

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO

ALBERONALDO LIMA ALVES

**Efeito de Teleconexões Climáticas na Variabilidade Espaço-Temporal dos
Índices de Disponibilidade Hídrica em Uma Bacia Hidrográfica sob
Transição Climática (Tropical/Semiárido)**

Maceió

2016

ALBERONALDO LIMA ALVES

Efeito de Teleconexões Climáticas na Variabilidade Espaço-Temporal dos Índices de Disponibilidade Hídrica em Uma Bacia Hidrográfica sob Transição Climática (Tropical/Semiárido)

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Ruberto Frago
Júnior

Coorientador: Prof. Dr. Marllus Gustavo
Ferreira Passos das Neves

Maceió

2016

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central

Bibliotecário Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

A474e Alves, Alberonaldo Lima.

Efeito de teleconexões climáticas na variabilidade espaço-temporal dos índices de disponibilidade hídrica em uma bacia hidrográfica sob transição climática (tropical/semiárido) / Alberonaldo Lima Alves. – 2016.

64 f. : il.

Orientador: Carlos Ruberto Fragoso Júnior.

Coorientador: Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves.

Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) –
Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Programa de
Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. Maceió, 2016.

Bibliografia: f. 55-59.

Apêndices: f. 60-62.

Anexos: f. 63-64.

1. Variabilidade climática – Teleconexões. 2. Wavelets. 3. Recursos hídricos. 4. Mudanças climáticas. I. Título.

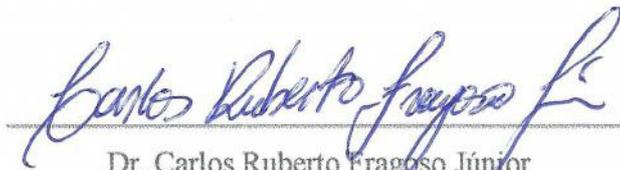
CDU: 556.18

Folha de Aprovação

AUTOR: ALBERONALDO LIMA ALVES

Efeito de Teleconexões Climáticas na Variabilidade Espaço-Temporal dos Índices de Disponibilidade Hídrica em Uma Bacia Hidrográfica sob Transição Climática (Tropical/Semiárido)

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas e aprovada em 28 de abril de 2016.



Dr. Carlos Ruberto Frago Junior
Universidade Federal de Alagoas – UFAL
(Orientador)

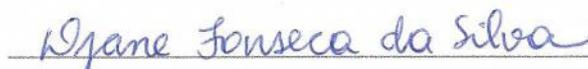


Dr. Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves
Universidade Federal de Alagoas – UFAL
(Coorientador)

Banca Examinadora:



Dra. Josiclêda Domiciano Galvêncio
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
(Examinadora Externa)



Dra. Djane Fonseca da Silva
Universidade Federal de Alagoas – UFAL
(Examinadora Interna)

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus e meus familiares: mãe (D. Josefa), avó (D. Maria), irmãs (Missinelma, Missirelma e Missivelma) e a minha namorada (Misselany), pois sempre me apoiaram. Muitas vezes requisitaram minha presença, mas devido às atividades do PPGRHS compreenderam a minha ausência.

Também sou grato pela orientação do professor Carlos Ruberto. Sua dedicação foi indispensável para conclusão desse trabalho. Agradeço também a coorientação do professor Marllus Neves, sempre disposto em ajudar.

Agradeço a banca examinadora pela disposição em avaliar e colaborar com sugestões.

Não poderia esquecer de agradecer aos colegas que me auxiliaram, fornecendo dados e esclarecendo dúvidas: Klewerton Queiroz, Taynah Rabelo, Tainara Ramos, Daysy Lira e Mahelvson Chaves.

Destaco os colegas de sala e de turma: Amesson Marques, Fernando Nascimento e Thyago Anthony, pela companhia e troca de conhecimentos.

Não poderia deixar de agradecer à turma do PPGRHS 2015, pois me alegraram com conversas nos intervalos de almoço e café da tarde. Em especial: Cristiano Seabra, Marconi Cavalcante, Lucas Tardelly, Alane Patrícia, Renata Braga, Camila Agra, Gabriela Branquinho, Juliana Costa e Sthephane Andrade.

Agradeço ainda, aos profissionais da Gama Engenharia e Recursos Hídricos, pela oportunidade de estagiar e trabalhar. Adquiriti conhecimentos fundamentais para vida profissional. Em especial, agradeço ao Alex Gama e ao Luis Gustavo pela oportunidade e confiança depositada.

Por fim, agradeço aos professores Roberaldo Souza e Francisco Barros (Chico Potiguar). Ambos, através do Programa de Apoio às Escolas Públicas do Estado (PAESPE), ensinam valores indispensáveis para formação pessoal e profissional. Como ex-aluno, agradeço em nome todos os estudantes do PAESPE.

RESUMO

A disponibilidade hídrica é a parcela de vazão que pode ser utilizada pela sociedade para seu desenvolvimento. Diversos tipos de uso dependem dessa parcela, por exemplo: condições mínimas para diluição de efluentes, a sustentabilidade dos ecossistemas, a irrigação, o abastecimento de água, a geração de energia, dentre outros. Assim como outras variáveis hidrológicas, a disponibilidade hídrica varia no espaço e no tempo, inclusive por influência climática. Estudos evidenciam que as teleconexões climáticas provocam anomalias hidrológicas em diversas partes do globo. Nesses estudos, os índices climáticos têm sido mais utilizados, pois possibilitam uma melhor compreensão das relações físicas envolvidas entre sistemas atmosféricos e hidrológicos. Embora alguns estudos tenham avaliado a influência climática na hidrologia, não existe na literatura uma avaliação dos efeitos climáticos sob os índices de disponibilidade hídrica. Diante desse contexto, nesse estudo, optou-se por avaliar os efeitos do clima através de suas teleconexões na variabilidade espaço-temporal dos índices de disponibilidade hídrica em uma bacia hidrográfica sob transição climática (semiárido/tropical). Como objeto de estudo, foi escolhida a Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú (BHRM), localizada no Nordeste do brasileiro. Para estimação dos índices de disponibilidade (Q_7 , Q_{90} e Q_{95}) foi utilizada a modelagem hidrológica chuva-vazão para o preenchimento de falhas e extensão de séries. Na calibração do modelo hidrológico o coeficiente de Nash-Sutcliffe variou entre 0,84 e 0,86, já na validação variou entre 0,75 e 0,81. Após a calibração e validação foi possível estender as séries para um período de 48 anos (1963-2010) e estimar os índices de disponibilidade. A seguir, foram avaliadas correlações significativas por Spearman e Wavelets, considerando um intervalo de confiança de 95%, entre os índices de disponibilidade e os climáticos: Oscilação do Atlântico Norte (OAN), Oscilação Multidecal do Atlântico (OMA), Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e Índice de Oscilação Sul (IOS). Constatou-se que a variabilidade espaço-temporal da disponibilidade hídrica, pode ser explicada pelos fenômenos atuantes na transição climática da região (semiárido/tropical quente e úmido). Em alguns casos, a atuação climática foi semelhante, para outros não. Além disso, a combinação de eventos La Niña e El Niño com os fenômenos OMA e ODP podem influenciar de forma mais intensa a variabilidade da disponibilidade hídrica. Destaca-se em detalhes que, todos os efeitos significativos do clima na disponibilidade, antecederam ou incluíram o período úmido de março-agosto (70% da precipitação anual), período de grande influência no armazenamento.

Palavras-chave: Rio Mundaú. Wavelets. Índices climáticos.

ABSTRACT

The water availability is the amount of flow that can be used by the society for its development. Various types of use depend on this portion, for example, minimum conditions for dilution of effluent, ecosystem sustainability, irrigation, water supply, power generation, among others. As other hydrological variables, water availability varies in space and time, including by climatic influence. Studies show that climate teleconnection cause hydrological anomalies in different parts of the earth. In these studies, climate indices have been more used, as they allow a better understanding of the physical relationships between atmospheric and hydrological systems. Though some studies have assessed the climate influence on hydrology, there is no literature an assessment of climate effects on the levels of water availability. In this context, this study, we chose to evaluate the effects of climate through its teleconnection the spatiotemporal variability of water availability rates in a watershed in climate transition (semiarid/tropical). As the object of study was chosen the Mundaú River Basin (MRB), located in the Northeast of Brazil. For estimation of availability indices (Q_7 , Q_{90} and Q_{95}) hydrologic modeling rainfall-runoff for gap filling and series extension was used. The calibration of the hydrological model the Nash-Sutcliffe coefficient ranged between 0.84 and 0.86 because validation ranged between 0.75 and 0.81. After calibration and validation sets was possible to extend for a period of 48 years (1963-2010) and estimate the levels of availability. Next, were assessed significant correlations by Spearman and Wavelets, considering a 95% confidence interval between the availability indices and climatic indices: North Atlantic Oscillation (NAO), Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO), Pacific Decadal Oscillation (PDO) and Southern Oscillation Index (SOI). It was found that the spatio-temporal variability of water availability, can be explained by phenomena active in climate transition region (semiarid/hot and humid tropical). In some cases, the climate performance was similar to other not. In addition, the combination of events La Niña and El Niño with AMO and PDO phenomena can influence more strongly the variability of water availability. It stands out in detail that all significant effects of climate on availability, leading or included wet period from March to August (70% of the annual precipitation), very influential period in storage.

Keywords: River Mundaú. Wavelets. Climate indices.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização e caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú (BHRM).....	18
Figura 2 – Delineamento do estudo estabelecido por etapas.....	19
Figura 3 – Estações utilizadas.	23
Figura 4 – Séries do coeficiente de escoamento.....	25
Figura 5 – Discretização da BHRM para modelagem.....	27
Figura 6 – Fluviograma da calibração para SB1	28
Figura 7 – Fluviograma da calibração para SB2	28
Figura 8 – Fluviograma da validação para SB1	29
Figura 9 – Fluviograma da validação para SB2	29
Figura 10 – Curva de permanência da validação para SB1	30
Figura 11 – Curva de permanência da validação para SB2	30
Figura 12 – Fluviograma da extensão para SB1	30
Figura 13 – Fluviograma da extensão para SB2.....	31
Figura 14 – Índices de disponibilidade para SB1	31
Figura 15 – Índices de disponibilidade para SB2	32
Figura 16 – Valor-p das correlações com o índice OAN.	33
Figura 17 – Séries do coeficiente de Spearman das correlações com o OAN.....	34
Figura 18 – WTC do OAN de fevereiro e Q_7 (SB1)	34
Figura 19 – XWT do OAN de fevereiro e Q_7 (SB1)	34
Figura 20 – WTC do OAN de fevereiro e Q_7 (SB2)	35
Figura 21 – XWT do OAN de fevereiro e Q_7 (SB2)	35
Figura 22 – WTC do OAN de fevereiro e Q_{90} (SB2)	36
Figura 23 – XWT do OAN de fevereiro e Q_{90} (SB2).....	36
Figura 24 – Valor-p das correlações com o índice OMA.....	37
Figura 25 – Séries do coeficiente de Spearman das correlações com o OMA	37
Figura 26 – WTC do OMA de setembro e Q_{90} (SB1)	38
Figura 27 – XWT do OMA de setembro e Q_{90} (SB1)	38
Figura 28 – WTC do OMA de setembro e Q_{95} (SB1)	39
Figura 29 – XWT do OMA de setembro e Q_{95} (SB1)	39
Figura 30 – WTC do OMA de setembro e Q_7 (SB1).....	39
Figura 31 – XWT do OMA de setembro e Q_7 (SB1)	39
Figura 32 – WTC do OMA de agosto e Q_7 (SB2).....	40

Figura 33 – XWT do OMA de agosto e Q_7 (SB2).....	40
Figura 34 – WTC do OMA de setembro e Q_7 (SB2).....	41
Figura 35 – XWT do OMA de setembro e Q_7 (SB2)	41
Figura 36 – Valor-p das correlações com o índice ODP.	42
Figura 37 – Séries do coeficiente de Spearman das correlações com o ODP	42
Figura 38 – WTC do ODP de março e Q_7 (SB1).....	43
Figura 39 – XWT do ODP de março e Q_7 (SB1)	43
Figura 40 – WTC do ODP de janeiro e Q_{90} (SB2)	44
Figura 41 – XWT do ODP de janeiro e Q_{90} (SB2)	44
Figura 42 – WTC do ODP de janeiro e Q_{95} (SB2)	44
Figura 43 – XWT do ODP de janeiro e Q_{95} (SB2)	44
Figura 44 – WTC do ODP de março e Q_{90} (SB2)	45
Figura 45 – XWT do ODP de março e Q_{90} (SB2)	45
Figura 46 – WTC do ODP de março e Q_{95} (SB2)	46
Figura 47 – WTC do ODP de março e Q_{95} (SB2)	46
Figura 48 – WTC do ODP de março e Q_7 (SB2).....	46
Figura 49 – XWT do ODP de março e Q_7 (SB2)	46
Figura 50 – WTC do ODP de abril e Q_{90} (SB2).....	47
Figura 51 – XWT do ODP de abril e Q_{90} (SB2).....	47
Figura 52 – WTC do ODP de abril e Q_{95} (SB2).....	48
Figura 53 – XWT do ODP de abril e Q_{95} (SB2).....	48
Figura 54 – Valor-p das correlações com o índice IOS.....	49
Figura 55 – Séries do coeficiente de Spearman das correlações com o IOS.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coeficiente de escoamento médio	25
Tabela 2 – Resultados dos testes de hipóteses.....	26
Tabela 3 - Parâmetros Fixos	61
Tabela 4 - Parâmetros calibrados para propagação nas células.....	62
Tabela 5 - Unidades de Resposta Hidrológica.....	62
Tabela 6 - Sensibilidade dos parâmetros para cada função objetivo	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BHRM	Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
NEB	Nordeste do Brasil
OAN	Oscilação do Atlântico Norte
OMA	Oscilação Multidecadal do Atlântico
IOS	Índice de Oscilação Sul
ODP	Oscilação Decadal do Pacífico
CELMM	Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba
MGB-IPH	Modelo de Grandes Bacias
URH	Unidade de Resposta Hidrológica
TWC	Transformada Wavelet Contínua
TWD	Transformada Wavelet Discreta
WTC	Coerência Wavelet
XWT	Cruzada Wavelet
ANA	Agência Nacional de Águas
ITEP	Instituto Tecnológico de Pernambuco
SEMARH/AL	Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MNT	Modelo Numérico de Terreno
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESA	The European Space Agency
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
ATN	Atlântico Tropical Norte
ATS	Atlântico Tropical Sul
ZCEN	Zona de Convergência Este do Nordeste
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

LISTA DE SÍMBOLOS

$Q_{7,10}$	Vazão mínima média de sete dias com período de recorrência de 10 anos
Q_7	Vazão anual mínima média de sete dias consecutivos
Q_{90}	Vazão anual com permanência de 90% do tempo
Q_{95}	Vazão anual com permanência de 95% do tempo
C	Coefficiente de escoamento
I	Intensidade pluviométrica
A	Área de drenagem
Q	Vazão média anual
Z_i	Índice de disponibilidade normalizado
x_i	Índice de disponibilidade anual
X_m	Média de longo período
σ	Desvio padrão de longo período
α	Nível de significância estatística
SB1	Sub-bacia 1
SB2	Sub-bacia 2
C_{NS}	Coefficiente de Nash-Sutcliffe
NS_{\log}	Coefficiente de Nash-Sutcliffe do logaritmo das vazões
ΔV	Erro de volume
C_s	Parâmetro para calibração da propagação superficial nas células
C_I	Parâmetro para calibração da propagação sub-superficial nas células
C_B	Parâmetro de retardo do reservatório subterrâneo
Q_b	Vazão de referência específica
W_m	Capacidade de armazenamento do solo
b	Parâmetro de forma da relação entre armazenamento e saturação
K_{bas}	Parâmetro que controla a vazão de estiagem

Kint	Parâmetro que controla a quantidade de água da camada de solo que é escoada sub-superficialmente
XL	Parâmetro que controla a forma da curva de redução da drenagem intermediária ou sub-superficial do solo
CAP	Parâmetro que controla o fluxo do reservatório subterrâneo para a camada superficial do solo
Wc	Parâmetro de armazenamento residual
IAF	Índice de área foliar
Z	Altura das árvores
RS	Resistência superficial

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Geral	16
2.2	Específicos	16
3	METODOLOGIA	17
4.2	Caracterização da região de estudo	17
4.2	Delineamento do estudo	19
4.2.1	Disponibilidade hídrica.....	19
4.2.2	Análise de causa-efeito espaço-temporal.....	21
4.2	Levantamento e aquisição de dados	23
4	RESULTADOS	25
4.2	Disponibilidade hídrica	25
4.2.1	Avaliação do regime fluvial.....	25
4.2.2	Modelagem hidrológica	26
4.2.3	Índices de disponibilidade hídrica	31
4.2	Efeitos das teleconexões climáticas	33
4.2.1	Oscilação do Atlântico Norte (OAN)	33
4.2.2	Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA).....	36
4.2.3	Oscilação Decadal do Pacífico (ODP).....	41
4.2.4	Índice de Oscilação Sul (IOS)	48
5	DISCUSSÕES	50
6	CONCLUÇÕES	54
	REFERÊNCIAS	55
	APÊNDICES	60
	Apêndice A – Parametrização fixa e calibrável do MGB-IPH	61
	ANEXOS	63
	Anexo A – Sensibilidade dos parâmetros do MGB-IPH	64

1 INTRODUÇÃO

A disponibilidade hídrica é a parcela de vazão que pode ser utilizada pela sociedade para o seu desenvolvimento, sem comprometer o meio ambiente aquático (CRUZ e TUCCI, 2008). A utilização dessa parcela de vazão como recurso, visa garantir os usos consuntivos e não-consuntivos, por exemplo: condições mínimas para diluição de efluentes, a sustentabilidade dos ecossistemas, a irrigação, o abastecimento de água para diferentes usos, a geração de energia, dentre outros. A garantia dessa disponibilidade ao longo do tempo, é determinada por índices que representam o regime fluvial, em períodos críticos de estiagens, obtidos por análises estocásticas de séries temporais, de uma determinada estação fluviométrica. Os índices mais utilizados são: $Q_{7,10}$ ¹, Q_{90} ² e Q_{95} ³.

Assim como outras variáveis hidrológicas, a disponibilidade hídrica varia no espaço e no tempo, podendo ser influenciada pelo clima. A depender dos fenômenos climáticos, os efeitos na disponibilidade hídrica podem induzir para anomalias⁴ positivas ou negativas (ALVES et al., 1997). Estudos evidenciam que as relações não-estacionárias existentes entre oceano e atmosfera afetam os padrões médios das séries fluviométricas (e.g., LABAT, 2010; RÄSÄNEM e KUMMU, 2013; DA SILVA, 2013). Em determinadas regiões a atuação climática é tão acentuada que restringe os usos (consuntivos e não-consuntivos) por ocasionar eventos extremos, como cheias ou secas intensas (e.g., HASTENRATH, 2012; OLIVEIRA et al., 2014).

A atuação do clima e seus efeitos nos processos hidrológicos estão sendo investigados sob a perspectiva de teleconexões climáticas⁵. As teleconexões climáticas influenciam sistemas atmosféricos característicos, que são avaliados por alguns indicadores como, por exemplo, a Temperatura da Superfície do Mar (TSM), a Pressão Atmosférica e índices climáticos (e.g., WILBY et al., 2004; MORID et al., 2007; ROSSI et al., 2011; ALVES et al., 2014; KAYANO et al., 2016). Os índices climáticos, têm sido mais utilizados, uma vez que eles possibilitam uma melhor compreensão das relações físicas envolvidas entre sistemas atmosféricos de grande escala e variáveis hidroclimatológicas (PAZ et al., 2011).

¹ $Q_{7,10}$: Vazão mínima média de setes dias com período de recorrência de 10 anos.

² Q_{90} : Vazão com permanência de 90% do tempo.

³ Q_{95} : Vazão com permanência de 95% do tempo.

⁴ Anomalias: refere-se às variações de uma determinada variável acima (positiva) ou abaixo (negativa) do comportamento médio.

⁵ Teleconexões climáticas: alterações no clima em parte do globo que podem alterar o clima em outras regiões (SILVERMAN e DRACUP, 2000).

Os efeitos das teleconexões climáticas na hidrologia do Nordeste Brasileiro (NEB) vêm sendo estudados. Em diversos trabalhos realizados no NEB constatou-se que teleconexões decorrentes nos oceanos Atlântico e Pacífico estão relacionadas a variabilidade hidrológica (e.g., DA SILVA, 2009; LABAT, 2010; PAZ et al., 2011; DA SILVA, 2013; COSTA, 2014). Constatou-se também, que os padrões Oscilação do Atlântico Norte (OAN), Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA), Índice de Oscilação Sul (IOS) e Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) estão correlacionados com a variabilidade hidrológica, e por vezes podem atuar de forma combinada, intensificando ou atenuando efeitos (e.g., DA SILVA, 2013).

Embora os índices climáticos estejam correlacionados com variabilidade hidrológica no NEB, há indícios que se correlacionam de formas diferentes para vazão e precipitação. Da Silva (2013) constatou que os índices climáticos OMA e ODP, quando combinados com eventos La Niña ou El Niño atuam de forma mais intensa na variabilidade fluviométrica do Nordeste. Costa (2014) ao avaliar a influência de teleconexões (OAN, OMA, ODP e IOS) na variabilidade da precipitação do trimestre mais chuvoso, constatou que os índices IOS e OAN apresentaram correlações significativas, já os índices OMA e ODP não apresentaram correlações significativas. Em um trabalho mais recente, constatou-se que o OMA e o ODP não apresentaram relações definidas para a precipitação do período seco (COSTA et al., 2016).

Diante desses aspectos, optou-se por estudar os efeitos do clima na hidrologia, sobre a ótica da disponibilidade hídrica, avaliando assim o regime fluviométrico no período de estiagem. Por isso, esse trabalho teve como objetivo principal, avaliar os efeitos do clima através de suas teleconexões na variabilidade espaço-temporal dos índices de disponibilidade hídrica em uma bacia hidrográfica sob transição climática (semiárido/tropical). Os resultados desse trabalho, podem embasar a seleção de variáveis preditoras para previsão de hidrológica de longo prazo, avaliando com antecedência os impactos nos usos consuntivos e não-consuntivos, tornando as comunidades mais resilientes a eventos extremos.

Para objeto de estudo, foi escolhida a Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú (BHRM), localizada nos estados de Pernambuco e Alagoas, região Nordeste do Brasil. Por englobar uma região de transição climática, semiárido (cabeceira) - tropical (fz), optou-se por escolher essa Bacia, pois foi possível estudar a influência das teleconexões na disponibilidade hídrica de regiões situadas em diferentes climas.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar os efeitos do clima através de suas teleconexões na variabilidade espaço-temporal dos índices de disponibilidade hídrica em uma bacia hidrográfica sob transição climática (Semiárido/Tropical).

2.2 Específicos

Os Objetivos específicos definidos foram:

- a) identificar nas teleconexões climáticas os índices que influenciam a variabilidade da disponibilidade hídrica na região;
- b) identificar regiões (sub-bacias) de atuação dos índices climáticos;
- c) avaliar o grau de influência das teleconexões na variabilidade da disponibilidade hídrica.

3 METODOLOGIA

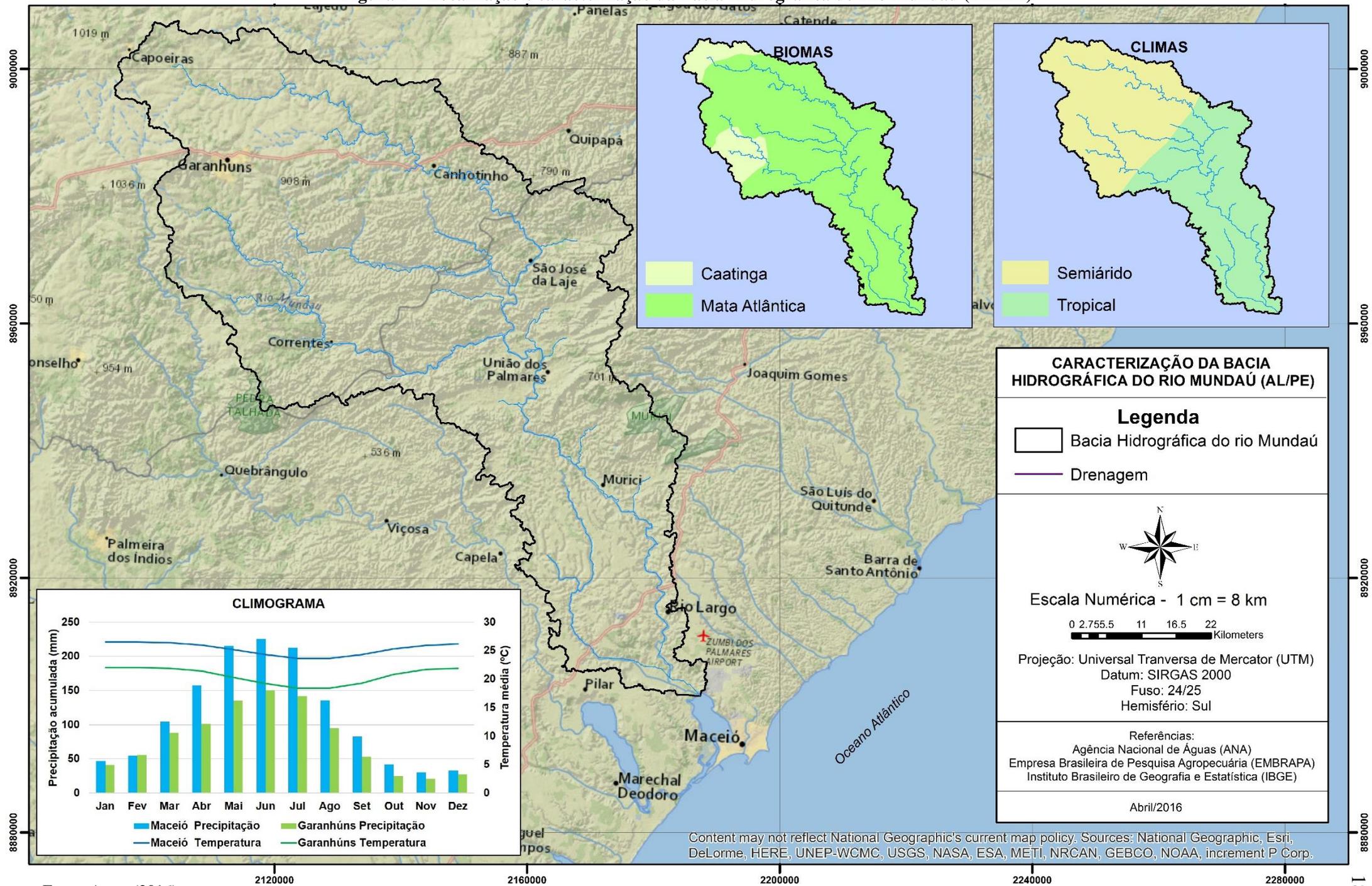
4.2 Caracterização da região de estudo

O rio Mundaú (Figura 1) nasce no agreste pernambucano no município de Garanhuns e deságua em Alagoas na laguna Mundaú, Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM). O rio principal possui uma extensão de aproximadamente 140 Km, com uma declividade média de 3,75 m/Km e tempo de concentração médio de 1,57 dias (FRAGOSO JR et al., 2010). A Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú (BHRM) com uma área de aproximadamente 4.105 Km² abrange 36 municípios, 17 pernambucanos (53% de área) e 19 municípios alagoanos (47% de área). A importância para os estados deve-se principalmente: a) ao abastecimento de diversos reservatórios e barragens localizadas na cabeceira (região semiárida); b) ao abastecimento de água para irrigação de diversos cultivos (agricultura); c) preservação do CELMM, um dos complexos lagunares mais produtivos do Brasil (SOUZA et al., 2004).

A geologia da BHRM é determinada no alto e no médio pelo Maciço Pernambuco-Alagoas, baseado em rochas cristalinas (i.e. de formação ígnea ou metamórfica), com menos capacidade de infiltração, e no baixo curso está situada a Bacia Sedimentar Sergipe-Alagoas, ocupando uma pequena parte da BHRM, tendo maior capacidade de infiltração (MONTE, 2013).

Costa (2014) destaca que a parte alta da Bacia está inserida no bioma Caatinga, tendo aspecto climático Semiárido, estando inclusive no Polígono das Secas, e o bioma Mata Atlântica na parte baixa estende-se até a foz com clima Tropical (Figura 1). A Bacia é composta por áreas assoladas por eventos adversos (desde sistemas sinóticos a mecanismos de grande escala) que proporcionam eventos de secas ou enchentes (DA SILVA, 2009). Na Figura 1 é possível identificar dois períodos distintos no regime pluviométrico. O período seco ocorre entre setembro e fevereiro e o úmido de março a agosto, com concentração de 70% do regime pluviométrico anual, sendo que 50% do total precipitado anual entre maio e julho (DA SILVA, 2009; COSTA, 2014; COSTA et al., 2016).

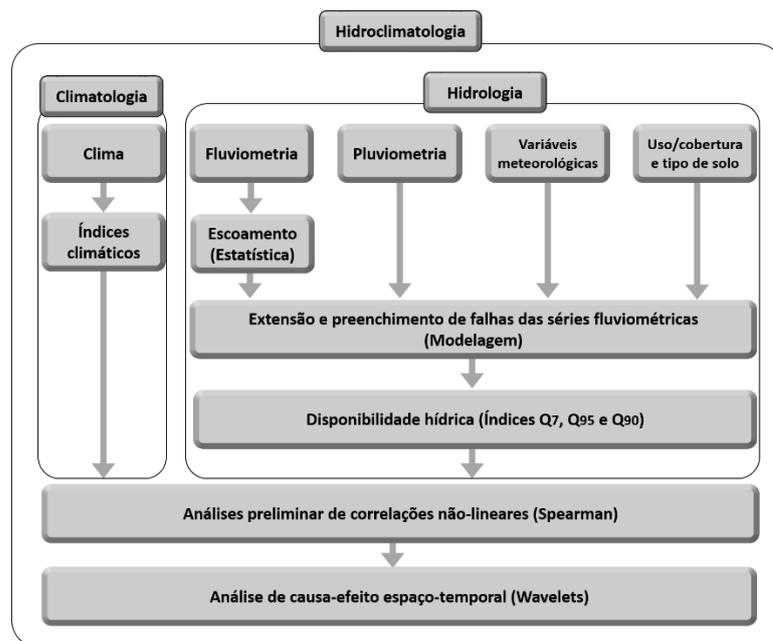
Figura 1 – Localização e caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú (BHRM)



4.2 Delineamento do estudo

O principal objetivo desse estudo foi avaliar os efeitos do clima através de suas teleconexões na variabilidade espaço-temporal dos índices de disponibilidade hídrica em uma bacia hidrográfica sob transição climática. Dessa forma, a estratégia adotada para o alcance do objetivo geral foi delineada e está apresentada de forma simplificada na Figura 2. Para melhor compreensão e detalhamento, as etapas serão discutidas adiante.

Figura 2 – Delineamento do estudo estabelecido por etapas



Fonte: Autor (2016)

4.2.1 Disponibilidade hídrica

Na Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú (BHRM), foram identificadas cinco estações fluviométricas, todas localizadas no estado de Alagoas. Para cada uma das cinco estações, o regime fluvial foi avaliado estatisticamente, objetivando identificar as séries fluviométricas em que a variabilidade é influenciada por outros fatores ou processos além dos climáticos, como: estruturas hidráulicas (barragens, reservatórios), alteração do uso ou cobertura do solo, captações para abastecimento, dentre outros. Para essas análises estatísticas, foi escolhido o coeficiente de escoamento como parâmetro (Equação 1), definido pela proporção adimensional da vazão pela intensidade pluviométrica em uma determinada área (TUCCI, 2000).

$$C = \frac{Q}{IA} \quad (1)$$

Onde:

C: coeficiente de escoamento;

Q: vazão

I: intensidade pluviométrica;

A: área de drenagem.

A avaliação estatística, consistiu na análise da estacionariedade das séries anuais do coeficiente de escoamento por meio do Teste de Spearman. O Teste de Spearman é um teste de hipótese não-paramétrico, tendo com pré-requisitos a aleatoriedade e a independência (NAGHETTINI e PINTO, 2007). Nesse estudo, a aleatoriedade foi avaliada pelo Teste Run (BACK, 2001) e a independência foi avaliada pelo Teste de Wald-Wolfowitz (NAGHETTINI e PINTO, 2007), ambos testes de hipóteses não-paramétricos. Após os testes estatísticos, as estações fluviométricas que apresentaram séries com o coeficiente de escoamento estacionário, foram utilizadas na modelagem hidrológica, para o preenchimento de falhas e a extensão das séries fluviométricas.

O modelo hidrológico utilizado foi o MGB-IPH, modelo distribuído chuva-vazão. Desde o trabalho de Collischonn (2001) esse modelo vem sendo amplamente aplicado em diversas bacias hidrográficas brasileiras (e.g., PEREIRA et al., 2012), inclusive na região de estudo (e.g., MONTE, 2013; ALVES et al., 2015). Os parâmetros do MGB-IPH foram calibrados (entre 01/01/1998 e 31/12/2002) e validados (entre 01/01/2003 e 31/12/2007) antes da modelagem para preenchimento de falhas e extensão, período de 48 anos (entre 01/01/1963 e 31/12/2010). Os dados de entrada foram séries hidrológicas (precipitação e fluviometria) e séries climatológicas de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, insolação e pressão atmosférica. Além das séries, foi necessário fornecer ao MGB-IPH o mapeamento de tipo e cobertura do solo. Por fim, por se tratar de um modelo distribuído foi necessário discretizar espacialmente a Bacia através de técnicas de geoprocessamento. A discretização consistiu em definir: a rede de drenagem, as direções de fluxo, mini bacias e as Unidades de Resposta Hidrológica (URH). As URHs foram resultantes da sobreposição de mapas do tipo e uso/cobertura do solo. Destaca-se que no MGB-IPH o balanço hídrico é realizado através da combinação de mini bacias e URH.

Por fim, após a modelagem (preenchimento de falhas e extensão), foram estimados os seguintes índices disponibilidade hídrica: a) vazão com frequência em 90% do tempo (Q_{90}); b) vazão com frequência em 95% do tempo (Q_{95}); c) vazão mínima da média de setes dias consecutivos (Q_7). Esses índices representam o período de estiagem no ano hidrológico, já que as séries foram anuais. Eles foram escolhidos pois são os mais utilizados para outorga de direito de uso dos recursos hídricos. Os índices Q_{90} e Q_{95} foram obtidos por meio da curva de permanência anual e o índice Q_7 foi obtido pela menor média da vazão mínima de sete dias consecutivos em um determinado ano. Referências como Tucci (2002), Cruz e Tucci (2008) e Naghettini e Pinto (2007) detalham as formulações para os cálculos desses índices.

4.2.2 Análise de causa-efeito espaço-temporal

Foram avaliadas as teleconexões entre os índices climáticos IOS, OAN, ODP e OMA e os índices de disponibilidade hídrica da região de estudo (Q_7 , Q_{90} e Q_{95}). Esses índices climáticos foram escolhidos pois estão associados às potenciais variações de precipitação e vazão em diversas partes do globo, inclusive no Nordeste brasileiro (e.g., UVO, 2003; BRAVO, 2010; LABAT, 2010; PAZ et al., 2011; MASSEI e FOURNIER, 2012; RASANEM e KUMMU, 2013). Os índices de disponibilidade foram normalizados com o intuito de eliminar efeitos de escalas (Equação 2).

$$Z_i = \frac{x_i - X_m}{\sigma} \quad (2)$$

Onde:

Z_i : índice de disponibilidade normalizado;

x_i : índice de disponibilidade anual;

X_m : média de longo período;

σ : desvio padrão de longo período.

As relações de causa-efeito foram avaliadas, temporalmente e espacialmente, aplicando-se as correlações de Spearman e as Transformadas Wavelets. As correlações de Spearman foram utilizadas para identificação de correlações significativas. Já as Wavelets serviram para analisar no espaço tempo-frequência as correlações significativas indicadas por Spearman.

As correlações significativas foram identificadas pelo coeficiente de Spearman (correlações não-lineares) através da análise do valor-p (NAGHETTINI e PINTO, 2007). O valor-p foi utilizado para testar a hipótese nula de nenhuma correlação contra a hipótese alternativa de que existe uma correlação diferente de zero. A avaliação através do valor-p consistiu em comparar se o valor-p é pequeno (inferior ao nível de significância estabelecido). Nesse trabalho foi estabelecido um nível de significância de 0,05 (correspondente ao intervalo de confiança de 95%).

Após a identificação das correlações significativas por Spearman, seguiu-se com as Wavelets. Dentre os dois tipos de transformadas Wavelets, Transformada Wavelet Contínua (TWC) e a Transformada Wavelet Discreta (TWD), a TWC foi escolhida para aplicação nesse estudo. A TWD é uma representação compacta dos dados, sendo bastante útil para a redução de ruído e compressão dos mesmos. A TWC é capaz de identificar sinais com fraca correlação, sendo bastante útil para extração de características. Sendo assim, como parte desse trabalho objetiva extrair características, a TWC foi escolhida para aplicação.

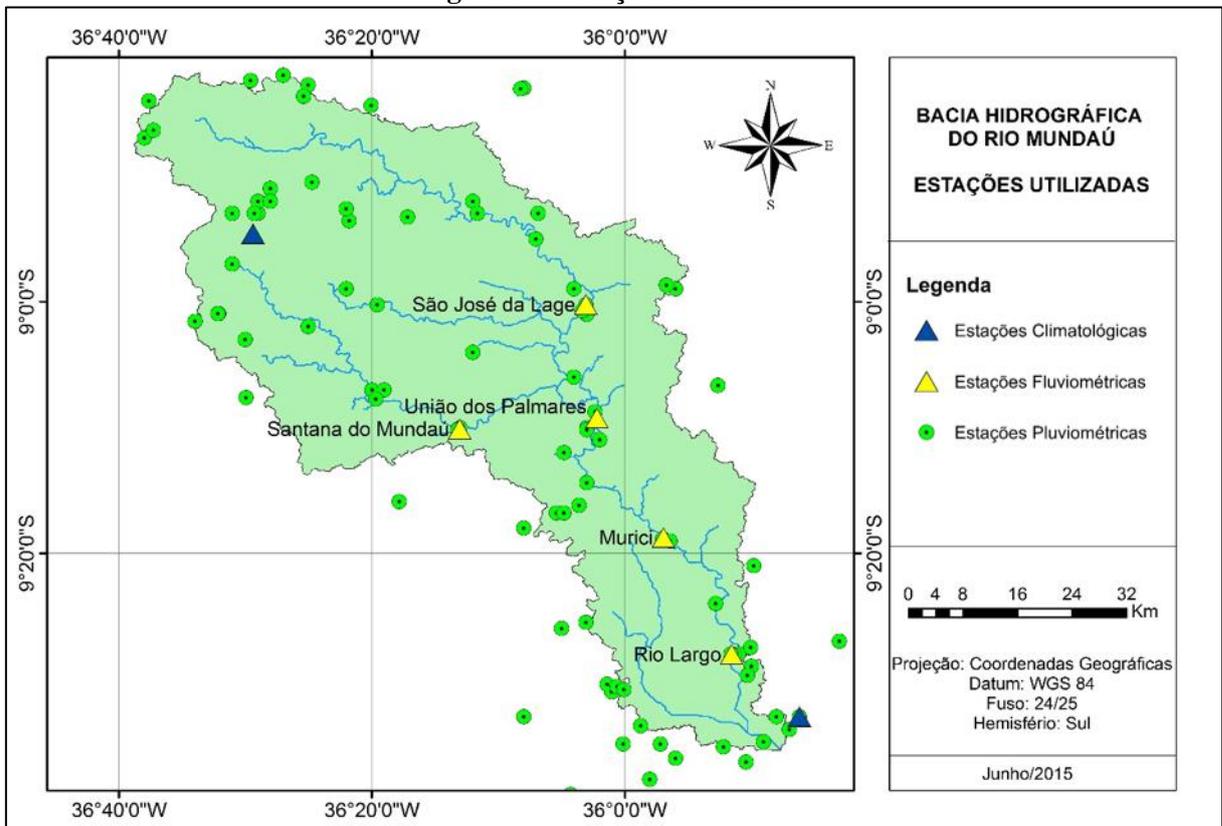
Para identificação de correlações significativas entre as séries, conforme recomendado por Grinsted et al. (2004), foi necessária a aplicação em conjunto da Transformada Cruzada Wavelet (XWT) e da Transformada Coerência Wavelet (WTC). A XWT foi determinada a partir de duas TWC e mediu a força de associação entre as duas séries através de um espectro de potência, onde foi possível destacar os principais períodos de interferência de uma série em relação a outra para diferentes frequências temporais (e.g., JEVREJEVA et al., 2003). Já a WTC relacionou duas TWC e identificou regiões de significativa coerência (não necessariamente com alta potência), medida através da covariância, e atraso de fase (e.g., CHANG e GLOVER, 2010).

As XWT e as WTC foram geradas através de um pacote de rotinas computacionais, elaboradas na linguagem de programação Matlab, disponibilizadas no link: <http://www.glaciology.net/wavelet-coherence>. As rotinas foram adaptadas para aplicação nesse estudo, consultando o trabalho de Grinsted et al. (2004), principal referencial teórico utilizado para elaboração do pacote disponibilizado.

4.2 Levantamento e aquisição de dados

As séries hidrológicas de pluviometria e fluviometria foram obtidas eletronicamente de instituições governamentais. As séries pluviométricas foram oriundas de 100 estações, sendo 38 estações da Agência Nacional de Águas (2015), 28 do Instituto Tecnológico de Pernambuco (2011) e 34 de Alagoas (2011). Para fluviometria, foram utilizadas cinco estações da Agência Nacional de Águas (2015), sendo todas localizadas em território alagoano. Já as séries climatológicas foram extraídas de duas estações climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (2015). Uma das estações está localizada na cabeceira da BHRM no município de Garanhuns/PE e a outra localizada na parte baixa, na cidade de Maceió/AL. Dessas estações foram obtidas séries de velocidade do vento, pressão atmosférica, temperatura do ar, insolação e umidade relativa do ar. Todas as estações utilizadas estão apresentadas na Figura 3.

Figura 3 – Estações utilizadas.



Fonte: Autor (2016) - Adaptado de Alves et. al. (2015)

Após identificação das estações e aquisição das séries, foi identificado o período de monitoramento em comum a todas as estações, para a aplicação da modelagem. O período adotado para calibração foi de cinco anos, compreendido entre 01 de janeiro de 1998 e 31 de

dezembro de 2002, já o período definido para a validação foi de seis anos, compreendido entre 01 de janeiro de 2003 e 31 de dezembro de 2007. Após calibração, validação e extensão, foi possível obter séries fluviométricas com 48 anos, compreendidos entre 01 de janeiro de 1963 e 31 de dezembro de 2010. Para a definição da rede de drenagem e das mini-bacias foi utilizado o Modelo Numérico de Terreno (MNT) disponibilizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2015). Para a definição das Unidades de Resposta Hidrológica (URH) foram utilizados o mapa de tipo de solo elaborado no ano de 2001 e disponibilizado por Brasil (2015) e cobertura do solo disponibilizado pela The European Space Agency (2015), elaborado em 2010.

Para a avaliação das teleconexões foram obtidas séries históricas dos índices climáticos: Índice de Oscilação Sul (IOS), Oscilação do Atlântico Norte (OAN), Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA) da National Oceanic and Atmospheric Administration (2015). O período de dados utilizado foi de 48 anos (período referente a extensão das séries fluviométricas), compreendidos entre 01 de janeiro de 1963 e 31 de dezembro de 2010.

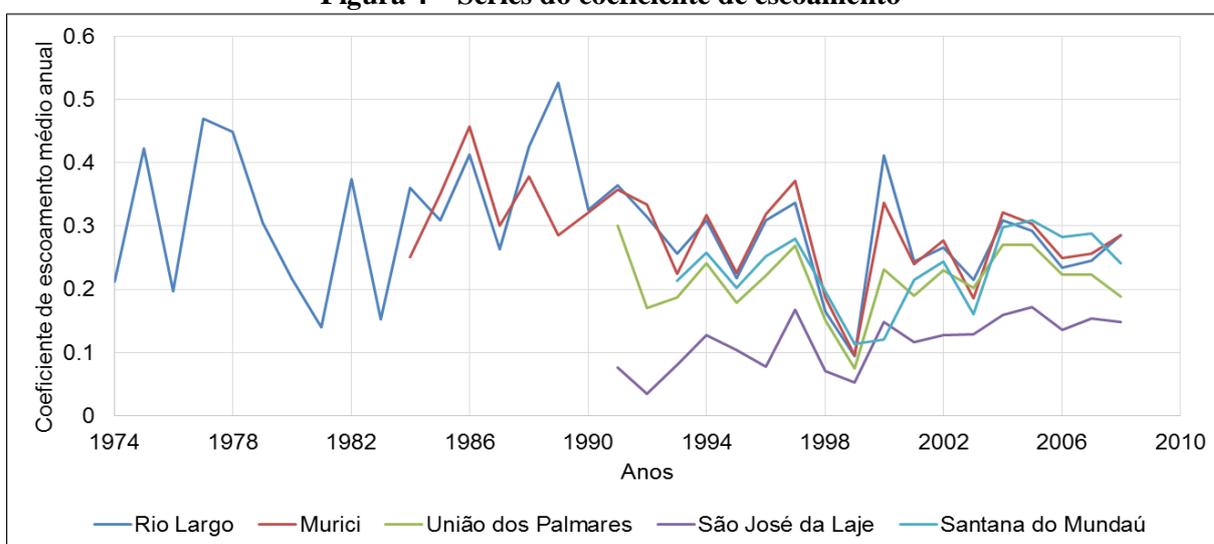
4 RESULTADOS

4.2 Disponibilidade hídrica

4.2.1 Avaliação do regime fluvial

Para avaliação estatística do regime fluvial foram calculadas as séries do coeficiente de escoamento. Para isso, foram estimadas séries de precipitações e vazão média anual para cada sub-bacia. Cada sub-bacia foi definida como a área a montante da respectiva estação fluviométrica. Para uma melhor análise das informações obtidas, apresenta-se logo em seguida, as séries do coeficiente (Figura 4) e uma síntese das informações extraídas (Tabela 1).

Figura 4 – Séries do coeficiente de escoamento



Fonte: Autor (2016)

Tabela 1 – Coeficiente de escoamento médio

Estações fluviométricas	Área de drenagem (Km ²)	Precipitação total anual médio (mm)	Vazão média anual (m ³ /s)	Coeficiente de escoamento médio
Santana do Mundaú	770,0	1.060,0	7,0	0,23
São José da Laje	1.169,0	915,0	4,0	0,12
União dos Palmares	2.908,0	1.029,0	21,0	0,21
Murici	3.301,0	1.065,0	29,0	0,29
Rio Largo	3.563,0	1.085,0	34,0	0,30

Fonte: Autor (2016)

A análise estatística nas séries do coeficiente de escoamento, identificou que duas estações apresentaram séries possivelmente sem interferência de fatores externos que possam alterar a variabilidade do regime fluvial além do clima (Tabela 2).

Tabela 2 – Resultados dos testes de hipóteses. Todos para um nível de confiança de 95%: aleatoriedade (Run), independência (Wald-Wolfowitz) e estacionariedade (Spearman)

Estação	Cidade	Aleatoriedade	Independência	Estacionariedade
39700000	Santana do Mundaú	Aceita	Rejeita	Rejeita
39720000	São José da Laje	Aceita	Aceita	Rejeita
39740000	União dos Palmares	Aceita	Aceita	Aceita
39760000	Murici	Aceita	Aceita	Rejeita
39770000	Rio Largo	Aceita	Aceita	Aceita

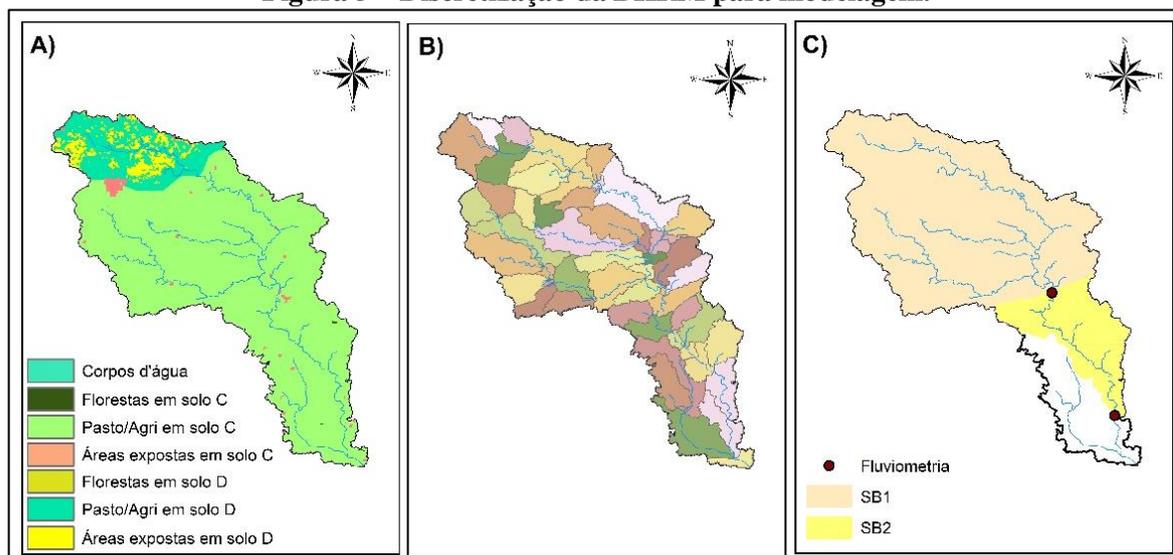
Fonte: Autor (2016)

Diante desses resultados, na modelagem hidrológica serão utilizadas apenas duas estações fluviométricas situadas nos municípios de União dos Palmares e Rio Largo. Como cada estação define uma região para montante, será considerada como SB1 a região à montante da estação de União dos Palmares e SB2 a região a montante da estação situada em Rio Largo.

4.2.2 Modelagem hidrológica

A Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú (BHRM) foi discretizada em sete Unidades de Resposta Hidrológica (URH), conforme Figura 5A. Na Bacia foram identificados solos do grupo hidrológico C e D, solos que geram escoamento superficial acima da média e possuem de média a baixa capacidade de infiltração (TUCCI, 2005). Além disso, foram identificados os seguintes tipos de coberturas: solo exposto, pasto/agricultura e floresta. A Figura 5B apresenta a discretização em mini bacias utilizadas no MGB-IPH. Já a Figura 5C destaca as sub-bacias (SB1 e SB2) com as respectivas estações fluviométricas estudadas.

Figura 5 – Discretização da BHRM para modelagem.



Onde:

(A) - Unidades de Resposta Hidrológica;

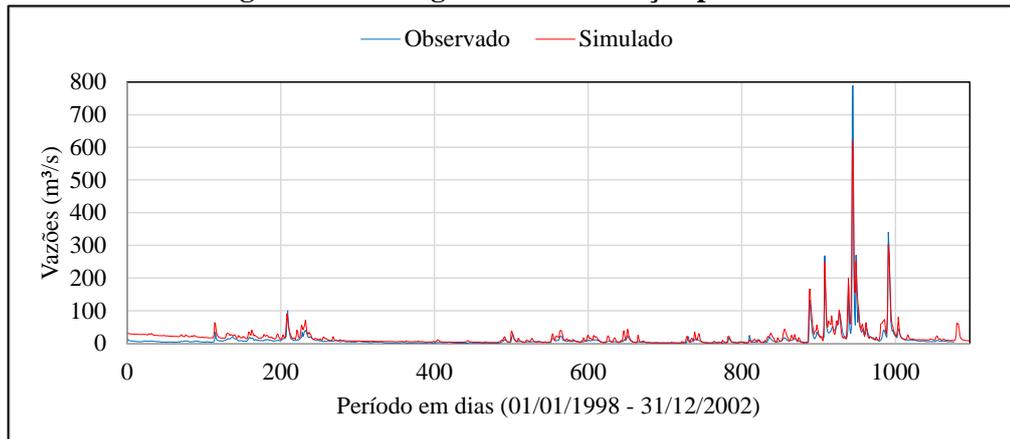
(B) - Mini bacias;

(C) - Sub-bacias.

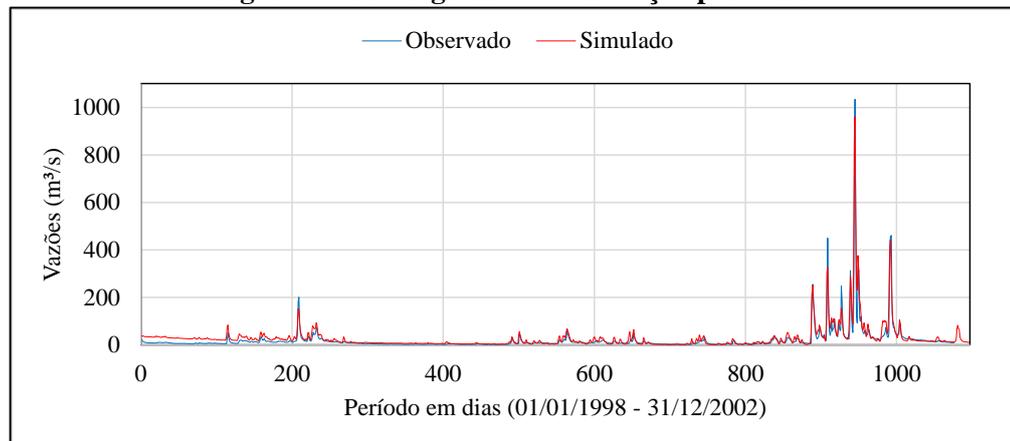
Fonte: Autor (2016)

Para calibração o período adotado foi de cinco anos (compreendido entre 01/01/1998 e 31/12/2002). Além disso, foram utilizados os valores dos parâmetros sugeridos por Alves et al. (2015), onde a metodologia de calibração aplicada foi a das tentativas, ou seja, não foi utilizada nenhuma metodologia automática para otimização dos resultados. Os valores dos parâmetros estão apresentados no Apêndice A e a sensibilidade de cada parâmetro no Anexo A.

Para avaliação das vazões estimadas pela calibração ao longo do tempo, foi aplicado o Coeficiente de Nash-Sutcliffe (C_{NS}). A estação de Rio Largo (SB2) apresentou um C_{NS} de 0,86. Já a estação de União dos Palmares (SB1) localizada em uma região a montante de Rio Largo obteve-se um C_{NS} de 0,84. Para ambas as regiões o Coeficiente de Nash-Sutcliffe (NS) ficou próximo de 1, indicando assim, que a calibração foi satisfatória. Para uma melhor análise da calibração, a Figura 6 e Figura 7, apresentam os fluviogramas com as vazões observadas e as estimadas pela calibração.

Figura 6 – Fluviograma da calibração para SB1

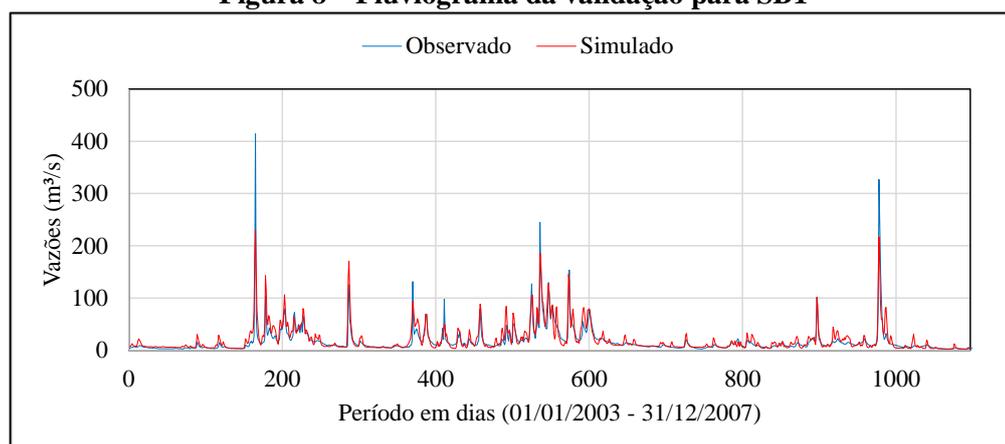
Fonte: Autor (2016)

Figura 7 – Fluviograma da calibração para SB2

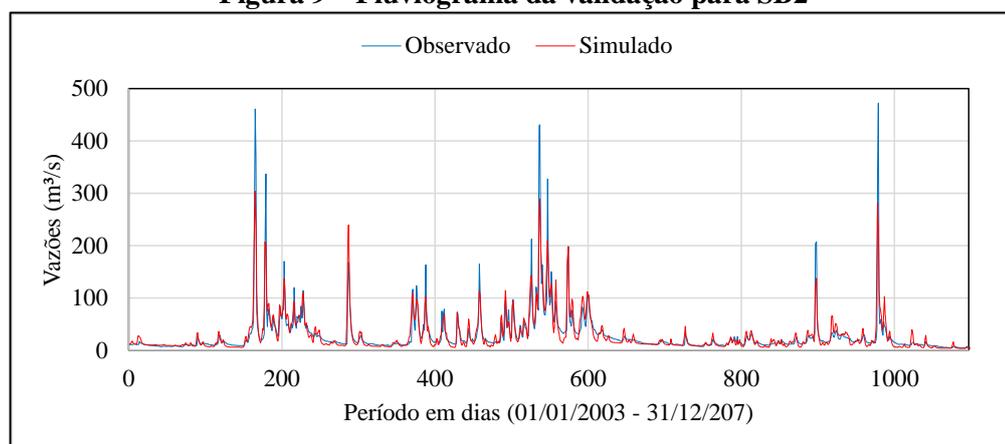
Fonte: Autor (2016)

Como os resultados da calibração foram satisfatórios, foi realizada a validação da calibração dos parâmetros. A validação consistiu no intervalo de seis anos, compreendido entre 01/01/2003 e 31/12/2007.

Para a estação de Rio Largo (SB2) obteve-se um C_{NS} de 0,81. Para a estação de União dos Palmares (SB1) localizada em uma região a montante de Rio Largo obteve-se um C_{NS} de 0,75. Para ambas as regiões o Coeficiente de Nash-Sutcliffe (C_{NS}) ficou próximo de 1, indicando assim, que a validação foi satisfatória. Para uma melhor análise da validação, a Figura 8 e a Figura 9 apresentam os fluviogramas com as vazões observadas e as estimadas pela validação.

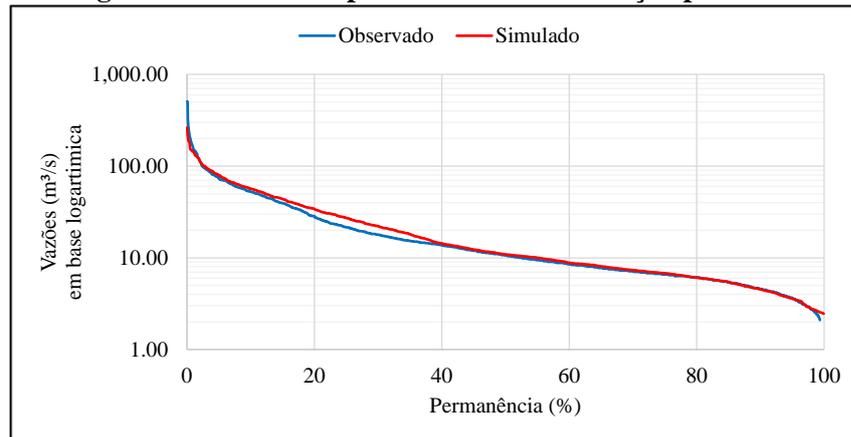
Figura 8 – Fluviograma da validação para SB1

Fonte: Autor (2016)

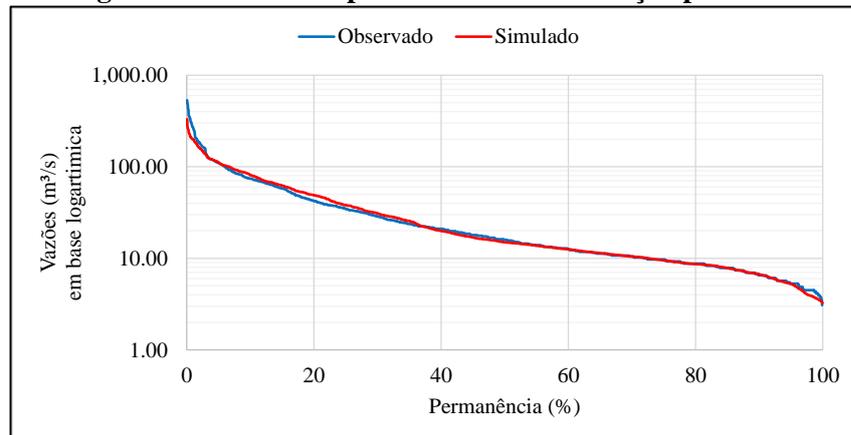
Figura 9 – Fluviograma da validação para SB2

Fonte: Autor (2016)

Além da utilização do C_{NS} para avaliação da validação, avaliou-se o erro relativo da Q_{90} e da Q_{95} , visando analisar a validação para a disponibilidade hídrica. Para a estação localizada na cidade Rio Largo (SB2) o erro da Q_{90} foi 2,3% e o erro da Q_{95} foi de 0,4%. Para a estação localizada na cidade União dos Palmares (SB1) o erro da Q_{90} foi 0,94% e o erro da Q_{95} foi de 0,31%. Para ambos os casos os erros foram relativamente baixos, indicando assim, que a validação foi satisfatória para estimação da disponibilidade. Para uma melhor análise da validação, a Figura 10 e a Figura 11 apresentam as curvas de permanências com as vazões observadas e as estimadas pela validação.

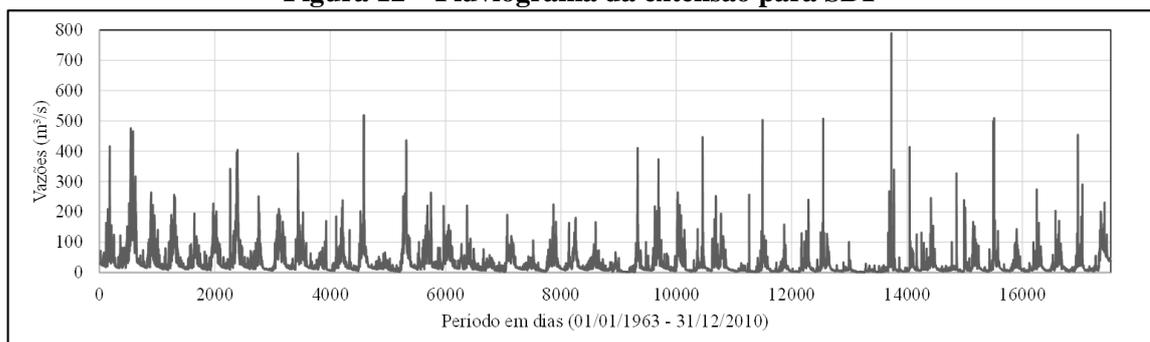
Figura 10 – Curva de permanência da validação para SB1

Fonte: Autor (2016)

Figura 11 – Curva de permanência da validação para SB2

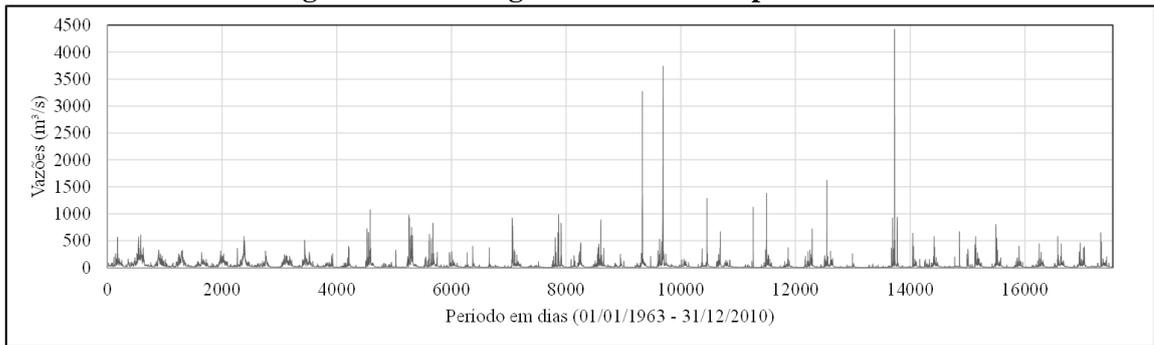
Fonte: Autor (2016)

Após as etapas de calibração e validação, foi realizada a extensão de série para um período de 48 anos, compreendido entre 01/01/1963 e 31/12/2010. Este período foi escolhido por ser o maior intervalo das séries de precipitação utilizadas na modelagem chuva-vazão. Os fluviogramas das estações estão apresentados logo a seguir na Figura 12 e Figura 13.

Figura 12 – Fluviograma da extensão para SB1

Fonte: Autor (2016)

Figura 13 – Fluviograma da extensão para SB2

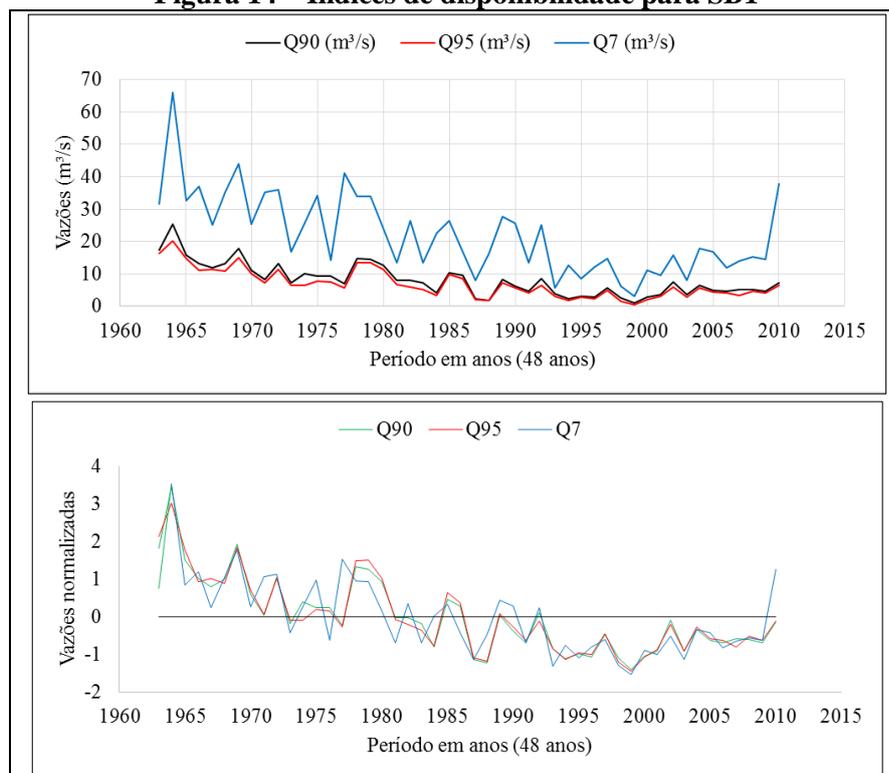


Fonte: Autor (2016)

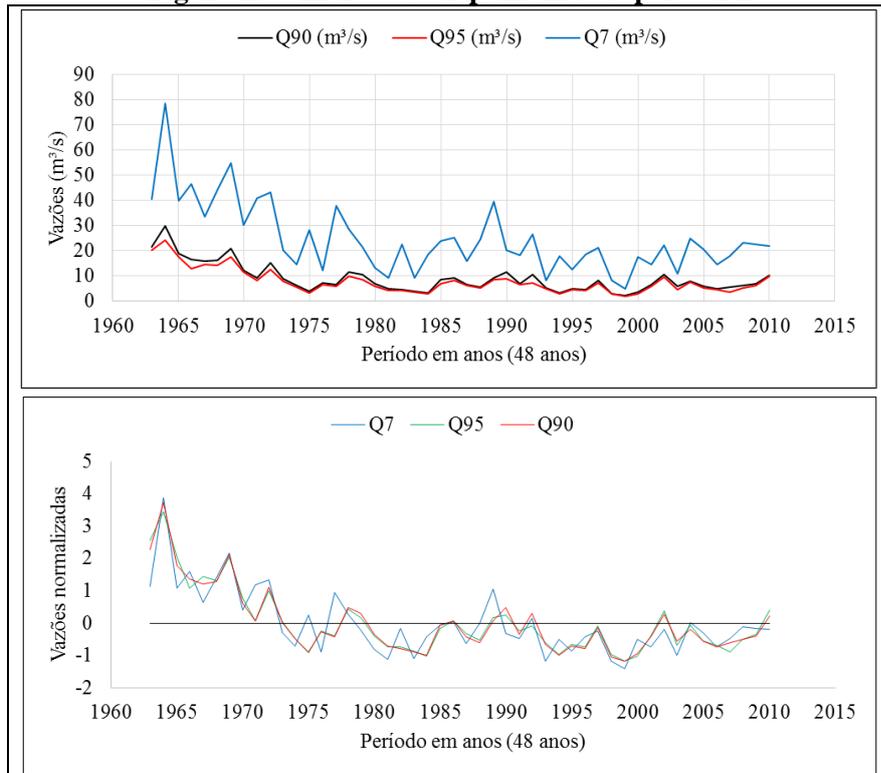
4.2.3 Índices de disponibilidade hídrica

Os índices de disponibilidade hídrica foram estimados pelas séries estendidas. Foi desenvolvida e aplicada uma rotina em linguagem Matlab para obtenção dos índices das séries de vazões estendidas. Para cada estação os índices Q_{90} , Q_{95} e Q_7 foram estimados para cada ano do intervalo (01/01/1963 a 31/12/2010), Figura 14 e Figura 15. É possível observar um decréscimo nas vazões de referências.

Figura 14 – Índices de disponibilidade para SB1



Fonte: Autor (2016)

Figura 15 – Índices de disponibilidade para SB2

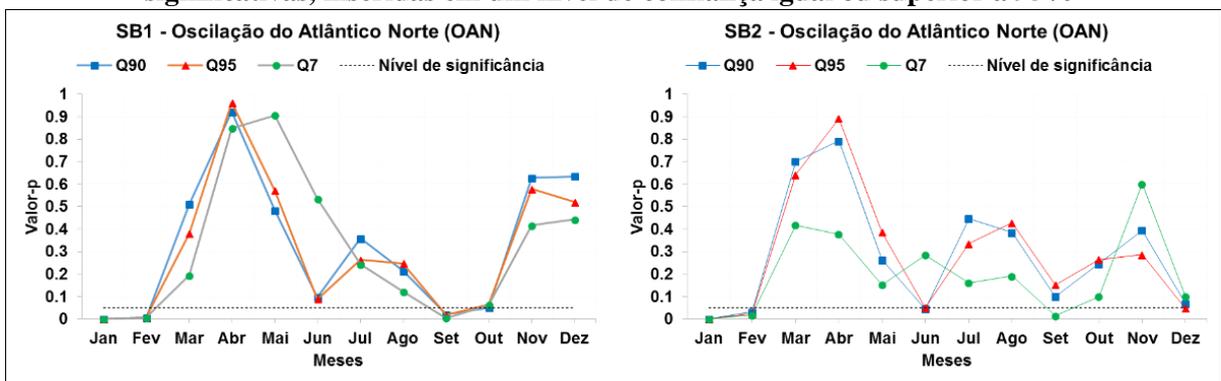
Fonte: Autor (2016)

4.2 Efeitos das teleconexões climáticas

4.2.1 Oscilação do Atlântico Norte (OAN)

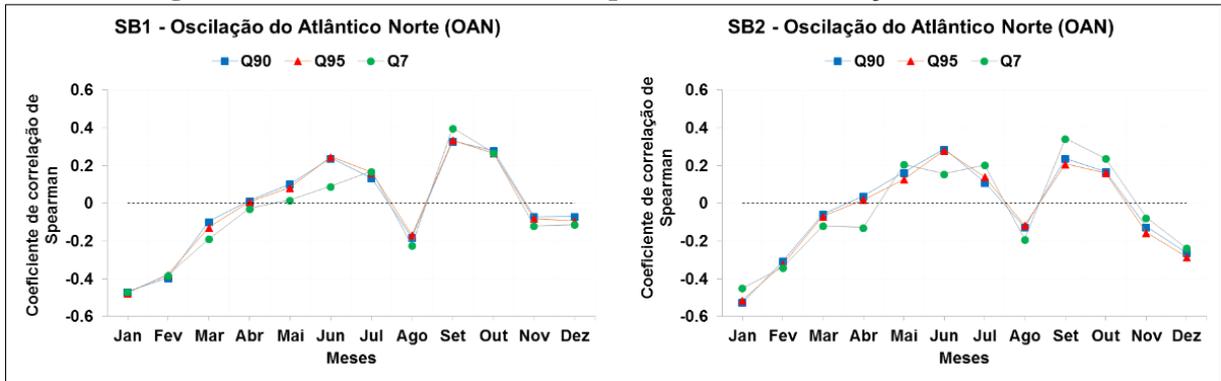
Constatou-se que para a SB1, o índice OAN referente aos meses de janeiro, fevereiro e setembro, apresentou correlações significativas com todos os índices de disponibilidade hídrica (Figura 16). Essas correlações apresentaram oscilações de covariâncias (Figura 17). Na SB2 os meses em que o OAN apresentou correlações significativas foram: janeiro, fevereiro, junho, setembro e dezembro (Figura 16). Em janeiro e fevereiro o índice OAN se correlacionou significativamente com todos os índices de disponibilidade hídrica. Assim, diferentemente da SB1, todas as correlações apresentaram covariâncias negativas (Figura 17). Diante desses aspectos, evidencia-se preliminarmente que o índice OAN, referente aos meses de janeiro, fevereiro e setembro (SB1) e janeiro, fevereiro, junho, setembro e dezembro (SB2), influencia de forma significativa a disponibilidade hídrica. Sendo assim, objetivando uma análise mais detalhada, essas correlações foram analisadas pelas Wavelets: Coerência (WTC) e Cruzada (XWT).

Figura 16 – Valor-p das correlações com o índice OAN. Em cada gráfico foi destacado o nível de significância estabelecido para esse estudo ($\alpha = 0,05$), identificando assim, as correlações mais significativas, inseridas em um nível de confiança igual ou superior a 95%



Fonte: Autor (2016)

Figura 17 – Séries do coeficiente de Spearman das correlações com o OAN

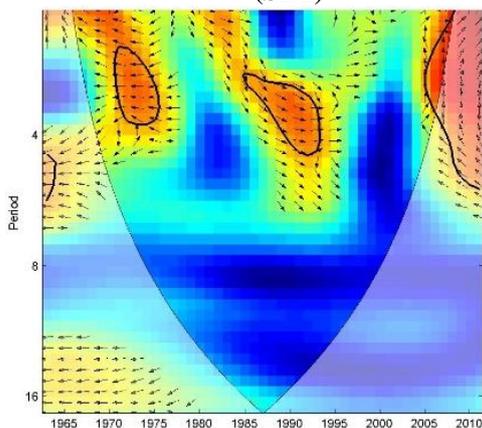


Fonte: Autor (2016)

Após aplicação das Wavelets (WTC e XWT), constatou-se que o índice OAN de fevereiro, foi o único a apresentar fortes correlações, concomitantemente para a WTC e XWT. As combinações com o OAN de fevereiro foram: SB1 (Q₇) e SB2 (Q₉₀ e Q₇).

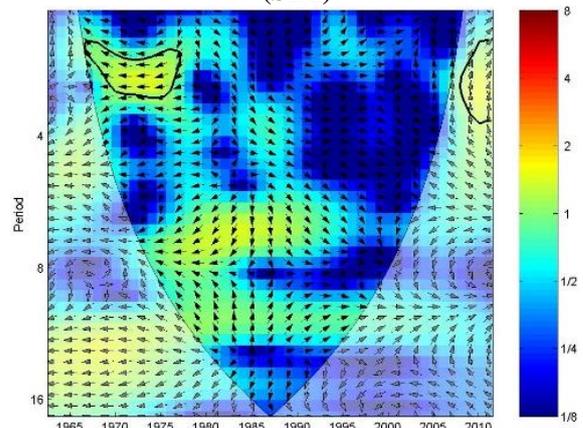
A WTC da correlação entre os índices Q₇ e o OAN de fevereiro, relativa à região SB1, identificou duas regiões, ambas com altas covariâncias e inseridas completamente no cone de influência (Figura 18). Dentre elas, apenas a região compreendida na faixa média de 1-4 anos, entre 1970 e 1975, com um sentido não-fase, apresentou uma região com alto espectro de potência na XWT correspondente (Figura 19). A XWT delimitou uma região compreendida em uma faixa média de 1-3 anos, entre 1965 e 1975, com um sentido não-fase. Diante disso, a interseção da sobreposição da WTC na XWT, identifica que em média, durante cinco anos (1970-1975), o índice OAN de fevereiro apresentou uma forte covariância negativa (sentido não-fase) com o índice Q₇ na região SB1.

Figura 18 – WTC do OAN de fevereiro e Q₇ (SB1)



Fonte: Autor (2016)

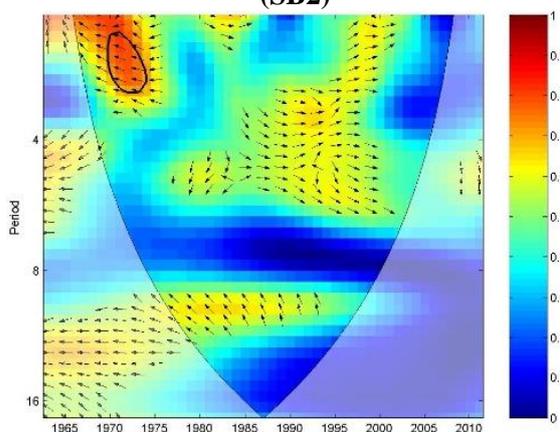
Figura 19 – XWT do OAN de fevereiro e Q₇ (SB1)



Fonte: Autor (2016)

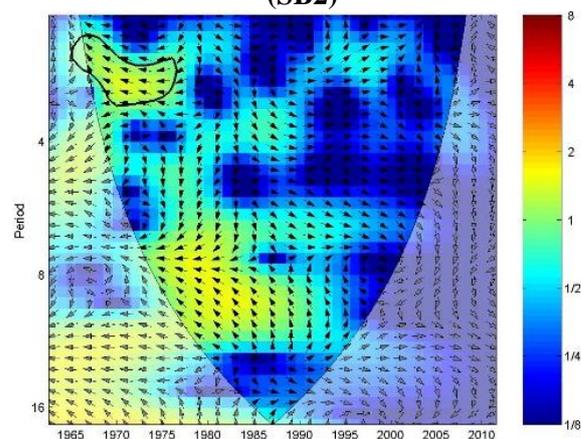
A WTC da correlação do índice OAN de fevereiro com o índice de disponibilidade Q_7 , referente a região SB2, identificou uma região com alta covariância, inserida completamente no cone de influência. Essa região na WTC delimitou-se na faixa média de 0-3 anos, entre 1970 e 1975, com um sentido não-fase (Figura 20). A XWT correspondente, identificou uma região com alto espectro de potência, delimitada pela faixa média de 1-3 anos, entre 1965 e 1975, com um sentido não-fase (Figura 21). Dessa forma, a interseção da sobreposição da WTC na XWT, identifica que em média, durante cinco anos (1970-1975), o índice OAN de fevereiro apresentou uma forte covariância negativa (sentido não-fase) com o índice Q_7 na região SB2.

Figura 20 – WTC do OAN de fevereiro e Q_7 (SB2)



Fonte: Autor (2016)

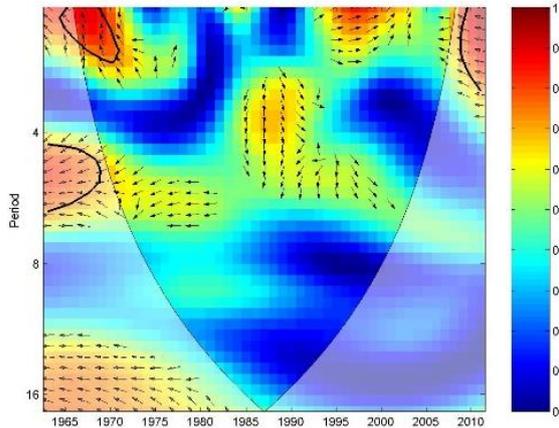
Figura 21 – XWT do OAN de fevereiro e Q_7 (SB2)



Fonte: Autor (2016)

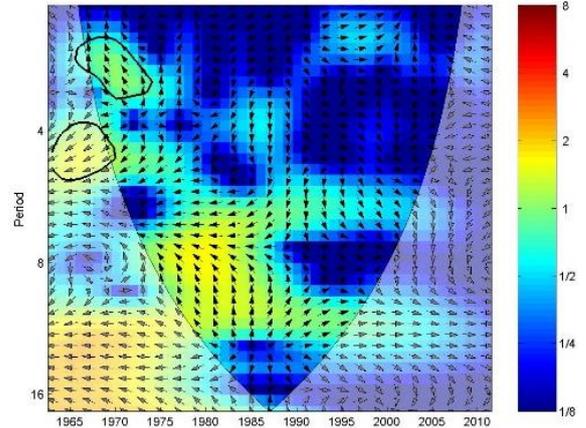
A WTC da correlação entre os índices Q_{90} e o OAN de fevereiro, relativa à região SB2, identificou uma região com alta covariância, inserida no cone de influência (Figura 22). Essa região na WTC, foi delimitada na faixa média de 0-2 anos, entre 1965 a 1970, com um sentido não-fase (Figura 22). A XWT correspondente, identificou uma região com alto espectro de potência, delimitada pela faixa média de 1-3 anos, entre 1965 e 1975, com sentido não-fase (Figura 23). Dessa forma, a interseção da sobreposição da WTC na XWT, identifica que em média, durante cinco anos (1965-1970), o índice OAN de fevereiro apresentou uma forte covariância negativa (sentido não-fase) com o índice Q_{90} na região SB2.

Figura 22 – WTC do OAN de fevereiro e Q₉₀ (SB2)



Fonte: Autor (2016)

Figura 23 – XWT do OAN de fevereiro e Q₉₀ (SB2)



Fonte: Autor (2016)

Diante do exposto, objetivando subsidiar discussões futuras, pode-se dar ênfase aos seguintes pontos:

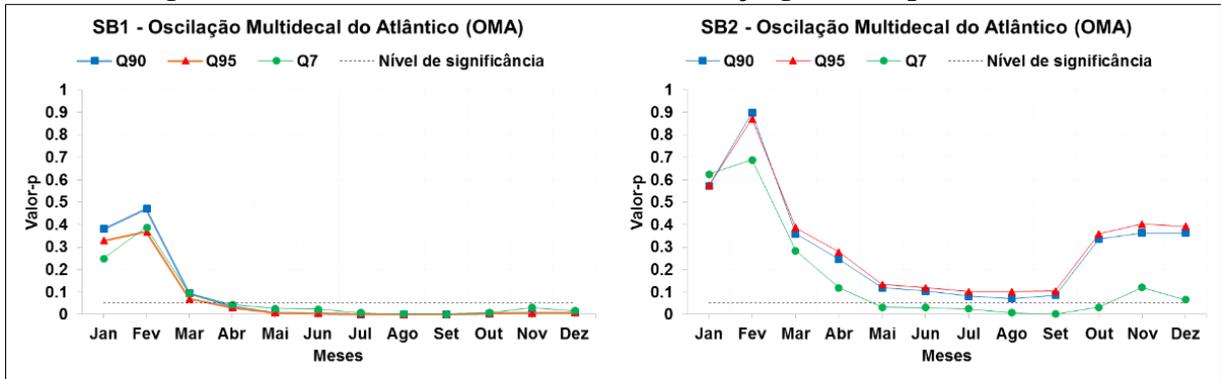
- algumas das correlações significativas apontadas por Spearman, não apresentaram períodos com fortes associações concomitantemente para a WTC e XWT;
- as análises de correlações por Spearman e pelas Wavelets, evidenciaram influências do índice OAN sobre os índices de disponibilidade hídrica nas duas regiões (SB1 e SB2). Além disso, todas as covariâncias foram negativas;
- as Wavelets (WTC e XWT) identificaram dois períodos em que o índice OAN apresentou maior influência para as duas regiões: 1965-1970 e 1970-1975;
- na região SB1 o índice OAN de fevereiro influenciou apenas o índice Q₇;
- na região SB2 o índice OAN de fevereiro influenciou os índices Q₇ e o Q₉₀.

4.2.2 Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA)

Constatou-se que para a região SB1, o índice OMA referente aos meses inseridos no intervalo de abril a dezembro, apresentou correlações significativas com todos os índices de disponibilidade hídrica (Figura 24). Essas correlações apresentaram covariâncias negativas (Figura 25). Ao se analisar as correlações da SB2, constatou-se que o índice OMA do intervalo de maio a outubro apresentou correlações significativas apenas com o índice Q₇ (Figura 24). Assim como na SB1, todas as correlações apresentaram covariâncias negativas (Figura 25). Diante desses aspectos, evidenciam preliminarmente que o índice OMA, nos intervalos de abril-dezembro (SB1) e maio-outubro (SB2), influencia a disponibilidade hídrica. Sendo assim,

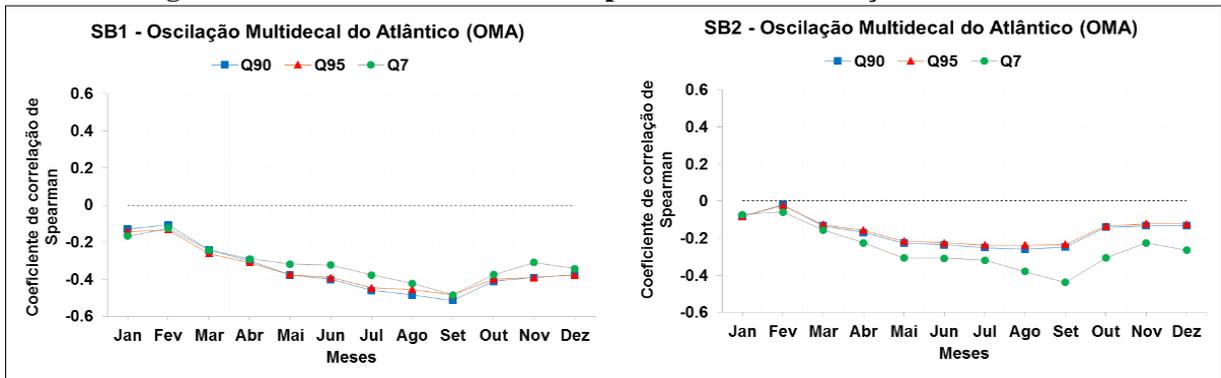
objetivando uma análise mais detalhada, essas correlações foram analisadas pelas Wavelets: Coerência (WTC) e Cruzada (XWT).

Figura 24 – Valor-p das correlações com o índice OMA. Em cada gráfico foi destacado o nível de significância estabelecido para esse estudo ($\alpha = 0,05$), identificando assim, as correlações mais significativas, inseridas em um nível de confiança igual ou superior a 95%



Fonte: Autor (2016)

Figura 25 – Séries do coeficiente de Spearman das correlações com o OMA



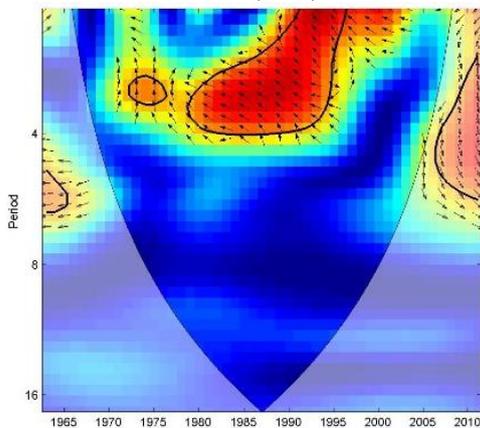
Fonte: Autor (2016)

Após aplicação das Wavelets (WTC e XWT), constatou-se que o índice OAM de agosto e setembro apresentaram fortes correlações, concomitantemente para a WTC e XWT. As combinações foram: OMA de setembro na SB1 (Q₉₀, Q₉₅ e Q₇) e OMA de agosto e setembro na SB2 (Q₇).

A WTC da correlação entre os índices Q₉₀ e o OMA de setembro, relativa à região SB1, identificou duas regiões, ambas com altas covariâncias e inseridas completamente no cone de influência (Figura 26). Dentre elas, apenas a região compreendida na faixa média de 0-4 anos, entre 1980 e 1995, com um sentido não-fase, apresentou uma região com alto espectro de potência na XWT correspondente (Figura 27). A XWT delimitou uma região compreendida em uma faixa média de 2-3 anos, entre 1985 e 1990, com um sentido não-fase. Diante disso, a

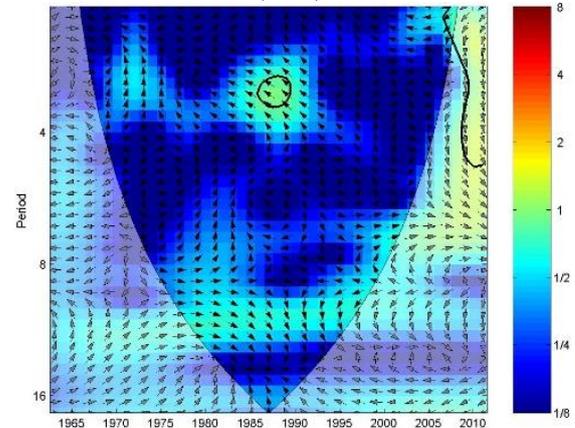
interseção da sobreposição da WTC na XWT, identifica que em média, durante cinco anos (1985-1990), o índice OMA de setembro apresentou uma forte covariância negativa (sentido não-fase) com o índice Q_{90} na região SB1.

Figura 26 – WTC do OMA de setembro e Q_{90} (SB1)



Fonte: Autor (2016)

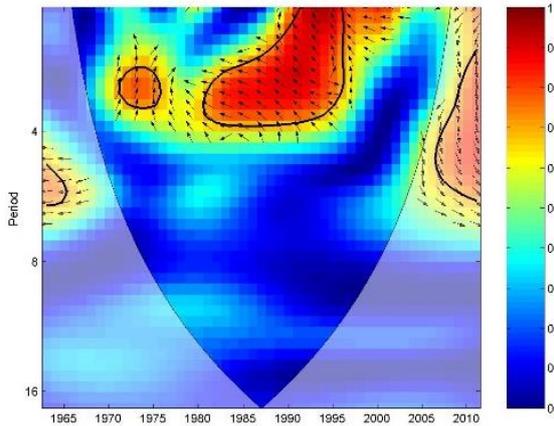
Figura 27 – XWT do OMA de setembro e Q_{90} (SB1)



Fonte: Autor (2016)

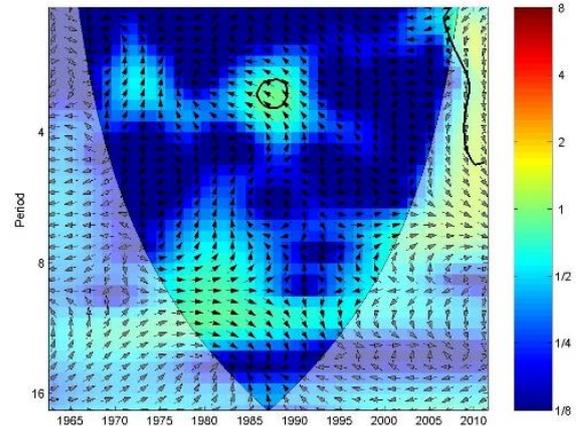
A WTC da correlação entre os índices Q_{95} e o OMA de setembro, relativa à região SB1, identificou duas regiões, ambas com altas covariâncias e inseridas completamente no cone de influência (Figura 28). Dentre elas, apenas a região compreendida na faixa média de 0-4 anos, entre 1980 e 1995, com um sentido não-fase, apresentou uma região com alto espectro de potência na XWT correspondente (Figura 29). A XWT delimitou uma região compreendida em uma faixa média de 2-3 anos entre 1985 e 1990, com um sentido não-fase. Diante disso, a interseção da sobreposição da WTC na XWT, identifica que em média, durante cinco anos (1985-1990), o índice OMA de setembro apresentou uma forte covariância negativa (sentido não-fase) com o índice Q_{95} na região SB1.

Figura 28 – WTC do OMA de setembro e Q_{95} (SB1)



Fonte: Autor (2016)

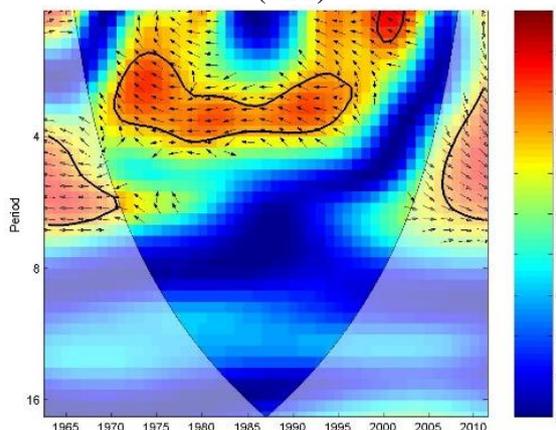
Figura 29 – XWT do OMA de setembro e Q_{95} (SB1)



Fonte: Autor (2016)

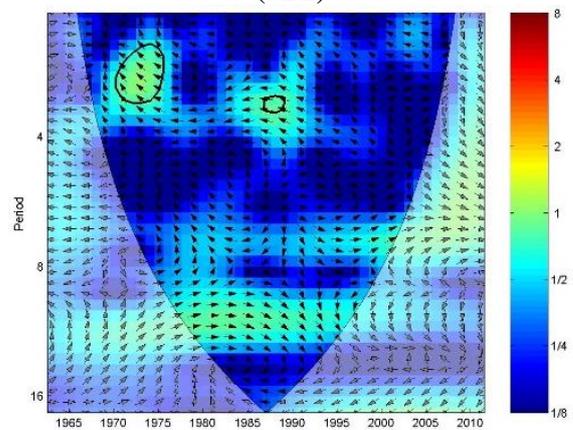
A WTC da correlação entre os índices Q_7 e o OMA de setembro, relativa à região SB1, identificou uma região com altas covariância, inserida completamente no cone de influência (Figura 30). Essa região na WTC delimitou-se na faixa média de 1-4 anos, entre 1970 e 2000, com um sentido não-fase. A XWT correspondente, identificou duas regiões com alto espectro de potência, delimitadas pelas faixas médias 1-3 anos e 3-4 anos, entre 1970-1975 e 1985-1990, respectivamente, com um sentido não-fase (Figura 31). Diante disso, a interseção da sobreposição da WTC na XWT, identifica que em média, durante cinco anos (1970-1975 e 1985-1990), o índice OMA de setembro apresentou uma forte covariância negativa (sentido não-fase) com o índice Q_7 na região SB1.

Figura 30 – WTC do OMA de setembro e Q_7 (SB1)



Fonte: Autor (2016)

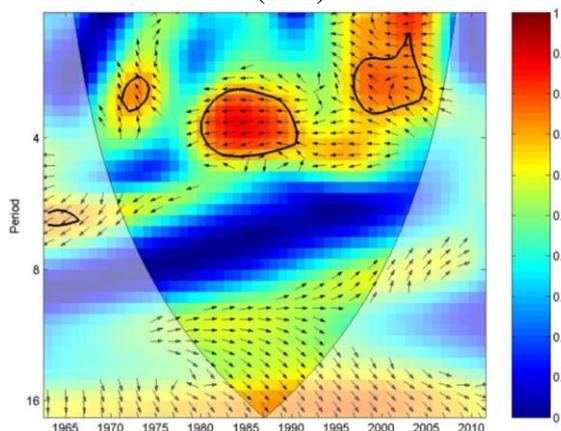
Figura 31 – XWT do OMA de setembro e Q_7 (SB1)



Fonte: Autor (2016)

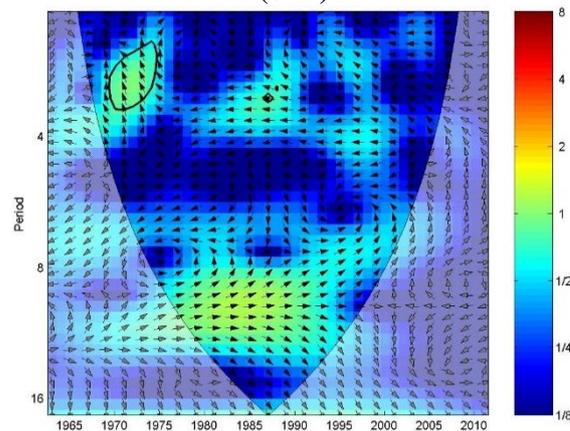
A WTC da correlação entre os índices Q_7 e o OMA de agosto, relativa à região SB2, identificou três regiões, todas com altas covariâncias e inseridas completamente no cone de influência (Figura 32). Dentre elas, apenas a região compreendida na faixa média de 2-3 anos, entre 1970 e 1975, com um sentido não-fase, apresentou uma região com alto espectro de potência na XWT correspondente (Figura 33). A XWT delimitou uma região compreendida em uma faixa média de 1-3 anos, entre 1970 e 1975, com um sentido não-fase. Diante disso, a interseção da sobreposição da WTC na XWT, identifica que em média, durante cinco anos (1970-1975), o índice OMA de agosto apresentou uma forte covariância negativa (sentido não-fase) com o índice Q_7 na região SB2.

Figura 32 – WTC do OMA de agosto e Q_7 (SB2)



Fonte: Autor (2016)

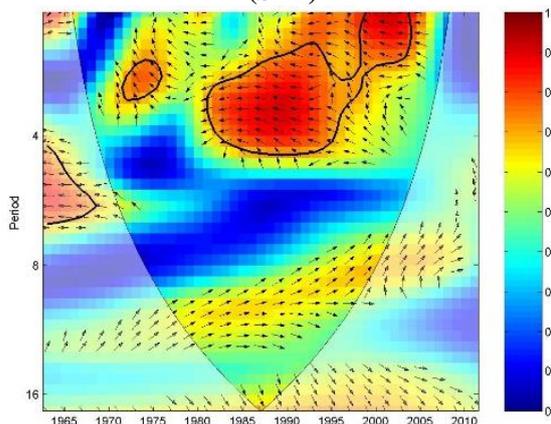
Figura 33 – XWT do OMA de agosto e Q_7 (SB2)



Fonte: Autor (2016)

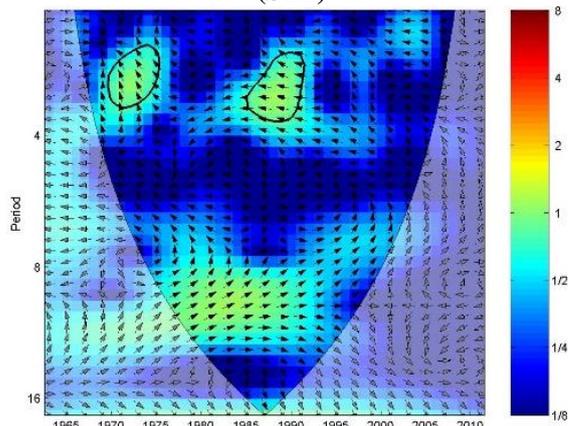
A WTC da correlação entre os índices Q_7 e o OMA de setembro, relativa à região SB1, identificou duas regiões, ambas com altas covariâncias e inseridas completamente no cone de influência (Figura 34). A primeira região está compreendida na faixa média de 2-3 anos, entre 1970 e 1975 com um sentido não-fase. A outra região, está compreendida na faixa média de 0-5 anos, entre 1980-2005, com um sentido não-fase. As duas regiões apresentaram alto espectro de potência na XWT correspondente (Figura 35). A XWT de uma região delimitou-se na faixa média de 1-3 anos, entre 1970 e 1975, com sentido não-fase. Já a XWT da outra, delimitou-se na faixa média 1-4 anos, entre 1985 e 1990, com um sentido não-fase. Dessa forma, a interseção da sobreposição da WTC na XWT, identifica que em média, durante cinco anos (1970-1975 e 1985-1990), o índice OMA de setembro apresentou uma forte covariância negativa (sentido não-fase) com o índice Q_7 na região SB2.

Figura 34 – WTC do OMA de setembro e Q₇ (SB2)



Fonte: Autor (2016)

Figura 35 – XWT do OMA de setembro e Q₇ (SB2)



Fonte: Autor (2016)

Diante do exposto, objetivando subsidiar discussões futuras, pode-se dar ênfase aos seguintes pontos:

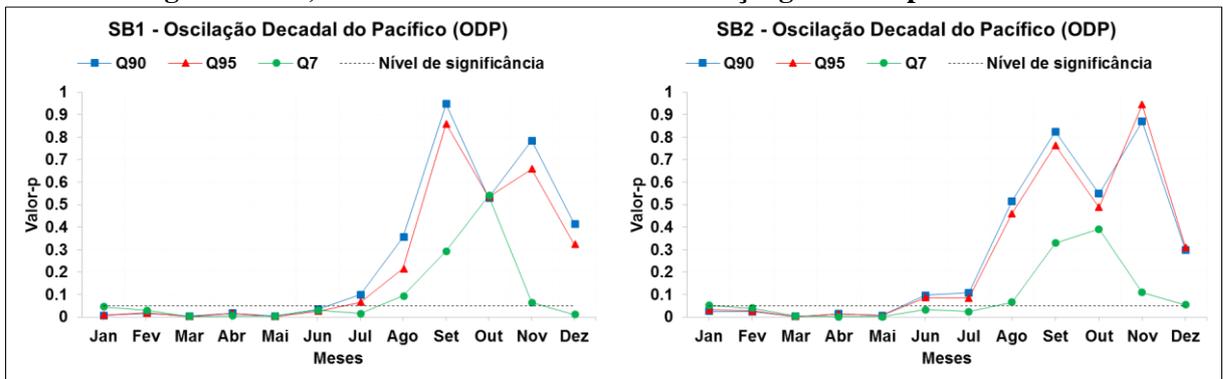
- a) algumas das correlações significativas apontadas por Spearman, não apresentaram períodos com fortes associações concomitantemente para a WTC e XWT;
- b) as análises de correlações por Spearman e pelas Wavelets, evidenciaram influências do índice OMA sobre os índices de disponibilidade hídrica nas duas regiões (SB1 e SB2). Além disso, todas as covariâncias foram negativas;
- c) as Wavelets (WTC e XWT) identificaram dois períodos em que o índice OMA apresentou maior influência para as duas regiões: 1970-1975 e 1985-1990;
- d) o mês de setembro foi identificado como o período em que o índice OMA influenciou as duas regiões;
- e) na região SB1 o índice OMA de setembro influenciou os três índices de disponibilidade;
- f) na região SB2 o índice OMA de agosto e setembro influenciou apenas o índice Q₇.

4.2.3 Oscilação Decadal do Pacífico (ODP)

Constatou-se que para a região SB1, o índice ODP referente aos meses inseridos no período de janeiro a junho, apresentaram correlações significativas com todos os índices de disponibilidade hídrica (Figura 36). Além desses meses, o ODP de dezembro foi mais restritivo, correlacionando-se significativamente apenas para o índice Q₇. Todas as correlações significativas apresentaram covariâncias negativas (Figura 37). Ao se analisar as correlações

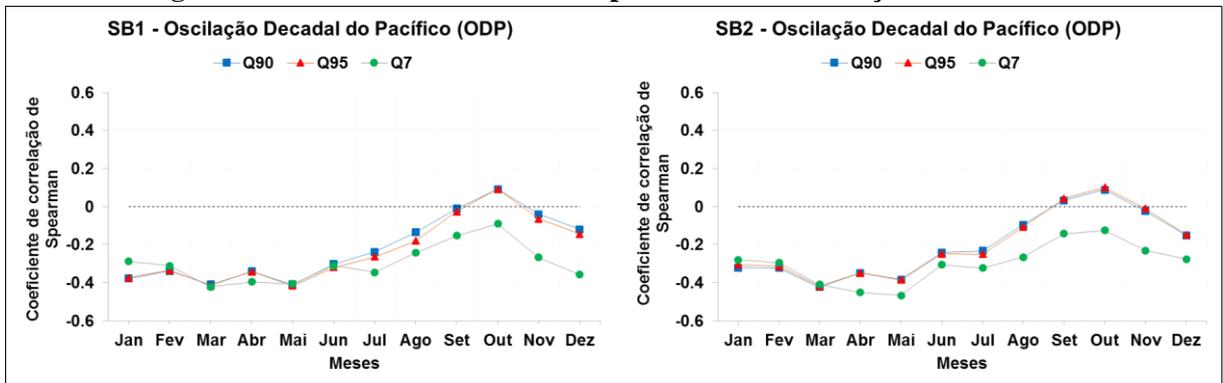
referentes à região SB2, constatou-se que os meses inseridos no período de janeiro a maio apresentaram correlações significativas com todos os índices de disponibilidade (Figura 36). Além desses meses, o ODP de junho e julho foi mais restritivo, correlacionando-se significativamente apenas com o índice Q₇. Todas as correlações referentes à SB2, assim como na SB1, apresentaram covariâncias negativas (Figura 37). Diante desses aspectos, evidenciam preliminarmente que o índice ODP, no intervalo de janeiro-junho e no mês de dezembro (SB1) e no intervalo de janeiro-julho (SB2), influencia a disponibilidade hídrica. Sendo assim, objetivando uma análise mais detalhada, essas correlações foram analisadas pelas Wavelets: Coerência (WTC) e Cruzada (XWT).

Figura 36 – Valor-p das correlações com o índice ODP. Em cada gráfico foi destacado o nível de significância estabelecido para esse estudo ($\alpha = 0,05$), identificando assim, as correlações mais significativas, inseridas em um nível de confiança igual ou superior a 95%



Fonte: Autor (2016)

Figura 37 – Séries do coeficiente de Spearman das correlações com o ODP



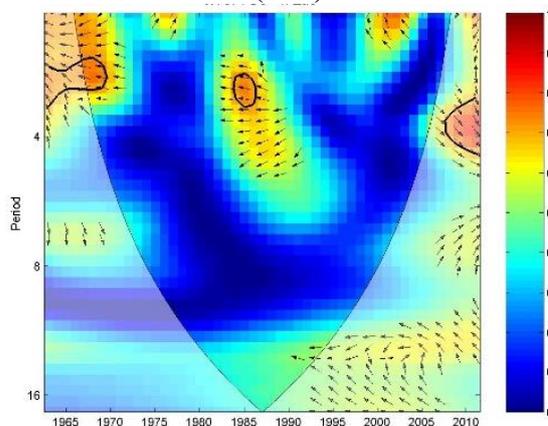
Fonte: Autor (2016)

Após aplicação das Wavelets (WTC e XWT), constatou-se que o índice ODP de março e abril apresentaram fortes correlações, concomitantemente para a WTC e XWT. As

combinações foram: ODP de março (Q_7) para SB1 e ODP de janeiro (Q_{90} e Q_{95}), fevereiro (Q_{95}), março (Q_{90} , Q_{95} e Q_7), abril (Q_{90} e Q_{95}) para SB2.

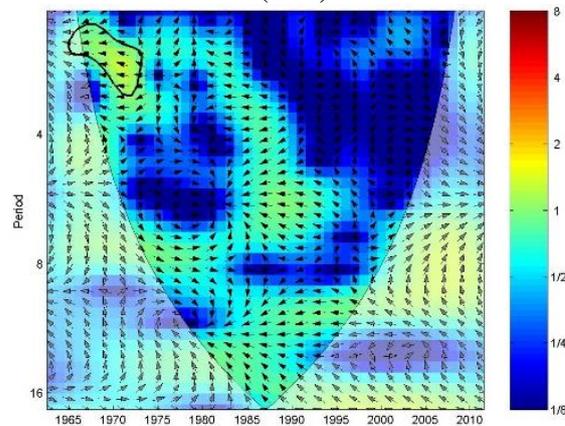
A WTC da correlação entre os índices Q_7 e o ODP de março, relativa à região SB1, identificou duas regiões, ambas com altas covariâncias e inseridas completamente no cone de influência (Figura 38). Dentre elas, apenas a região compreendida na faixa média de 1-3 anos, entre 1965 e 1970, com um sentido não-fase, apresentou uma região com alto espectro de potência na XWT correspondente (Figura 39). A XWT delimitou uma região compreendida em uma faixa média de 0-3 anos, entre 1965 e 1975, com um sentido não-fase. Diante disso, a interseção da sobreposição da WTC na XWT, identifica que em média, durante cinco anos (1965-1970), o índice ODP de março apresentou uma forte covariância negativa (sentido não-fase) com o índice Q_7 na região SB1.

Figura 38 – WTC do ODP de março e Q_7 (SB1)



Fonte: Autor (2016)

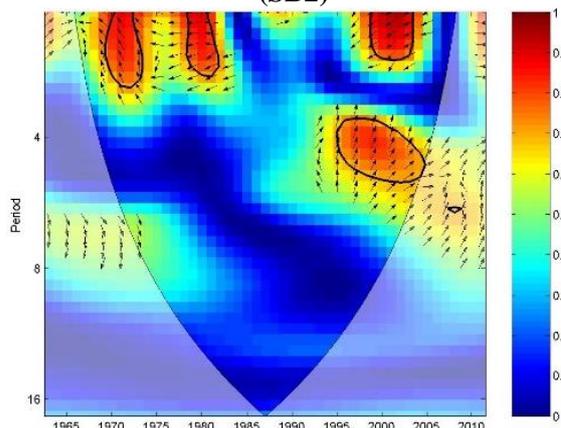
Figura 39 – XWT do ODP de março e Q_7 (SB1)



Fonte: Autor (2016)

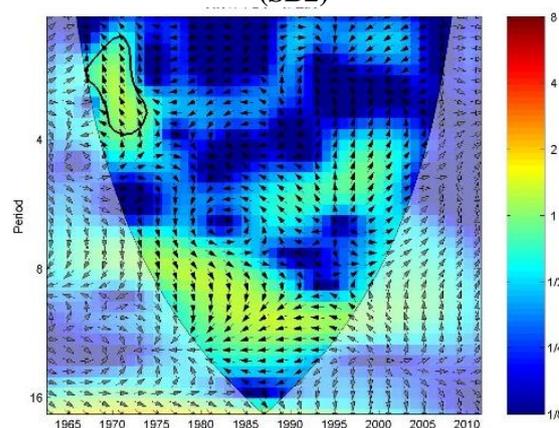
A WTC da correlação entre os índices Q_{90} e o ODP de janeiro, relativa à região SB2, identificou quatro regiões, ambas com altas covariâncias e inseridas completamente no cone de influência (Figura 40). Dentre elas, apenas a região compreendida na faixa-média de 0-3 anos, entre 1970 e 1975, com um sentido não-fase, apresentou uma região com alto espectro de potência na XWT correspondente (Figura 41). A XWT delimitou uma região compreendida em uma faixa média de 1-4 anos, entre 1965 e 1975, com sentido não-fase. Diante disso, a interseção da sobreposição da WTC na XWT, identifica que em média, durante cinco anos (1970-1975), o índice ODP de janeiro apresentou uma forte covariância negativa (sentido não-fase) com o índice Q_{90} na região SB2.

Figura 40 – WTC do ODP de janeiro e Q_{90} (SB2)



Fonte: Autor (2016)

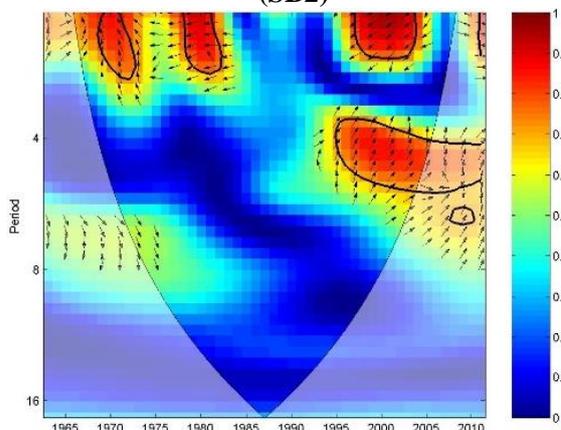
Figura 41 – XWT do ODP de janeiro e Q_{90} (SB2)



Fonte: Autor (2016)

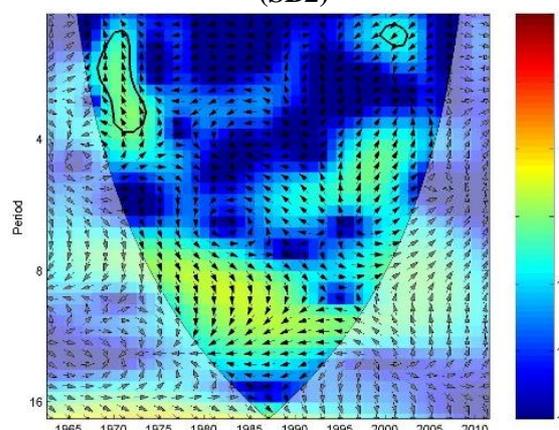
A WTC da correlação entre os índices Q_{95} e o ODP de janeiro, relativa à região SB2, identificou quatro regiões, ambas com altas covariâncias (Figura 42). Dentre elas, apenas a região compreendida na faixa média de 0-3 anos, entre 1970 e 1975, com um sentido não-fase, apresentou uma região com alto espectro de potência na XWT correspondente (Figura 43). A XWT delimitou uma região compreendida em uma faixa média de 1-4 anos, entre 1970 e 1975, com um sentido não-fase. Diante disso, a interseção da sobreposição da WTC na XWT, identifica que em média, durante cinco anos (1970-1975), o índice ODP de janeiro apresentou uma forte covariância negativa (sentido não-fase) com o índice Q_{95} na região SB2.

Figura 42 – WTC do ODP de janeiro e Q_{95} (SB2)



Fonte: Autor (2016)

Figura 43 – XWT do ODP de janeiro e Q_{95} (SB2)

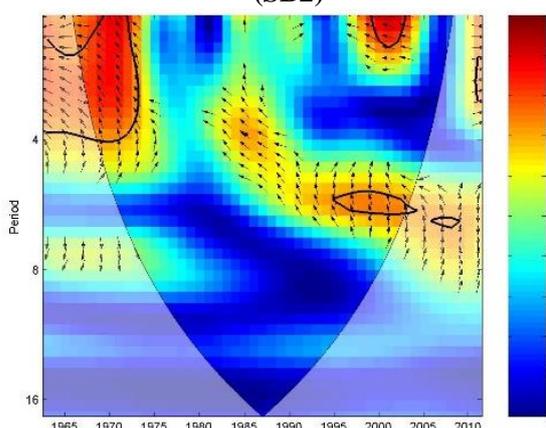


Fonte: Autor (2016)

A WTC da correlação entre os índices Q_{90} e o ODP de março, relativa à região SB2, identificou quatro regiões com altas covariâncias (Figura 44). Dentre elas, apenas a região

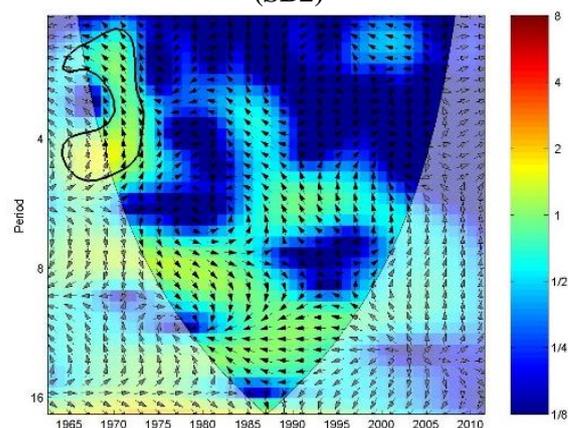
compreendida na faixa média de 0-4 anos, entre 1963 e 1975, com um sentido não-fase, apresentou uma região com alto espectro de potência na XWT correspondente (Figura 45). A XWT delimitou uma região compreendida em uma faixa média 1-6 anos, entre 1965 e 1975, com um sentido não-fase. Diante disso, a interseção da sobreposição da WTC na XWT, identifica que em média, durante dez anos (1965-1975), o índice ODP de março apresentou uma forte covariância negativa (sentido não-fase) com o índice Q_{90} na região SB2.

Figura 44 – WTC do ODP de março e Q_{90} (SB2)



Fonte: Autor (2016)

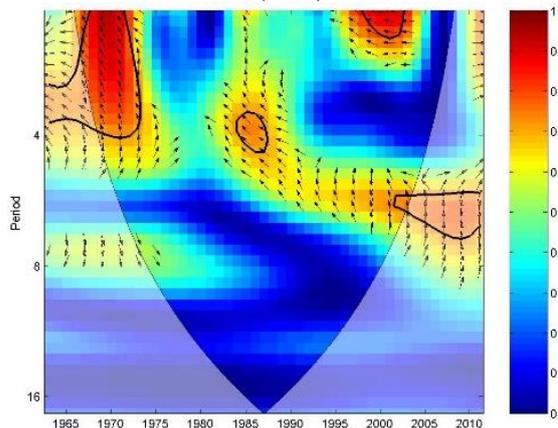
Figura 45 – XWT do ODP de março e Q_{90} (SB2)



Fonte: Autor (2016)

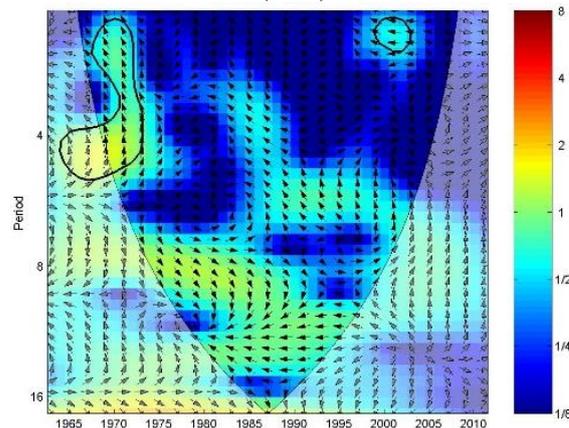
A WTC da correlação entre os índices Q_{95} e o ODP de março, relativa à região SB2, identificou quatro regiões com altas covariâncias (Figura 46). Dentre elas, duas regiões compreendidas nas faixas médias de 0-4 anos e 0-1 ano, entre 1963-1975 e 1995-2005, com sentidos não-fase, apresentaram duas regiões com alto espectro de potência na XWT correspondente (Figura 47). A XWT delimitou uma região compreendida em uma faixa média 1-6 anos, entre 1965 e 1975, com um sentido não-fase. A outra região na XWT ocorreu na faixa média de 0-2 anos, entre 1995 e 2005, com um sentido não-fase. Diante disso, a interseção da sobreposição da WTC na XWT, identifica que em média, durante dez anos (1965-1975 e 1995-2005), o índice ODP de março apresentou uma forte covariância negativa (sentido não-fase) com o índice Q_{95} na região SB2.

Figura 46 – WTC do ODP de março e Q_{95} (SB2)



Fonte: Autor (2016)

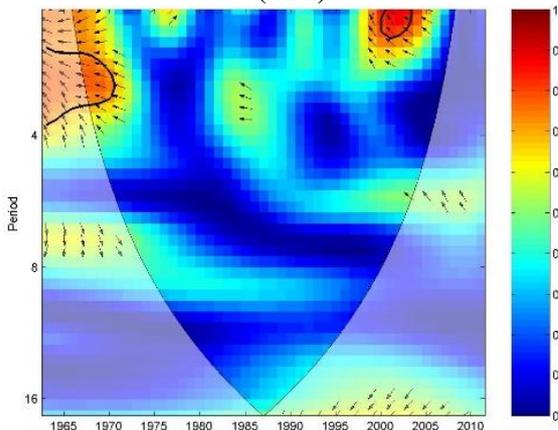
Figura 47 – WTC do ODP de março e Q_{95} (SB2)



Fonte: Autor (2016)

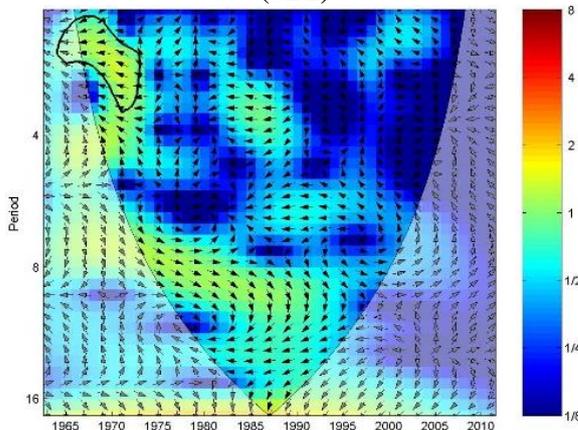
A WTC da correlação entre os índices Q_7 e o ODP de março, relativa à região SB2, identificou duas regiões, ambas com altas covariâncias e inseridas no cone de influência (Figura 48). Dentre elas, apenas a região compreendida na faixa média de 1-4 anos, entre 1963 e 1970, com um sentido não-fase, apresentou uma região com alto espectro de potência na XWT correspondente (Figura 49). A XWT delimitou uma região compreendida em uma faixa média de 0-4 anos entre 1965 e 1975, com um sentido não-fase. Diante disso, a interseção da sobreposição da WTC na XWT, identifica que em média, durante cinco anos (1965-1970), o índice ODP de março apresentou uma forte covariância negativa (sentido não-fase) com o índice Q_7 na região SB2.

Figura 48 – WTC do ODP de março e Q_7 (SB2)



Fonte: Autor (2016)

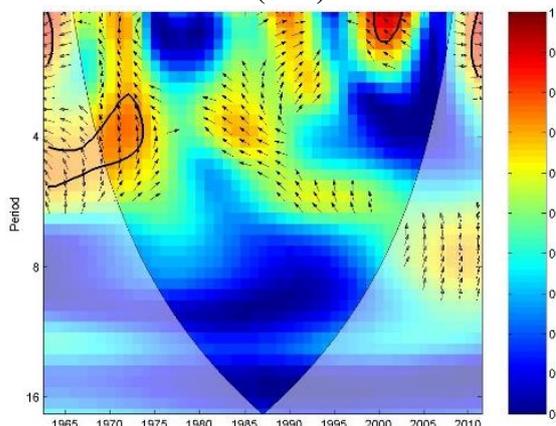
Figura 49 – XWT do ODP de março e Q_7 (SB2)



Fonte: Autor (2016)

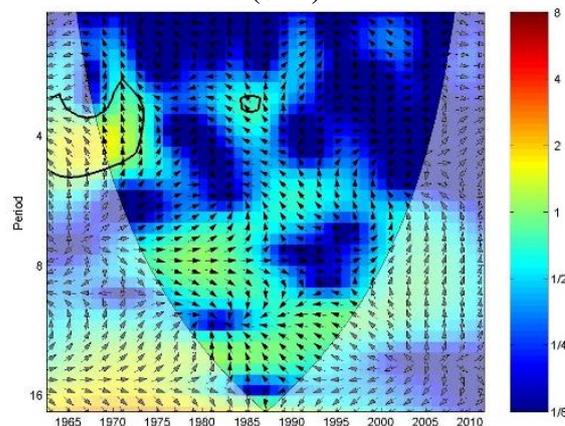
A WTC da correlação entre os índices Q_{90} e o OMA de abril, relativa à região SB2, identificou duas regiões, ambas com altas covariâncias e inseridas no cone de influência (Figura 50). Dentre elas, apenas a região compreendida na faixa média de 2-6 anos, entre 1963 e 1975, com um sentido não-fase, apresentou uma região com alto espectro de potência na XWT correspondente (Figura 51). A XWT delimitou uma região compreendida em uma faixa média de 2-3 anos entre 1963 e 1975, com um sentido não-fase. Diante disso, a interseção da sobreposição da WTC na XWT, identifica que em média, durante cinco anos (1970-1975), o índice OMA de abril apresentou uma forte covariância negativa (sentido não-fase) com o índice Q_{90} na região SB2.

Figura 50 – WTC do ODP de abril e Q_{90} (SB2)



Fonte: Autor (2016)

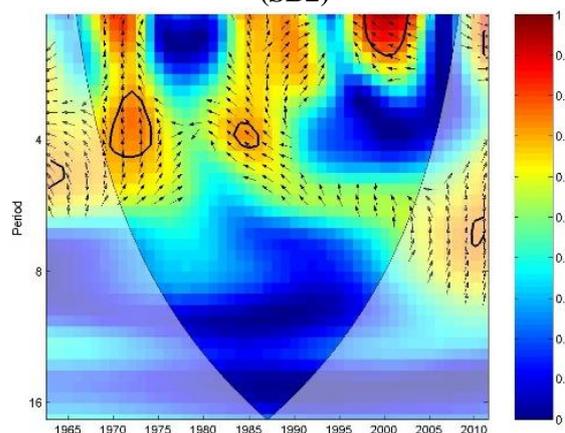
Figura 51 – XWT do ODP de abril e Q_{90} (SB2)



Fonte: Autor (2016)

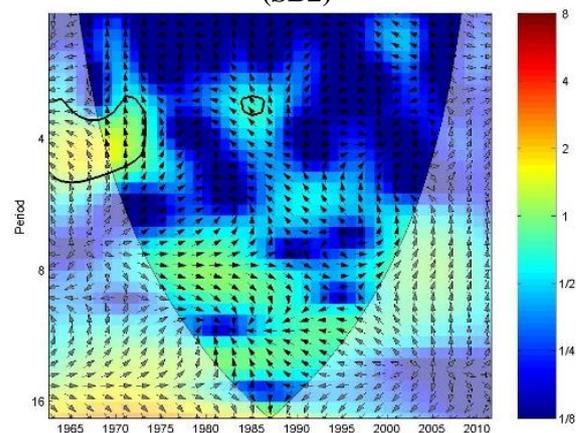
A WTC da correlação entre os índices Q_{95} e o OMA de abril, relativa à região SB2, identificou três regiões, todas com altas covariâncias e inseridas no cone de influência (Figura 52). Dentre elas, apenas a região compreendida na faixa média de 2-5 anos, entre 1970 e 1975, com um sentido não-fase, apresentou uma região com alto espectro de potência na XWT correspondente (Figura 53). A XWT delimitou uma região compreendida em uma faixa média de 2-6 anos entre 1963 e 1975, com um sentido não-fase. Diante disso, a interseção da sobreposição da WTC na XWT, identifica que em média, durante cinco anos (1970-1975), o índice OMA de abril apresentou uma forte covariância negativa (sentido não-fase) com o índice Q_{95} na região SB2.

Figura 52 – WTC do ODP de abril e Q₉₅ (SB2)



Fonte: Autor (2016)

Figura 53 – XWT do ODP de abril e Q₉₅ (SB2)



Fonte: Autor (2016)

Diante do exposto, objetivando subsidiar discussões futuras, pode-se dar ênfase aos seguintes pontos:

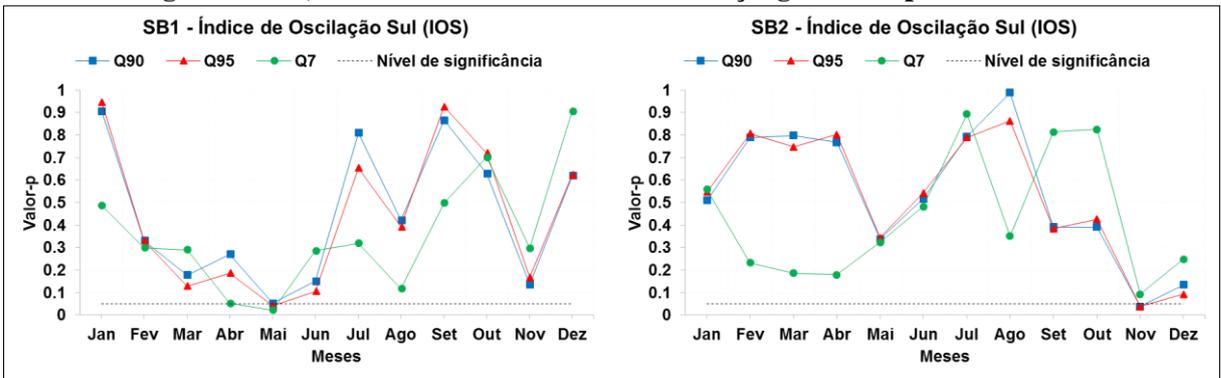
- algumas das correlações significativas apontadas por Spearman, não apresentaram períodos com fortes associações concomitantemente para a WTC e XWT;
- as análises de correlações por Spearman e pelas Wavelets, evidenciaram influências do índice ODP sobre os índices de disponibilidade hídrica nas duas regiões (SB1 e SB2). Além disso, todas as covariâncias foram negativas;
- as Wavelets (WTC e XWT) identificaram três períodos em que o índice ODP apresentou maior influência para as duas regiões: 1965-1970, 1970-1975 e 1995-2005;
- o mês de fevereiro foi identificado como o período em que o índice ODP influenciou as duas regiões;
- na região SB1 o índice ODP de fevereiro influenciou apenas o índice Q₇;
- na região SB2 o índice ODP do mês de janeiro e abril se correlacionou com Q₉₀ e Q₉₅. Já o mês de março se correlacionou com os três índices de disponibilidade.

4.2.4 Índice de Oscilação Sul (IOS)

Constatou-se que para a região SB1, o índice IOS referente ao mês de maio, apresentou correlações significativas com todos os índices de disponibilidade hídrica (Figura 54). Todas as correlações apresentaram covariâncias positiva (Figura 55). Ao se analisar as correlações referentes à região SB2, constatou-se que o índice IOS do mês de novembro apresentou

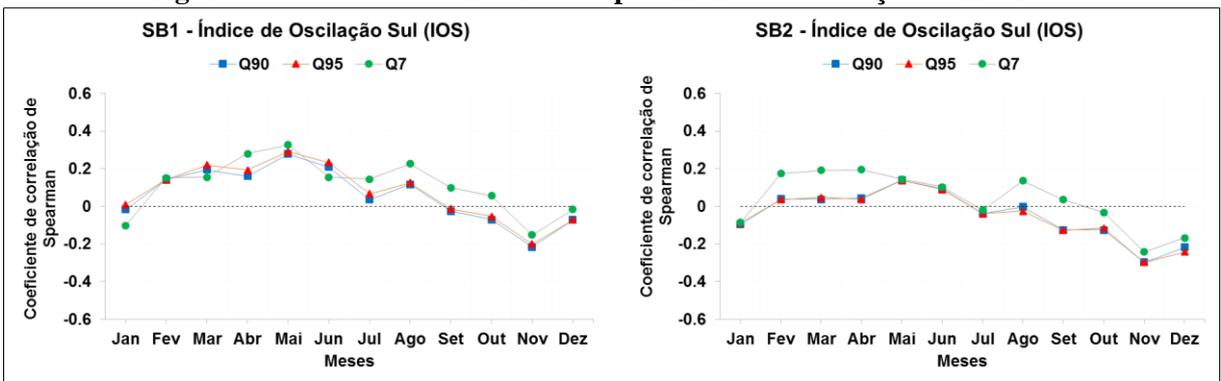
correlações significativas com os índices Q₉₀ e Q₉₅. Diferente da SB1, as correlações da região SB2 apresentaram covariâncias negativas (Figura 55). Diante desses aspectos, evidenciam preliminarmente que o índice IOS, no mês de maio para SB1 e novembro para SB2, influencia a disponibilidade hídrica. Sendo assim, objetivando uma análise mais detalhada, essas correlações foram analisadas pelas Wavelets: Coerência (WTC) e Cruzada (XWT).

Figura 54 – Valor-p das correlações com o índice IOS. Em cada gráfico foi destacado o nível de significância estabelecido para esse estudo ($\alpha = 0,05$), identificando assim, as correlações mais significativas, inseridas em um nível de confiança igual ou superior a 95%



Fonte: Autor (2016)

Figura 55 – Séries do coeficiente de Spearman das correlações com o IOS



Fonte: Autor (2016)

5 DISCUSSÕES

A modelagem hidrológica chuva-vazão utilizando o MGB-IPH foi uma metodologia de grande utilidade nesse trabalho, pois possibilitou a extensão e o preenchimento de falhas nas séries fluviométricas. Além disso, ao se comparar com Rossi et al. (2011), constatou-se que a extensão para um período de 48 anos (1963-2010), possibilitou analisar fases distintas, alternância de anomalias (positivas e negativas) dos índices climáticos estudados.

A aplicação do teste de hipótese de estacionariedade nas séries do coeficiente de escoamento, foi interessante para a calibração do modelo hidrológico, pois possibilitou identificar as séries que apresentaram uma relação de variabilidade chuva-vazão bem definida. Em um trabalho anterior, Alves et al. (2015) calibrou o modelo hidrológico MGB-IPH para essas cinco sub-bacias do rio Mundaú e justamente as três estações rejeitadas pelos testes de hipóteses, não apresentaram resultados satisfatórios (Tabela 2). Das três estações rejeitadas, duas possuem barragens e reservatórios instalados em suas áreas de drenagens (Santana do Mundaú e São José da Laje). Além disso, ambas estão situadas na cabeceira da Bacia e possuem regiões inseridas no Polígono da Seca, onde nesse caso, tais características podem explicar a não-estacionariedade. Para a estação de Murici, não foram encontradas obras hidráulicas ou outros fatores/processos que pudessem comprovar a alteração do regime fluviométrico. Pode-se nesse caso, suspeitar de erros nos registros das vazões.

As correlações significativas relativas ao índice OAN (Figura 16), apresentaram oscilações de covariância ao longo do ano (Figura 17). Já para o índice OMA, o valor-p das correlações significativas apresentaram estabilidade no intervalo de maio-dezembro (Figura 24), todas com covariâncias negativas (Figura 25). Trabalhos realizados na região explicam que, devido aos fenômenos envolvidos, para ambos são esperados efeitos negativos com no regime hidrológico do Nordeste (e.g., DA SILVA, 2013; BRITO, 2014; COSTA, 2014; COSTA et al, 2016). À medida que o índice OAN se encontra com anomalias negativas (positivas), o índice OMA está anormalmente positivo (negativo) (PICCILLI, 2007). Quando as águas do Atlântico Tropical Norte (ATN) estão mais quentes (frias) e as águas do Atlântico Tropical Sul (ATS) estão mais frias (quentes), existem movimentos descendentes (ascendentes) anômalos sobre o Nordeste do Brasil, inibindo (acelerando) a formação de nuvens e diminuindo (aumentando) a precipitação, podendo causar secas (enchentes). Esse fenômeno inter-hemisférico denominado Dipolo do Atlântico é descrito em Aragão (1998). Conclui-se, portanto, que as correlações significativas entre o índice OAN e os índices de disponibilidade

com covariâncias positivas, podem não necessariamente estarem representando relações de causa-efeito.

O índice OAN de janeiro e fevereiro apresentou coeficientes de Spearman semelhantes para todos os índices de disponibilidade (Q_7 , Q_{90} e Q_{95}), simultaneamente para SB1 e SB2. Portanto, espacialmente e temporalmente, os efeitos significativos do índice OAN apresentaram intensidades similares para as duas regiões (SB1 e SB2). Costa (2014) constatou que o índice OAN de dezembro influencia o trimestre mais chuvoso (maio, junho e julho) na região. Essa comparação de resultados, permite inferir que o OAN que antecede o trimestre chuvoso (50% da precipitação anual) influencia as anomalias de precipitação do período chuvoso que por sua vez reflete nas anomalias de disponibilidade para toda a região (período seco).

O índice OAM de abril-dezembro, na SB1 apresentou correlações significativas com todos os índices de disponibilidade (Q_7 , Q_{90} e Q_{95}), diferentemente da SB2 que se correlacionou apenas com o Q_7 , para o período de maio-outubro. Devido ao comportamento do valor-p, constatou-se que o índice OMA teve efeitos mais significativos na SB1, quando comparados com a SB2. Acredita-se que esses efeitos sejam resultantes da transição climática, pois à medida que a região passou a abranger novos climas, pode receber influência de outros fenômenos causadores de precipitação. Sendo assim, suspeita-se que na SB2 os efeitos do índice OMA não são dominantes, ou seja, podendo receber influência de outros padrões climáticos. Os trabalhos de Molion e Bernardo (2002) e Coelho (2010) comentam que existe um fenômeno dominante na formação de chuva na costa Leste do Nordeste brasileiro (faixa litorânea abrangendo o bioma Mata Atlântica). Esse fenômeno é denominado de Zona de Convergência Este do Nordeste (ZCEN) e se instala sobre a região entre abril e julho (período chuvoso). A umidade, que converge sobre o continente e alimenta a ZCEN, é originada no Atlântico Sul e, se as temperaturas da superfície do mar (TSM) apresentarem anomalias positivas, como geralmente ocorre nos anos chuvosos, o transporte de umidade é maior e a ZCEN mais intensa. (MOLION e BERNARDO, 2002). Em adição, o restante do Nordeste estaria sob o efeito do movimento subsidente, e da inversão psicotérmica associada, que ocorre sobre a maior parte do Brasil Central. Essa Subsidência é produzida pelo deslocamento da Alta da Bolívia para noroeste da Amazônia e pelo posicionamento da ZCIT mais ao norte. (MOURA e SHUKLA, 1981; MOLION e BERNARDO, 2002; COELHO, 2010).

Das correlações significativas indicadas por Spearman referente ao Atlântico (OAN e OMA), as Wavelets constaram que apenas o índice OMA de setembro apresentou relações com todos os índices de disponibilidade (Q_7 , Q_{90} e Q_{95}) para a região SB1. A WTC e a XWT, referentes aos três índices de disponibilidade, identificaram que entre os anos de 1985-1990

ocorreu uma forte associação entre índices. Nesse período, ocorreu um forte La Niña, entre os anos de 1988 e 1989 e o índice OMA se apresentou na fase de anomalias negativas (ROSSI et al., 2011). Destaca-se que tanto os fenômenos de La Niña, como as anomalias negativas do índice OMA de setembro podem influenciar os índices de disponibilidade para anomalias positivas (covariância negativa). Como influenciam com mesmo efeito, evidencia-se que o índice OMA negativo de setembro combinado com o La Niña, induziram todos os índices de disponibilidade para anomalias positivas da SB1. Além disso, evidencia-se que a combinação do OMA negativo com o La Niña influenciou também para anomalia positiva o índice Q_7 na SB2. Após análise das séries normalizadas dos índices de disponibilidade hídrica (Figura 14 e Figura 15), constatou-se que a atuação combinada desses fenômenos, prevaleceu em uma fase em que os índices de disponibilidade apresentaram tendências negativas.

Os resultados também indicaram que os padrões recorrentes no Oceano Pacífico (ODP e IOS), estão significativamente correlacionados com a disponibilidade hídrica da BHRM. As correlações significativas relativas ao índice IOS apresentaram oscilações de covariâncias (Figura 54 e Figura 55). Já as correlações significativas relativas ao índice ODP apresentaram um maior número de correlações, com determinada estabilidade no valor-p (janeiro-maio), todas com covariâncias negativas (Figura 36 e Figura 37). Correlações negativas com o índice ODP eram esperadas, mas não para o IOS (e.g., DA SILVA, 2013; BRITO, 2014; COSTA, 2014; COSTA et al, 2016). Fisicamente não faz sentido as correlações negativas entre o IOS e os índices de disponibilidade hídrica para o Nordeste do Brasil. O IOS mede anomalias de pressões, anomalias negativas (positivas) de pressões, estão associadas no aquecimento (resfriamento) das águas do Pacífico, que ocasionam eventos hidrológicos com anomalias negativas (positivas) para o Nordeste, El Niño (La Niña) (e.g., BRITO, 2014; COSTA, 2014; COSTA et al, 2016).

O índice ODP entre janeiro e maio apresentou coeficientes de Spearman semelhantes para todos os índices de disponibilidade (Q_7 , Q_{90} e Q_{95}), simultaneamente para SB1 e SB2. Portanto, espacialmente e temporalmente, os efeitos significativos do índice OMA apresentaram intensidades similares para as duas regiões (SB1 e SB2). É importante destacar que, mesmo que o índice IOS não tenha apresentado influência significativa na região (Figura 54 e Figura 55) está associado às anomalias do índice ODP. Quando o índice ODP se encontra com anomalias positivas (negativas) os eventos de El Niño (La Niña) são mais frequentes, quando combinados podem influenciar de forma mais intensa o comportamento fluviométrico (DA SILVA, 2013). Costa (2014) ao avaliar os efeitos do IOS sobre o trimestre mais chuvoso na região, constatou que o IOS de novembro está significativamente correlacionado com o

período chuvoso. As condições do El Niño (La Niña) em geral atingem força máxima entre outubro-janeiro e persistem em maior parte do primeiro trimestre do ano seguinte, quando chega no segundo trimestre (maio, junho e julho) apresenta condições mais neutras. Dessa forma, evidencia-se que o IOS poderia ter apresentado resultados significativos, caso fosse considerado uma defasagem temporal que incluísse o ano anterior ao de análise da disponibilidade hídrica.

Das correlações significativas do ODP indicadas por Spearman referente ao Pacífico, as Wavelets constaram que apenas o índice ODP de março apresentou relações com todos os índices de disponibilidade (Q_7 , Q_{90} e Q_{95}) para a região SB2. A WTC e a XWT, referente aos três índices de disponibilidade, identificaram que entre os anos de 1965-1975 ocorreu uma forte associação entre índices. Nesse período, ocorreu um moderado El Niño e um forte El Niño, entre os períodos de 1965-1966 e 1972-1973, respectivamente, o índice ODP se apresentou na fase de anomalias negativas (ROSSI et al., 2011). Como fenômenos El Niño tem efeitos contrários à ODP em sua fase de anomalias negativas na região de estudo, foi necessário analisar o comportamento das séries normalizadas dos índices de disponibilidade hídrica (Figura 14 e Figura 15). Diante desses resultados, constatou-se que o índice ODP negativo combinado com o El Niño, influenciaram negativamente todos os índices de disponibilidade, mesmo assim os índices permaneceram entre as anomalias positivas da SB2. Além disso, a combinação do ODP negativo e o El Niño influenciou o índice Q_7 para anomalias negativas na SB1.

Estudar os efeitos da influência de fenômenos climáticos no período de estiagem no Nordeste brasileiro, sobre a ótica da disponibilidade hídrica, trouxe mais evidências para consolidação de teorias relativas ao tema. Constatou-se que os fenômenos climáticos do Pacífico e do Atlântico apresentaram correlações significativas. Destaca-se em detalhes que, todos os efeitos significativos na disponibilidade antecederam ou incluíram o período úmido de março-agosto (70% da precipitação anual), período de grande influência no armazenamento. Além disso, diferentemente de outros trabalhos, foram identificados efeitos significativos dos índices OMA e ODP na hidrologia local. Costa (2014) ao avaliar a influência do clima (OAN, OMA, IOS e ODP) na precipitação do trimestre mais chuvoso na região (maio, junho e julho), identificou correlações significativas apenas entre os índices IOS e OAN. Nesse trabalho, foram utilizadas técnicas lineares para avaliar a significância das correlações. Dessa forma, acredita-se que a metodologia empregada tenha influenciado na identificação das correlações significativas. As Wavelets (WTC e XWT) indicaram que a atuação combinada dos fenômenos nos dois oceanos, pode ocasionar uma variabilidade mais acentuada na disponibilidade hídrica.

6 CONCLUSÕES

Foi constatado que as teleconexões climáticas atuantes nos oceanos Atlântico e Pacífico influenciam a variabilidade da disponibilidade hídrica na região. Todos os índices OMA, OAN, ODP e IOS apresentaram correlações significativas. Embora, o índice IOS poderia ter apresentado resultados mais significativos, caso fosse considerado uma defasagem temporal que incluísse o ano anterior ao de análise da disponibilidade hídrica. Além disso, constatou-se que a combinação de eventos La Niña e El Niño com os índices OMA e ODP podem influenciar de forma mais intensa a variabilidade da disponibilidade hídrica.

Identificou-se que a variabilidade temporal e espacial da disponibilidade hídrica na região, pode ser explicada pelos fenômenos atuantes na transição climática da região (Semiárido/Tropical quente e úmido). Em alguns casos, a influência climática na variabilidade da disponibilidade hídrica foi semelhante, para outros não. Destaca-se em detalhes que, todos os efeitos significativos do clima na disponibilidade, antecederam ou incluíram o período úmido de março-agosto (70% da precipitação anual), período de grande influência no armazenamento.

Os resultados desse trabalho, podem embasar a seleção de variáveis preditoras para previsão de hidrológica de longo prazo, avaliando com antecedência os impactos nos usos consuntivos e não-consuntivos, tornando as comunidades mais resilientes à eventos extremos.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS-ANA. **Séries Históricas**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?TocItem=1080&TipoReg=7&MostraCon=false&CriaArq=false&TipoArq=1&SerieHist=true>>. Acesso em: 10 jan. 2015.
- ALAGOAS. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos-SEMARH/AL. **Banco de dados hidrometeorológicos**: dados diários de chuva. Maceió, 2011.
- ALVES, A. L. et al. Calibração do modelo MGB-IPH para vazões mínimas na bacia hidrográfica do rio Mundaú (AL/PE). In: SIMPÓSIO DE BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21., 2015, Brasília, DF. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2015. p. 1-8.
- ALVES, J. M. B. et al. Um estudo da variabilidade pluviométrica no setor Leste do Nordeste brasileiro e a influência do fenômeno El Niño/oscilação Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 12, n. 2, p. 25-39, 1997. ISSN 0102-7786.
- _____. Modelos acoplados do IPCC-AR4 e o gradiente meridional de temperatura da superfície do mar no Atlântico tropical: relações com a precipitação no Norte do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 4, p. 568-578, 2014. ISSN 0102-7786. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620130605>>. Acesso em: 16 jan. 2015.
- ARAGÃO, J. O. R. O impacto do ENSO e do dipolo do atlântico no Nordeste do Brasil. **Bulletin Institut Français Études Andines**, v. 27, n. 3, p. 839-844, 1998. ISSN 0303-7495.
- BACK, A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 5, p. 717-726, 2001. ISSN 1678-3921. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2001000500001>>. Acesso em: 15 jan. 2015.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Solos do Brasil**. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm#>> Acesso em: 10 jan. 2015.
- BRAVO, J. M. **Subsídios à operação de reservatórios baseada na previsão de variáveis hidrológicas**. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/26916>>. Acesso em: 12 jan. 2015.
- BRITO, T. R. R. L. **Previsão de longo prazo de precipitação por meio de teleconexões**. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia, Maceió, 2014.
- CHANG, C.; GLOVER, G. H. Time-frequency dynamics of resting-state brain connectivity measured with fMRI. **NeuroImage**, v. 50, n. 1, 2010. ISSN 1053-8119. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2827259/>>. Acesso em: 22 jan. 2015.

COELHO, S. C. B. **Características da precipitação pluviométrica do Nordeste brasileiro e seus padrões de acoplamento com as TSM do Pacífico Equatorial e do Atlântico Sul.** Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas, Maceió, 2010. Disponível em: <<http://repositorio.ufal.br/handle/riufal/873>>. Acesso em: 21 jan. 2015.

COLLISCHONN, W. **Simulação hidrológica de grandes bacias.** Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, 2001. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream_id/3231/>. Acesso em: 22 jan. 2015.

COSTA, D. D. et al. Understanding drought dynamics during dry season in Eastern Northeast Brazil. **Frontiers in Earth Science**, v. 4, 2016. Disponível em <**Erro! A referência de hiperlink não é válida.**>. Acesso em: 23 jun. 2016.

COSTA, D. D. **Previsão hidrológica de longo-prazo baseada em componentes climáticas em bacias hidrográficas semiáridas/tropicais.** Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia, Maceió, 2014.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 1, 111-124, 2008. ISSN 2318-0331. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=15&SUMARIO=174>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

DA SILVA, D. F. Influência interdecadal (ODP e OMA) nas cotas do rio São Francisco. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 6, n. 6, p. 1529-1538, 2013. ISSN 1984-2295. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewArticle/451>>. Acesso em: 26 jan. 2015.

_____. **Análise de aspectos climatológicos, agroeconômicos, ambientais e de seus efeitos sobre a bacia hidrográfica do rio Mundaú (AL e PE).** Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande. Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, 2009. Disponível em: <<http://www.recursosnaturais.ufcg.edu.br/downloads/djanefonsecadasilva.pdf>>. Acesso em: 3 fev. 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Brasil em relevo.** Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br/>> Acesso em: 10 jan. 2015.

FRAGOSO JR., C. R. et al. Reflexões sobre a cheia de junho de 2010 nas bacias do rio Mundaú e Paraíba. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 10., 2010, Fortaleza, CE. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2010. p. 1-20.

GRINSTED, A. et al. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. **Nonlinear Processes in Geophysics**, v. 11, 561-566, 2004. ISSN 1023-5809. Disponível em: <<http://www.nonlin-processes-geophys.net/11/561/2004/>>. Acesso em: 10 fev. 2015.

HASTENRATH, S. Exploring the climate problems of Brazil's Nordeste: a review. **Climatic Change**, v. 112, p. 243-251, 2012. ISSN 0165-0009.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA-INMET. **Dados históricos**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 10 jan. 2015.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO-ITEP. **Banco de dados pluviométrico**. Disponível em: <www.itep.br/LAMEPE.asp>. Acesso em: 10 maio 2011.

JEVREJEVA, S. et al. Influence of the arctic oscillation and El Niño-southern oscillation (ENSO) on ice conditions in the Baltic sea: The wavelet approach. **Journal Geophysical Research**. v. 108, 2003. ISSN 2156-2202. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2003JD003417/epdf>>. Acesso em: 10 jan. 2015.

KAYANO, M. T. et al. A further analysis of the tropical Atlantic SST modes and their relations to north-eastern Brazil rainfall during different phases of Atlantic Multidecadal Oscillation. **International Journal of Climatology**, v. 1, p. 1-13, 2016. ISSN 1097-0088.

LABAT, D. Cross wavelet analyses of annual continental freshwater discharge and selected climate indices. **Journal of Hydrology**, v. 385, p. 269-278, 2010. ISSN 0022-1694.

MASSEI, N., FOURNIER, M. Assessing the expression of large-scale climatic fluctuations in the hydrological variability of daily Seine river flow (France) between 1950 and 2008 using Hilbert–Huang transform. **Journal of Hydrology**, v. 448, p. 119-128, 2012. ISSN 0022-1694.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S.O. Uma Revisão das chuvas no Nordeste brasileiro, **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002. ISSN 0102-7786.

MORID, S. et al. Drought forecasting using artificial neural networks and time series of drought indices. **International Journal of Climatology**, v. 27, p. 2103-2111, 2007. ISSN 1097-0088. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.1498/epdf>>. Acesso em: 10 jan. 2015.

MONTE, B. E. O. **Mapeamento de inundações no município de Rio Largo (AL)**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia, Maceió, 2013.

MOURA, A. D.; SHUKLA, L. On the dynamics of droughts in Northeast Brazil: observations, theory, and numerical experiments with a general circulation model. **Journal Atmospheric Science**, v. 38, n. 12, p. 2653-2675, 1981. ISSN 0022-4928. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1175/1520-0469\(1981\)038<2653:OTDODI>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0469(1981)038<2653:OTDODI>2.0.CO;2)>. Acesso em: 16 jan. 2015.

NAGHETTINI, M; PINTO, E. J. A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION-NOAA. **Climate índices**. Disponível em: <<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

OLIVEIRA, D. L. et al. Análise hidrológica da cheia excepcional ocorrida em junho de 2010 nas bacias dos rios Mundaú e Paraíba do Meio em Alagoas e Pernambuco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 3, p. 279-293, 2014. ISSN 2318-0331. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=168&SUMARIO=4799>>. Acesso em: 25 jan. 2015.

PEREIRA, M. et al. Integração do modelo hidrológico para grandes bacias MGB-IPH e sistemas de informação geográfica para suporte à decisão de outorga de direito de uso da água. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 9, n. 2, 21-33, 2012. ISSN 2359-1919. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=2&ID=95&SUMARIO=1299>>. Acesso em: 10 fev. 2015.

PAZ, A. R. et al. Seasonal precipitation forecast based on artificial neural networks. In: PRADO, H. A.; CHAIB FILHO, H.; LUIZ, A. J. B. **Computation methods for agricultural research: advances and applications**. New York: Hershey, 2011. p. 326-354.

PICCILLI, D. G. A. **Avaliação da previsão hidroclimática no Alto Paraguai**. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, 2007.

RÄSÄNEM, T. A.; KUMMU, M. Spatiotemporal influences of ENSO on precipitation and flood pulse in the Mekong river basin. **Journal of Hydrology**, v. 476, p. 154-168, 2013. ISSN 0022-1694.

ROSSI, A. et al. A synthesis of the time-scale variability of commonly used climate indices using continuous wavelet transform. **Global and Planetary Change**, v. 28, p. 1-13, 2011. ISSN 0921-8181.

SILVERMAN, D.; DRACUP, J. A. Artificial neural networks and long-range precipitation prediction in California. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 39, p. 57-66, 2000. ISSN 1558-8484. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450\(2000\)039<0057:ANNALR>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450(2000)039<0057:ANNALR>2.0.CO;2)>. Acesso em: 16 fev. 2015.

SOUZA, R. C. et al. Uma análise na dragagem do Complexo Estuarino-Lagunas Mundaú/Manguaba em Alagoas através de um modelo numérico hidrodinâmico bidimensional- resultados preliminares. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 9, n. 4, 2004. ISSN 2318-0331. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=30&SUMARIO=1510>>. Acesso em: 10 jan. 2015.

THE EUROPEAN SPACE AGENCY-ESA. **Land cover**. Disponível em <<http://www.esa-landcover-cci.org/>>. Acesso em: 10 jan. 2015.

TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, p. 61-68, 2000. ISSN 2318-0331. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=46&SUMARIO=661&ST=coeficiente_de_escoamento_e_vazao_maxima_de_bacias_urbanas>. Acesso em: 16 fev. 2015.

_____. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: UFRGS, 2002.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: UFRGS, 2005.

UVO, C. R. C. Analysis and regionalization of northern European winter precipitation based on its relationship with the North Atlantic Oscillation. **International Journal of Climatology**, v. 23, p. 1185-1194, 2003. ISSN 1097-0088. Disponível em <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.930/pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2015.

WILBY, R. L. et al. Seasonal predictability of the summer hydrometeorology of the River Thames, UK. **Journal of Hydrology**, v. 295, p. 1-16, 2004. ISSN 0022-1694.

APÊNDICES

Apêndice A – Parametrização fixa e calibrável do MGB-IPH

Tabela 3 - Parâmetros Fixos

Parâmetros	URH	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Albedo	1	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
	2	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
	3	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
	4	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
	5	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
	6	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,22
	7	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Índice de Área Foliar (IAF)	1	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
	2	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
	3	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
	4	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
	5	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
	6	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
	7	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Altura das árvores (Z)	1	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
	2	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
	3	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
	4	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
	5	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
	6	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	7	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Resistência Superficial (RS)	1	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
	2	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
	3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	4	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
	5	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
	6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Autor (2016)

Tabela 4 - Parâmetros calibrados para propagação nas células

Sub-bacia	C _S (-)	C _I (-)	C _B (horas)	Q _B (m ³ /s,Km ²)
Todas	19,00	50,00	4,600	0,01

C_S: Parâmetro para calibração da propagação superficial nas células;
 C_I: Parâmetro para calibração da propagação sub-superficial nas células;
 C_B: Parâmetro de retardo do reservatório subterrâneo;
 Q_b: Vazão de referência específica.
 Fonte: Autor (2016)

Tabela 5 - Unidades de Resposta Hidrológica com as suas respectivas combinações (grupo e cobertura do solo) e os parâmetros calibrados para a bacia do rio Mundaú

URH	Solo		Parâmetros calibrados						
	Grupo	Cobertura	Wm (mm)	b (-)	K _{bas} (mm,dia ⁻¹)	K _{int} (mm,dia ⁻¹)	XL (-)	CAP (mm,dia ⁻¹)	Wc (mm)
1	D	Exposto	170	0,01	3,50	14,27	0,40	0,00	0,99
2	D	Pasto/Agri,	340	0,01	3,50	10,97	0,40	0,00	0,68
3	D	Floresta	410	0,10	3,50	14,70	0,40	0,00	0,70
4	C	Pasto/Agri,	750	0,70	3,50	52,62	0,10	0,00	0,60
5	C	Exposto	550	0,01	3,50	48,00	0,10	0,00	0,70
6	C	Floresta	650	0,20	3,50	72,93	0,10	0,00	0,88
7	Água	Água	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Wm: Capacidade de armazenamento do solo;

b: Parâmetro de forma da relação entre armazenamento e saturação;

K_{bas}: Parâmetro que controla a vazão de estiagem;

K_{int}: Parâmetro que controla a quantidade de água da camada de solo que é escoada sub-superficialmente;

XL: Controla a forma da curva de redução da drenagem intermediária ou sub-superficial do solo;

CAP: Controla o fluxo do reservatório subterrâneo para a camada superficial do solo;

Wc: Parâmetro de armazenamento residual.

Fonte: Autor (2016)

ANEXOS

Anexo A – Sensibilidade dos parâmetros do MGB-IPH

Tabela 6 - Sensibilidade dos parâmetros para cada função objetivo

Parâmetro	NS	NSlog	ΔV
W_m	Alta	Alta	Alta
b	Média	Alta	Alta
K_{int}	Baixa	Alta	Media
K_{bas}	Baixa	Alta	Alta
C_s	Alta	Alta	Baixa
C_I	Baixa	Alta	Baixa
IAF	Media	Media	Media
Albedo	Baixa	Baixa	Baixa
R_s	Baixa	Média	Alta
Z	Baixa	Baixa	Media
W_c	Baixa	Baixa	Baixa
Q_B	Baixa	Baixa	Baixa
CAP	Baixa	Baixa	Baixa
XL	Baixa	Baixa	Baixa

NS: Coeficiente de Nash-Sutcliffe das vazões;

NSlog: Coeficiente de Nash-Sutcliffe do logaritmo das vazões;

ΔV : Erro de volume.

Fonte: Autor (2016) - Adaptado de Collischonn (2001)