

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALINE YURIKO HARADA

MUDANÇAS DE REGIME NO NÍVEL MÉDIO RELATIVO DO MAR E SUA
RELAÇÃO COM ÍNDICES OCEÂNICOS E ATMOSFÉRICOS

PONTAL DO PARANÁ
2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALINE YURIKO HARADA

MUDANÇAS DE REGIME NO NÍVEL MÉDIO RELATIVO DO MAR E SUA
RELAÇÃO COM ÍNDICES OCEÂNICOS E ATMOSFÉRICOS

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Oceanografia, do Curso de Oceanografia, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná.

Orientador (s): Prof.º Dr. Eduardo Marone e Msc. Eliandro Ronael Gilbert

PONTAL DO PARANÁ
2015

CATALOGAÇÃO NA FONTE:
UFPR / SIBI - Biblioteca do Centro de Estudos do Mar

H254m Harada, Aline Yuriko
Mudanças de regime no nível médio relativo do mar e sua relação com índices oceânicos e atmosféricos. / Aline Yuriko Harada. – Pontal do Paraná, 2015. 21 f.; 29 cm.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Marone.

Monografia (Graduação) – Curso de Oceanografia, Centro de Estudos do Mar, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

1. Mudanças de regime. 2. Nível médio relativo do mar. 3. Índice Multivariado do El Niño. 4. Conteúdo de Calor Global dos Oceanos. 4. Momentum Angular Atmosférico Global. I. Título. II. Marone, Eduardo. III. Universidade Federal do Paraná.

CDD 551.46

TERMO DE APROVAÇÃO

Aline Yuriko Harada

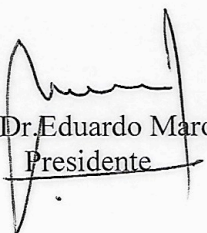
“Mudanças de regime no nível médio relativo do mar e sua relação com Índices Oceânicos e Atmosféricos”

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

Prof. Dr. Marcelo Sandin Dourado-CEM/UFPR

Prof. Dr. Ricardo Camargo-IOUSP

Prof. Dr. Eduardo Marone
Presidente



Pontal do Paraná, 20 de novembro de 2015

*Twenty years from now you will be more disappointed by the things you didn't do than by the ones you did do. So throw off the bowlines. Sail away from the safe harbor. Catch the trade winds in your sails.
Explore. Dream. Discover.*

- Mark Twain

AGRADECIMENTOS

Gratidão: do latim, *gratitudo*. Substantivo feminino que define a qualidade de ser grato, sentimento de lembrança ou agradecimento, ou o ato de reconhecer um bem recebido. E por este motivo, agradeço primeiramente aos meus pais, senhor Harada e dona Maria Amélia, por me motivarem todos os dias, ainda que distante, à ser uma filha e pessoa melhor.

Aos meus orientadores, Eduardo Marone e Eliandro Ronael Gilbert, pelo auxílio e paciência durante este trabalho.

Aos meus familiares, em especial Fábio Arazaki, por ser meu primão desde o dia que nasci, e tia Kazue Arazaki pelo apoio e carinho.

Ao meu companheiro de vida, Daniel Aitken, pela confiança, companheirismo e mimos diários.

Às minhas queridas Anne Nonohay, Laura Straub, Laís Oliskovicz e Kaline Marchesan pelo intensivo de amizade.

Aos meus companheiros de intercâmbio, principalmente, Raíssa e Priscila, por serem simplesmente únicas.

Aos meus amigos de longa data, em particular Daniela Tokudo e Lúcia Kimura, por sempre me acompanharem e acreditarem em mim.

Aos meus colegas de classe, GRR2010, e ao pessoal do Laboratório de Física Marinha por me permitirem um riso a mais.

Aos funcionários do Centro de Estudos do Mar, pelo auxílio em todos estes anos de graduação.

Às minhas companheiras caninas Manu e Beluga por sempre me animarem ao pedir um passeio até a esquina ou um pedaço de pão fresco.

À Ilha do Mel, por ser colírio nos olhos desta oceanógrafa, e à todos que de qualquer forma contribuíram para a pessoa que sou hoje.

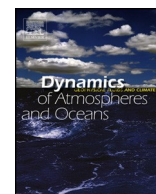
RESUMO

As variações dos padrões climáticos nos oceanos, tanto na sua frequência quanto na sua intensidade, podem causar impactos significantes na escala regional e na escala global. Desta forma, as mudanças de regime, caracterizada por ser alterações bruscas de um comportamento característico para outro em uma determinada escala temporal, se faz presente em índices oceânicos e atmosféricos, podendo influenciar no nível médio relativo do mar (NMRM) nas mais diversas regiões. Por meio de análises na média e na variância de séries temporais de NMRM e índices oceânicos e atmosféricos, além de correlações com o Índice Multivariado do El Niño (MEI), através do método *Sequential Regime Shift Detector* durante o período de 1958 à 2013 em escalas intradecadais e interdecadais, o presente estudo buscou identificar, de forma inédita, a influência das mudanças de regime em escalas regionais e globais no NMRM em diversas bacias oceânicas. Observou-se que o Conteúdo de Calor Global dos Oceanos (GOHC) alterou seu regime anteriormente à outros índices e séries temporais analisadas, e esperava-se encontrar correlações significativas entre os regimes de MEI e GOHC. Também ficou claro que para algumas situações distintas apresentadas até o final das décadas de 70 e 80, e início da década de 90, se faz necessário estudos posteriores e específicos para melhor compreensão de mudanças de regime.

Palavras chave: Mudanças de regime, Nível médio relativo do mar, Índice Multivariado do El Niño, Conteúdo de Calor Global dos Oceanos, Momentum Angular Atmosférico Global.

SUMÁRIO

1. Introdução	1
2. Materiais e método	2
2.1. Área de estudo.....	2
2.2. Dados.....	2
2.2.1. Nível médio relativo do mar.....	2
2.2.2. Índices Globais e Regionais.....	2
2.3. Método.....	3
2.4. Análise.....	4
3. Resultados	5
3.1. Até o final dos anos 80.....	5
3.2. Até a década de 00.....	5
3.3. Até 2013.....	7
3.4. Correlação.....	9
4. Discussão	11
4.1. Índices.....	12
4.2. NMRM e Correlação.....	12
5. Conclusão	13
6. Agradecimentos	13
7. Referências	14



Mudanças de regime no nível relativo do mar e sua relação com índices oceânicos e atmosféricos

Aline Yuri Harada*, Eliandro Ronael Gilbert*, Eduardo Marone*

Centro de Estudos do Mar (CEM), Universidade Federal do Paraná (UFPR), Avenida Beira Mar s/n, Pontal do Sul, Pontal do Paraná, PR, Brasil

Informações do artigo

História do artigo:

Enviado em 16 de novembro de 2015

Recebido e revisado em 20 de novembro de 2015

Disponível online em fevereiro de 2016

Palavras-chave:

Mudanças de regime

Índice Multivariado do El

Niño

Conteúdo de Calor dos

Oceanos

Momentum Angular Atmosférico Global

Resumo

Através de índices oceânicos e atmosféricos, e de séries temporais do nível médio relativo do mar em bacias oceânicas distintas, o presente trabalho utilizou o método *Sequential Regime Shift Detector* para analisar mudanças de regime na média e variância, e correlacionar tais variáveis com o Índice Multivariado do El Niño (MEI) entre 1958 a 2013 em escalas inter e intra-decadais. Observou-se que, ao estabelecer linhas temporais nas mudanças de regime tanto na média quanto na variância, o Conteúdo de Calor Global dos Oceanos altera seu regime antes dos demais índices e séries analisadas. MEI apresentou correlações moderadas e fortes com o Momentum Angular Atmosférico Global e com a série do nível médio relativo do mar de São Francisco. Além disso, o presente estudo, que de forma inédita analisou mudanças de regime em escalas regionais e globais, detectou fracas correlações entre descontinuidades de MEI com mudanças de regime em índices e séries temporais localizadas no sul do Oceano Atlântico Sul.

1. Introdução

Variações na intensidade e na frequência dos padrões climáticos podem provocar consequências significativas tanto na escala regional quanto na escala global. Por este motivo, diversos estudos envolvendo a variabilidade climática dos oceanos ganharam notoriedade, principalmente após a acentuada mudança de regime na Oscilação do Pacífico Norte em 1977 (Niita, Yamada, 1989; Trenberth, 1990; Trenberth et al., 2002) ter gerado diversas consequências para a vida marinha no Oceano Pacífico Norte e no Mar de Bering (Kerr, 1992; Mantua et al., 1997; Rodionov, 2004; Hare, Mantua, 2000).

Por ser um termo relativamente novo, mudanças de regime (ou descontinuidades) possuem diversas definições (Kraberg et al., 2011), sendo a mais comum a de Hare, Mantua, 2000, que define 'regime' como um comportamento característico de um fenômeno natural ao longo do tempo, e 'mudanças' como alterações bruscas de um comportamento característico para outro em relação à escala temporal do regime. Além disso, embora as razões para que as descontinuidades ocorram ainda sejam desconhecidas (Beamish et al., 1999), Yndestad, 1999 acredita que a causa para as ocorrências de mudanças de regime possam ser derivadas das mudanças na rotação da Terra, enquanto que Beamish et al., 2000 afirma que as descontinuidades possam ser resultado das diferenças de velocidade na rotação da Terra, que redistribuiriam o momentum angular (energia) para a litosfera, hidrosfera e atmosfera.

Dentro deste contexto, o El Niño - Oscilação Sul (ENOS, ou ENSO em inglês), caracterizado pelo aquecimento anormal das águas de superfície próximo à costa do Peru e Equador (Rasmusson, Carpenter, 1982), é um fenômeno oceano-atmosférico de variabilidade interanual com alcance global (Larkin, Harrison, 2005; Kao, Yu, 2009). Neste sentido, Trenberth et al., 2002, analisou a evolução do ENSO e detectou variações similares na temperatura de superfície do mar entre os períodos de 1950 a 1978, 1979 a 1998 (Fig. 1), e mudança de regime entre os anos de 1976 e 1977. Somado a isto, estudos recentes demonstram que índices oceânicos, como o aquecimento do conteúdo de calor dos oceanos (Becker et al., 2012) e o ENSO (Haddad et al., 2013; Nerem et al., 2010) influenciam na variabilidade do nível médio relativo do mar (NMRM), especialmente durante eventos de intenso El Niño (Cazenave et al., 2012).

Assim, aproveitando o registro da evolução do ENSO proposto por Trenberth et al., 2002, o presente estudo se baseia nestes dois intervalos (1950 a 1978 e 1979 a 1998) como referência para analisar as potenciais mudanças de regime utilizando o método *Sequential Regime Shift Detection* (SRSD) no ciclo ENSO através do Índice Multivariado do El Niño (*Multivariate El Niño - MEI*) (Wolter & Timlin, 1998), e de variáveis oceânicas e atmosféricas, além da série temporal do nível médio relativo do mar de 17 cidades distribuídas nas bacias oceânicas do Atlântico Sul, Atlântico Norte, Pacífico Sul e Pacífico Norte, com foco nas cidades de Cananéia (Brasil), Trieste (Itália), Mar del Plata (Argentina) e São Francisco (Estados Unidos da América) durante o período de 1958 a 2013.

* Corresponding author. Tel.: + 55 41 3511 8600

E-mail address: yuriharada86@gmail.com (A. Y. Harada)

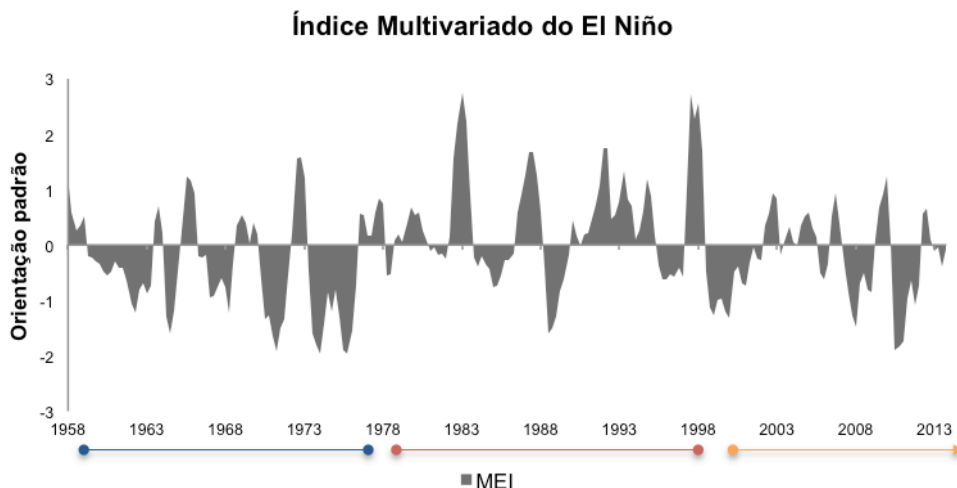


Fig. 1. Ciclo do ENSO como sugerido por [Trenberth et al., 2002](#), aplicado na série temporal estudada neste trabalho com valores positivos (acima de zero) indicando El Niño e valores negativos indicando La Niña (valores abaixo de zero). Primeiro período, em azul, entre 1958 a 1978. Segundo período, em vermelho, entre 1979 a 1998. E terceiro período, em amarelo, por ora sem definição para o término deste período.

Desta forma e motivada pelas questões mencionadas anteriormente, este estudo prioriza três hipóteses: (1) caso existam mudanças de regime simultâneas e/ou moderadamente ou fortemente correlacionadas, então talvez as mudanças de regime poderiam estar associadas a uma mesma origem e seu alcance local, regional ou global poderia ser elucidado; (2) se houver covariações entre duas ou mais mudanças de regime na escala global, as teleconexões poderiam ser a causa para tais variações simultâneas; (3) se as mudanças de regime acontecerem sequencialmente em uma determinada escala temporal, estas não confirmam a relação de 'causa e efeito', e sim as descartariam, uma vez que nenhuma 'causa' poderia ocorrer após um dado 'efeito'.

2. Materiais e método

2.1. Área de estudo

Com o intuito de verificar as mudanças de regime nas bacias oceânicas do Atlântico Sul, Atlântico Norte, Pacífico Sul e Pacífico Norte, foram selecionadas as seguintes cidades: Antofagasta (Chile), Balboa (Panamá), Barentsburg (Rússia), Cananéia (Brasil), Fremantle (Austrália), Honolulu (Estados Unidos da América - EUA), Ilhas Argentinas (Antártica), Key West (EUA), Mar del Plata (Argentina), Newlyn (Reino Unido), Portland (EUA), São Francisco (EUA), Shimizu-Minato (Japão), Sydney (Austrália), Trieste (Itália) e Ostrov Vize (Rússia) ([Fig. 2](#)).

2.2. Dados

2.2.1. Nível médio relativo do mar

Os dados trimestrais do nível médio relativo do mar foram retirados do site *Permanent Service for Mean Sea Level* (PSMSL) no formato *Revised Local Reference* (RLR), no qual os dados do NMRM de cada estação são revisados e definidos à 7000mm abaixo do nível médio do mar para evitar valores negativos nas médias mensais e anuais.

Por apresentar maior série temporal em dados do NMRM no Brasil, Cananéia foi utilizada como critério de seleção, com início da série temporal em 1958. Assim, cidades que apresentaram série temporal após este ano ou lacunas maiores que quatro trimestres foram descartadas. Neste sentido, o método SRSD foi aplicado até o ano de 2013 para todas as séries temporais, com exceção de Cananéia, que possui término de série em 2004. Neste caso, incluiu-se a série de Mar del Plata para garantir uma série maior que 40 anos no oceano do Atlântico Sul, que, segundo [Weijerman et al., 2005](#), trata-se de um conjunto de dados consideravelmente razoável para detecção de mudanças de regime.

2.2.2. Índices Globais e Regionais

Para detectar mudanças de regime em escalas regionais e globais, foram utilizados dados oceânicos trimestrais médios dos índices climáticos do Índice Multivariado do El Niño (MEI), anomalia de Conteúdo de Calor do Atlântico Sul (SAOHC), anomalia de Conteúdo de Calor Global dos Oceanos (GOHC) e anomalia Conteúdo de Global Calor dos Oceanos na profundidade de até 700 metros (GOHC7), assim denominados pelo *National Oceanic and Atmospheric Administration - Earth System Research Laboratory* (NOAA - ESRL), além da variável atmosférica Momentum Angular Atmosférico Global (GLAAM) desde o primeiro trimestre de 1958 até o último trimestre de 2013. Tais dados foram extraídos do NOAA - *Physical Sciences Division* (PSD) e não apresentaram lacunas ou necessidade de

interpolação.

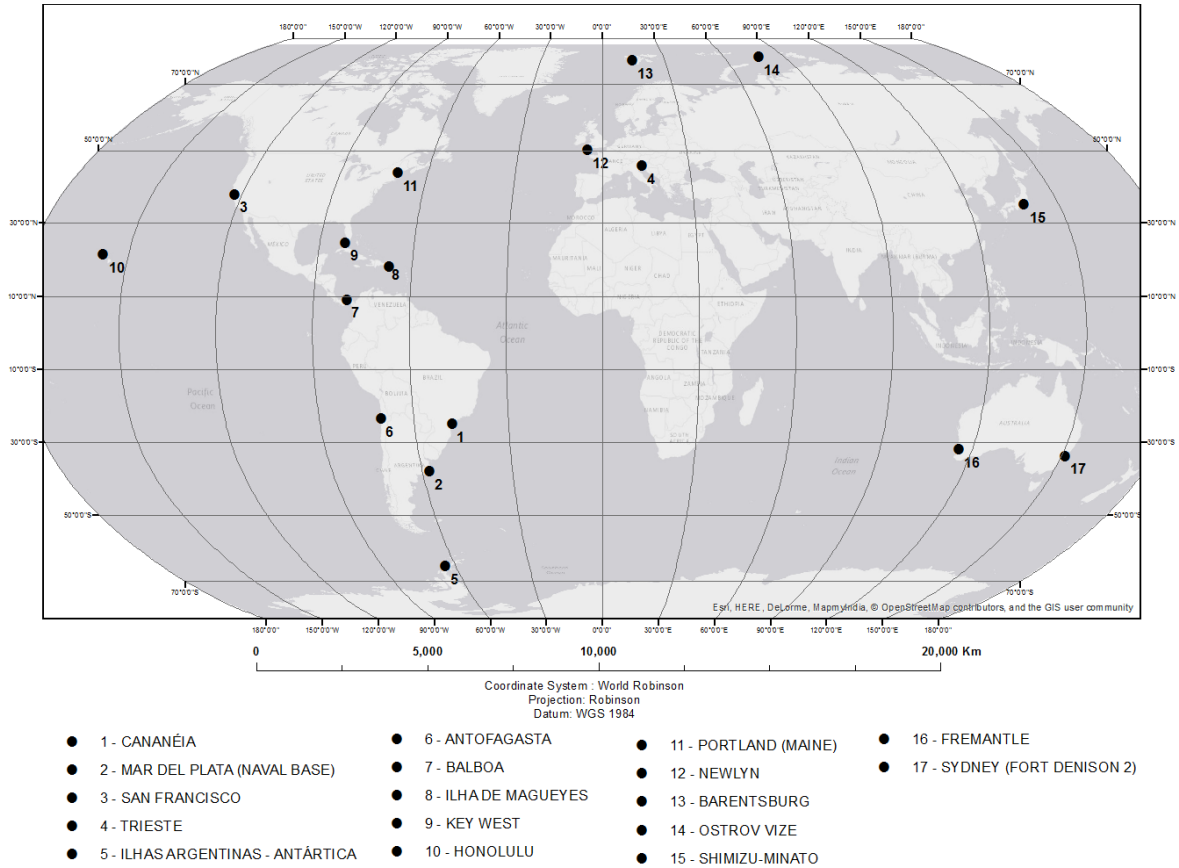


Fig. 2. Mapa-múndi indicando os locais selecionados para análise do NMRM nas bacias oceânicas do Atlântico Sul, Atlântico Norte, Pacífico Sul e Pacífico Norte.

2.3. Método

Para identificar as mudanças de regime, foi utilizado o método de análise *Sequential Regime Shift Detector* (SRSD) versão 6.0 de 2015 (Rodionov, 2006), que propõe rápida detecção com o mínimo de atraso e monitoramento em tempo real de mudanças de regime. O SRSD é baseado no teste t de Student para a média e teste F para a variância (Rodionov, 2004; Rodionov, 2005). Segundo o autor, na técnica sequencial de processamento de dados, o desempenho da análise não diminui ao se aproximar do término da série temporal, evitando assim a perda da capacidade de detecção de uma possível mudança de regime. Isso ocorre devido ao número de observações não serem fixas e sim em forma de sequência, o que permite verificar descontinuidades em toda a série de dados, o que torna o método consideravelmente superior aos citados anteriormente (Rodionov, 2004; Rodionov, Overland, 2005).

Neste método, o procedimento para verificar mudanças de regime é dividido em três etapas. Primeiro, a detecção de mudanças de regime ocorre na média das séries temporais analisadas. Em seguida, as médias dos regimes detectados são removidas dos valores da série temporal e a detecção de mudanças de regimes é realizada na variância através dos resíduos da média (ResM). Por fim, os resíduos são normalizados pelos desvios padrão dos regimes identificados na variância (NormV), e são realizadas comparações pareadas entre séries temporais, com o objetivo de identificar mudanças de regime no coeficiente de correlação (r) entre as séries (Rodionov, 2015).

O procedimento de detecção de mudanças de regime na média utiliza a estatística t para estimar o nível crítico na identificação de uma nova mudança de regime. O nível crítico de um novo regime \bar{x}_{cr} é definido por $\bar{x}_{cr}^1 = \bar{x}_j + \delta$ se o novo regime for superior ao atual, ou $\bar{x}_{cr}^1 = \bar{x}_j - \delta$, se ele for inferior, onde \bar{x}_j é a média do "atual" regime e

$$\delta = t \sqrt{\frac{2\bar{s}_l^2}{l}} \quad (1)$$

no qual t é o valor da distribuição t de Student com $2l - 2$ graus de liberdade para uma probabilidade p , l é o tamanho da escala a ser verificada na série temporal e \bar{s}_l^2 é a variância média para o intervalo l na série temporal. Caso o novo valor observado em um dado tempo i esteja fora do intervalo $[\bar{x}_{cr}^1, \bar{x}_{cr}^1]$ ele é considerado um ponto de mudança c_p em potencial, o que permite o cálculo do *Regime Shift Index* (RSI) conforme a seguinte fórmula:

$$RSI = \frac{1}{l\bar{s}_i} \sum_{i=c_p}^k (x_i - \bar{x}_{cr}), \quad k = c_p, c_p + 1, \dots, c_p + l - 1 \quad (2)$$

A equação acima mostra que os próximos $l - 1$ pontos posteriores a c_p são utilizados para testar a hipótese nula da mudança de regime em c_p . Se o RSI permanece com o mesmo sinal neste teste, então a hipótese nula é rejeitada, e c_p se torna um verdadeiro ponto de mudança c_{j+1} . Se em um dado momento, o RSI muda seu sinal, o teste para c_p é imediatamente interrompido, e o valor para em x_i em $i = c_p$ é considerado apenas uma flutuação no 'atual' regime j . Em seguida, o valor para a média é recalculado para o regime \bar{x}_j e a busca por um ponto de mudança continua ao longo da série temporal (Rodionov, 2015).

Para a detecção de mudanças de regime na variância o processo é similar ao realizado nas médias, porém o método utiliza a estatística F para estimar a variância crítica necessária para a mudança de regime. O teste F consiste em comparar a razão entre variâncias de dois regimes com o valor crítico de F_{cr} :

$$F = \frac{s_j^2}{s_{j+1}^2} \lesssim F_{cr}, \quad \text{onde } F_{cr} = F\left(\frac{p}{2}, v1, v2\right) \quad (3)$$

Na equação 3, F_{cr} representa o valor da distribuição F com $v1$ e $v2$ graus de liberdade (iguais a $l - 1$) e um nível de significância bicaudal p . Para que o potencial novo regime seja estatisticamente diferente do 'atual' regime, a variância s_{j+1}^2 deve ser superior à variância crítica $s_{cr}^{2\uparrow}$, caso a variância do novo regime seja superior, ou inferior a $s_{cr}^{2\downarrow}$, caso a variância do novo regime diminua. A variância crítica pode ser descrita por:

$$s_{cr}^2 = \begin{cases} s_{cr}^{2\uparrow} = s_j^2 F_{cr} \\ s_{cr}^{2\downarrow} = \frac{s_j^2}{F_{cr}} \end{cases} \quad (4)$$

Se o valor de x_i^2 , sendo x_i' o valor do resíduo no tempo i da série temporal normalizada pelas médias dos regimes detectados previamente, seja maior do que $s_{cr}^{2\uparrow}$ ou menor do que $s_{cr}^{2\downarrow}$, este valor é marcado como um potencial ponto de mudança c_p e os próximos $l - 1$ valores são utilizados para testar a hipótese nula de mudança de regime na variância. O procedimento é similar ao realizado na média, mas baseado no cálculo do *Residual Sum of Squares Index (RSSI)*, como mostrado na equação abaixo:

$$RSSI = \frac{1}{l} \sum_{i=c_p}^k (x_i'^2 - s_{cr}^2), \quad k = c_p, c_p + 1, \dots, c_p + l - 1 \quad (5)$$

Se o $RSSI$ se torna negativo em uma variância crescente ou positivo em uma variância decrescente, o teste para c_p é automaticamente interrompido e a hipótese nula é aceita. O valor $x_i'^2$ passa a constar no 'atual' regime j e sua variância s_j^2 é recalculada. Caso contrário, a hipótese nula é rejeitada e c_p passa a ser considerado um verdadeiro ponto de mudança c_{j+1} (Rodionov, 2015).

A detecção de regimes no coeficiente de correlação entre duas variáveis x^* e y^* , onde x^* e y^* correspondem a séries temporais normalizadas pelas médias dos regimes identificados no passo 1 e pelos desvios padrão dos regimes identificados no passo 2, é baseada na variância da sua soma, segundo a equação:

$$s_{x^*+y^*}^2 = s_{x^*}^2 + s_{y^*}^2 + 2r s_{x^*} s_{y^*} \quad (6)$$

Visto que as séries temporais analisadas estão normalizadas, ou seja, apresentam média $\bar{x}^* = \bar{y}^* = 0$ e variância $s_{x^*}^2 = s_{y^*}^2 = 1$, a equação 6 pode ser simplificada, como mostrado abaixo:

$$s_{x^*+y^*}^2 = 2(1+r) \quad (7)$$

Onde r corresponde ao coeficiente de correlação linear de Pearson. Como r varia de -1 a $+1$, a equação 7 pode variar de 0 a 4 (Rodionov, 2015).

2.4. Análise

Para análise de mudanças de regime, dois parâmetros são utilizados para controlar a magnitude e a escala dos regimes a serem detectados: o *Target Significance Level* (TSL, correspondente ao ρ valor) e o *Cut-off length* (l). O primeiro representa o nível de significância no qual são testadas as hipóteses nulas de que as médias e variâncias dos regimes são iguais. Quanto menor o nível de significância, maior deve ser a magnitude da mudança de regime a ser detectada. E o segundo estabelece a escala temporal de interesse em que o regime deverá ser detectado, assim mudanças de regime superiores à escala temporal analisada serão detectadas e a probabilidade da análise detectar mudanças de regimes mais curtos do que a escala temporal escolhida diminui

proporcionalmente com a escala temporal do regime.

Em relação à média, variância e correlação, foram utilizados, $\rho = 0.15$ para os testes de hipóteses e duas escalas temporais, primeiramente 8 anos (32 trimestres) para uma análise intradecadal, e posteriormente 10 anos (40 trimestres) para uma análise interdecadal. Para reduzir o efeito de outliers foi aplicado o parâmetro de Huber = 4, o que significa que valores distantes mais do que 4 vezes o desvio padrão das séries temporais foram ponderados, reduzindo sua influência na detecção dos regimes. A auto-correlação das séries temporais foi estimada pelo modelo auto-regressivo de primeira ordem MPK, proposto por [Marriott, Pope, 1954](#) e [Kendall, 1954](#). De acordo com [Rodionov, 2006](#) o método MPK apresenta melhor desempenho em amostras pequenas do que o método dos mínimos quadrados ordinários (OLS).

Por fim, para a detecção de regimes no coeficiente de correlação, foi relacionado o regime de MEI com os demais índices (SAOHC, GOHC, GOHC7 e GLAAM) e com as séries de Cananéia, Mar del Plata, Trieste e São Francisco.

3. Resultados

Para melhor compreensão dos resultados provenientes da detecção de mudanças de regime, se faz necessário esclarecer que dentre as séries de NMRM analisadas, somente Cananéia, Mar del Plata, Trieste e São Francisco serão descritas por apresentar resultados relevantes e similares com as demais séries. Além disso, para as análises das mudanças de regime nas médias, a escala temporal em que ocorrem as discontinuidades se encontram indicadas, do contrário pressupõem-se que a descrição dos resultados ocorre para as duas escalas temporais selecionadas (8 e 10 anos). Além disso, aqui são descritas as análises da variância somente nos momentos em que tanto a média quanto a variância mudaram de regime em períodos similares, dentro de um intervalo de 1 a 3 anos.

3.1. Até o final dos anos 80

Das séries observadas entre o período de 1958 a 2013, o Conteúdo de Calor Global dos Oceanos e Conteúdo de Calor Global até 700 metros demonstraram as primeiras mudanças de regime na média ([Tab. 1](#) e [Fig. 4](#)). Em 1964, GOHC iniciou um novo regime, sendo seguido pela segunda maior mudança de regime detectada em GOHC7 em 1967 ($RSI = -1.32$ para 10 anos). Tais discontinuidades foram seguidas por mudanças de regime no NMRM em Cananéia (1968 na escala temporal de 10 anos) e Mar del Plata em 1969.

No ano de 1973, foi observada a segunda maior mudança de regime em GOHC (para 8 anos) no período entre 1958 a 2013. Após esta discontinuidade ocorreu a maior mudança de regime em MEI no ano de 1976 ($RSI = 0.39$ para 8 anos). Além disso, discontinuidades em GLAAM (1977), SAOHC (1977) e no NMRM de Cananéia (1977) também foram detectadas ([Tab. 1](#) e [Fig. 4](#)).

Para a variância até a década de 80, foram detectadas 7 discontinuidades em períodos similares às mudanças de regime encontradas na média, sendo elas GOHC7 em 1965, Mar del Plata em 1967 na escala temporal de 8 anos, GOHC em 1972 e Cananéia em 1976. No início da década de 70, a ação combinada das mudanças de regime na média e na variância foram seguidas pela segunda maior discontinuidade em GOHC (1973) na média. Por fim, Cananéia em 1977 detectou sua maior mudança de regime na média para 10 anos ($RSI = 0.78$) e na variância para 8 anos ($RSSI = -2.346.15$) quando ambas mudaram de regime em períodos similares ([Tab. 2](#)).

3.2. Até a década de 00

As mudanças de regime que ocorreram em 1976 e 1977 na média foram seguidas por alterações no NMRM de Mar del Plata e São Francisco (1981) e em Cananéia (1982) na escala temporal de 8 anos. GOHC7 e GLAAM alteraram seus regimes em 1982 e 1983 respectivamente, na escala temporal de 8 anos. No entanto, nota-se uma mudança de regime em Mar del Plata (1986) seguidos por GOHC e GLAAM. Entre o final da década de 80 e início da década de 90, GOHC alterou seu regime em 1987 e GOHC7 apresentou a maior mudança de regime detectada em toda a série analisada no ano de 1989 ($RSI = 1.81$). GLAAM apresentou novo regime em 1990 (8 anos), GOHC em 1994 (8 anos) e 1995 (10 anos), e Trieste demonstrou a primeira mudança de regime em 1995 na escala temporal de 10 anos. Em 1997 e após 20 anos, SAOHC iniciou um novo regime na escala temporal de 8 anos. No ano seguinte, MEI, GLAAM e NMRM de Cananéia (10 anos) também alteraram de regime, após as discontinuidades ocorridas em GOHC em 1994 e 1995. Em 2000, tanto o NMRM de Cananéia quanto de Trieste começaram um novo regime na escala temporal de 8 anos, após as mudanças de regime de MEI e GLAAM em 1998 ([Tab. 1](#) e [Fig. 4](#)).

Analisando-se a variância neste período, o NMRM de São Francisco (1982) e Cananéia (1985 para escala temporal de 8 anos), GOHC (1987), MEI apresentaram mudanças de regime na variância em períodos equivalentes das médias, sendo que a mudança de regime de 1987 apresentou o maior valor de RSSI encontrado em GOHC em toda a série analisada ([Tab. 2](#)).

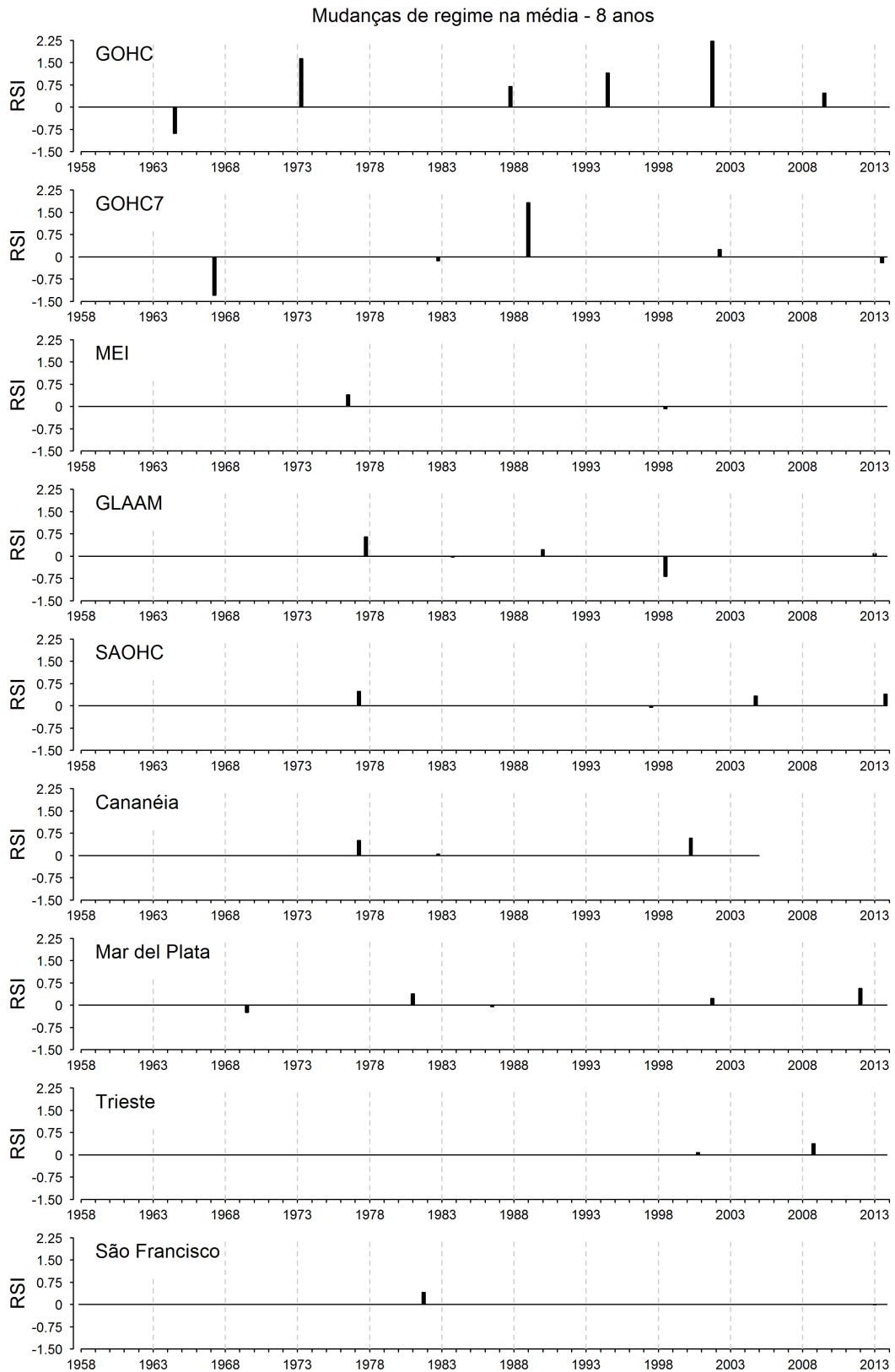


Fig. 4. Mudanças de regime para a média na escala temporal de 8 anos.

Tabela 1

Ocorrência de mudanças de regime na média para a escala temporal de 8 e 10 anos entre 1958 à 2013 (com exceção de Cananéia).

			Média									
			1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015
Cananéia	8 anos	Ano			1977	1982			2000			
		RSI			0.505	0.047			0.579			
	10 anos	Ano	1968		1977				1998			
		RSI	-0.002		0.784				0.601			
Trieste	8 anos	Ano							2000		2008	
		RSI							0.075		0.372	
	10 anos	Ano						1995			2008	
		RSI						0.143			0.464	
Mar del Plata	8 anos	Ano	1969			1981	1986			2001		2012
		RSI	-0.244			0.374	-0.057			0.220		0.564
	10 anos	Ano	1969			1981						2012
		RSI	-0.240			0.309						0.716
São Francisco	8 anos	Ano				1981						2013
		RSI				0.411						-0.006
	10 anos	Ano				1981						2013
		RSI				0.315						-0.041
MEI	8 anos	Ano			1976				1998			
		RSI			0.396					-0.082		
	10 anos	Ano			1976					1998		2012
		RSI			0.335					-0.240		0.032
SAOHC	8 anos	Ano			1977				1997	2004		2013
		RSI			0.483				-0.050	0.322		0.396
	10 anos	Ano			1977					2005		
		RSI			0.492					0.140		
GOHC	8 anos	Ano	1964	1973			1987	1994		2001	2009	
		RSI	-0.883	1.632			0.689	1.146		2.222	0.469	
	10 anos	Ano	1964	1973			1987	1995		2002	2011	
		RSI	-0.612	1.374			0.910	1.684		1.383	0.494	
GOHC7	8 anos	Ano	1967			1982	1989			2002		2013
		RSI	-1.303			-0.135	1.814			0.238		-0.208
	10 anos	Ano	1967				1989			2002		2013
		RSI	-1.320				1.494			0.368		-0.162
GLAAM	8 anos	Ano			1977	1983		1990	1998			2013
		RSI			0.653	-0.038		0.216	-0.685			0.083
	10 anos	Ano			1977					1998		2013
		RSI			0.680					-0.620		0.122

3.3. Até 2013

Cananéia e Trieste apresentaram uma variação de regime após as descontinuidades de SAOHC, MEI e GLAAM no final da década de 90. Além destas séries, o NMRM de Mar del Plata em 2001 (8 anos), GOHC (2001 e 2002, para 8 e 10 anos respectivamente), GOHC7 (2002) e SAOHC (2004 e 2005, para 8 e 10 anos respectivamente) ocorreram logo após o novo regime de MEI iniciado em 1998. Em adição, o novo regime de GOHC em 2001 apresentou o maior índice observado em toda a série temporal dentre os índices e NMRM analisados ($RSI = 2.21$). No ano de 2008, o NMRM de Trieste mudou de regime nas duas escalas temporais, seguido por GOHC em 2009 (8 anos) e 2011 (10 anos). Embora o valor do RSI de GOHC tenha sido o menor dentre as mudanças de regime analisadas do Conteúdo de Calor Global dos Oceanos ($RSI = 0.46$ e $RSI = 0.49$, para 8 e 10 anos respectivamente), esta descontinuidade foi seguida pelo maior número de mudanças de regime dentro de um intervalo de apenas um ano (no total, 10 mudanças de regime ocorreram em 2012 e 2013). Em 2012, MEI alterou seu regime na escala de 8 anos, e Mar del Plata nas duas escalas temporais. Já em 2013, SAOHC (8 anos), GOHC7, GLAAM e São Francisco iniciaram novos regimes em ambas as escalas (Tab. 1 e Fig. 4).

Em relação à variância no final da década de 90 e na década de 00, a primeira mudança de regime foi detectada em MEI (1998) para escala temporal de 10 anos e depois em 2000 para 8 anos ($RSSI = -0.14$ e $RSSI = -0.22$, respectivamente). GOHC7 apresentou mudança de regime em 2001, seguido por SAOHC em 2002 e GOHC em 2004 (escala temporal de 8 anos), além de Cananéia em 2002 na escala temporal de 8 anos ($RSSI = -73.50$) e em 2004 na escala temporal de 10 anos ($RSSI = -0.78$). Em 2009, o índice MEI registou mudança de regime para as duas escalas temporais ($RSSI = 0.12$ e $RSSI = 0.05$, para 8 e 10 anos, respectivamente), seguido de Trieste, em 2010, no qual apresentou a segunda e última mudança de regime na sua variância ($RSSI = 1427.37$ na escala temporal de 8 anos, e $RSSI = 1371.84$ na escala temporal de 10 anos). Ainda em 2010, observou-se mudanças de regime nas duas escalas temporais para São Francisco e SAOHC. Em 2012 e 2013, GOHC7 iniciou novamente um regime nas escalas de 10 e 8 anos, respectivamente, além de Mar del Plata em 2013. Dentro deste período, também foi possível observar a mudança de regime com maior valor de $RSSI$ em 2002 para SAOHC ($RSSI = -2.62$) (Tab. 2).

Tabela 2
Ocorrência de mudanças de regime na variância para a escala temporal de 8 e 10 anos entre 1958 à 2013 (com exceção de Cananéia).

			Variância									
			1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015
Cananéia	8 anos	Ano			1976	1985				2002		
		RSSI			-2346.2	2327.2				-73.5		
	10 anos	Ano			1976		1986			2004		
		RSSI			-1313.4		1975.3			-0.8		
Trieste	8 anos	Ano	1967								2010	
		RSSI	-3632.0								1427.4	
	10 anos	Ano	1967								2010	
		RSSI	-3151.2								1371.8	
Mar del Plata	8 anos	Ano	1967	1975								2013
		RSSI	-1306.0	1769.3								-87.0
	10 anos	Ano										2013
		RSSI										-75.5
São Francisco	8 anos	Ano				1982			1998		2010	
		RSSI				217.8			-2291.8		-161.5	
	10 anos	Ano				1982			1998		2010	
		RSSI				517.6			-2404.1		-172.7	
MEI	8 anos	Ano		1971					2000		2009	
		RSSI		0.1					-0.1		0.1	
	10 anos	Ano				1982			1998		2009	
		RSSI				0.1			-0.2		0.05	
SAOHC	8 anos	Ano							2002		2010	
		RSSI							-1.6		-0.5	
	10 anos	Ano							2002		2010	
		RSSI							-2.6		-0.3	
GOHC	8 anos	Ano		1972			1987			2004		
		RSSI		0.1			-0.1			-0.1		
	10 anos	Ano		1972			1987					
		RSSI		0.1			-0.1					
GOHC7	8 anos	Ano	1965							2001		2013
		RSSI	-2.5							-0.3		-0.2
	10 anos	Ano	1965							2001		2012
		RSSI	-1.7							-0.6		-0.2
GLAAM	8 anos	Ano				1981	1989				2010	
		RSSI				0.5	-0.2				-0.1	
	10 anos	Ano				1982	1989				2010	
		RSSI				0.6	-0.1				-0.1	

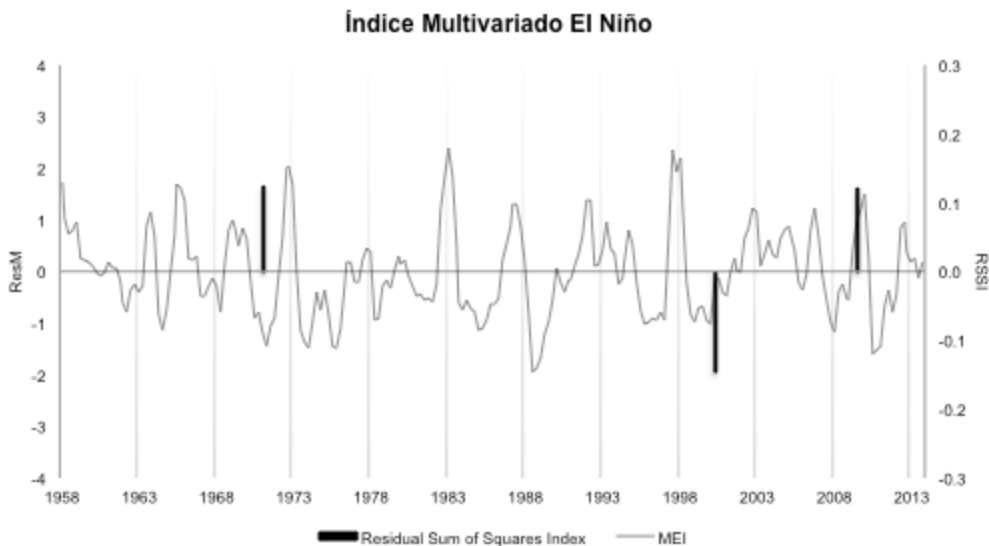


Fig. 5. Mudanças de regime no Índice Multivariado El Niño na variância para a escala temporal de 8 anos através dos resíduos provenientes da média (ResM).

3.4. Correlação

Considerando a correlação dos regimes de MEI com os dos índices e das séries analisados e utilizando correlação nula para $r = 0$ ou próximo de zero, fraca para $0.1 \leq r \leq 0.3$ ($-0.1 \leq r \leq -0.3$), moderada $0.3 \leq r \leq 0.5$ (ou $-0.3 \leq r \leq -0.5$) e forte para $r < 0.5$ (ou $r < -0.5$), na escala temporal de 8 anos a correlação entre os regimes de MEI e SAOHC foram praticamente nulas até 2010 ($r = 0.01$), se tornando positiva entre 2010 e o final da série temporal ($r = 0.53$) (Fig. 7). Os regimes de MEI e GOHC apresentaram correlação negativa entre 1968 e 1973 ($r = -0.50$), alternando para positiva entre 1973 e 1982 ($r = 0.35$), e novamente entre 2010 até o final da série temporal ($r = 0.43$). Para a relação entre os regimes de MEI e GOHC7, notou-se correlação positiva de 1974 a 1998 ($r = 0.37$) e forte correlação negativa de 2010 até 2013 ($r = -0.63$). Já para o regime de GLAAM e MEI, a correlação mostrou-se positivamente alta até 1995 ($r = 0.52$), elevando-se para $r = 0.83$ entre 1995 e 2011, apresentando o maior coeficiente de correlação dentre todas as séries analisadas, e após 2011, forte correlação negativa até o final da série temporal ($r = -0.62$) (Fig. 7). Entre as séries analisadas, os regimes de MEI e de Cananéia não apresentaram correlação em toda a série temporal ($r = 0.04$). Mar del Plata e MEI apresentaram moderada correlação negativa somente entre o período de 1976 a 1987 ($r = -0.37$). Já para a série de São Francisco, a correlação com o MEI demonstrou $r = 0.44$, apresentando moderada correlação positiva. E para Trieste, observou-se correlações negativas entre o início da série temporal até 1963 ($r = -0.35$), aumentando a intensidade da relação linear entre 1992 a 1996 ($r = -0.57$) (Fig. 6).

Analisando-se a escala temporal de 10 anos, a relação linear entre o regime de MEI e o regime de SAOHC foi nula ($r = 0.01$) em toda a série temporal analisada. Para a correlação entre os regimes de MEI e GOHC, observou-se forte correlação negativa somente entre o período de 1997 e 2006 ($r = -0.53$), e para MEI e GOHC7 notou-se somente uma moderada correlação positiva entre 1987 e 1997 ($r = 0.49$). No entanto, entre a correlação dos regimes de MEI e GLAAM observou-se moderada correlação positiva entre 1958 a 1982 ($r = 0.47$), aumentando a intensidade do relacionamento linear entre os índices de 1982 a 2011 ($r = 0.72$), e se tornando fortemente negativa até o fim da série temporal após a mudança de regime em 2011 ($r = -0.71$) (Fig. 9). Já para as séries de NMRM analisadas, a relação entre os regimes de MEI e Cananéia apresentaram fracas correlações, sendo negativa até 1978 ($r = -0.16$) e positiva entre 1978 e 2003 ($r = 0.25$). Para a correlação entre os regimes de Trieste e MEI, observaram-se moderada correlação negativa somente no início da série temporal até 1963 ($r = -0.35$). Para a relação entre os regimes de MEI, Mar de Plata e São Francisco, notou-se o mesmo padrão observado na escala temporal de 8 anos, com moderada correlação negativa apenas durante 1976 e 1987 ($r = -0.37$) para Mar del Plata, e moderada correlação positiva para São Francisco em toda a série temporal ($r = 0.44$) (Fig. 8).

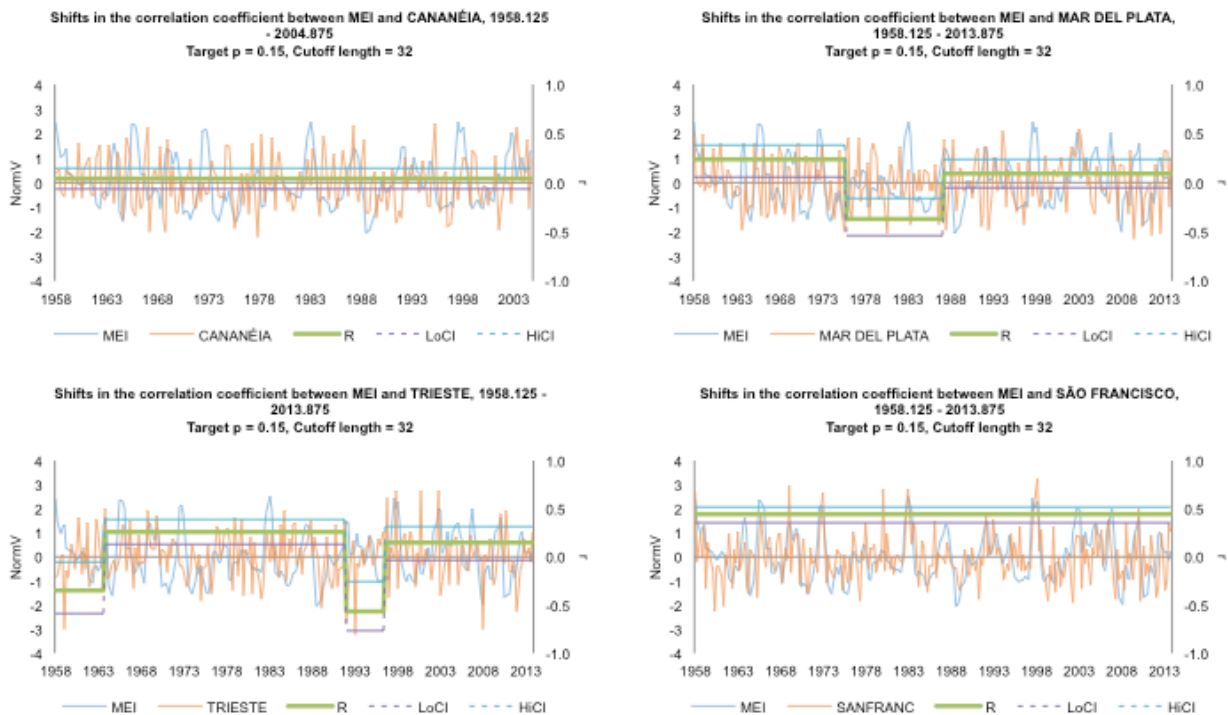


Fig. 6. Correlação entre o regime de MEI com as séries de Cananéia, Mar del Plata, Trieste e São Francisco para a escala temporal de 8 anos, no qual a correlação de Pearson é representada por r , os limites inferiores e superiores são representados por LoCI e HiCI, respectivamente, e através dos resíduos da variância se apresentam normalizados por desvio padrão (NormV).

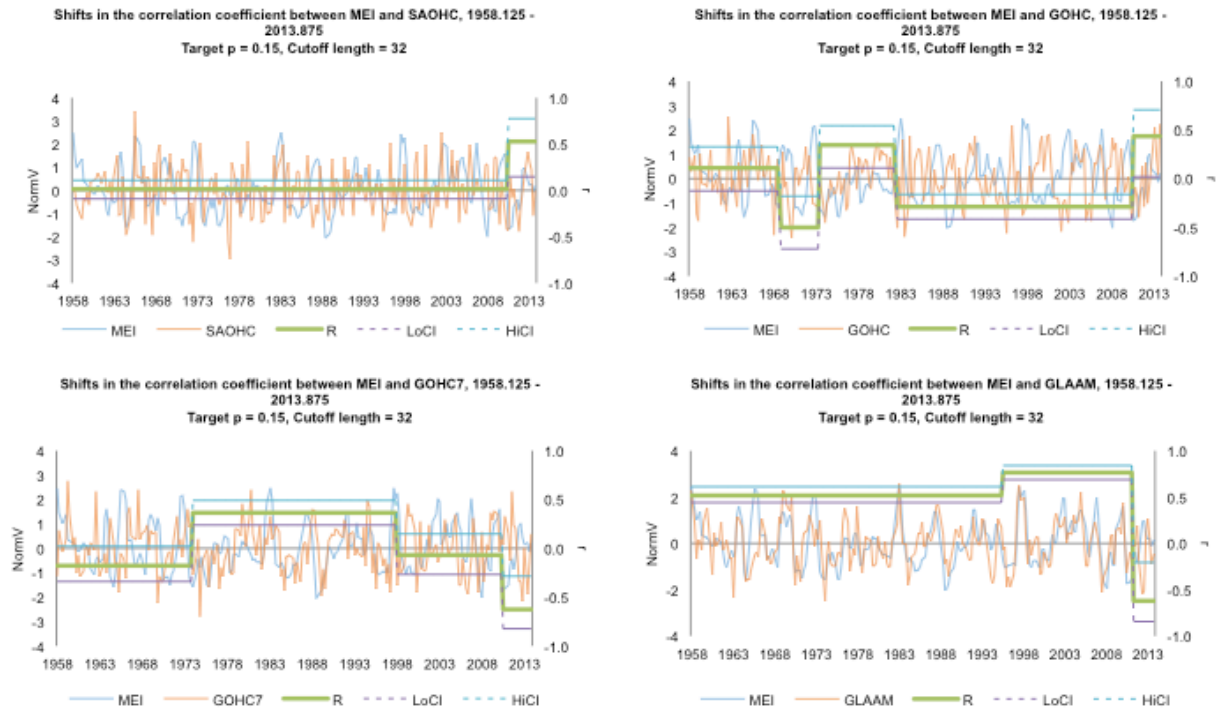


Fig. 7. Correlação entre o regime de MEI e os índices de Conteúdo de Calor do Atlântico Sul, Conteúdo de Calor Global dos Oceanos, Conteúdo de Calor Global dos Oceanos à 700m e Momentum Angular Atmosférico Global para a escala temporal de 8 anos.

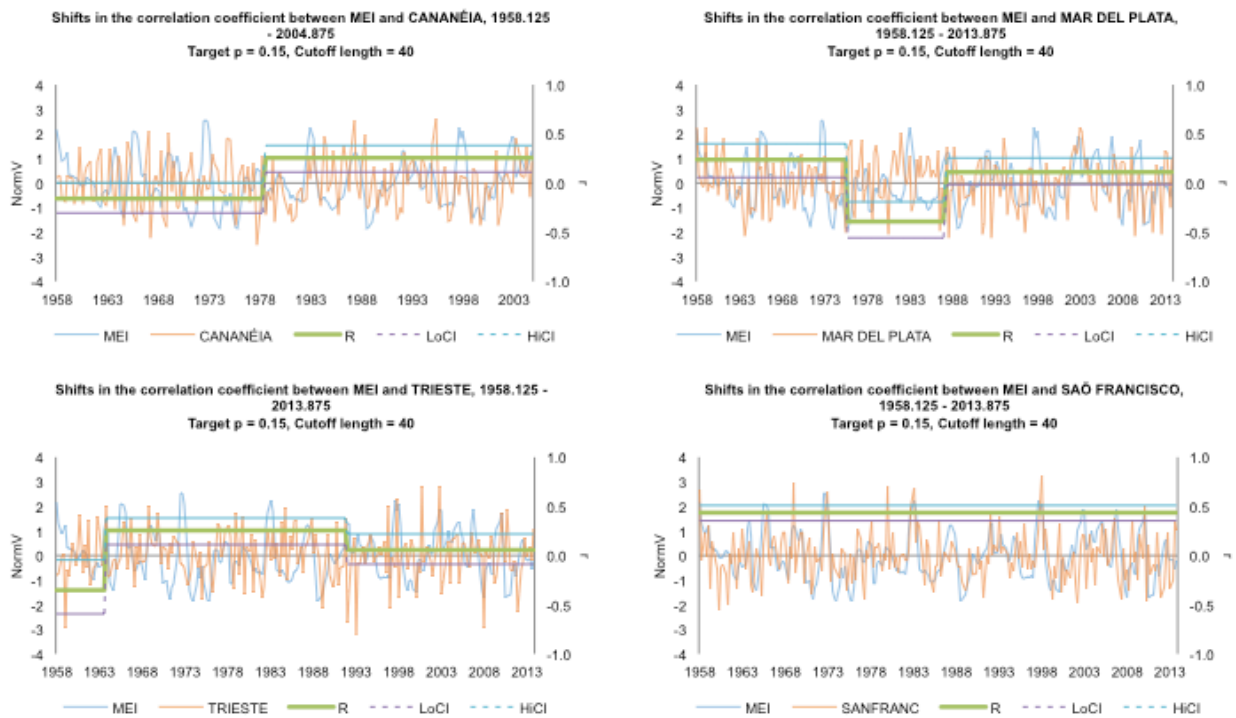


Fig. 8. Correlação entre o regime de MEI com as séries de Cananéia, Mar del Plata, Trieste e São Francisco para a escala temporal de 10 anos.

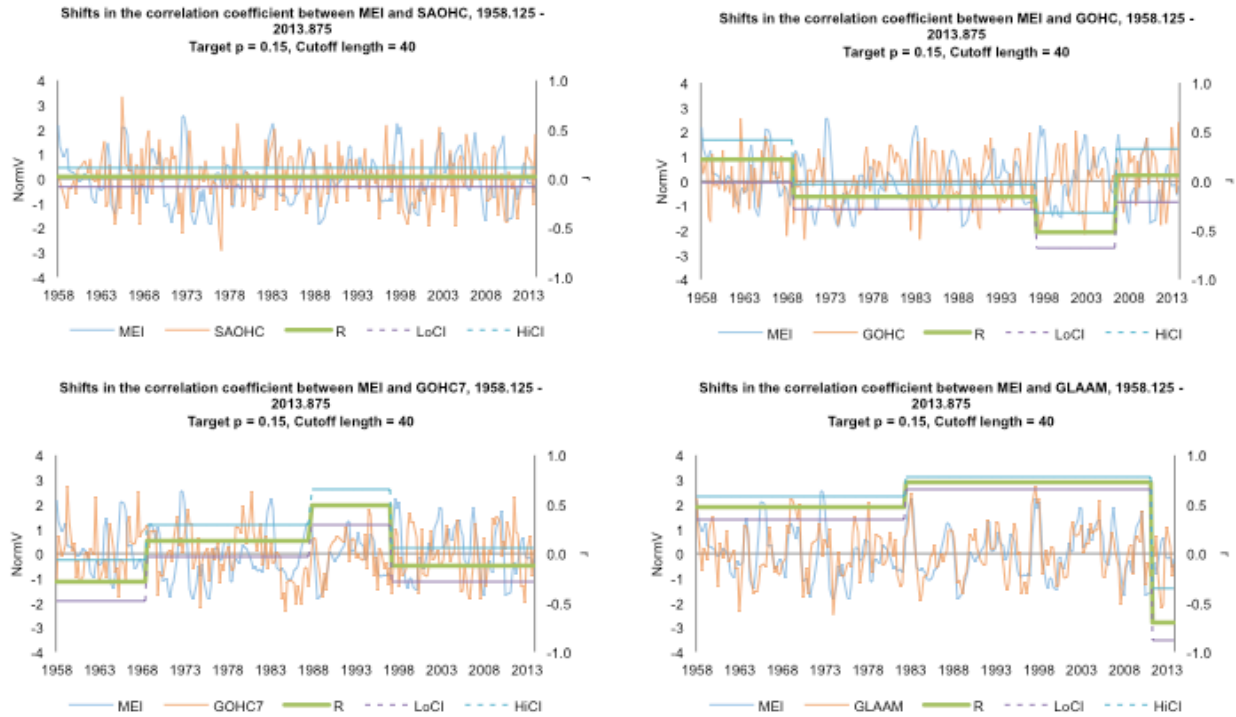


Fig. 9. Correlação entre o regime de MEI e os índices de Conteúdo de Calor do Atlântico Sul, Conteúdo de Calor Global dos Oceanos, Conteúdo de Calor Global dos Oceanos à 700m e Momentum Angular Atmosférico Global para a escala temporal de 10 anos.

4. Discussão

Neste trabalho, que por primeira vez tenta identificar mudanças de regimes de forma global, regional e local de séries temporais de índices oceânicos e atmosféricos, utilizou-se uma metodologia exploratória extensa referente ao parâmetros de nível de significância, escala temporal de interesse e ao parâmetro de Huber para se atingir um padrão analisável.

À princípio, buscou-se um índice que mostrasse, comprovadamente, a ocorrência de mudanças de regime. Assim, selecionou-se o MEI por ser considerado uma forma multivariada de mensurar a intensidade do ENSO ao utilizar seis variáveis observadas no Pacífico Tropical: pressão do mar, componentes zonais e meridionais dos ventos, temperatura de superfície do mar (TSM), temperatura da superfície do ar e nebulosidade (Wolter, Timlin, 1998), e devido aos dois regimes distintos do ENSO no final da década de 70 e 90 (Trenberth et al., 2002), tornando, desta forma, os resultados mais robustos estatisticamente. Somados a isto, o método para identificar mudanças de regime foi aplicado através de um processo iterativo no qual os ajustes dos parâmetros pudessem reproduzir com fidelidade as mudanças de regime no ciclo ENSO.

De um modo geral, para os casos analisados, a mudança de regime nos índices GOHC, GOHC7 e MEI foram precursoras nas mudanças dos regimes de SAOHC, GLAAM e no NMRM nas séries analisadas. GOHC demonstrou alternar seu regime antes dos demais índices e no menor intervalo de tempo: 7-9 anos. Já GOHC7 iniciava um novo regime entre 11 e 15 anos, GLAAM entre 6 e 15 anos, SAOHC entre 7 e 20 anos, e por fim, MEI entre 15-22 anos. Outro ponto observado é que GOHC e GOHC7 demonstraram oscilar em períodos semelhantes, com diferença entre 1 a 3 anos (como em 1964 para GOHC e 1967 para GOHC7, 1987 para GOHC e 1989 para GOHC7 e 2001 para GOHC e 2002 para GOHC7 na média). Em determinados períodos observou-se que GOHC7 iniciou sua mudança de regime antes que GOHC, impossibilitando afirmar em qual profundidade a mudança de regime era capaz de gerar descontinuidades em outros índices e/ou séries.

Ao analisar as séries e índices analisados, observa-se que no final da década de 70 e início da década 90, as mudanças de regime do Conteúdo de Calor Global dos Oceanos em 1973 precedem as descontinuidades nos índices MEI, SAOHC, GLAAM e da série de Cananéia, e em 1994 precedem os índices SAOHC, MEI, GLAAM, e na série de Cananéia e Trieste.

Além disso, notou-se que MEI altera seu regime (1976 e 1998 para a média em ambas as escalas temporais) geralmente após o Conteúdo de Calor Global dos Oceanos iniciar um novo regime, e que embora a mudança de regime em MEI ocorra de forma negativa no final da década de 70, ela precede o início de mudanças de regimes positivas em Cananéia, Mar del Plata e São Francisco. Ainda neste sentido, a mudança de regime observada em MEI no final da década de 90, não precede o novo regime de Cananéia em 2000 (para escala temporal de 8 anos), indicando que Cananéia não poderia ter sido provocada pela descontinuidade de MEI em 1998 na média como no final dos anos 70, e corroborando para a segunda hipótese deste trabalho (caso exista covariações entre duas ou mais mudanças de regime na escala global, as teleconexões poderiam ser a razão para estas variações simultâneas).

E finalmente, retornando-se às hipóteses iniciais: (1) caso existam mudanças de regime simultâneas e/ou moderadamente ou fortemente correlacionadas, então talvez as mudanças de regime poderiam estar associadas a uma mesma origem e seu alcance local, regional ou global poderia ser elucidado; embora não seja possível estabelecer relações de 'causa e efeito' como mencionado inicialmente, ao estabelecer uma tendência linear para as mudanças de regime detectadas, percebe-se mudanças de regime em

índices (por exemplo, GOHC) que antecedem outras descontinuidades. (2) se houver covariações entre duas ou mais mudanças de regime na escala global, as teleconexões poderiam ser a causa para tais variações simultâneas; as correlações lineares entre determinadas mudanças de regime apresentadas neste estudo como estimador estatístico das covariações, indicaram possibilidade de teleconexões, uma vez que bacias oceânicas distintas demonstraram variações simultâneas. No entanto, como dito anteriormente, não foi possível definir relações de ‘causa e efeito’ visto que as correlações não poderiam ser utilizadas para determinar tal afirmação. (3) se as mudanças de regime acontecerem sequencialmente em uma determinada escala temporal, estas não confirmam a relação de ‘causa e efeito’, e sim as descartariam, uma vez que nenhuma ‘causa’ poderia ocorrer após um dado ‘efeito’ (por exemplo, caso uma variável x mude seu regime dinâmico após uma mudança de regime em y , a variável y não poderia ser a razão da variação em x , e, ainda que x fosse uma resposta de y , o método aplicado neste trabalho não permite afirmar tal relação, embora ele auxilie à descartar algumas hipóteses); como exemplo, a mudança de regime em MEI em 1976, após a descontinuidade de GOHC em 1973, ou a mudança de regime em GLAAM após o início do novo regime de GOHC em 1994.

4.1. Índices

As mudanças de regime aqui apresentadas no parâmetro MEI demonstram ser suficientes para prever eventos extremos no ciclo ENSO. O evento de La Niña em 1973 (Kiladis, Diaz, 1989) e o escasso número de ocorrências de La Niña após 1976 descrito por Wolter, Timlin, 1998 poderiam ser justificados pela mudança de regime detectada em 1971 na variância (8 anos). Nitta, Yamada, 1989; Trenberth, 1990; Trenberth, Hoar 1997; Zhang, Levitus, 1997; Trenberth et al., 2002, corroboram a mudança de regime em 1976, e como uma possível resposta à esta descontinuidade tem-se o extremo El Niño de 1982-1983 (Rasmusson, Carpenter, 1982; Wolter & Timlin, 1998). Nesta mesma tendência, o intenso e controverso El Niño de 1997-1998 (Wolter, Timlin, 1998) poderia ter sido uma reação do novo regime detectado em 1998 em MEI, assim como a mudança de regime em 2012 poderia prever futuros eventos extremos relacionados ao ciclo ENSO em 2015 e 2016 (WMO).

Diversos estudos também demonstram o rápido aquecimento dos oceanos localizados no hemisfério sul (Gille, 2002; Palmer et al., 2007; Wijffels et al., 2008) assim como as análises apresentadas. Desde a década de 50, o Atlântico Sul tem apresentado aquecimento em suas águas (Levitus et al., 2000), porém, correlações entre a variabilidade do Atlântico Sul, e consequentemente relações com as mudanças de regime encontradas no presente estudo se tornam limitadas devido à escassez de trabalhos que permitam confiança na sua interpretação (Palastanga et al., 2002).

As observações do Conteúdo de Calor Global dos Oceanos evidenciam a variação interanual e inter-decadal à longo prazo e um aquecimento global dos oceanos nos últimos 50 anos (Levitus et al., 2000). Entre os anos de 1961-2003, o início da década de 90 apresentou as taxas mais elevadas referentes ao aquecimento dos oceanos, e um decréscimo a partir de 2003 (Bindoff et al., 2007).

Tal tendência também pôde ser observada nas descontinuidades analisadas. Considerando-se GOHC e GOHC7, as mudanças de regime nos anos de 1964 para GOHC e 1967 para GOHC7 (para a média na escala de 8 anos nos dois parâmetros), e 1965 em GOHC7 (para a escala de 10 anos na variância) poderiam ser precursoras da tendência linear crescente mencionada por Levitus et al., 2009 no ano de 1968 para os oceanos Índico e Pacífico, assim como o aquecimento dos oceanos no início da década de 70 (Levitus et al., 2000). Neste sentido, a elevada mudança de regime na média em valores positivos e na variância, detectada em 1987 para GOHC e 1989 para GOHC7 (para a média) em ambas as escalas temporais, corroboram o aquecimento nos oceanos no final da década de 80 e início da década de 90 (Nerem et al., 1999), assim como as mudanças de regime observadas em 2001 e 2002 (na média) aparentam iniciar a redução de calor, em 2005, nos oceanos Atlântico e Pacífico (Levitus et al., 2009; Bindoff et al., 2007).

Por fim, analisando GLAAM nas escalas temporais de 8 e 10 anos para a média, este parece ter maior influência do Conteúdo de Calor (considerando tanto GOHC e GOHC7) em um intervalo de 3-4 anos, embora Viron et al., 2001 sugira intensa relação interanual entre o ciclo ENSO e o Momentum Angular Atmosférico Global. Ainda que negativo, o maior *RSI* indicado por GLAAM ocorreu em 1998 e após a mudança de regime de GOHC.

4.2. NMRM e Correlação

As mudanças de regime no NMRM em Cananéia e com exceção de 1982, ocorreram principalmente após MEI iniciar novo regime nos anos de 1976 e 1998. Mar del Plata, por sua vez, demonstrou alterar seu regime após eventos de MEI, GOHC, GOHC7, SAOHC e GLAAM, dificultando estabelecer apenas um ou dois índices como agente(s) responsável(s) das suas variações. Para a correlação de ambas as séries observadas, esperava-se que o regime de MEI com as séries de Cananéia e Mar del Plata, em ambas as escalas temporais, fossem melhor correlacionadas por se localizarem em regiões significativamente influenciadas pelo Rio de la Plata (Piola et al., 2005; Raicich, 2008) e pelo ciclo ENSO (Ropelewski, Halpert, 1987; 1989 Grimm et al., 2000; Raicich, 2008bar; Barreiro, 2010). Os primeiros estudos sobre a influência de eventos de El Niño e La Niña na região sul da América do Sul foram realizados por Ropelewski, Halpert, 1987 e Ropelewski, Halpert, 1989, respectivamente. Porém, esta relação entre o ciclo ENSO e o sul da América do Sul pôde ser encontrada na correlação entre os regimes de Mar del Plata e MEI para ambas as escalas temporais somente nos anos de 1976 à 1987.

Em relação ao NMRM de São Francisco, seu regime alterou em 1981 após um combinado de eventos de MEI (1976), SAOHC (1977) e GLAAM (1977). No entanto, quando este arranjo de eventos ocorreu novamente em 1998, foi observado que o NMRM de São Francisco não mudou de regime, iniciando uma nova descontinuidade somente no final da série temporal em 2013. Para a correlação entre os regimes de MEI e São Francisco, observou-se alta correlação positiva nas duas escalas temporais, que reproduzem, por outra metodologia, os resultados de estudos prévios no qual se relaciona o ciclo ENSO com eventos de severas chuvas no estado da Califórnia nos Estados Unidos da América (Schonher, Nicholson, 1989; McCabe & Dettinger, 1999).

Estudos referentes ao NMRM do Mar Mediterrâneo entre 1960 e 1994, apontam reduções do NMRM devido ao aumento de pressão atmosférica na região (Tsimplis, Josey, 2001), o que é provavelmente indicado neste trabalho com a mudança de regime encontrada em Trieste somente em 1995 e o aumento de descontinuidades após mudanças de regimes em GOHC, GOHC7 e SAOHC na década de 00.

Referente à correlação entre os regimes de MEI e SAOHC, observou-se baixa correlação até 2010 em ambas as escalas temporais, embora se esperasse maior relação entre ambos por observações de mudanças de regime em períodos similares e estudos prévios

descreverem influência de ENSO sobre o oceano Atlântico Sul (Grimm et al., 2000; Colberg, Reason, 2004; Boers, et al., 2014; Raicich, 2008). Desta forma, as oscilações do Conteúdo de Calor do Atlântico Sul parecem sofrer maior influência de outros fenômenos, ainda desconhecidos, na variação do conteúdo de calor na região do Atlântico Sul. No entanto, como mencionado anteriormente, possíveis relações se tornam limitadas devido à falta de trabalhos referentes ao Oceano Atlântico, em especial à região Sul.

Para a relação entre os regimes de MEI, GOHC e GOHC7, esperava-se maior correlação entre as séries analisadas devido a relação do ciclo ENSO e o Conteúdo de Calor dos Oceanos (Trenberth et al., 2002; McPhaden, 2003; Levitus et al., 2012), e por GOHC e GOHC7 aparentarem influenciarem nas mudanças de regime de MEI na média e na variância.

Por fim, para MEI e GLAAM, as análises observadas apontaram altas correlações entre estes dois índices, demonstrando que o ciclo ENSO e o Momentum Angular Atmosférico Global possuem intensa relação interanual como previsto por Viron et al., 2001, gerando altos valores em GLAAM em períodos de El Niño (Rosen et al., 1984; Dickey et al., 1993) e baixos valores em períodos de La Niña (Mo et al., 1997).

5. Conclusão

Como conclusão, o presente estudo destacou-se por identificar, pela primeira vez, a influência de mudanças de regime em escalas globais e regionais no nível relativo médio do mar em diversas bacias oceânicas.

Analisando-se as correlações entre os regimes de MEI e os demais índices, esperava-se encontrar correlações significativas (positiva ou negativa) para a relação do regime de MEI com GOHC e GOHC7, assim como detectado entre as correlações do regime de MEI com São Francisco e GLAAM, que apresentaram elevadas correlações nas análises, confirmando estudos de outros autores (Rosen et al., 1984; Schonher, Nicholson, 1989; Dickey et al., 1993, Mo et al., 1997; McCabe & Dettinger, 1999; Viron et al., 2001). O presente trabalho também apresentou evidências de que as correlações entre o regime de MEI com SAOHC, Cananéia e Mar del Plata demonstraram-se praticamente nulas e com baixas correlações nas séries observadas (principalmente até o ano de 2010 para SAOHC na escala temporal de 8 anos), indicando a possibilidade de que outros fenômenos possam influenciar mais intensamente as variações do NMRM e do conteúdo de calor na região Sul do Oceano Atlântico.

O número de mudanças de regime na escala temporal de 8 anos foi maior do que na escala temporal de 10 anos, como esperado e conforme as Tabelas 1 e 2, já que quanto menor a escala temporal, maior o número de mudanças de regime deveriam ser detectadas. No final das séries temporais analisadas, também notou-se um maior número de mudanças de regime detectadas. Embora o desenvolvedor do método *SRS*D enfatize a eficiência da análise no final da série temporal, sugere-se aqui cautela para interpretação dos resultados obtidos após o ano de 2010, uma vez que o método poderia apresentar diminuição na capacidade de análise no fim da série temporal. Ainda como sugestão, este trabalho recomenda análises futuras envolvendo outros parâmetros atmosféricos, visto que no presente estudo somente o Momentum Angular Atmosférico Global foi analisado, além de análises envolvendo correlações do Conteúdo de Calor Global dos Oceanos com as séries e índices analisados, uma vez que GOHC apresentou o maior número de mudanças de regime ao longo de toda a série temporal. Também foram apresentadas situações distintas até o final da década de 70, no final da década de 80 e início da década de 90, e na década de 00, que demonstraram necessitar de estudos posteriores e específicos para melhor compreensão sobre mudanças de regime.

6. Agradecimentos

Gostaria de agradecer Fábio Raicich (ISMAR – Trieste, Itália) por sugerir o uso e disponibilizar os dados do Momentum Angular Atmosférico Global; Renzo Mosetti (INOGS – Trieste, Itália) por sugerir estudos futuros utilizando a Análise de Componente Principal; Eduardo Marone pela maravilhosa orientação; Eliandro Ronael Gilbert (CEM – Pontal do Paraná, Brasil) pela paciência, grande colaboração estatística e gráfica; Guilherme Cruz (CEM – Pontal do Paraná, Brasil) por confeccionar os mapas deste trabalho; PIBIC-CNPq pela bolsa de Iniciação Científica; CAPES pela bolsa do Ciência sem Fronteiras ofertado para Austrália; Laboratório de Física Marinha (CEM - UFPR), Coordenação e Direção do Centro de Estudos do Mar (UFPR), familiares, amigos, e todos os envolvidos na elaboração deste trabalho.

7. Referências

- Beamish, R.J., Noakes, D.J., McFarlane, G. a, Klyashtorin, L., Ivanov, V. V, Kurashov, V., 1999. The regime concept and natural trends in the production of Pacific salmon. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56:516–526. doi:10.1139/f98-200.
- Beamish, R.J., McFarlane, G.A. and King, J.R., 2000. Fisheries climatology: understanding decadal scale processes that naturally regulate British Columbia fish populations. *Fisheries Oceanography: an Integrative Approach to Fisheries Ecology and Management*, pp.94-145.
- Becker, M., Meyssignac, B., Letetrel, C., Llovel, W., Cazenave, A., Delcroix, T., 2012. Sea level variations at tropical Pacific islands since 1950. *Glob. Planet. Change* 80-81, 85–98. doi:10.1016/j.gloplacha.2011.09.004
- Bindoff, N.L., Willebrand, J., Artale, V., Cazenave, A., Gregory, J.M., Gulev, S., Hanawa, K., Le Quere, C., Levitus, S., Nojiri, Y., Shum, C.K., Talley, L.D., Unnikrishnan, A.S., 2007. Observations: oceanic climate change and sea level. *Changes AR4*:385–432.
- Boers, N., Donner, R. V., Bookhagen, B., Kurths, J., 2014. Complex network analysis helps to identify impacts of the El Niño Southern Oscillation on moisture divergence in South America. *Clim. Dyn.* 45:619–632. doi:10.1007/s00382-014-2265-7.
- Cazenave, A., Henry, O., Munier, S., Delcroix, T., Gordon, A.L., Meyssignac, B., Llovel, W., Palanisamy, H., Becker, M., 2012. Estimating ENSO influence on the global mean sea level, 1993-2010. *Marine Geodesy.* 35(1): 82-97. doi:10.1080/01490419.2012.718209.
- Colberg, F., Reason, C.J.C., Rodgers, K., 2004. South Atlantic response to El Niño-Southern Oscillation induced climate variability in an ocean general circulation model. *Journal of Geophysical Research.* 109:1-14. doi:10.1029/2004JC002301.
- Dickey, J.O., Marcus, S.L., Eubanks, T.M., Hide, R., 1993. Climate studies via space geodesy: Relationships between ENSO and interannual length-of-day variation. *Interactions Between Global Climate Subsystems, The Legacy of Hann, IUGG.* 15:141-155.
- Gille, S.T., 2002. Warming of the Southern Ocean since the 1950s. *Science.* 295:1275–1277. doi:10.1126/science.1065863.
- Grimm, A.M., Barros, V.R., Doyle, M.E., 2000. Climate Variability in Southern South America Associated with El Niño and La Niña Events. *J Clim.* 13:35–58. doi: http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<0035:CVISSA>2.0.CO;2
- Haddad, M., Taibi, H., Mohammed, S., Arezki, M., 2013. On the recent global mean sea level changes: Trend extraction El Niño. *Comptes Rendus Geoscience.* 345:167–175.
- Hare, R.M. and Mantua, N.J., 2000. Empirical evidence for North Pacific regime in 1977 and 1989. *Progress in Oceanography.* 47:103-145.
- Kao, H.-Y., Yu, J.-Y., 2009. Contrasting Eastern-Pacific and Central-Pacific Types of ENSO. *J. Clim.* 22:615-632. doi:10.1175/2008JCLI2309.1
- Kendall, M. G., 1954. Note on bias in the estimation of autocorrelation. *Biometrika.* 41:403–404.
- Kerr, R. a, 1992. Unmasking a shifty climate system. *Science.* 255:1508–1510. doi:10.1126/science.255.5051.1508.
- Kiladis, G.N., Diaz, H.F., 1989. Global climatic anomalies with extremes in the Southern Oscillation. *Journal of Climate.* 2: 1069-1090.
- Kraberg, A.C., Wasmund, N., Vanaverbeke, J., Schiedek, D., Wiltshire, K.H., Mieszkowska, N., 2011. Regime shifts in the marine environment: The scientific basis and political context. *Mar. Pollut. Bull.* 62:7–20. doi:10.1016/j.marpolbul.2010.09.010.
- Larkin, N.K. and Harrison, D.E., 2005. On the definition of El Niño and associated seasonal average U.S. weather anomalies. *Geophys. Res. Lett.* 32. doi:10.1029/2005GL022738.
- Levitus, S., Antonov, J.I., Boyer, T.P., Stephens, C., 2000. Warming of the World Ocean. *Science, New Series.* 287(5461):2225-2229.
- Levitus, S., Antonov, J.I., Boyer, T.P., Locarnini, R.A., Garcia, H.E., Mishonov, A. V, 2009. Global ocean heat content 1955 – 2008 in light of recently revealed instrumentation problems. *36*:1–5. doi:10.1029/2008GL037155.
- Levitus, S., Antonov, J.I., Boyer, T.P., Baranova, O.K., Garcia, H.E., Locarnini, R.A., Mishonov, A. V, Reagan, J.R., Seidov, D., Yarosh, E.S., Zweng, M.M., 2012. World ocean heat content and thermosteric sea level change (0 – 2000 m), 1955–2010. *Geophysical Research Letters.* 39:1–5. doi:10.1029/2012GL051106.
- Mccabe, G.J., Dettinger, M.D., 1999. Decadal variations in the strength of ENSO teleconnections with precipitation in the western United States. *Int. J. Climatol.* 19:1399–1410. doi:10.1002/(SICI)1097-0088(19991115)19:13<1399::AID-JOC457>3.0.CO;2-A
- Mcphaden, M.J., 2003. Tropical Pacific Ocean heat content variations and ENSO persistence barriers. *30*:1995–1998. doi:10.1029/2003GL016872.

- Mantua, N.J., Hare, S.R., Zhang, Y., Wallace, J.M., Francis, R.C., 1997. A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 78:1069–1079. doi:10.1175/1520-0477(1997)078<1069:APICOW>2.0.CO;2.
- Marriott, F.H.C. and Pope, J. A., 1954. Bias in the estimation of autocorrelations. *Biometrika*, 41, 390–402.
- Mo, K.C., Dickey, J.O., Marcus, S. L., 1997. Interannual fluctuations in atmospheric angular momentum simulated by the National Centers for Environmental Prediction medium range forecast model. *J. Geophys. Res.-Atmos.* 102:6703-6713.
- Nerem, R.S., Chambers, D.P., Leuliette, E.W., Mitchum, G.T., Giese, B.S., 1999. Variations in global mean sea level associated with the 1997-1998 ENSO event: Implications for measuring long term sea level change. *Geophysical Research Letters.* 26(19):3005-3008.
- Nerem, R.S., Chambers, D. P., Choe, C., Mitchum, G.T., 2010. Estimating mean sea level change from the TOPEX and Jason altimeter missions, *Mar. Geod.* 33(1): 435–446. doi:10.1080/01490419.2010.491031.
- Niita, T. and Yamada, S., 1989. Recent warming of tropical sea surface temperature and its relationship to the Northern Hemisphere circulation. *Journal of the Meteorological Society of Japan.* 67:375-383.
- Palastanga, V. S., Vera, C. S., Piola, A.R., 2002. On the leading modes of sea surface temperature variability on the South Atlantic Ocean. *CLI-VAR Exchanges.* 7(3–4):12–15.
- Palmer, M. D., Haines, K., Tett, S. F. B., Ansell, T. J., 2007. Isolating the signal of ocean global warming. *Geophys. Res. Lett.* 34. doi:10.1029/2007GL031712.
- Raich, F., 2008. A review of sea level observations and low frequency sea-level variability in South Atlantic. *Phys. Chem. Earth.* 33:239–249. doi:10.1016/j.pce.2007.04.001.
- Rasmusson, E.M. and Carpenter T.H., 1982. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Monthly Weather Review.* 110:354-384.
- Rodionov, S.N., 2004. A sequential algorithm for testing climate regime shifts. *Geophys. Res. Lett.* 31:2–5. doi:10.1029/2004GL019448.
- Rodionov, S.N., and Overland, J. E., 2005. Application of a sequential regime shift detection method to the Bering Sea ecosystem. *ICES Journal of Marine Science.* 62: 328-332.
- Rodionov, S.N., 2006. Use of prewhitening in climate regime shift detection. *Geophys. Res. Lett.* 33:1-4. doi:10.1029/2006GL025904.
- Rodionov, S.N., 2015. A sequential method of detecting abrupt changes in the correlation coefficient and its application to Bering Sea Climate. 3:474-491. doi:10.3390/cli3030474.
- Ropelewski, C.F., Halpert, M.S., 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Monthly Weather Review.* 115:1606-1626.
- Ropelewski, C.F., Halpert, M.S., 1989. Precipitation patterns associated with the high index phase of the Southern Oscillation. *Monthly Weather Review.* 2:268-284.
- Rosen R.D., Salstein, D.A., Eubanks, T.M., Dickey, J.O., Steppe, J.A., 1984. An El Niño signal in atmospheric angular momentum and earth rotation. *Science.* 225:411-414.
- Schonher, T., Nicholson, S.E., 1989. The relationship between California rainfall and ENSO events. *Journal of Climate.* 2:1258-1269.
- Tsimplis, M. N., and Josey, S. A., 2001. Forcing of the Mediterranean Sea by atmospheric oscillations over the North Atlantic, *Geophys. Res. Lett.* 28(5):803–806.
- Trenberth, K.E., 1990. Recent observed interdecadal climate changes in the Northern Hemisphere. *Bulletin American Meteorological Society.* 71(7):988-993.