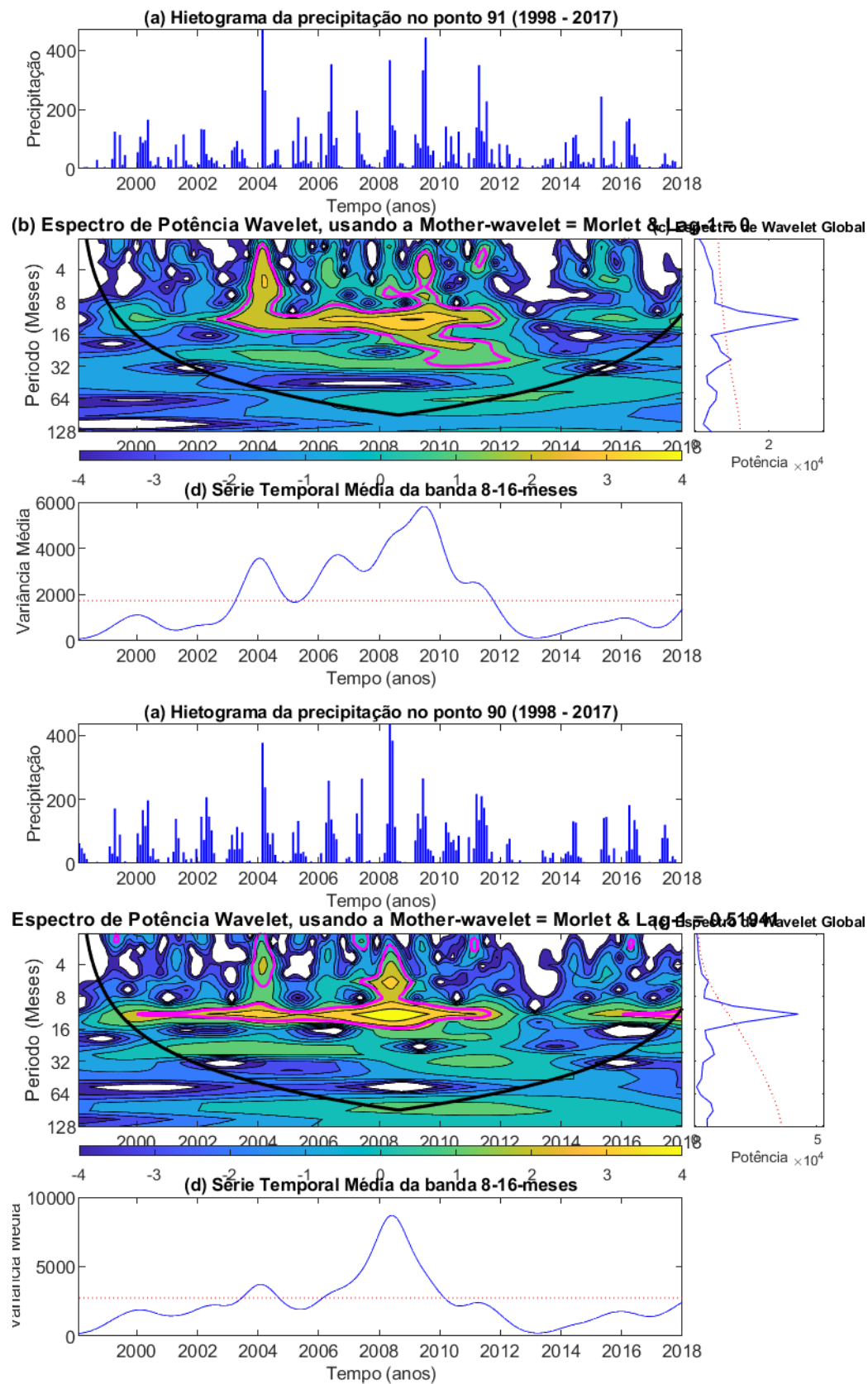


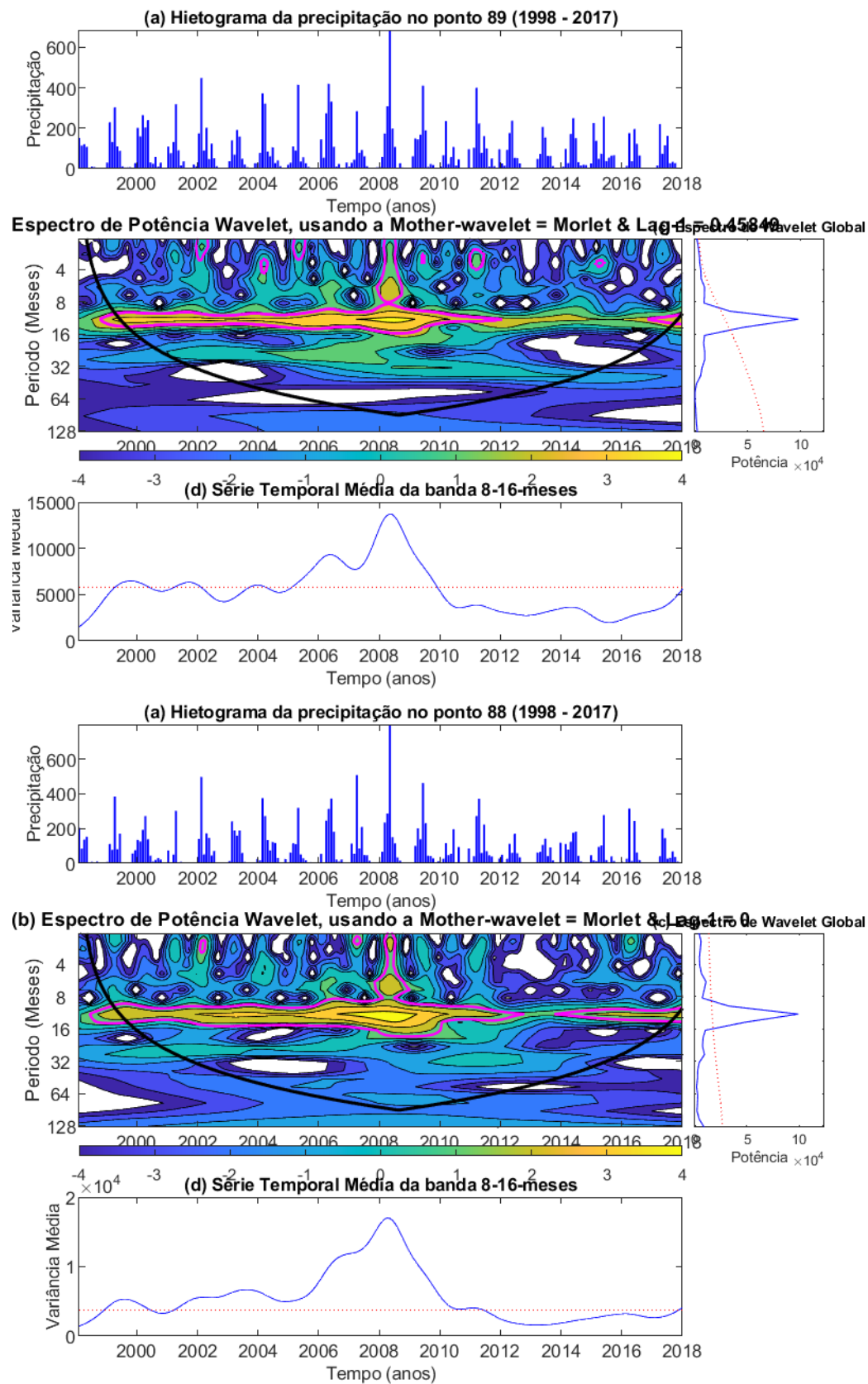
Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.43153

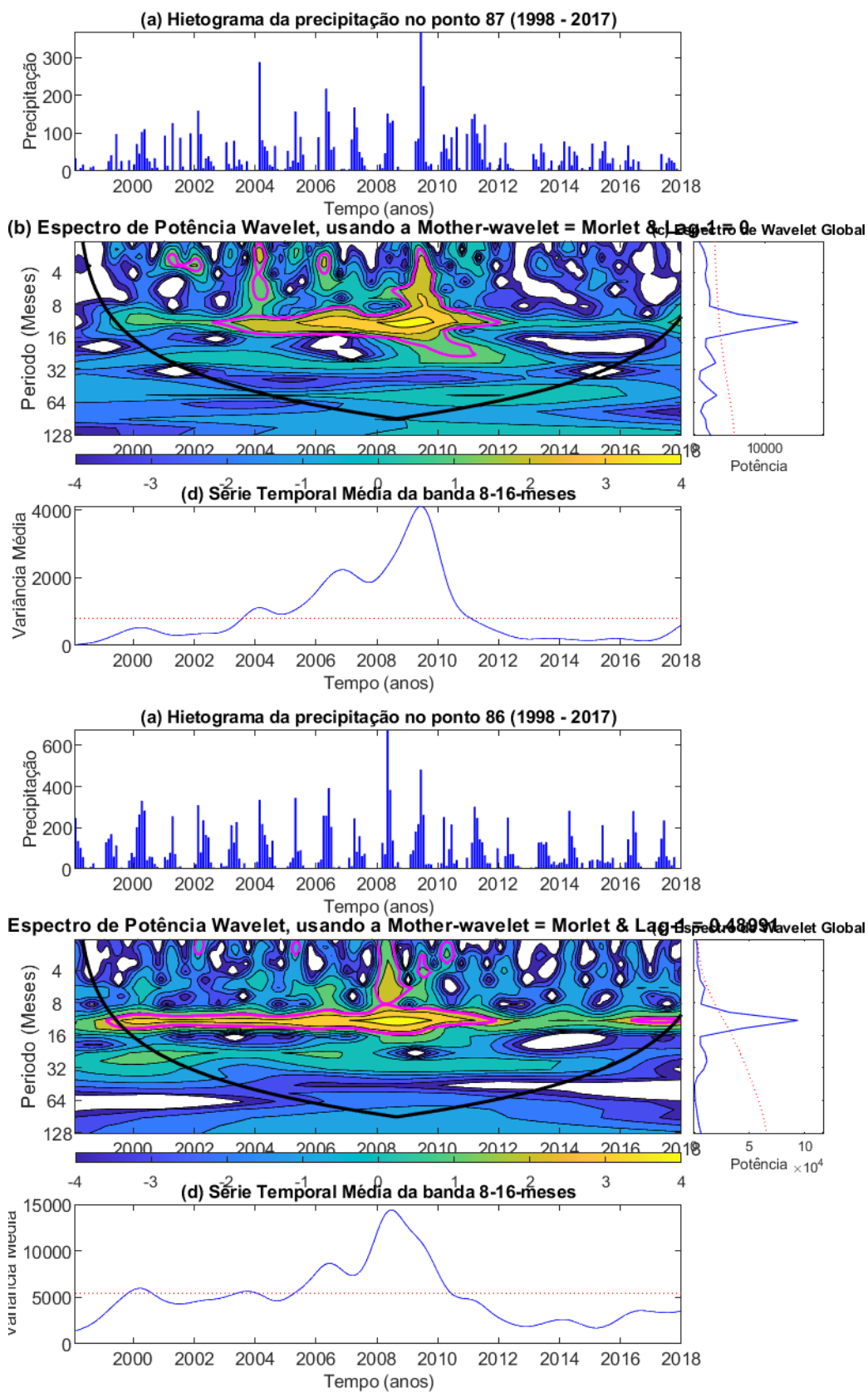


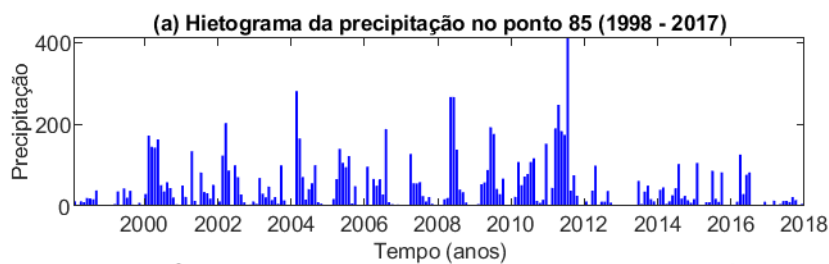
Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.45028



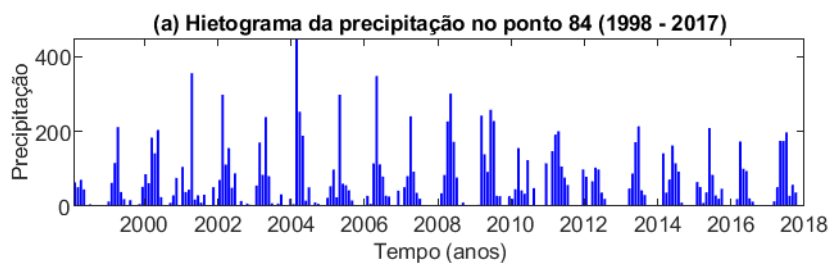
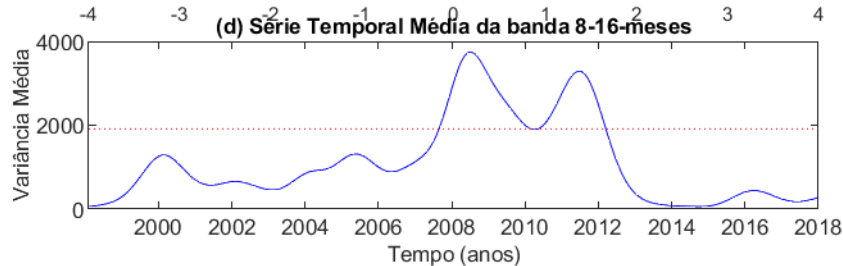
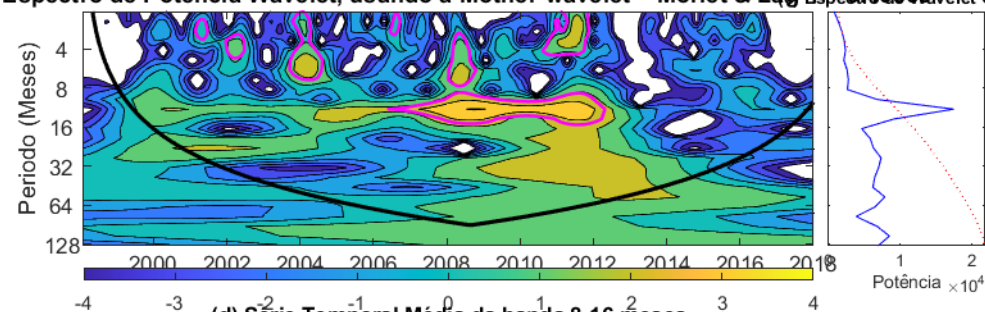




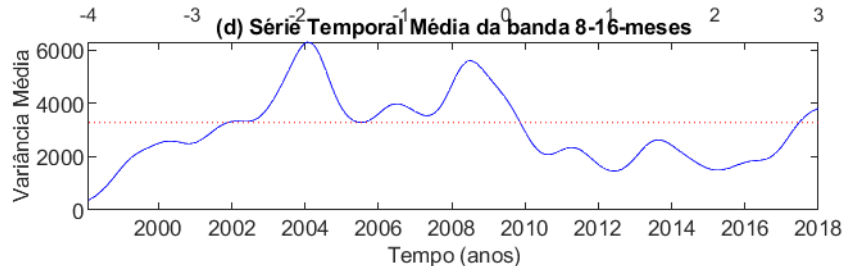
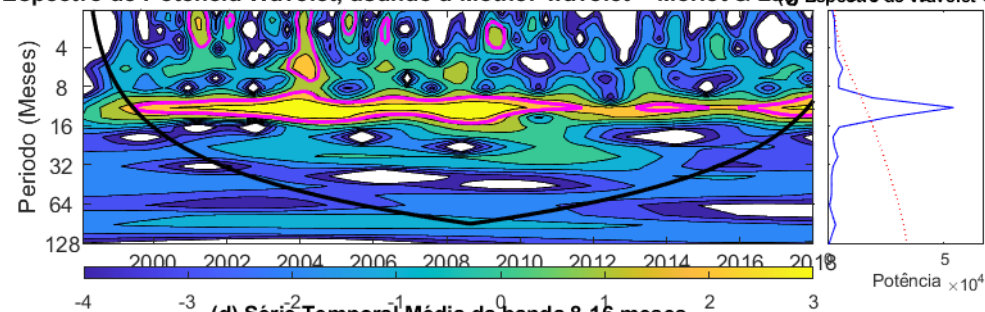


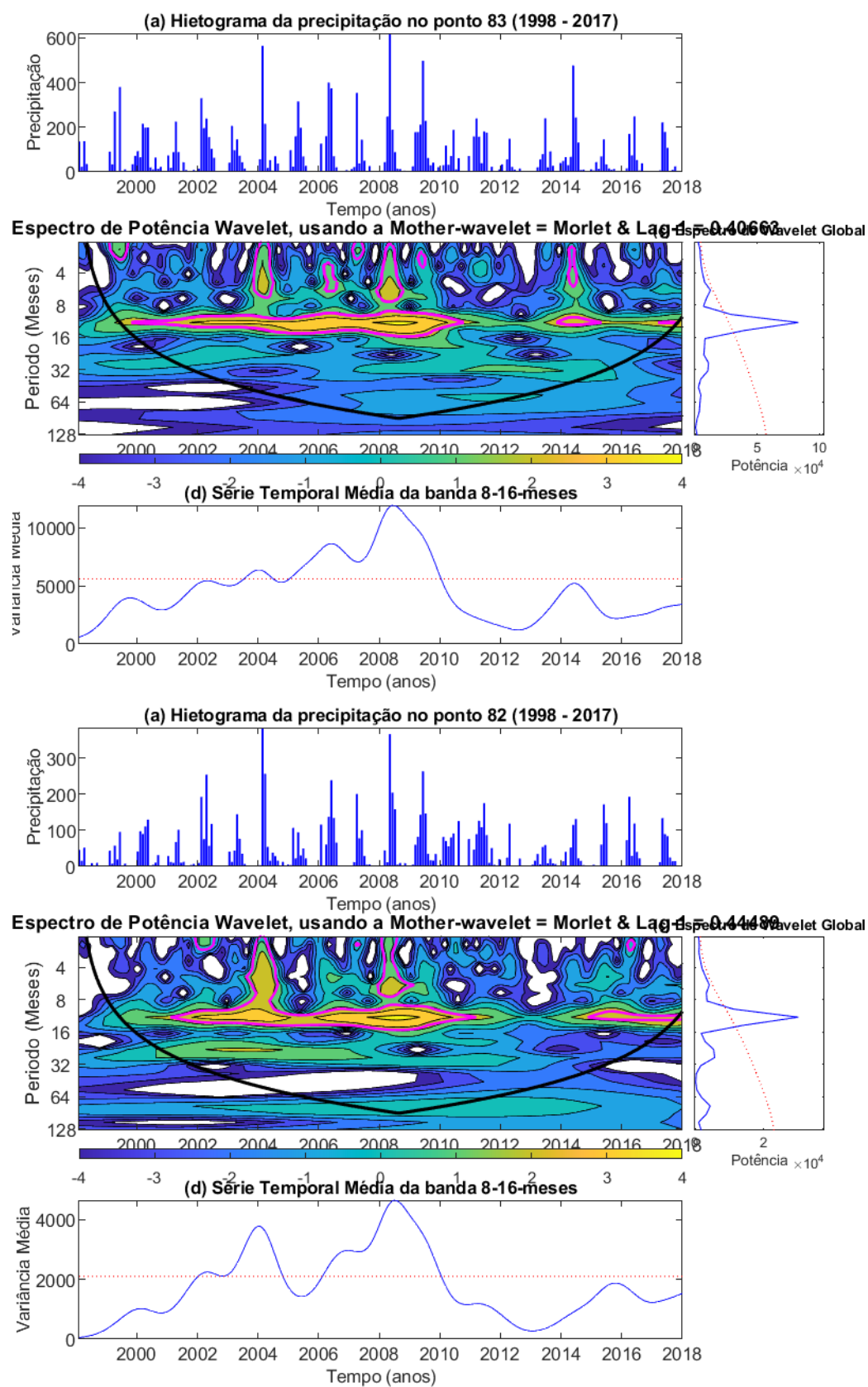


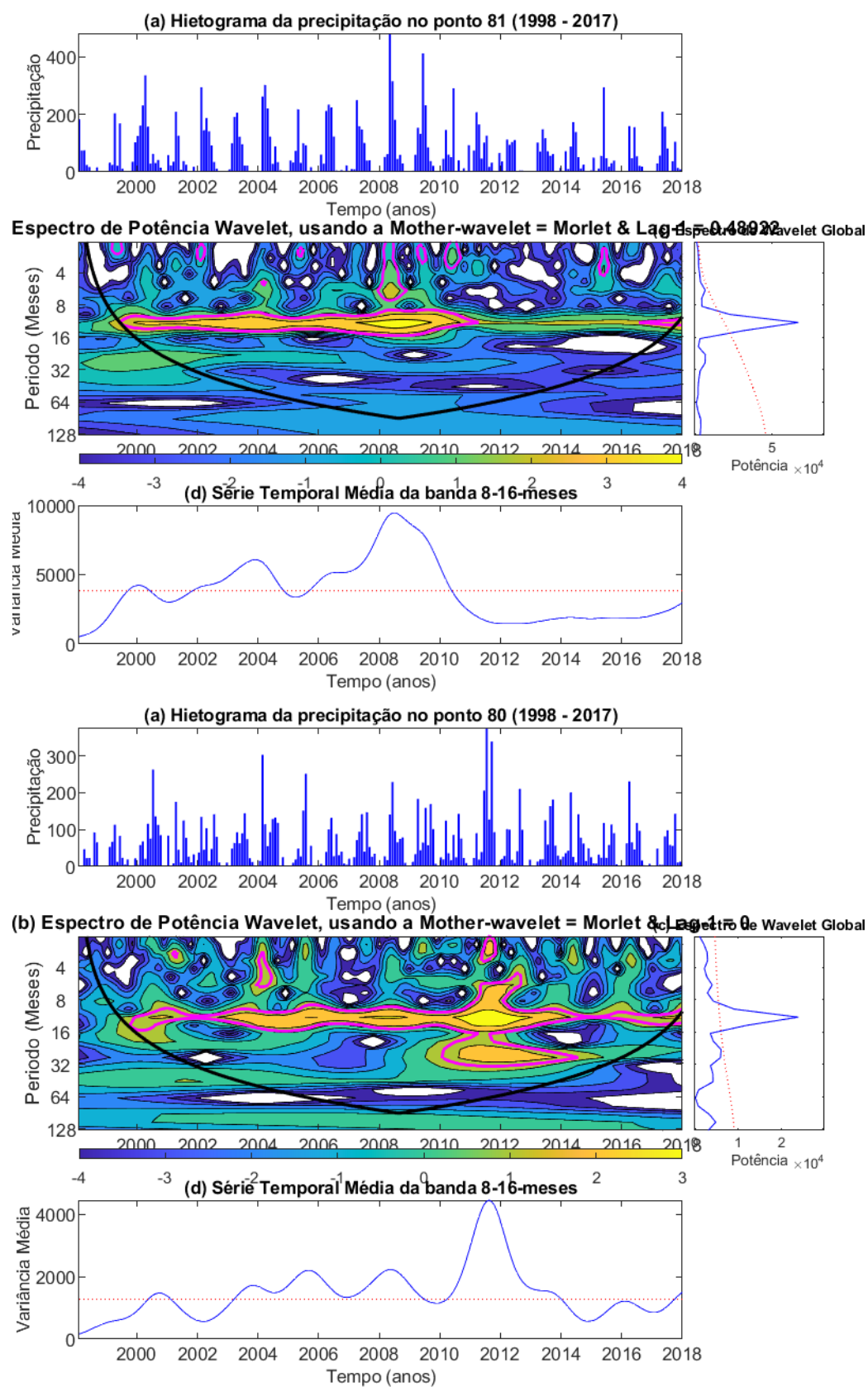
Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.46569

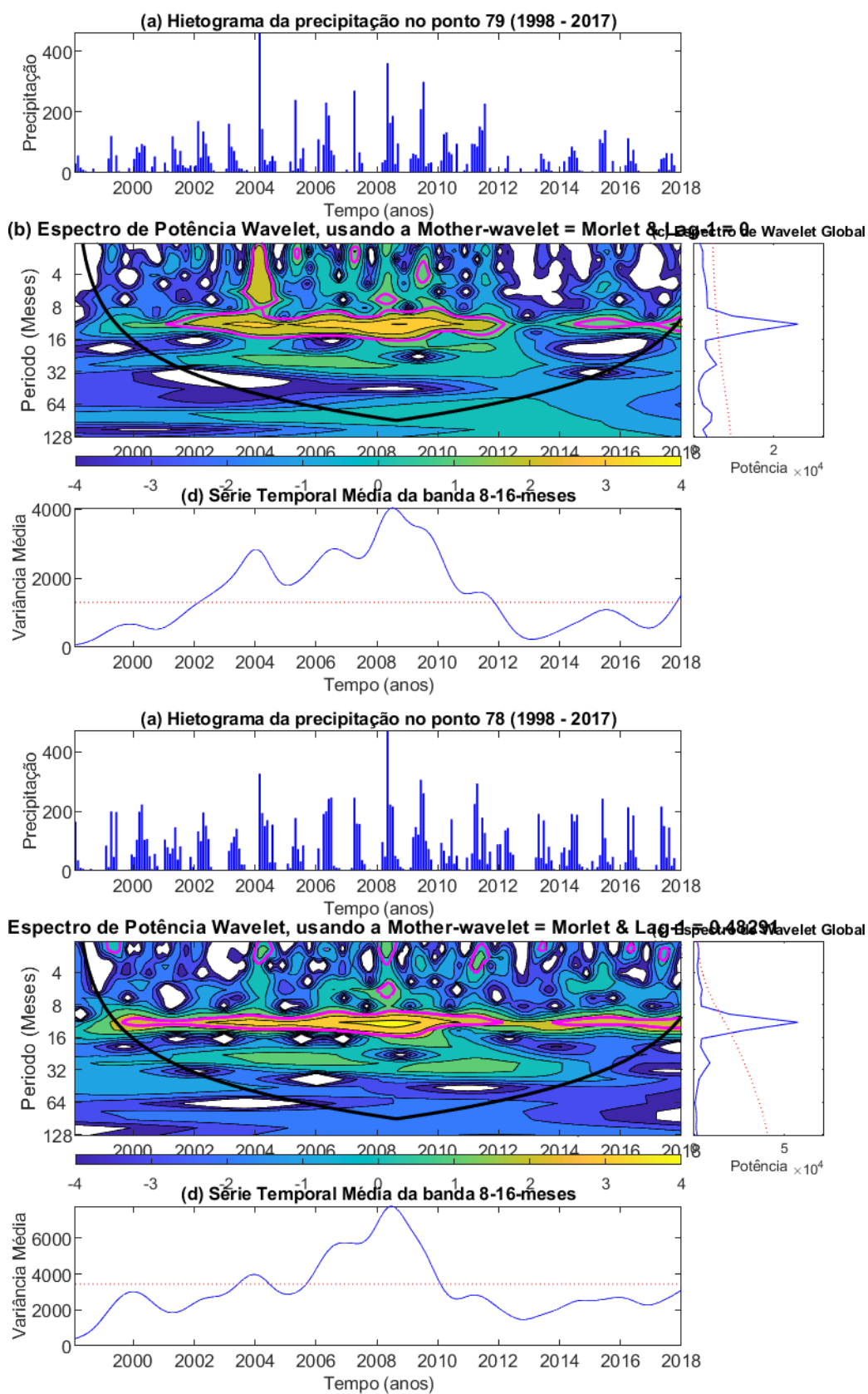


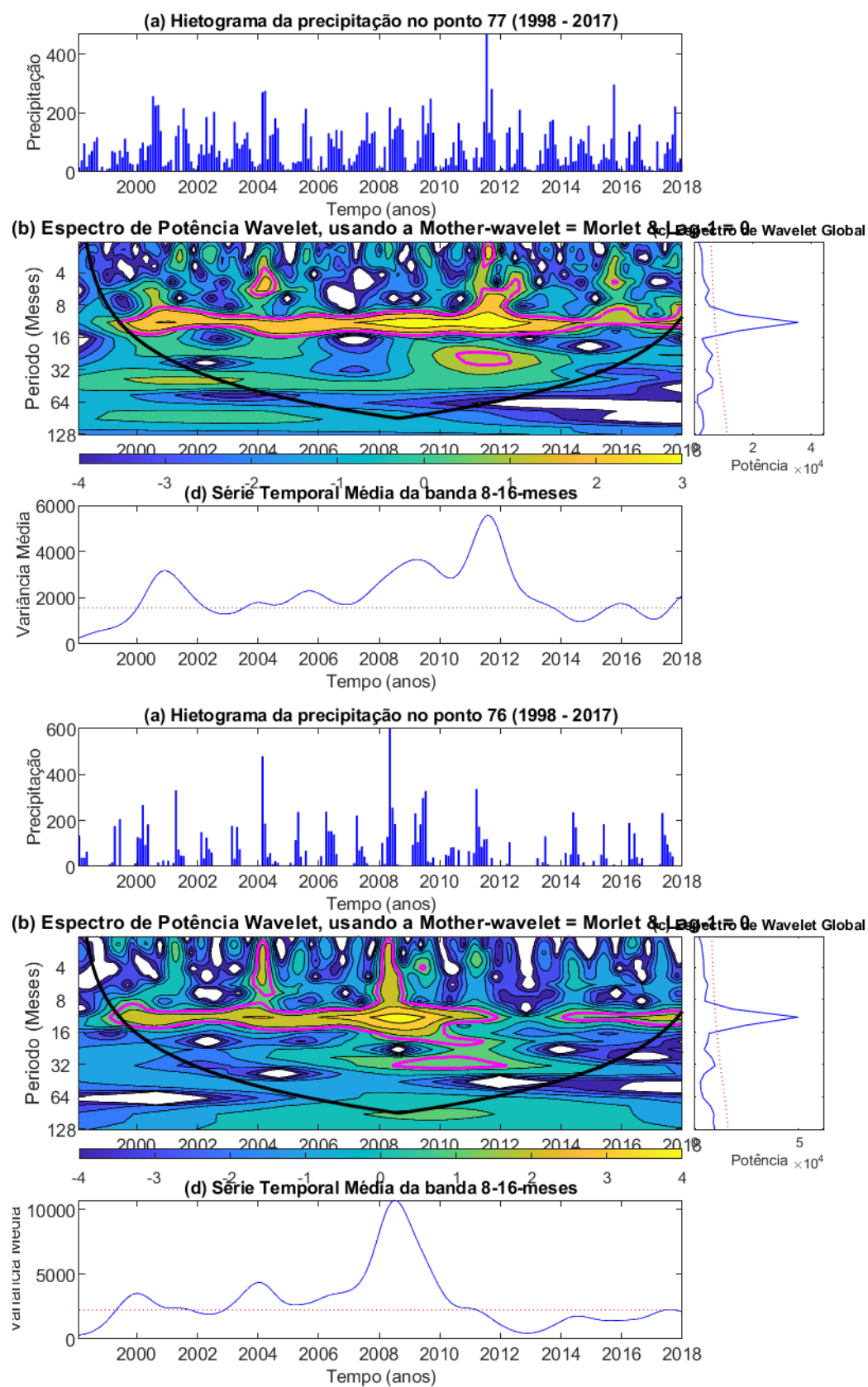
Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.41416

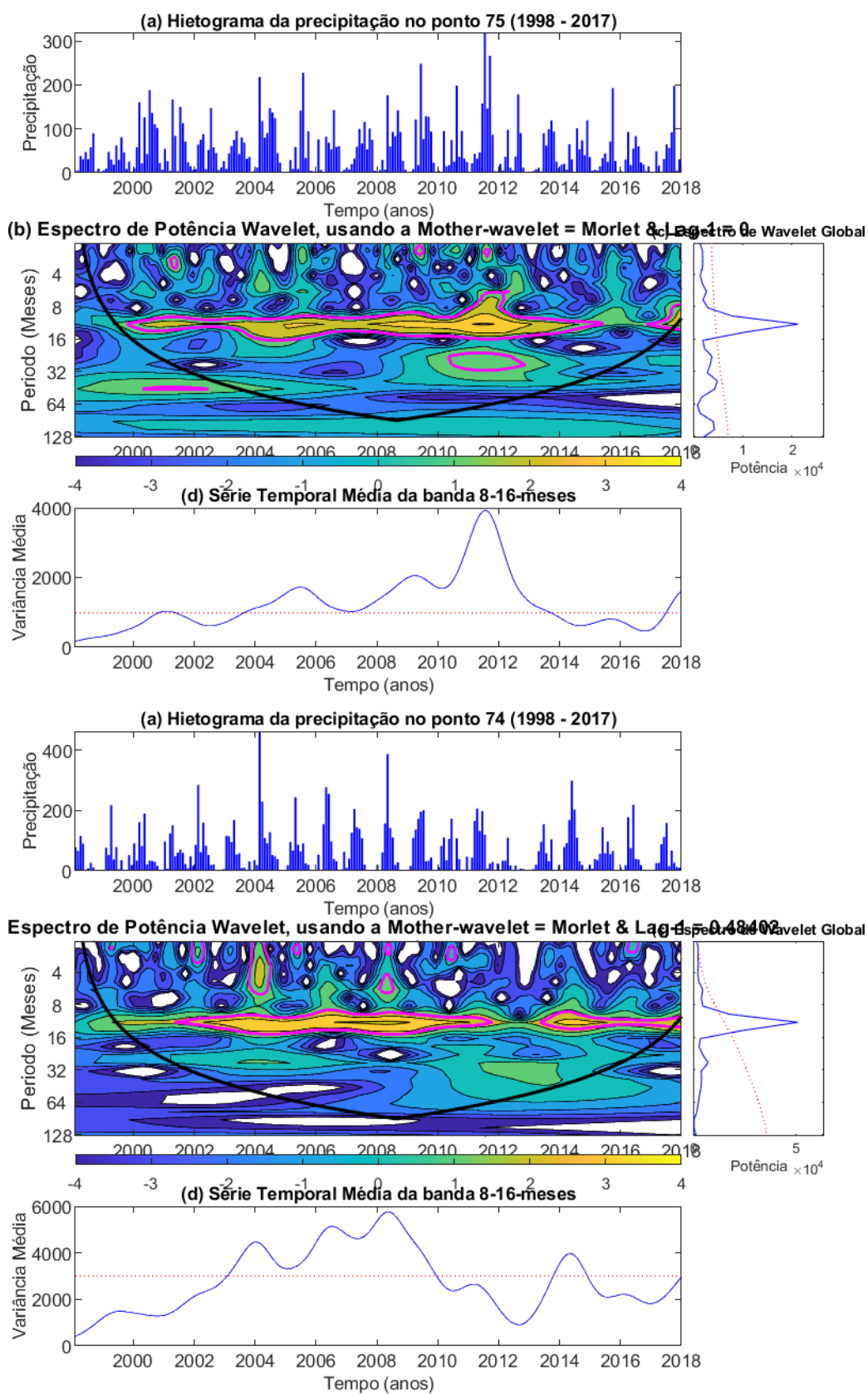


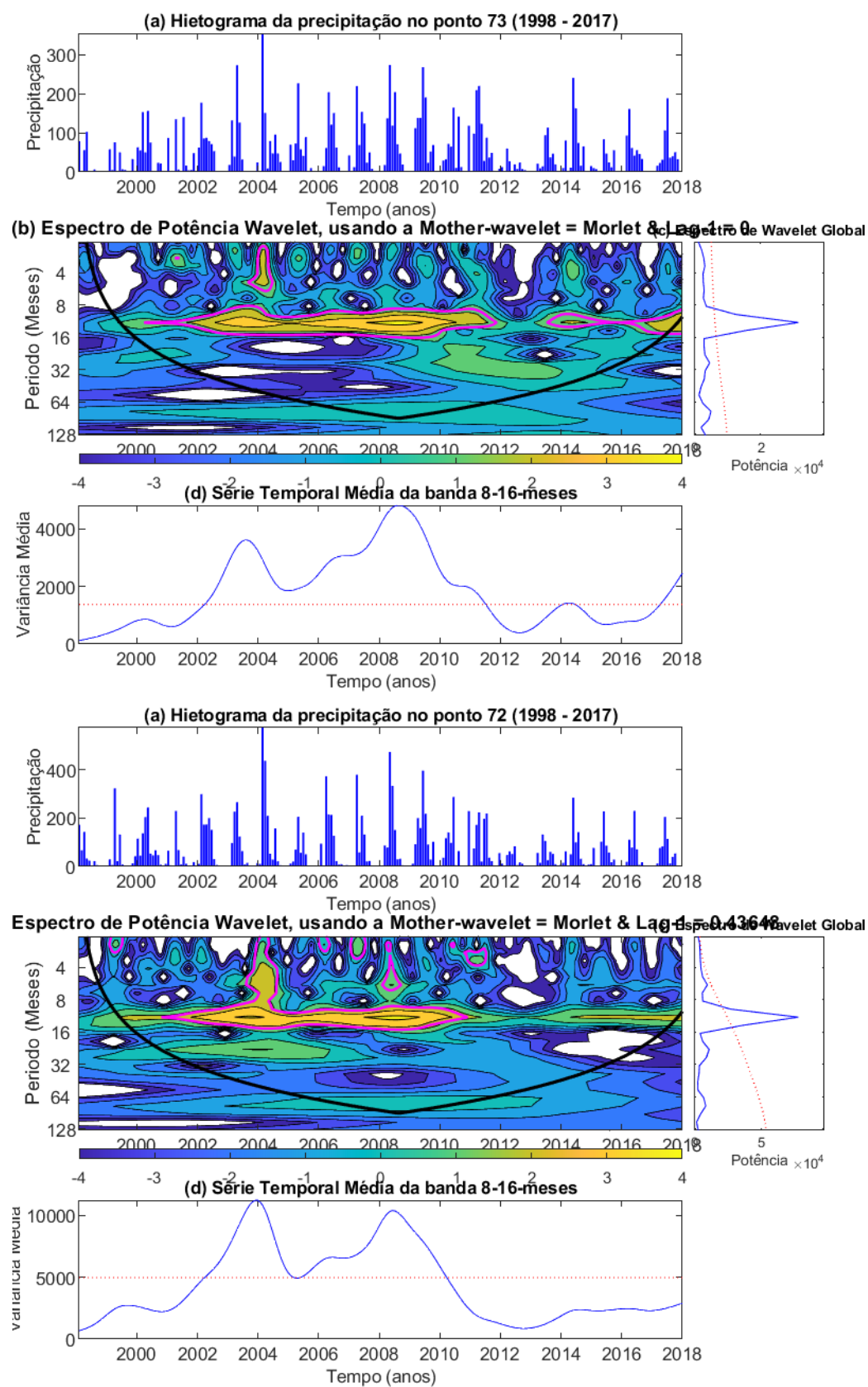


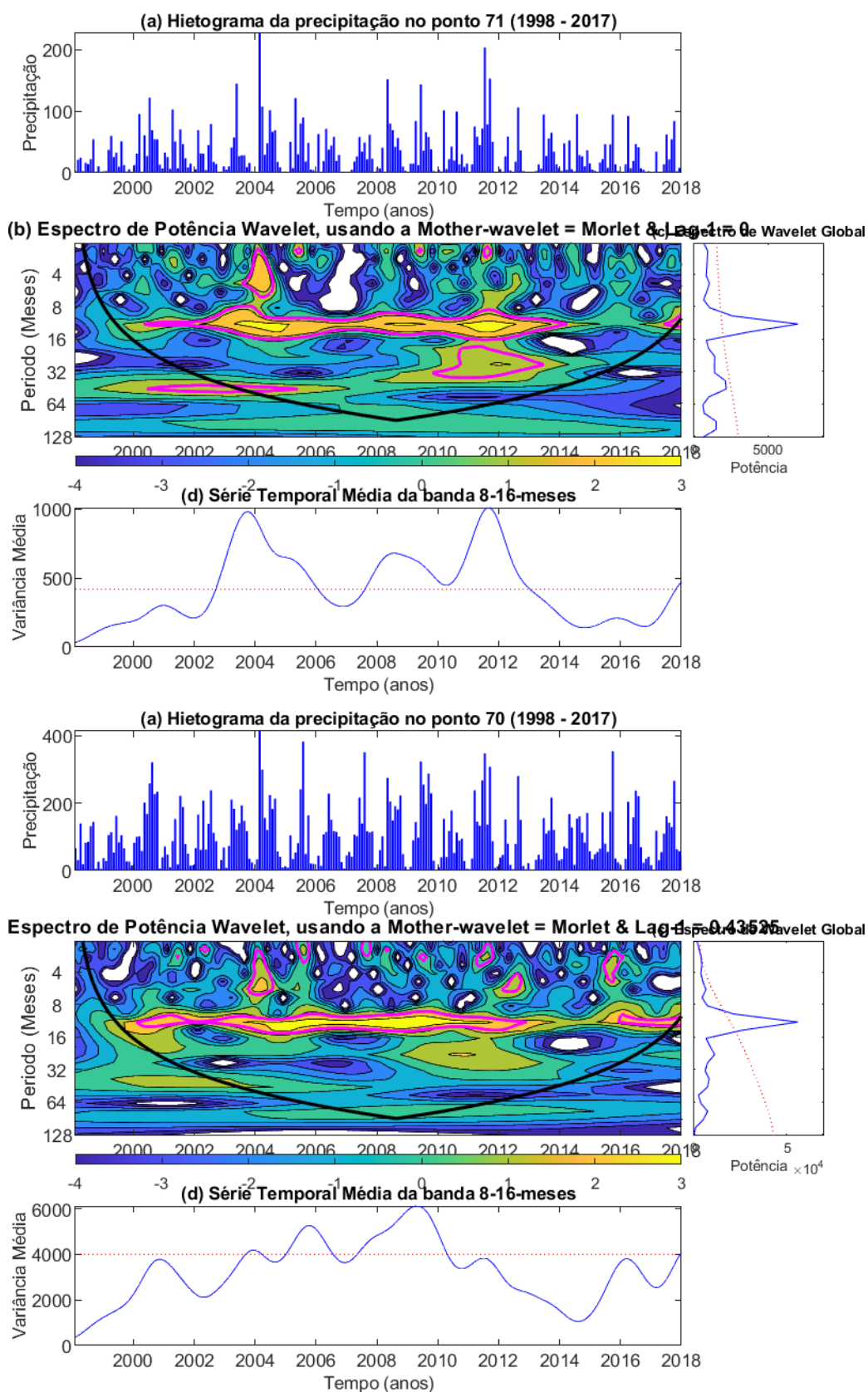


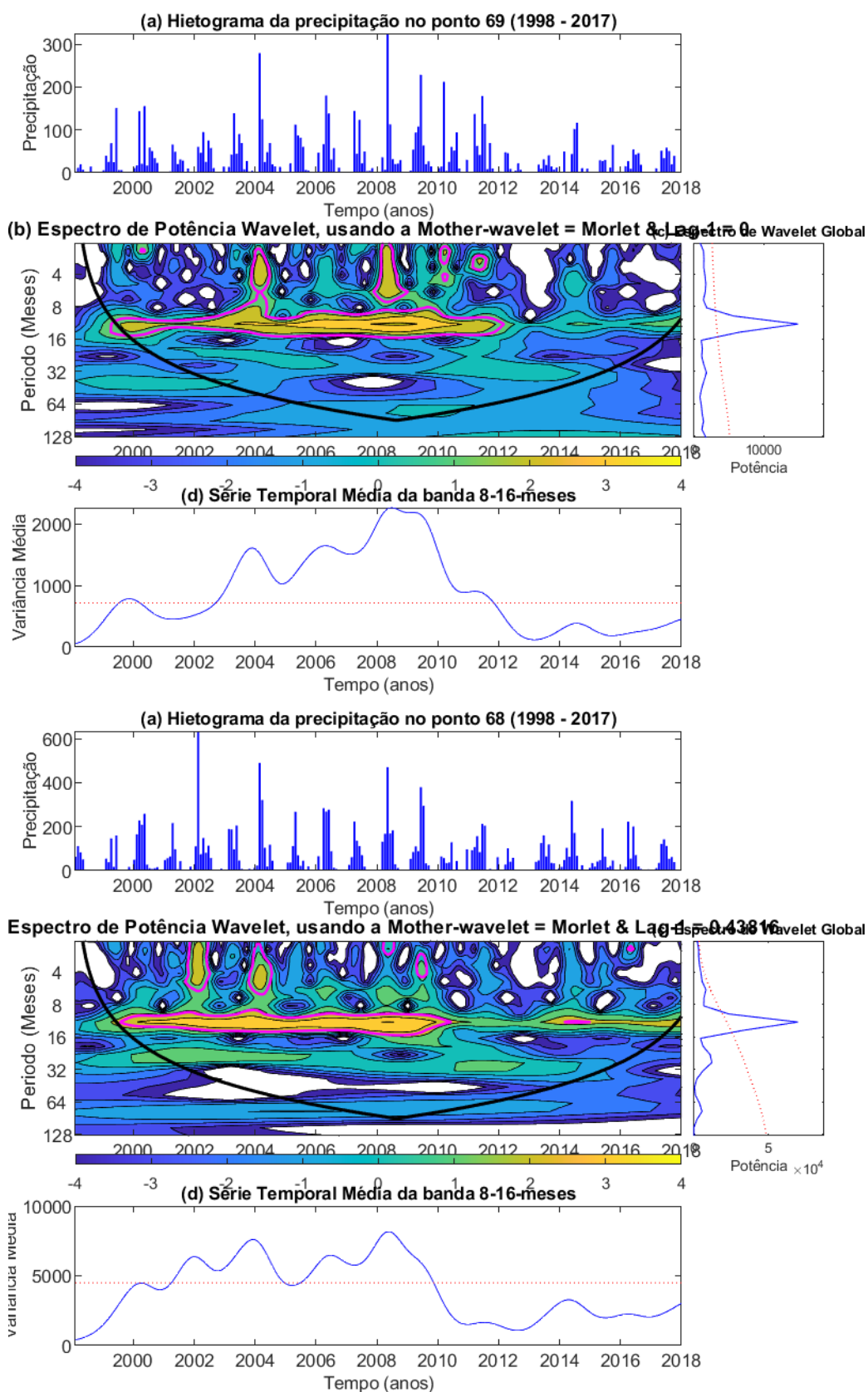


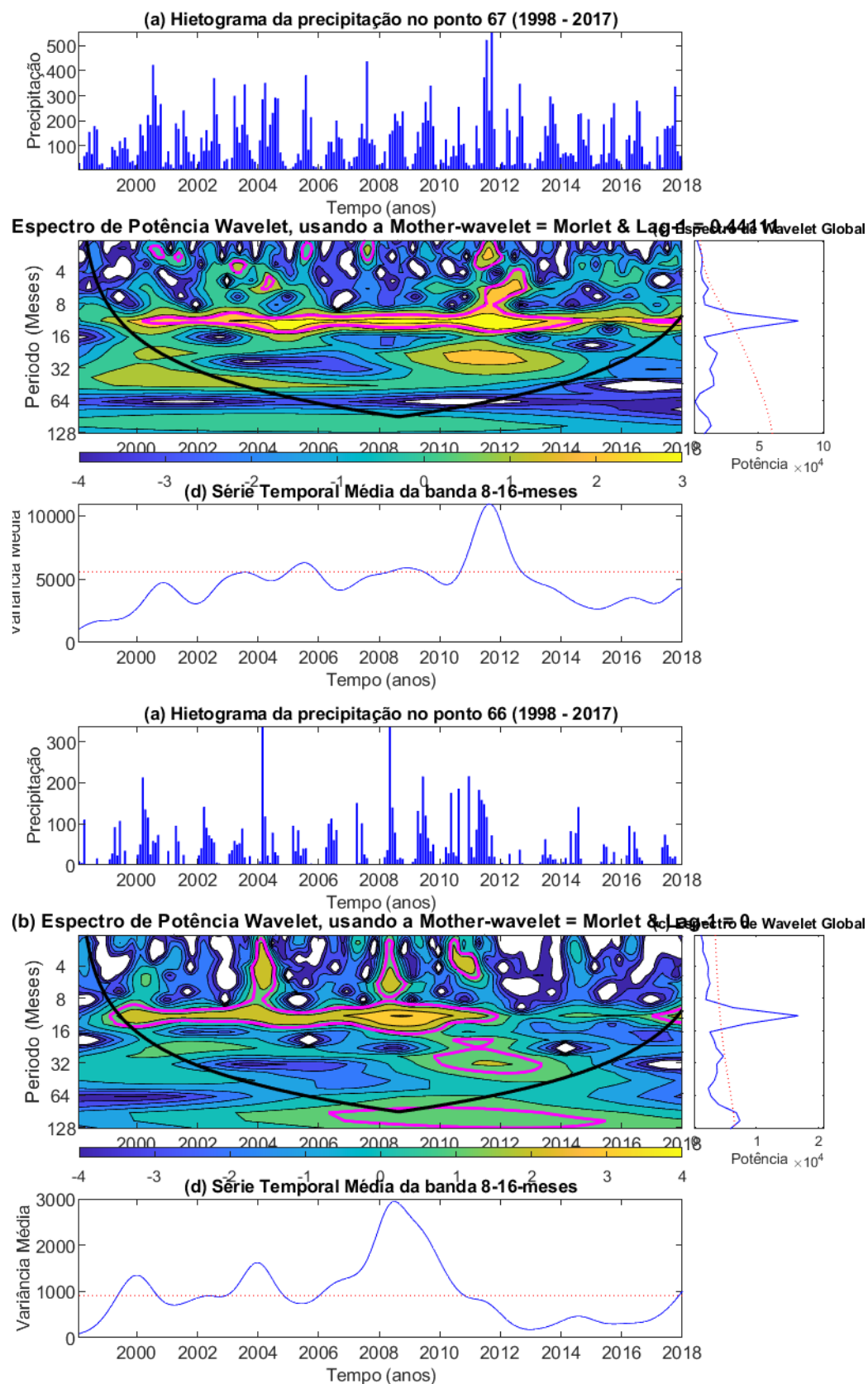


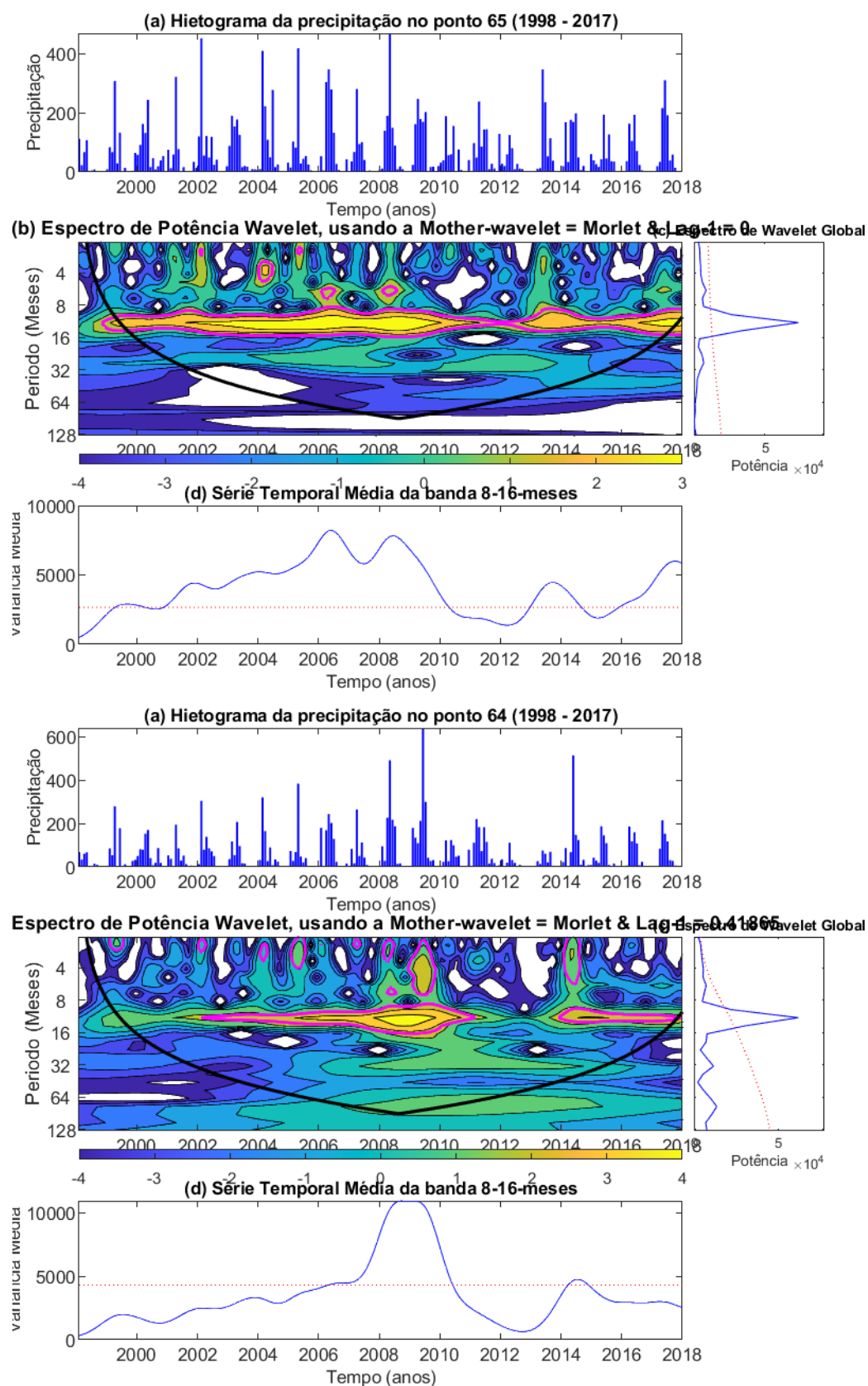


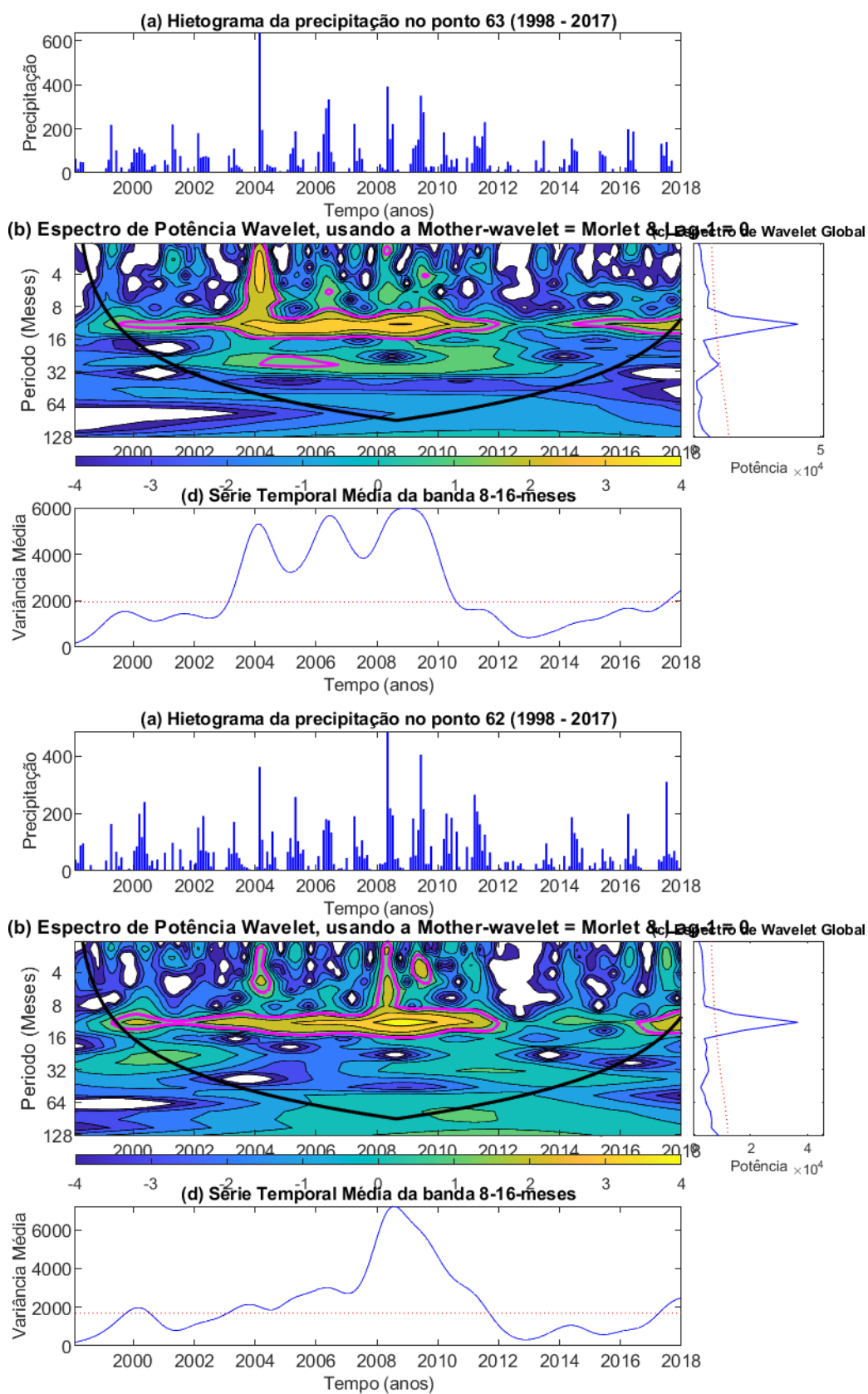


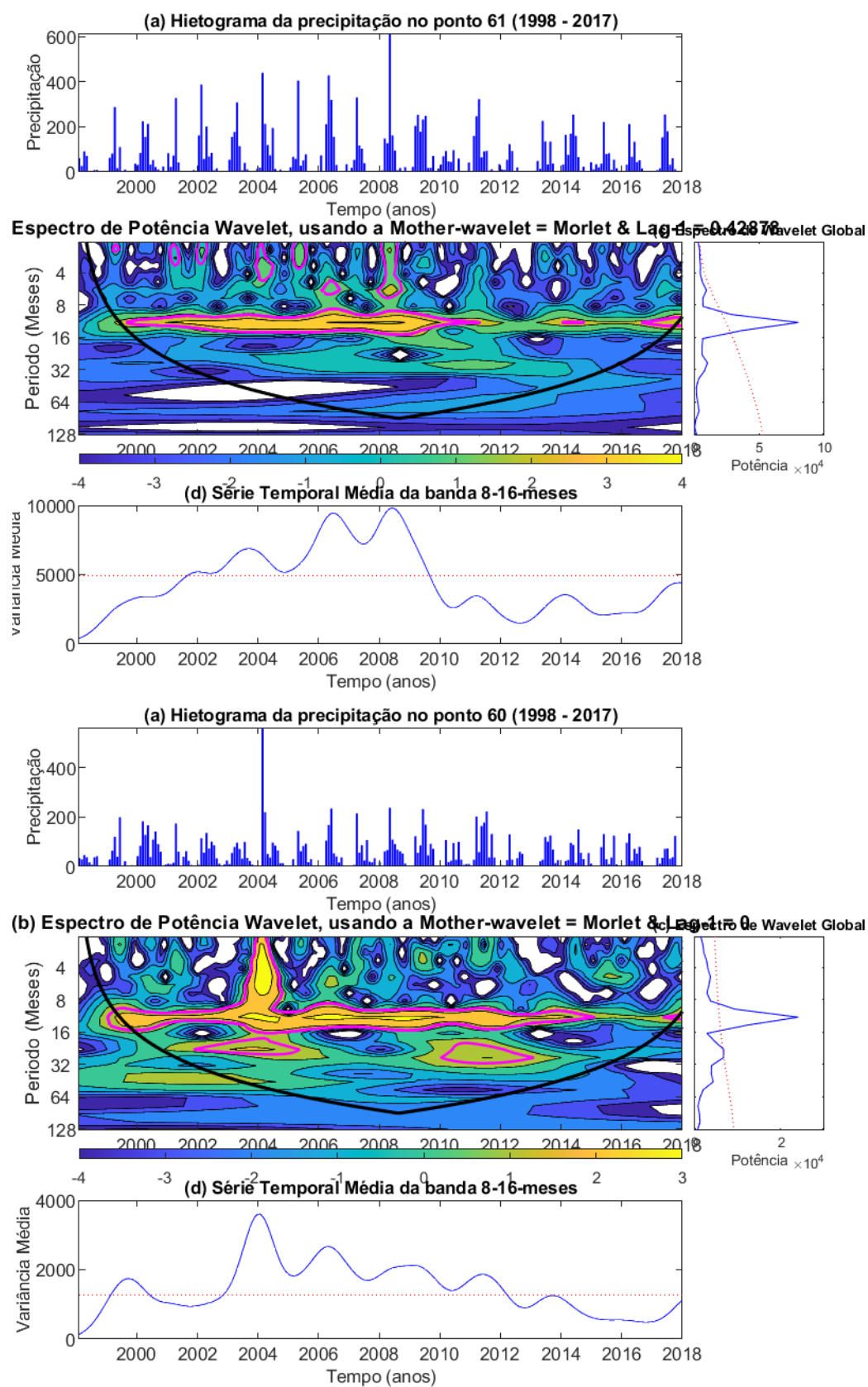


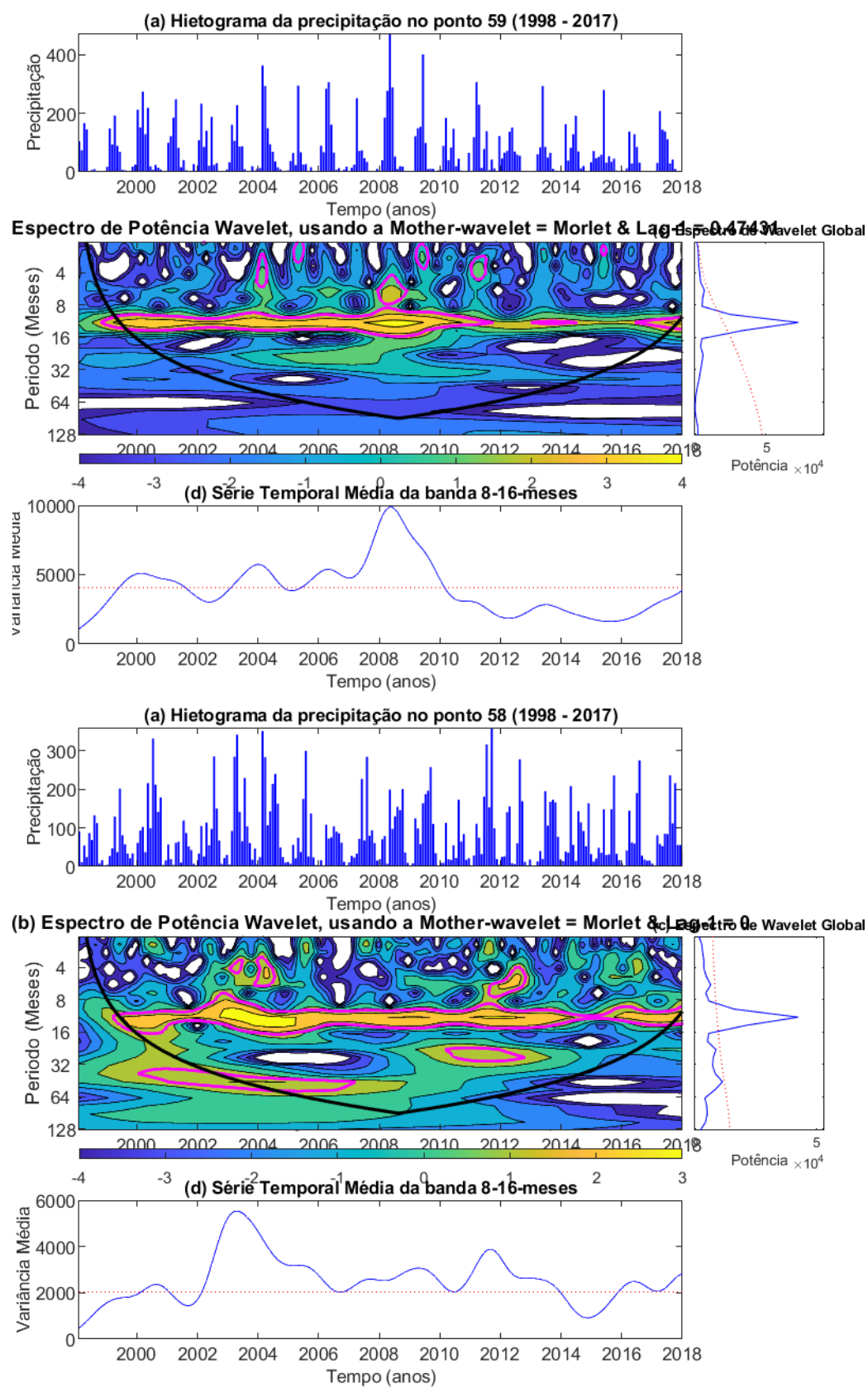


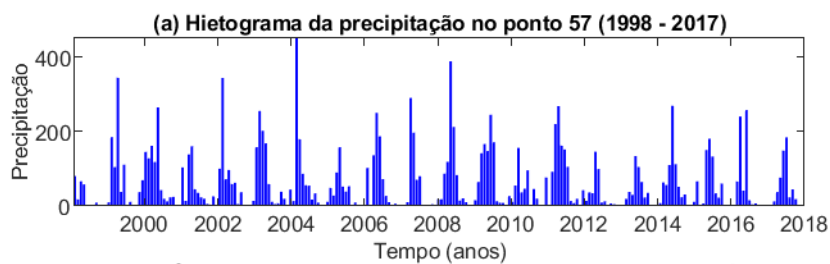




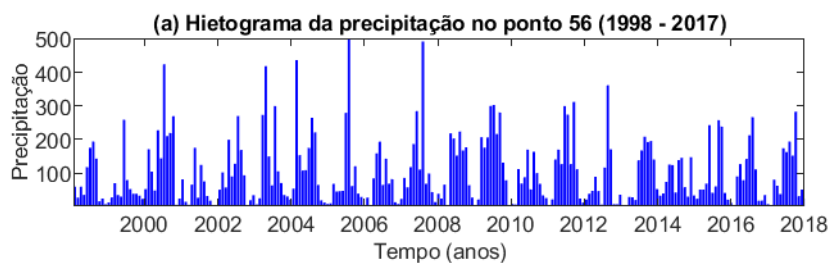
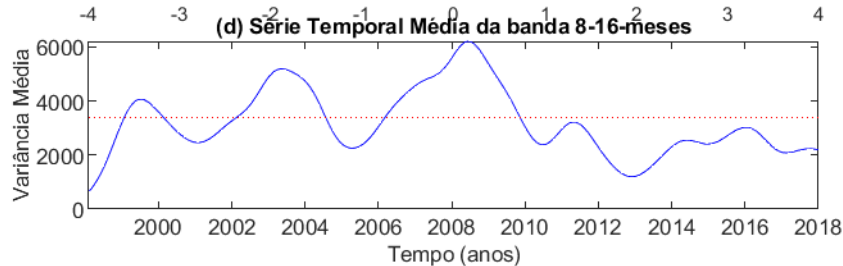
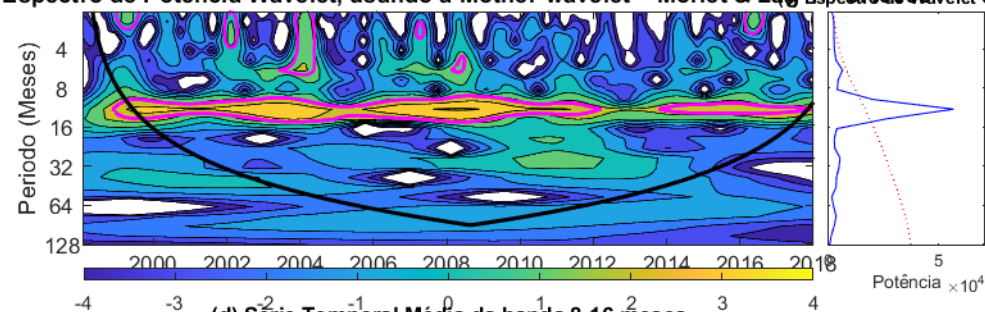




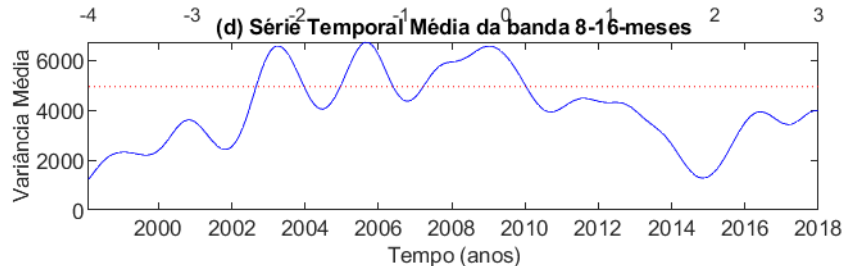
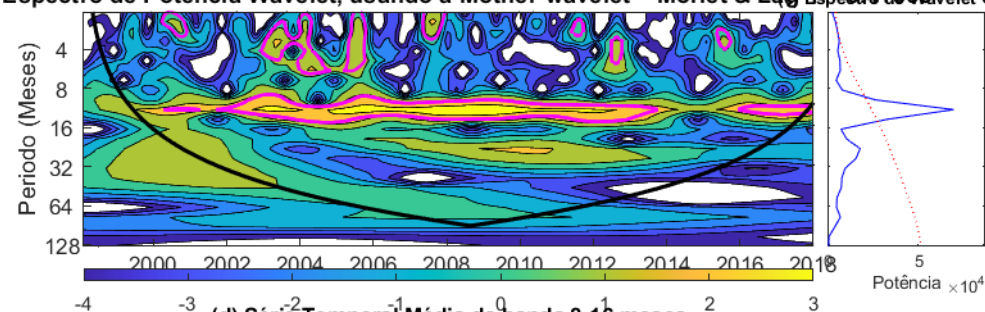


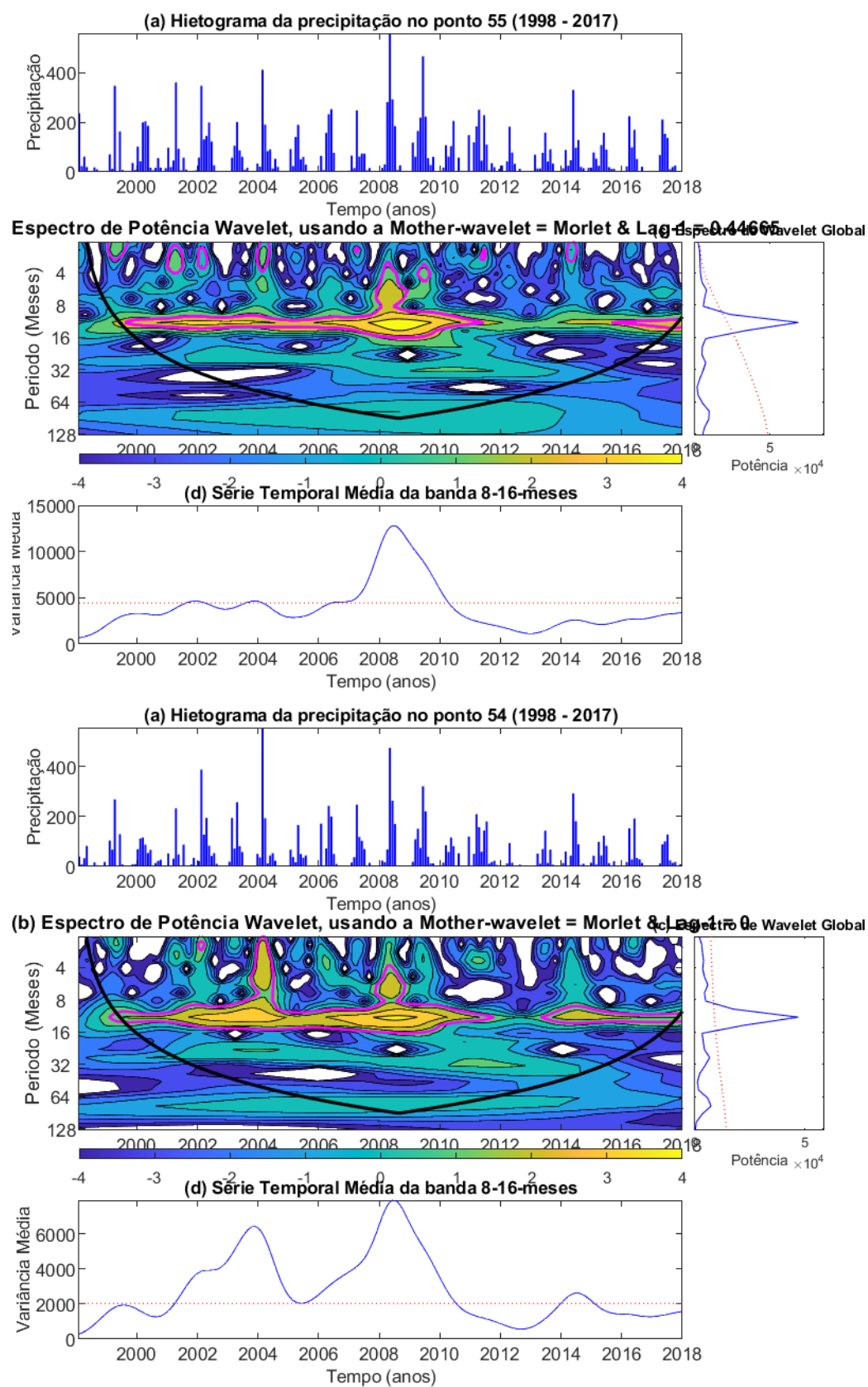


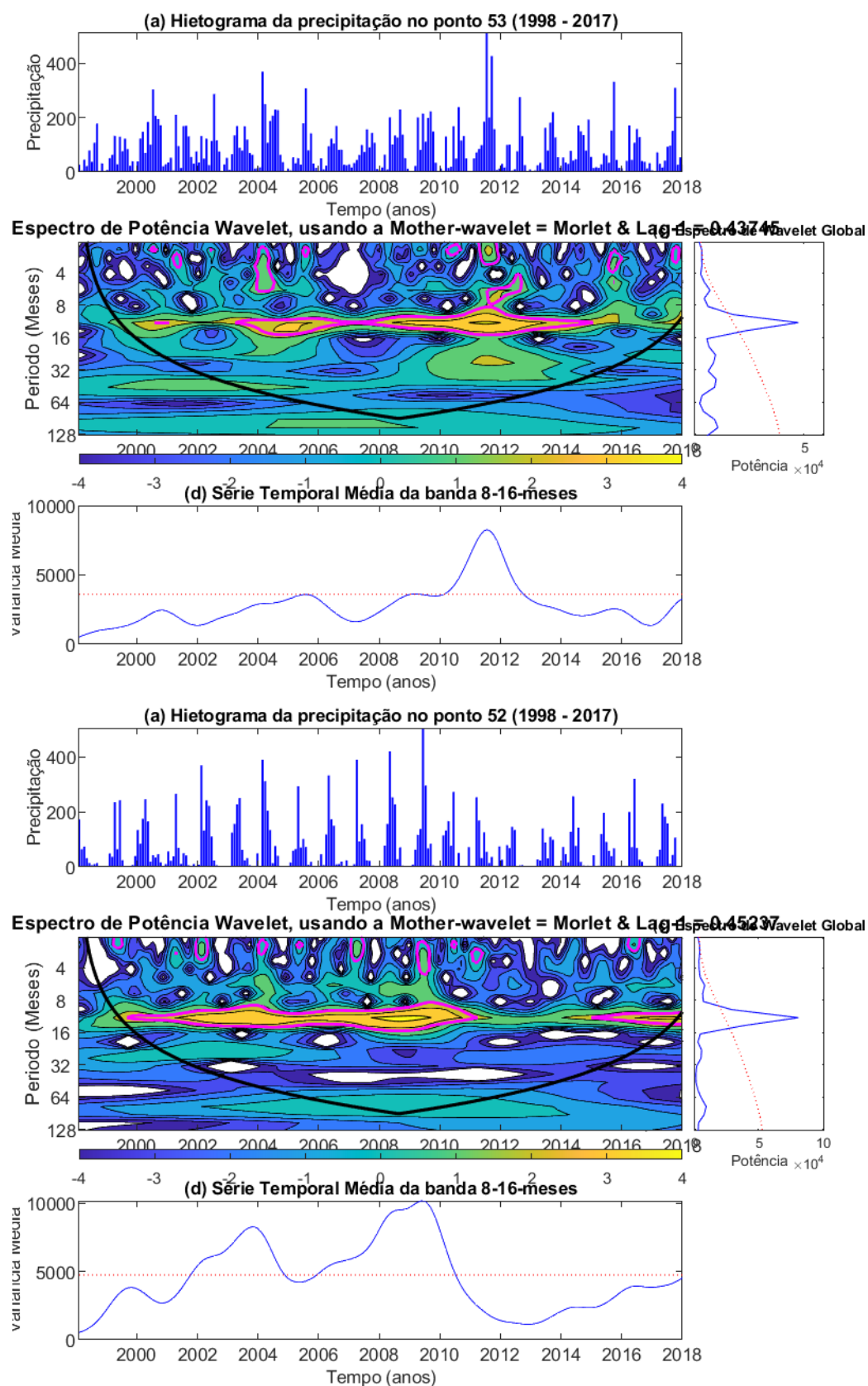
Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.45098

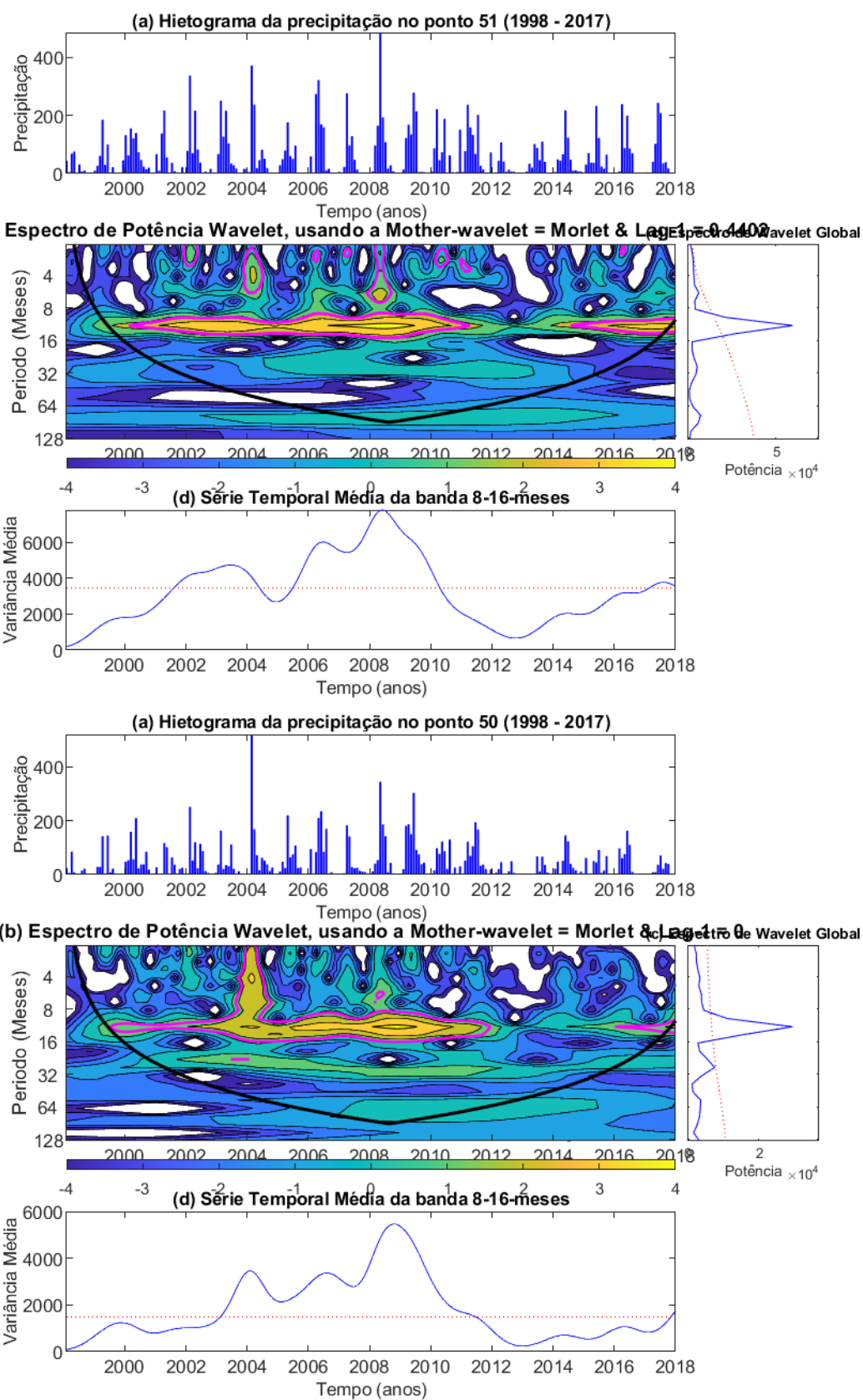


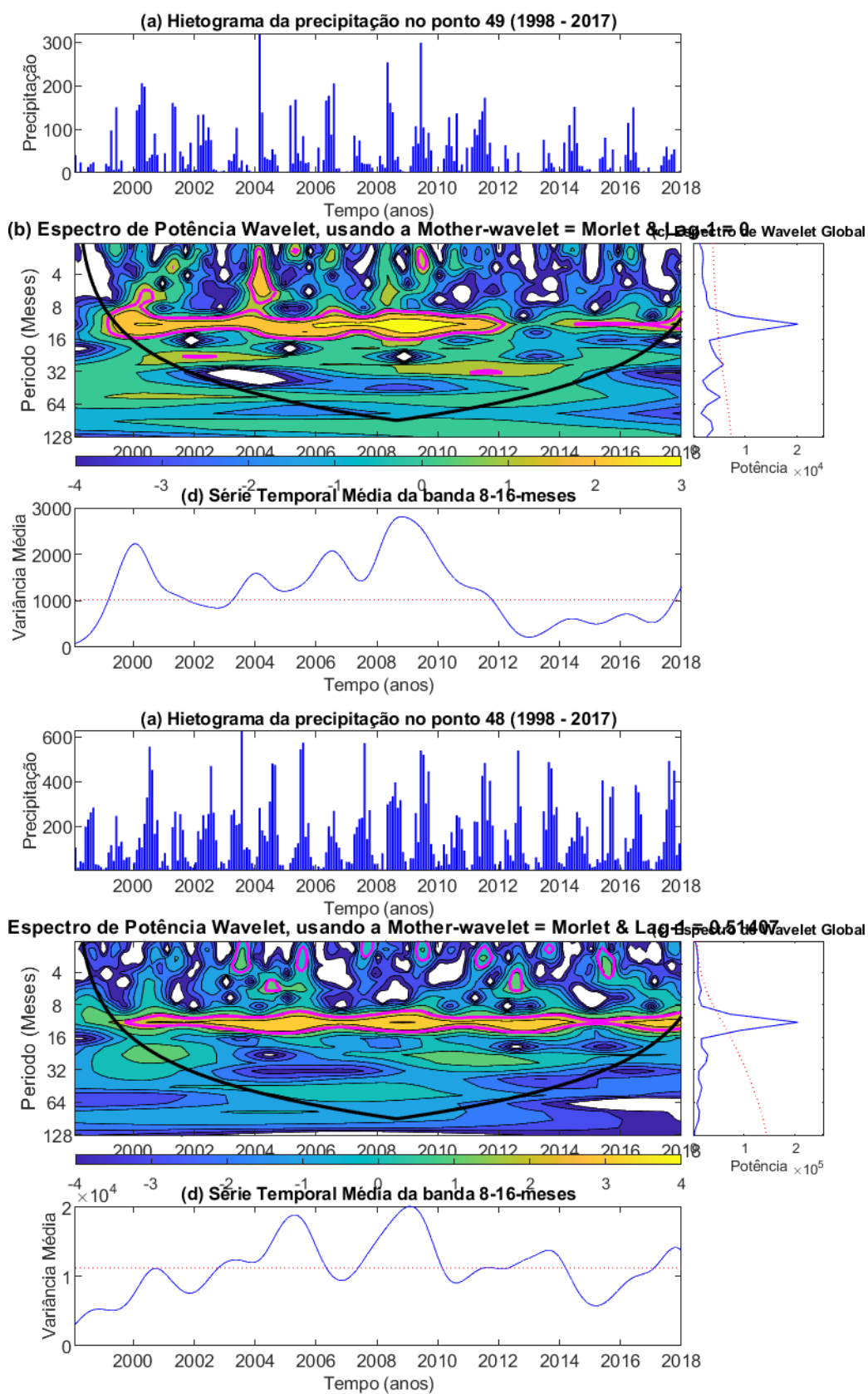
Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.41866

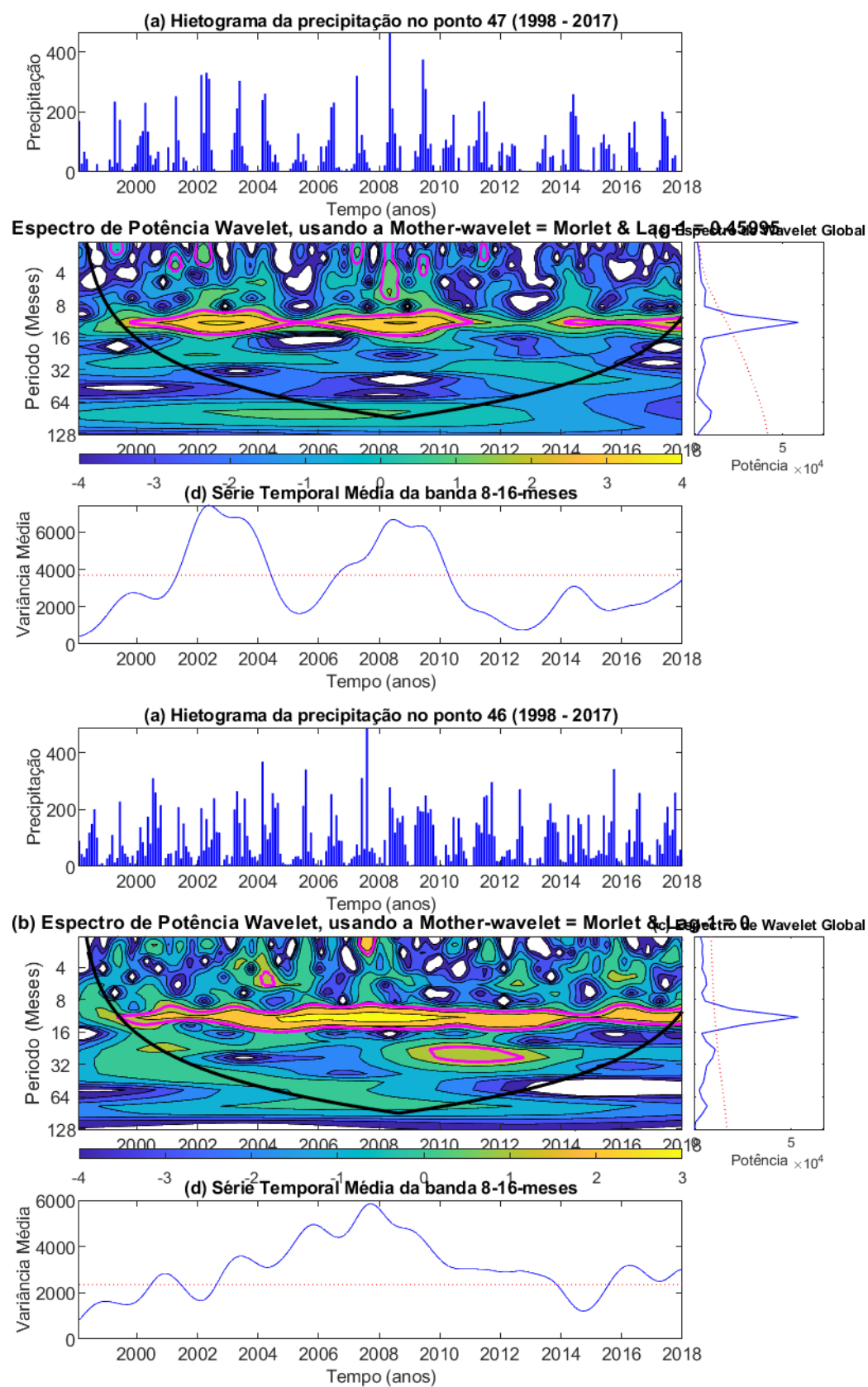


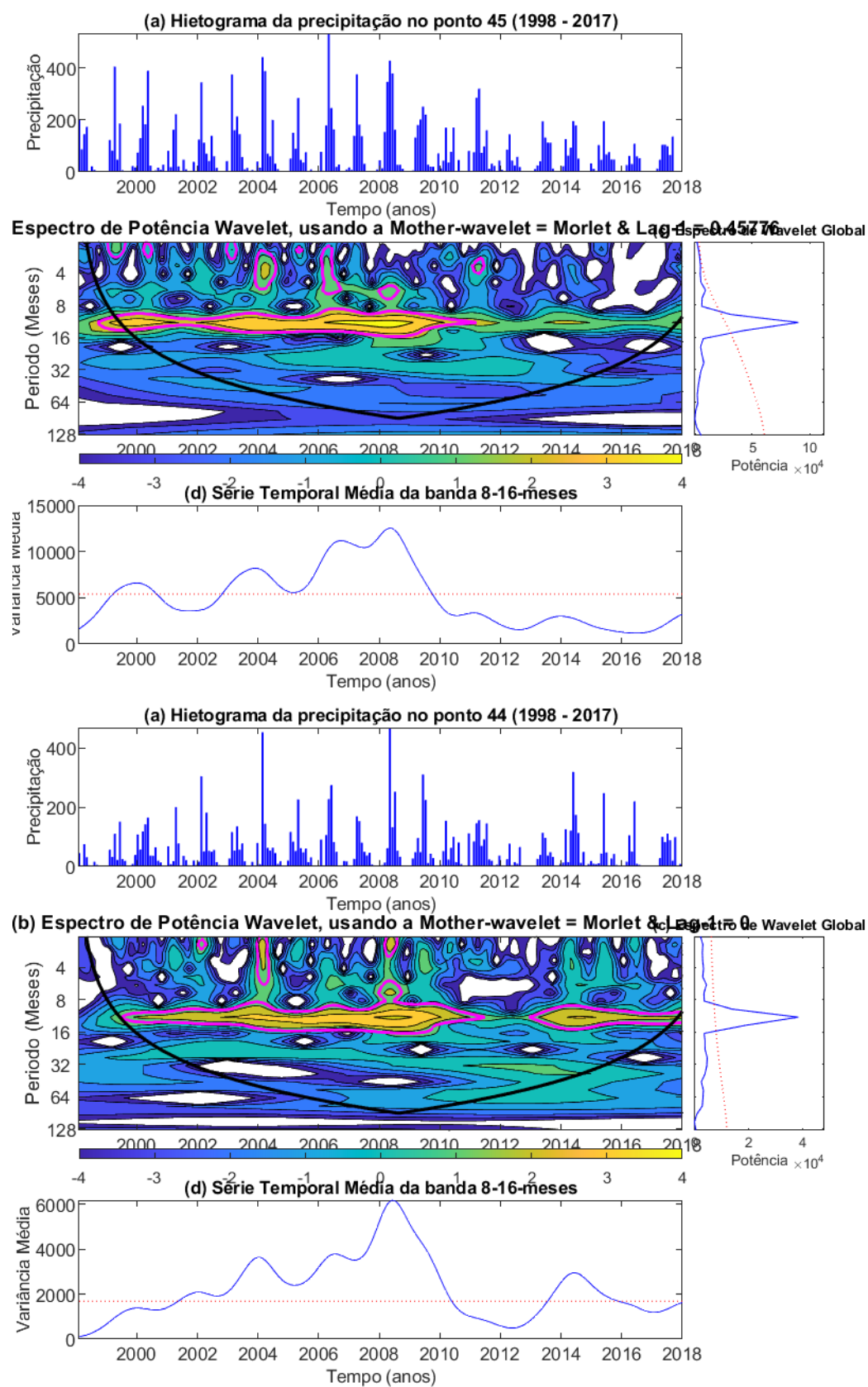


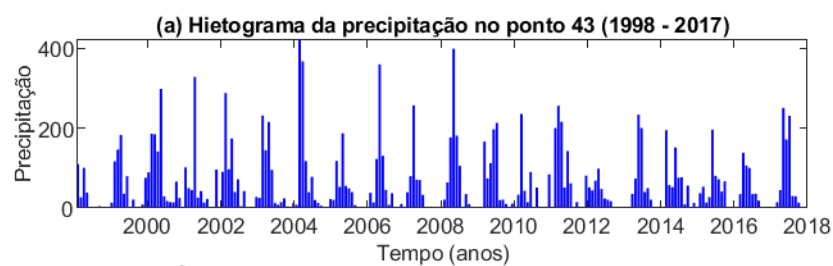




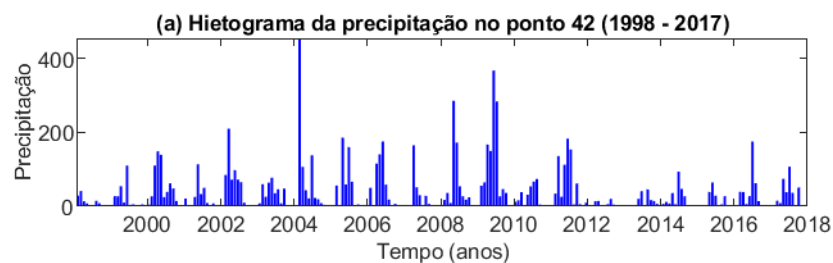
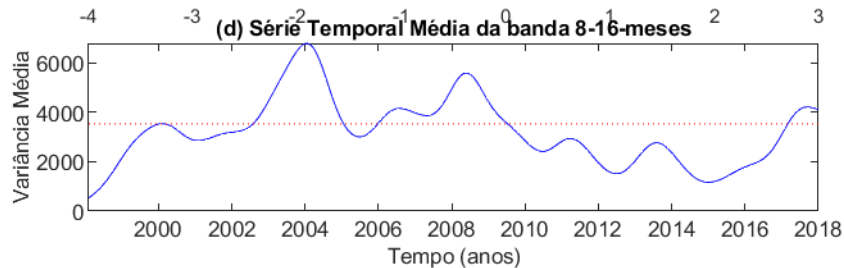
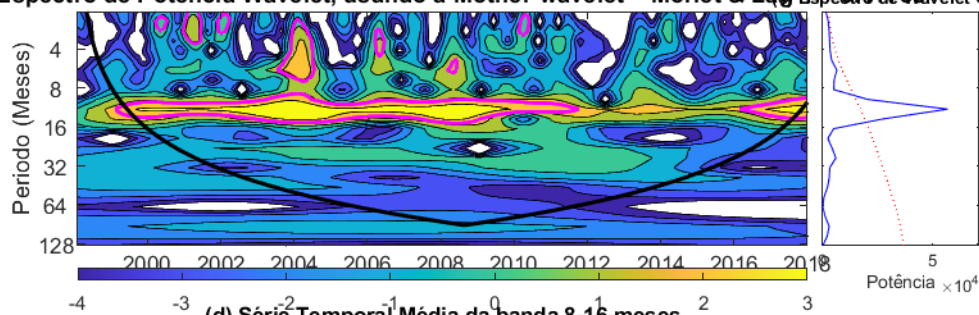




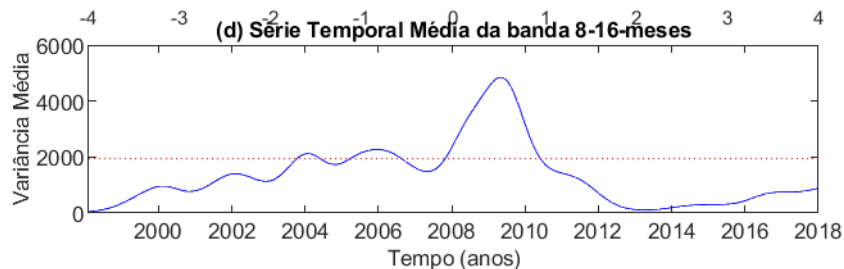
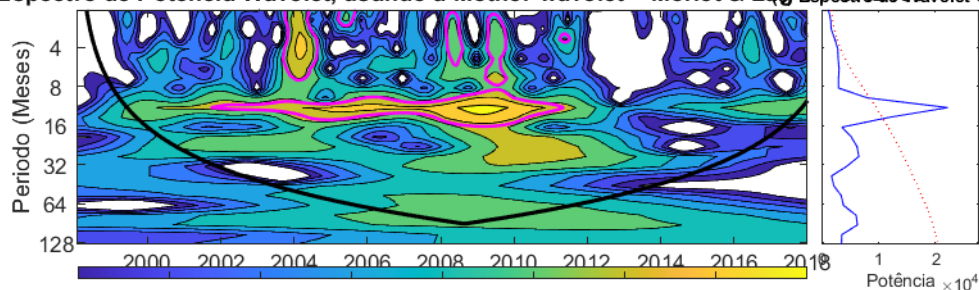


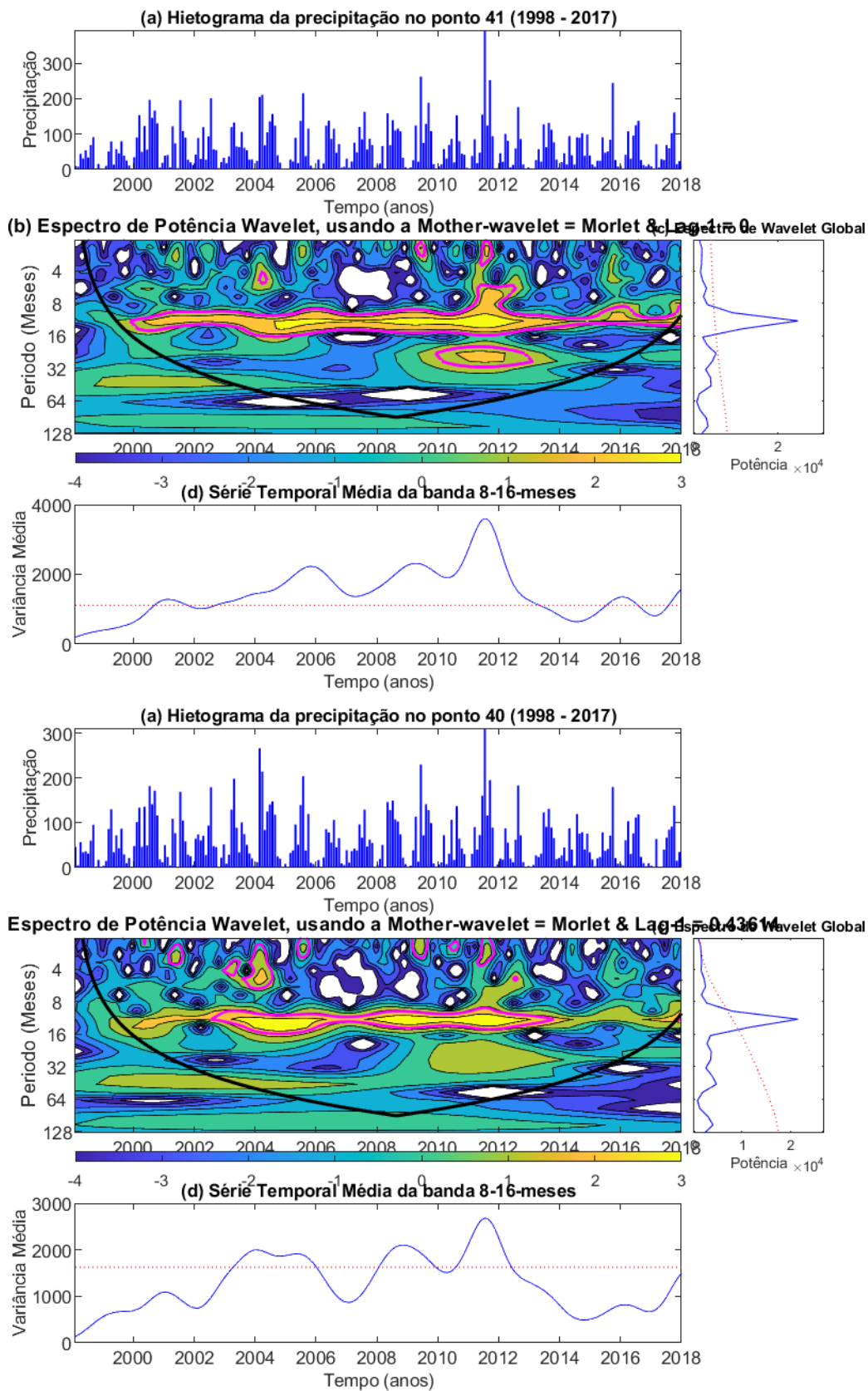


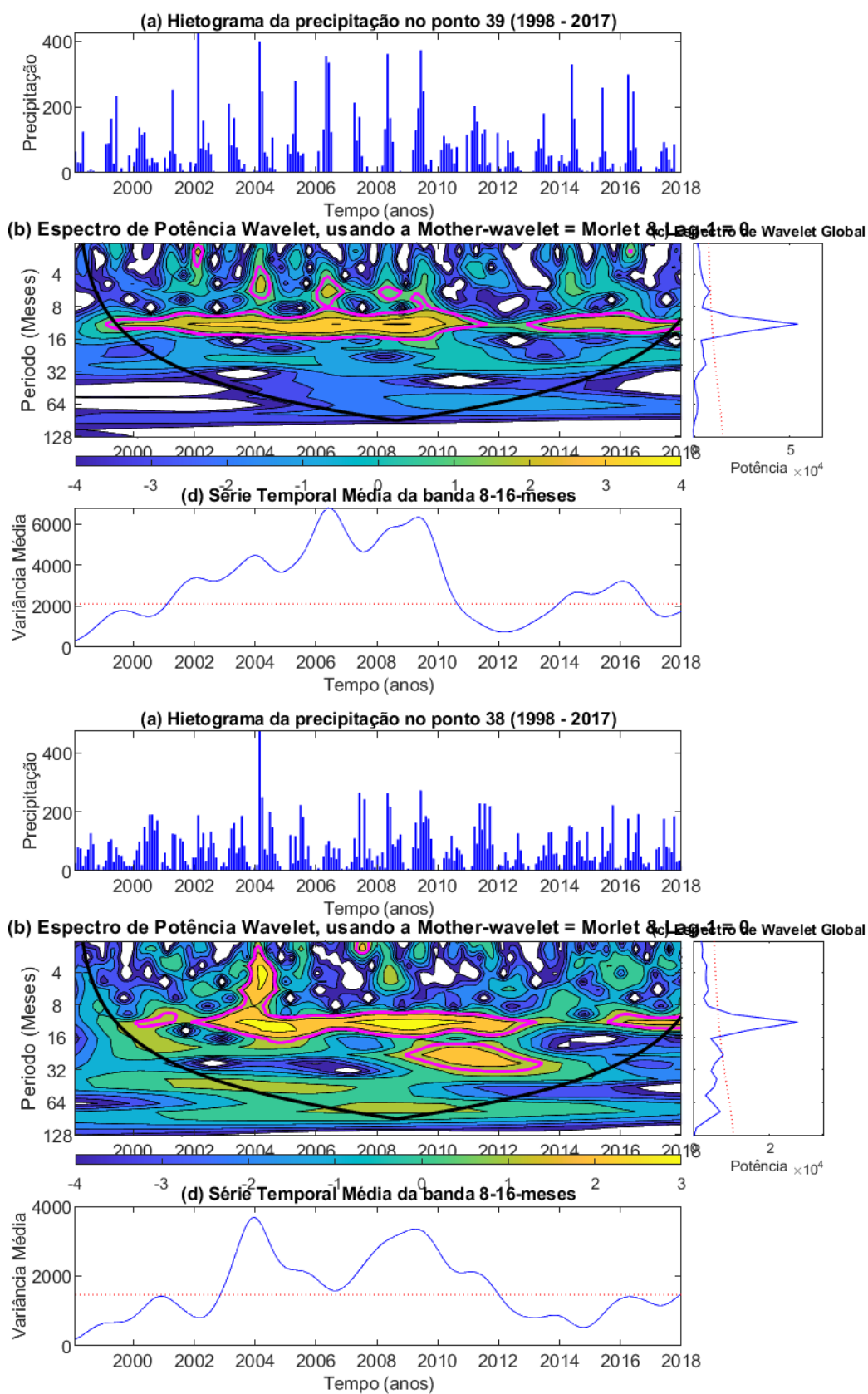
Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.41785

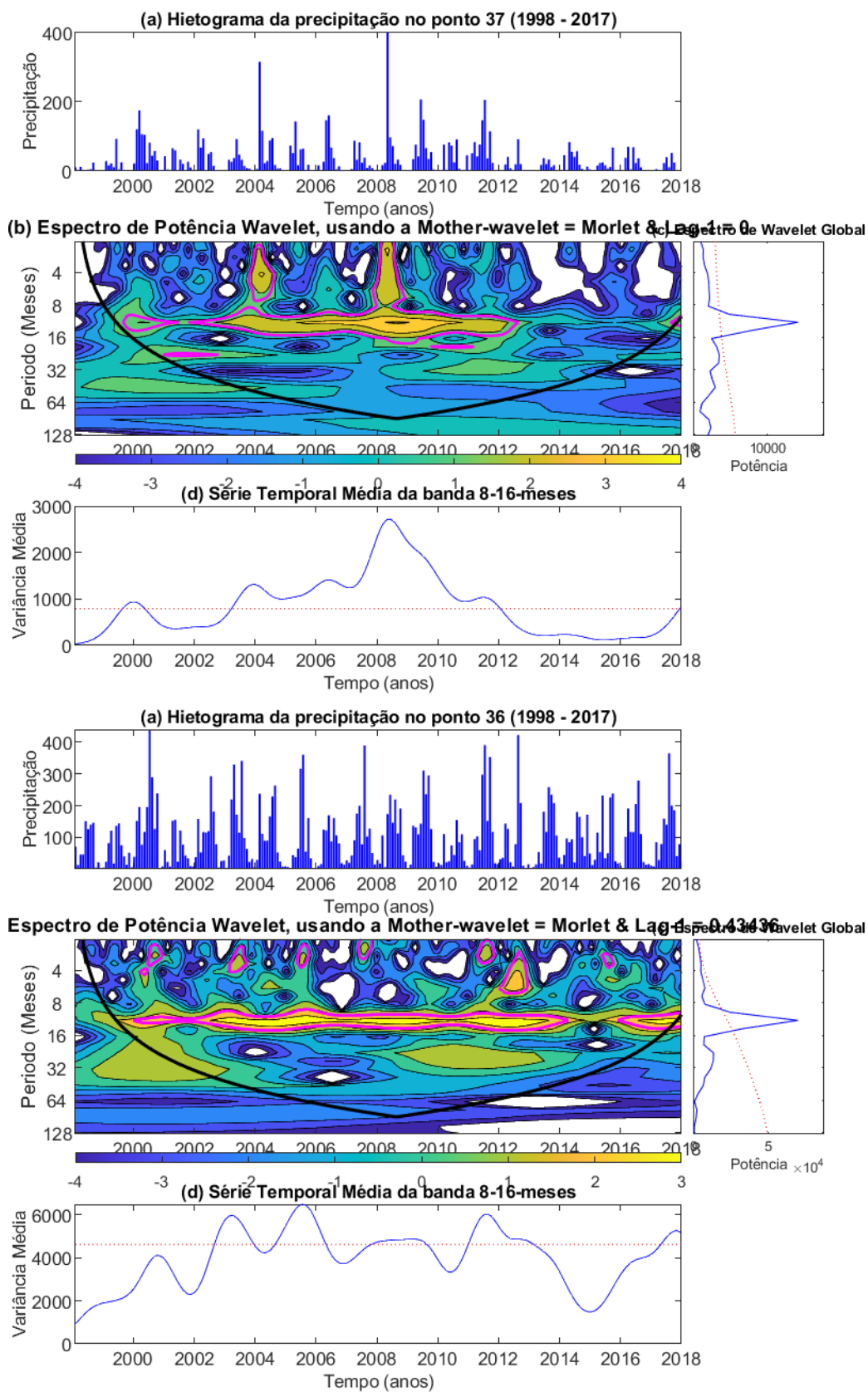


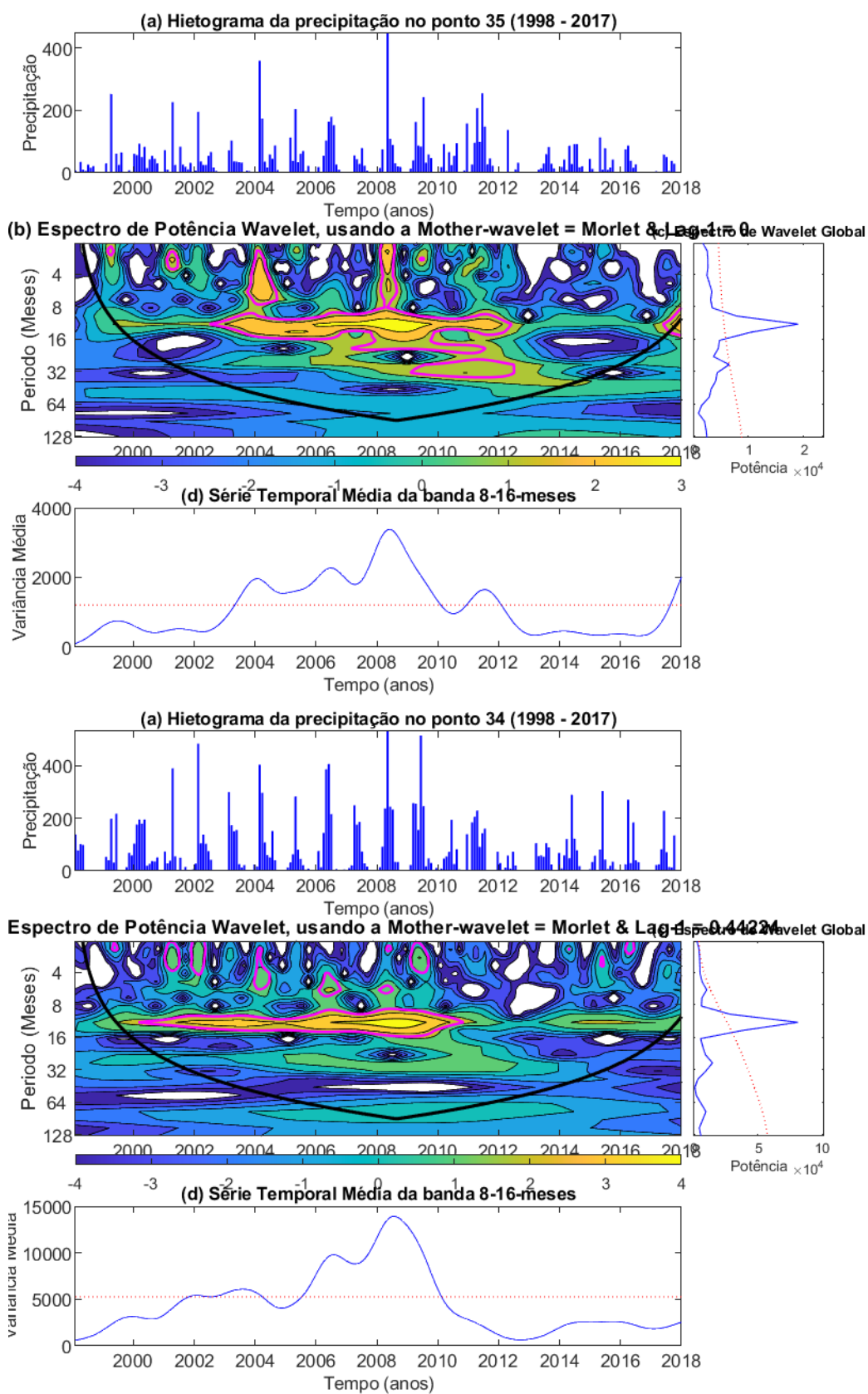
Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.42198

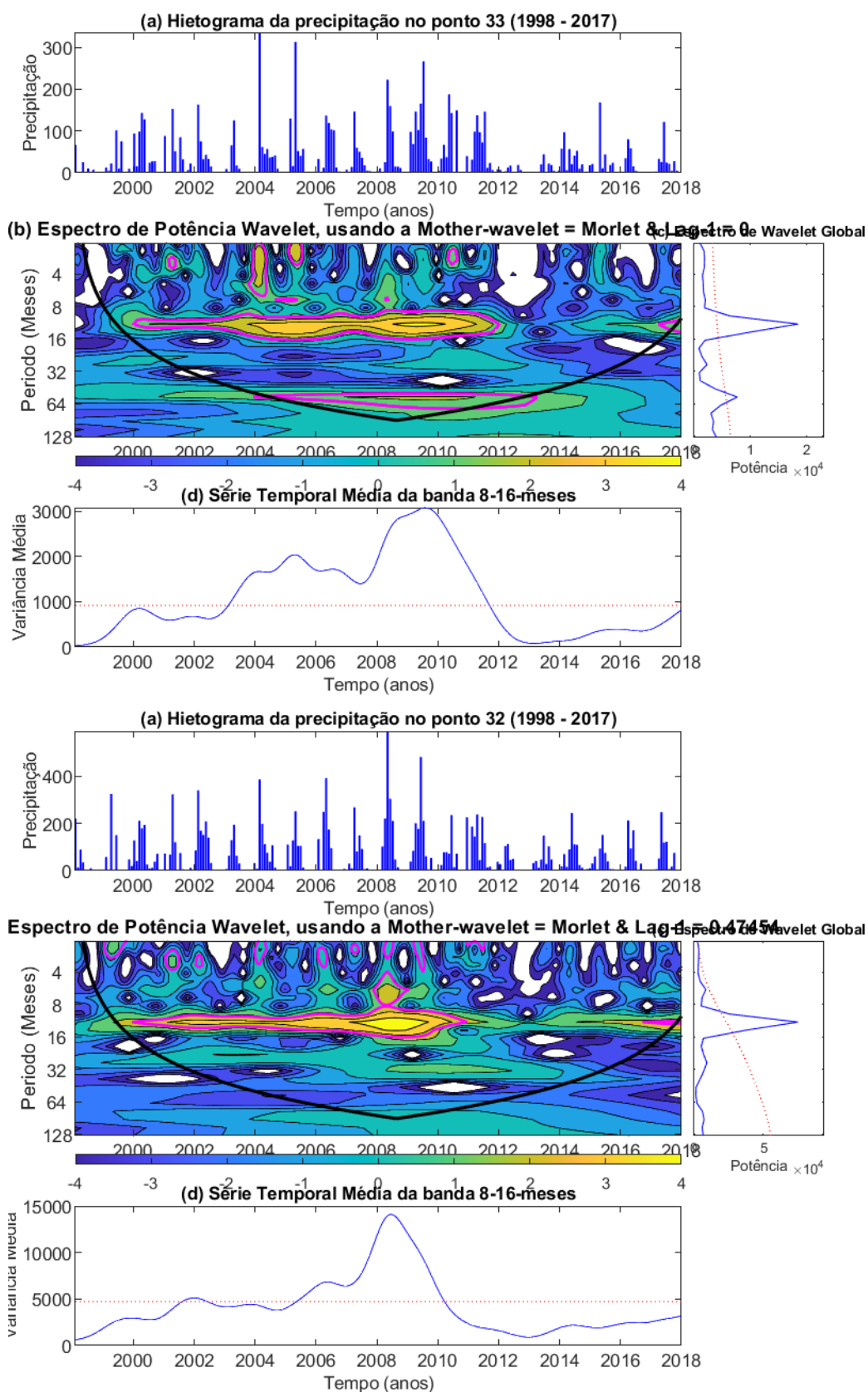


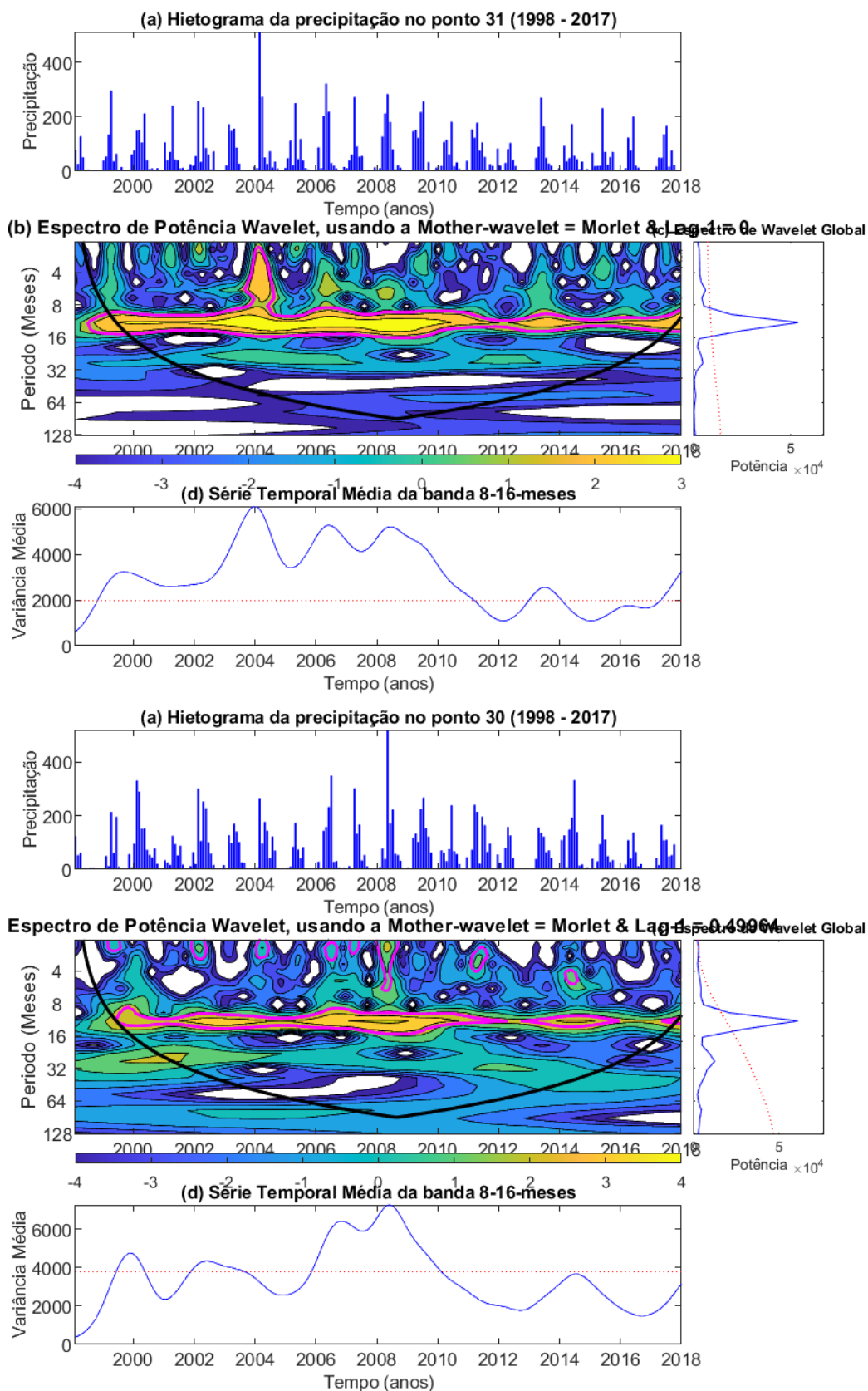


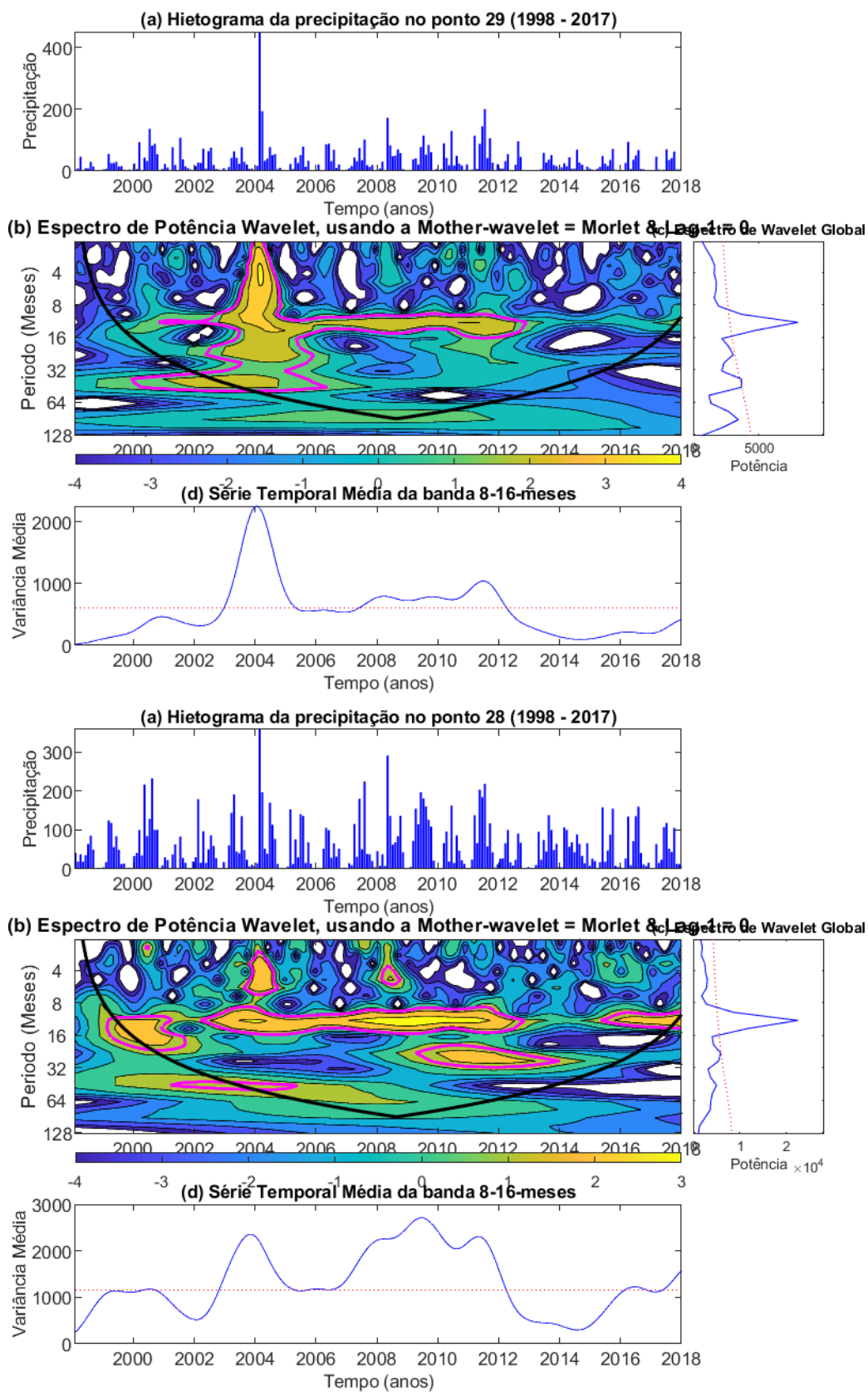


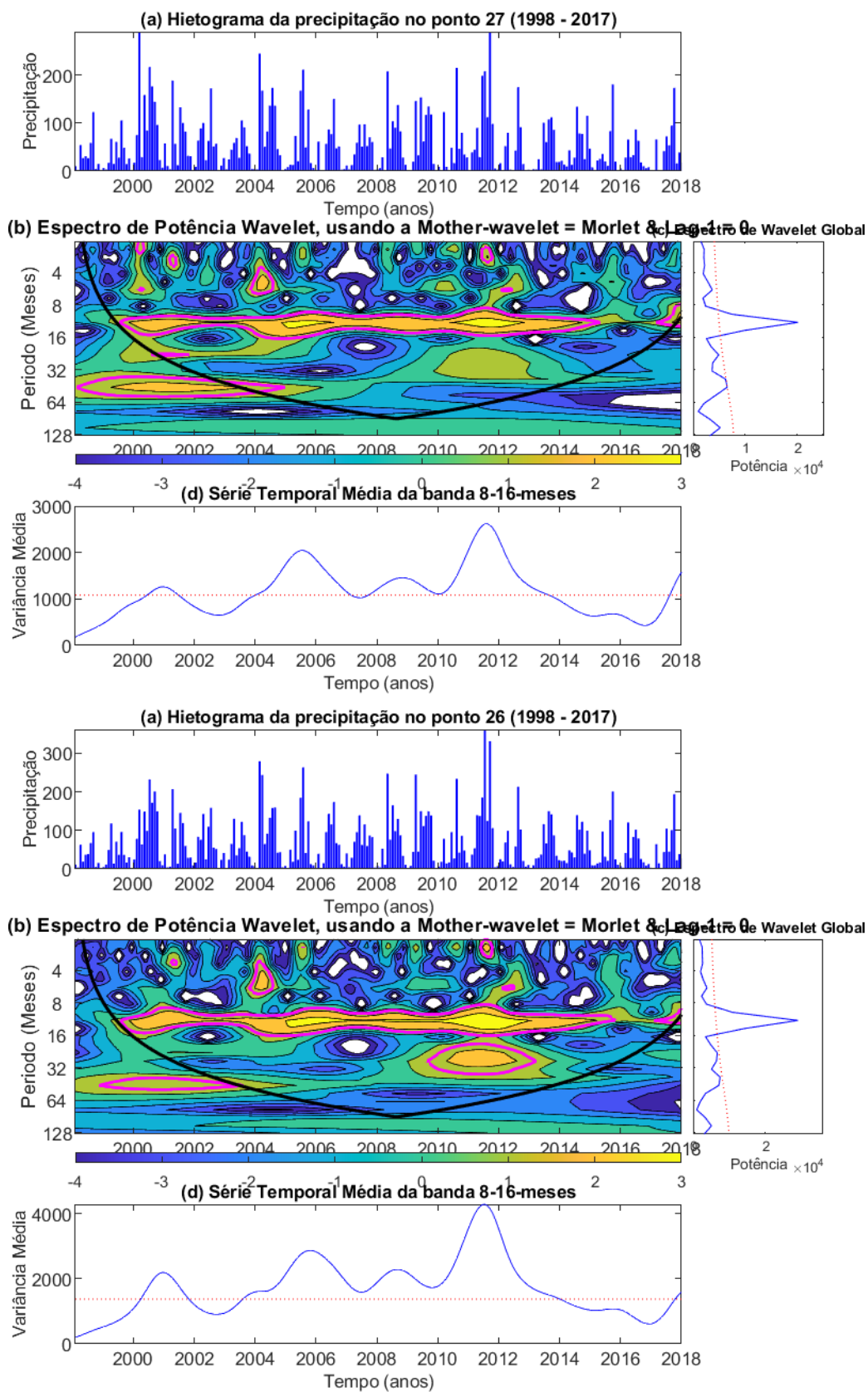


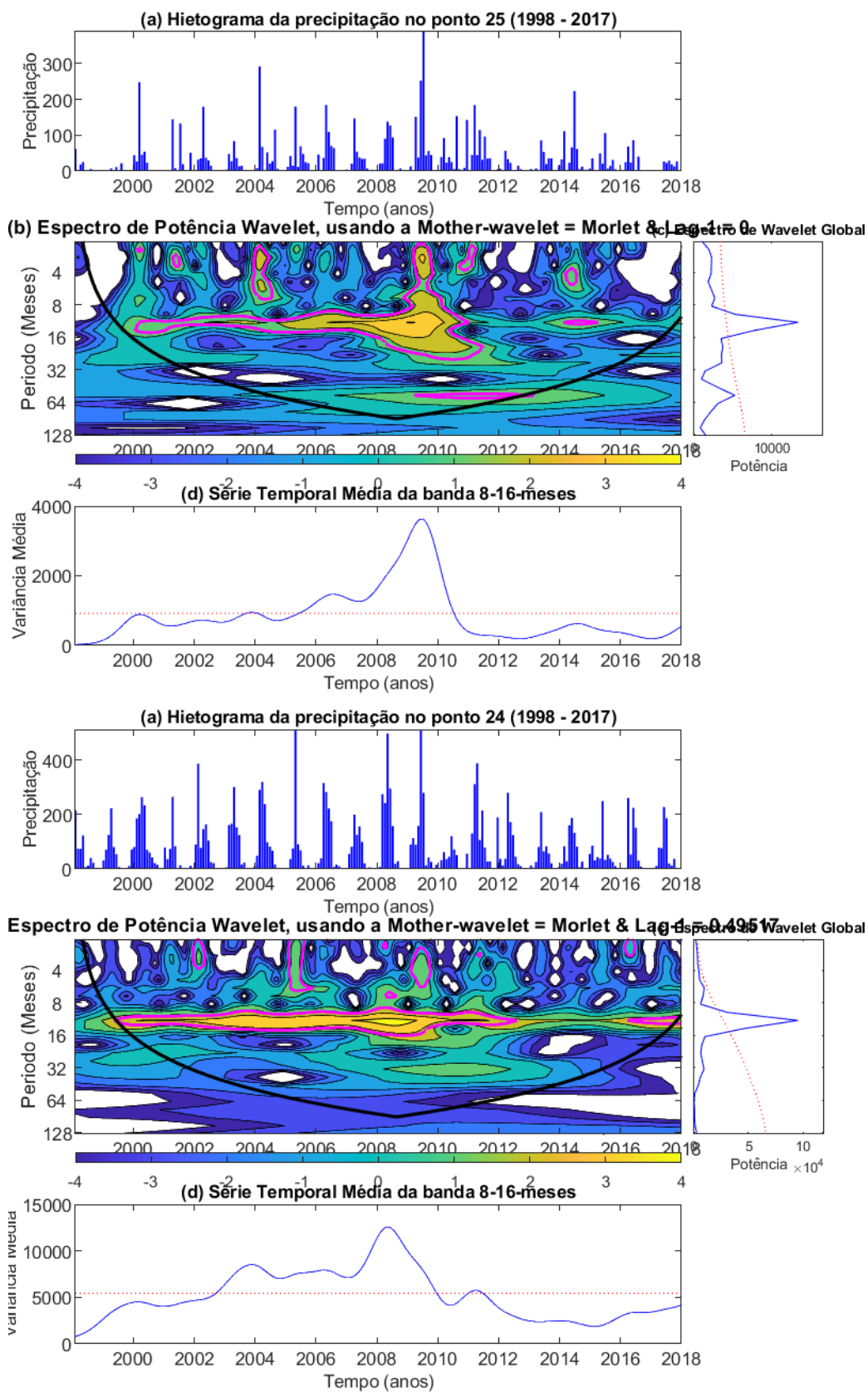


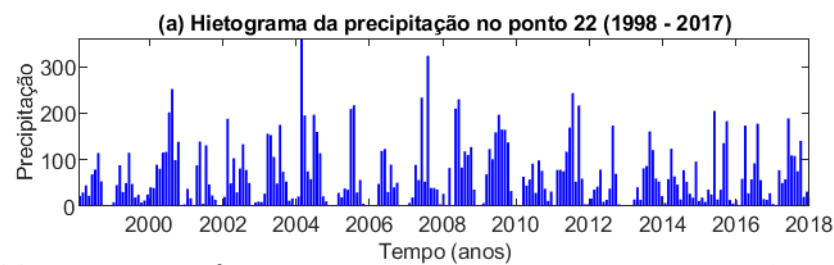
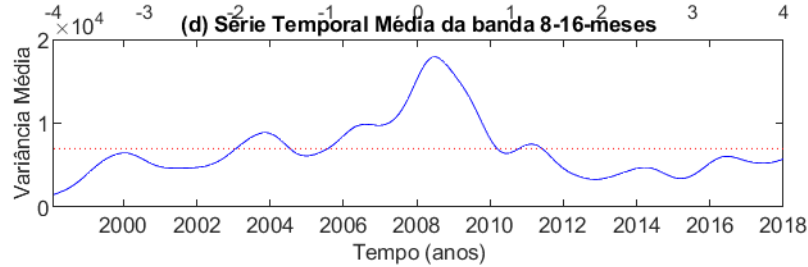
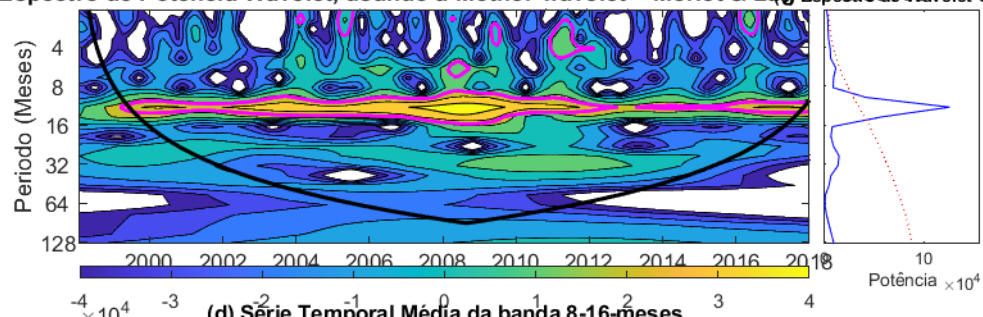
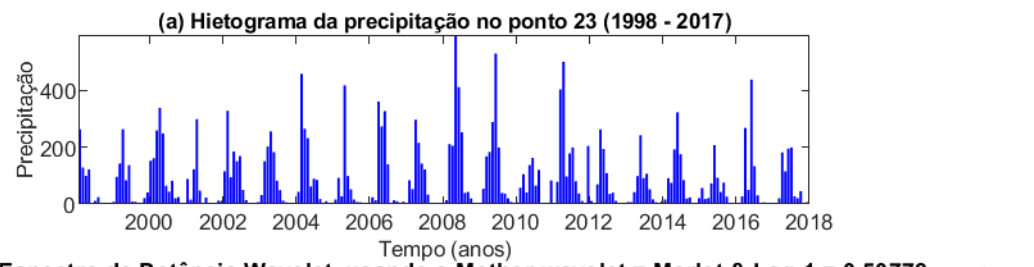




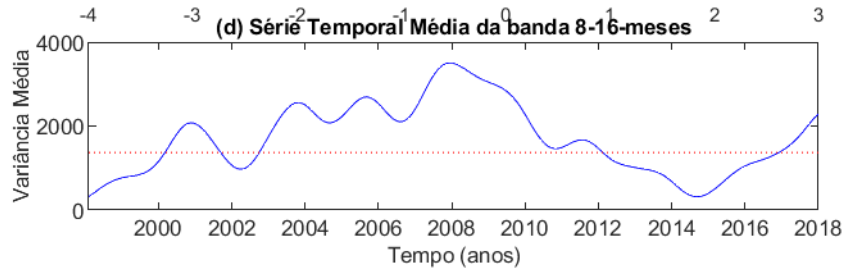
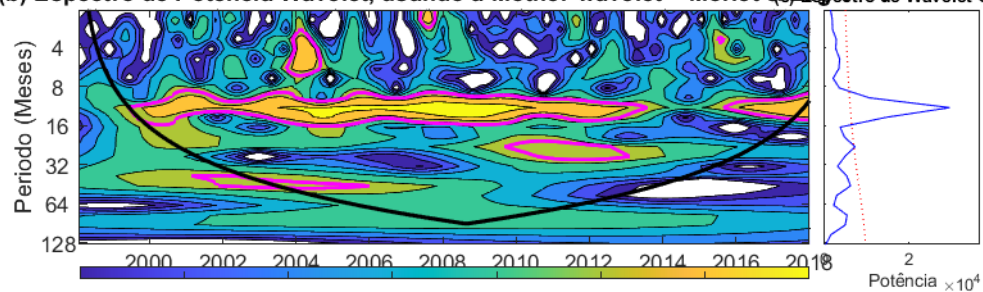


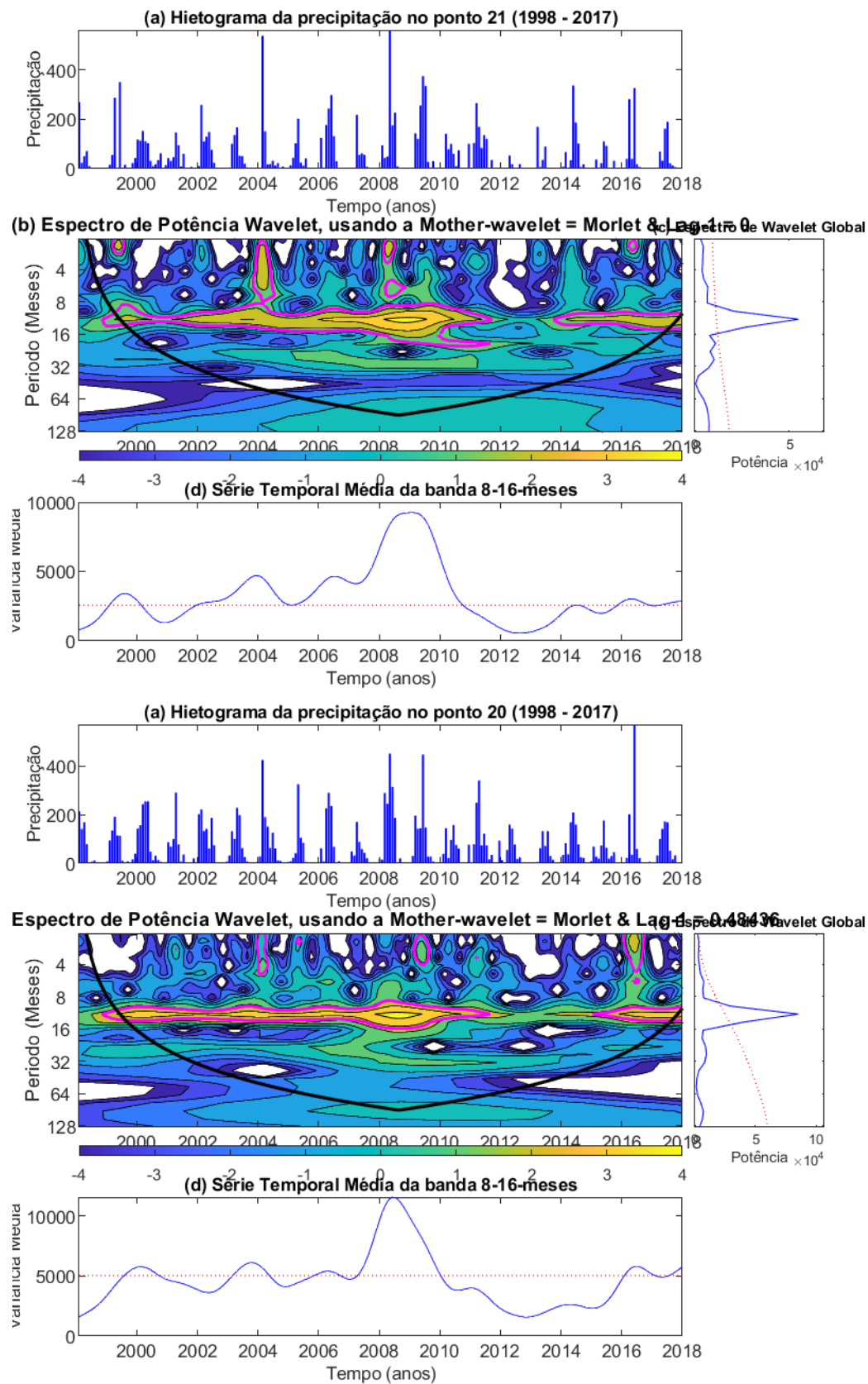


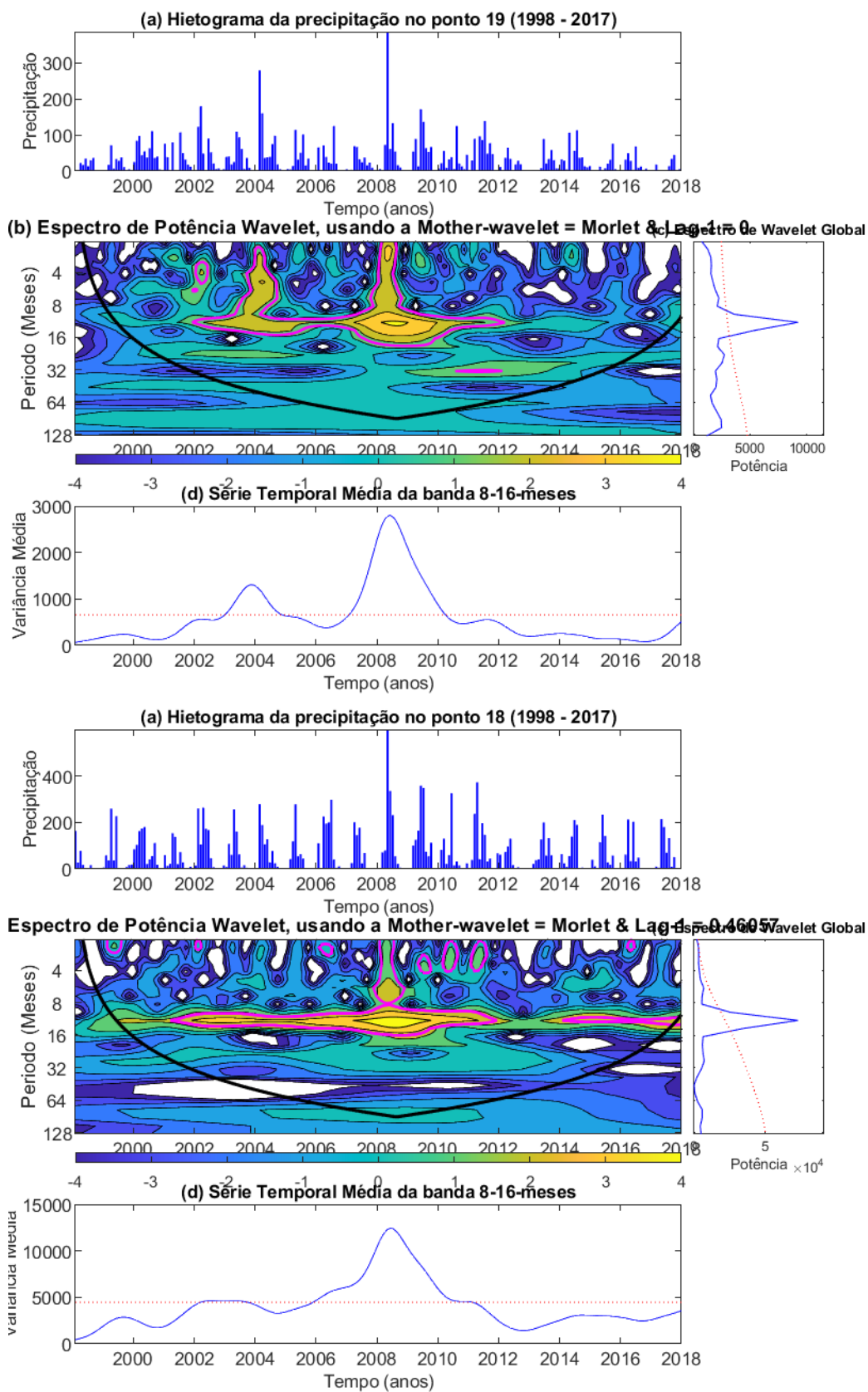


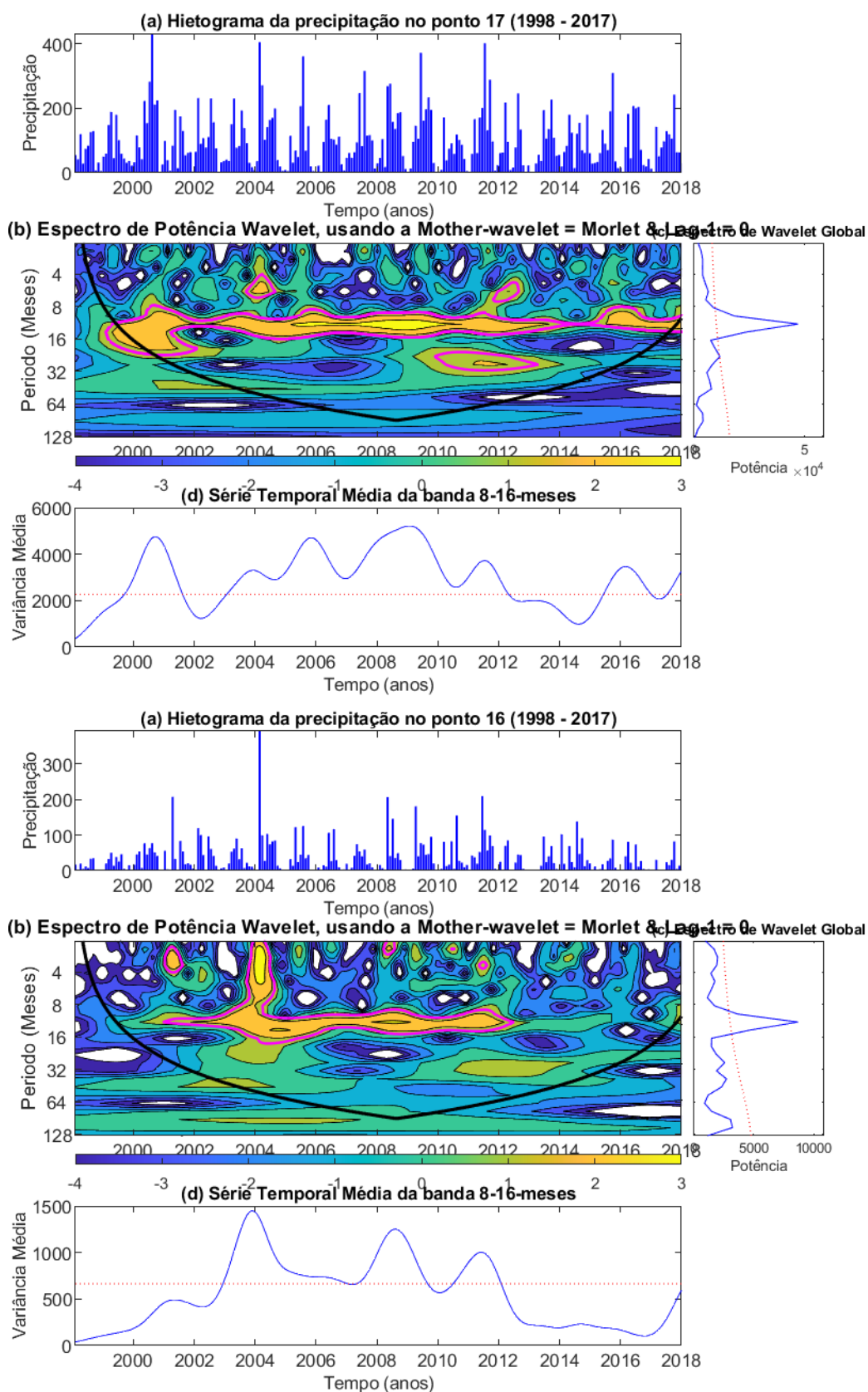


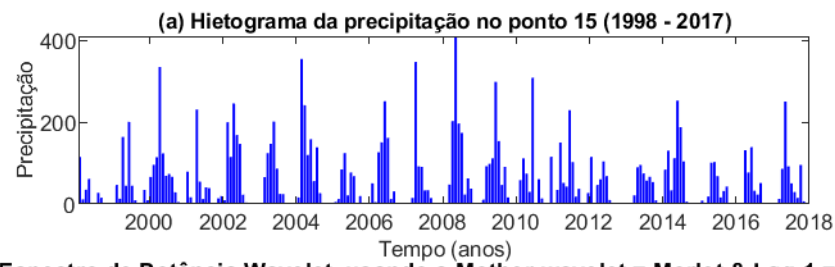
(b) Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.50778











Espectro de Potência Wavelet, usando a Mother-wavelet = Morlet & Lag-1 = 0.43885

