



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR  
GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

**TIFANNY KÉSSIA FERREIRA DO NASCIMENTO**

**VARIAÇÕES DE LONGO PRAZO NO REGIME DE ONDAS AO LONGO DO LITORAL  
BRASILEIRO**

**FORTALEZA  
2020**

TIFANNY KÉSSIA FERREIRA DO NASCIMENTO

VARIAÇÕES DE LONGO PRAZO NO REGIME DE ONDAS AO LONGO DO LITORAL  
BRASILEIRO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR da Universidade Federal do Ceará, como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Peres  
Teixeira.

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

N199v Nascimento, Tiffany Késsia Ferreira do.

VARIAÇÕES DE LONGO PRAZO NO REGIME DE ONDAS AO LONGO DO LITORAL  
BRASILEIRO / Tiffany Késsia Ferreira do Nascimento. – 2020.  
45 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto  
de Ciências do Mar, Curso de Oceanografia, Fortaleza, 2020.  
Orientação: Prof. Dr. Carlos Eduardo Peres Teixeira.

1. WaveWatch 3. 2. Clima de ondas. 3. Swell. I. Título.

CDD 551.46

---

TIFANNY KÉSSIA FERREIRA DO NASCIMENTO

VARIAÇÕES DE LONGO PRAZO NO REGIME DE ONDAS AO LONGO DO LITORAL  
BRASILEIRO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR da Universidade Federal do Ceará, como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Peres Teixeira.

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Carlos Eduardo Peres Teixeira (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dra. Bárbara Pereira Paiva  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Msc. Francisco Rafael de Lima Xavier  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais, Eudeni e Edson, pelo apoio.

Amo vocês!

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Carlos Eduardo Peres Teixeira por ter aceitado me orientar, por ter me dado todo suporte necessário, pelo conhecimento e paciência.

A banca examinadora, Rafael Xavier e Bárbara Paiva.

À Universidade Federal do Ceará e todos técnicos e servidores do Labomar que de algum modo contribuíram para a elaboração dessa pesquisa.

Aos colegas e amigos do LOF, Caio Erick, Rafael Xavier e Gustavo Leitão pela paciência e em me aturar nas dificuldades do trabalho (haha).

Aos amigos que fiz durante a graduação, Bruna Letícia (Brubs), Caio Erick, José Carlos, Eveline Costa (Evetop), Isaías da Câmara, Mariana Rodrigues e Kevin Samuel, por todo apoio e motivação. Obrigada por ajudarem nos momentos de tensão, é sempre bom ter alguém nem que seja para surtar juntos. Vocês são incríveis!

Aos meus irmãos, Lorena e Kaio por sempre me lembrarem de fazer o tcc de uma forma bem carinhosa (possui ironia).

À minha cachorra Lessie, por estar sempre comigo enquanto fazia esse trabalhinho.

E por último, mas não menos importante, agradeço a mim, por ter conseguido terminar esse trabalho!

“O oceano nos deu a vida, está na hora da gente retornar o favor.”

Sylvia Earle, oceanógrafa.

## RESUMO

O regime de ondas é caracterizado por diferentes processos que determinam os movimentos das ondas. O entendimento do mesmo é fundamental para estudos e análises de alterações morfodinâmicas na linha de costa, impactos na biota, atividades marítimas, entre outras. O presente estudo tem como objetivo analisar as variações de longo prazo que ocorrem no regime das ondas ao largo do litoral Brasileiro. Para isso foram analisadas as variáveis que determinam o regime dessas ondas, ou seja, a altura significativa, o período da onda e direção das ondas, analisamos 40 anos de dados de ondas provenientes do modelo WaveWatch III, o litoral foi dividido em seis pontos estratégicos, divididos em setores Sul, Sudeste, Central, Leste, Nordeste e Norte. Os dados foram obtidos em intervalos de três horas. Realizamos médias anuais para cada um dos dados em cada setor, a partir disso, foi possível plotar a linha de tendência, através da regressão linear dos dados, permitindo a análise das mudanças ocorridas na série temporal estudada. Pudemos observar uma tendência positiva na altura média das ondas, sendo mais significativas para os setores Sudeste, com 0.4%, e Central, com 4.2%, durante o período analisado. O período das ondas tende a diminuir ao longo da climatologia observada em todos os pontos, com uma diminuição maior nos setores Sul, Sudeste e Central, correspondendo às tendências de 4%, 5.1% e 4.9%. A direção média das ondas variou significativamente em todos os setores. O setor Nordeste mostrou maiores variações com 7.8% na direção das ondas. E menores variações no setor Sul com 0.8% nos anos analisados. A altura das ondas de swell tendem a aumentar em todos os setores durante a climatologia estudada. Com alturas médias máximas de 3,0 m no setor Sul e mínimas de 1,7 m nos setores Leste e Nordeste. Já as ondas de sea obtiveram maiores variações ao longo dos 40 anos no setor Central. A porcentagem de ocorrência das ondas de swell diminuiu nos setores Sul, Sudeste e Central, já para os setores Leste, Norte e Nordeste houve um aumento no swell. Concluindo que as ondas apresentaram variações durante a climatologia analisada.

**Palavras-chave:** WaveWatch 3, Clima de ondas, Swell.

## ABSTRACT

The wave regime is characterized by different processes that determine the movements of the waves. Understanding it is essential for studies and analysis of morphodynamic changes on the coastline, impacts on biota, maritime activities, among others. The present study aims to analyze the long-term variations that occur in the wave regime off the Brazilian coast. For that, they were analyzed as variables that determine the regime of these waves, that is, the height decreases, the wave period and wave direction, we analyzed 40 years of wave data from the WaveWatch III model, the coast was divided into six strategic points, divided into South, Southeast, Center, East, Northeast and North sectors. The data were obtained at three-hour intervals. We performed annual averages for each of the data in each sector, from that, it was possible to plot the trend line, through the linear regression of the data, allowing the analysis of the changes occurred in the studied time series. We were able to observe a positive trend in the increase of the average wave height, being more significant for the Southeast sectors with 04% and Central with 4.2%, during the analyzed period. The wave period tends to decrease over the climatology observed in all points, with a greater fall in the South, Southeast and Center sectors, corresponding to the trends of 4%, 5.1% and 4.9%. The average direction of the waves varied significantly in all sectors. The average direction of the waves varied to complete in all sectors. The Northeast sector had large variations with 7.8% in the direction of the waves. And smaller variations in the South sector with 0.8% in the promotion years. The height of the swell waves tends to increase in all sectors during the studied climatology. With maximum average heights of 3.0 m in the South sector and minimum of 1.7 m in the East and Northeast sectors. Sea waves, on the other hand, had greater variations over the 40 years in the Central sector. The percentage of occurrence of swell waves decreased in the South, Southeast and Central sectors, whereas for the East, North and Northeast sectors there was an increase in the swell. Concluding that the waves dissipated during the analyzed climatology.

**Keywords:** WaveWatch 3, Wave climate, Swell.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Mapa dos seis setores (pontos) ao longo da costa brasileira, onde foi realizada as coletas dos dados de ondas. 18
- Figura 2** - Médias anuais das alturas significativas para todos os setores entre 1979 e 2018. A linha preta denota a linha de tendência dos dados. O número à frente da denominação dos pontos denota a tendência acumulada no período. Dados em metros. 22
- Figura 3** - Médias anuais do período da onda para todos os setores entre 1979 e 2018. A linha preta denota a linha de tendência dos dados. O número à frente da denominação dos pontos denota a tendência acumulada no período. Dados em segundos. 25
- Figura 4** - Médias anuais das direções de ondas para todos os setores entre 1979 e 2018. A linha preta denota a linha de tendência dos dados. O número à frente da denominação dos pontos, denota a tendência acumulada no período. Dados em grau. 28
- Figura 5** - Médias anuais da altura das ondas de swell para todos os setores entre 1979 e 2018. A linha preta denota a linha de tendência dos dados. O número à frente da denominação dos pontos, denota a tendência acumulada no período. Dados em metro. 31
- Figura 6** - Médias anuais da altura das ondas de sea para todos os setores entre 1979 e 2018. A linha preta denota a linha de tendência dos dados. O número à frente da denominação dos pontos, denota a tendência acumulada no período. Dados em metro. 34
- Figura 7** - Médias anuais da porcentagem de ocorrência das ondas de swell para todos os setores entre 1979 e 2018. A linha preta denota a linha de tendência dos dados. O número à frente da denominação dos pontos, denota a tendência acumulada no período. Dados em porcentagem. 37

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1** - Coordenadas das localizações de cada setor, que corresponde aos pontos analisados durante o trabalho e suas respectivas profundidades em metros. 17

**Tabela 2** - Dados obtidos a partir do modelo WaveWatch 3. 20

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>DIRE</b>	Direção média da onda.
<b>ENE</b>	Leste-Nordeste.
<b>ESE</b>	Leste-Sudeste.
<b>HS</b>	Altura Significativa da onda.
<b>NOAA</b>	National Oceanic and Atmospheric Administration.
<b>NWS</b>	National Weather Service.
<b>SSE</b>	Sul-Sudeste.
<b>TP</b>	Período médio das ondas primárias.
<b>WWW3</b>	WaveWatch III.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	12
2.1 Objetivo geral	15
2.2 Objetivos específicos	15
<b>3. METODOLOGIA</b>	16
3.1. Área de estudo	16
3.2. Modelo	18
3.3. Dados	20
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	21
4.1. Análise das ondas na área de estudo	21
4.1.1 Altura significativa	21
4.1.2. Período da Onda	24
4.1.3. Direção da Onda	27
4.1.4. Análise da altura e porcentagem de ocorrência de ondas tipo <i>Sea e Swell</i> para os pontos analisado.	30
<b>5. CONCLUSÃO</b>	40

## 1. INTRODUÇÃO

As ondas são geralmente originadas por uma perturbação oscilante, ocasionadas em seu meio. Para que ocorra a geração e propagação de ondas em um meio são necessários basicamente três critérios, a velocidade do vento, duração e pista da onda. O vento sopra sobre uma superfície que é denominada pista de vento, quanto maior a duração e intensidade do vento, maior será a ondulação gerada na superfície.

As ondas podem ser classificadas quanto ao período por vaga (sea) e marulho (swell). De acordo com Oleinik, Marques e Kirinus (2016) as vagas não possuem muita energia, pois são formadas por ventos locais, essa energia é logo dissipada pela tensão de superfície do mar e pela gravidade. Já o marulho é produto de ventos distantes, mais fortes e que duram mais tempo, portanto possuem uma maior quantidade de energia e podem percorrer longas distâncias antes de serem dissipadas.

As ondas influenciam na prática de atividades marítimas tanto de lazer como em atividades profissionais como na navegação e pesca, pois as mesmas dependem de condições favoráveis de tempo, quando muito agitadas ou muito calmas podem impedir a execução dessas práticas. O monitoramento de dados de ondas se torna indispensável para atividades petroleiras, segundo Simões (2017) o estado de mar influencia na operação de escoamento de petróleo offshore, sendo necessário coletar dados através das ocorrências de alturas de ondas que representam este estado de mar.

Com relação à influência das ondas na geologia costeira, Silva et al. (2001) defendem que os padrões de dispersão de sedimentos e a distribuição de energia da onda ao longo da costa contribuem para a previsão de possíveis mudanças na configuração da linha de costa, evitando, ou minimizando as perdas físicas e econômicas. De acordo com Tessler e Goya (2005), a dinâmica dos processos de erosão e acúmulo de sedimentos na zona costeira é consequência da energia das ondas e da intensidade e ocorrência das tempestades. A geomorfologia da praia está ligada diretamente com a intensidade das ondas, pois são responsáveis por transportar o sedimento do local, podendo causar erosão. Muehe (2006) menciona que a concentração da energia das ondas devido ao efeito da refração da topografia resulta na ocorrência da erosão acentuada em trechos de arcos praias.

Assim, fica clara a importância de conhecer as variáveis que influenciam o regime de ondas e sua variabilidade, que são fundamentais para entender o comportamento da morfodinâmica de um local. A partir disso, surge um melhor entendimento dos processos costeiros naturais e antrópicos, por exemplo, erosão praial, transporte de sedimentos, impactos na biota, obras costeiras, entre outros.

As mudanças climáticas globais referem-se a variações do clima em escala global ou em escala regional em longa escalas temporais e atualmente são discutidas como um dos principais problemas para o mundo. Andrade e Costa (2008) afirmam que após a Revolução Industrial a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera teve um crescimento de 30%, a temperatura aumentou entre 0,3 e 0,6 °C no Século XX. Segundo Marengo (2001), os efeitos do aquecimento podem diferir para cada região, podendo incluir mudanças na variabilidade do clima e na frequência e intensidade de eventos extremos.

O vento é uma das variáveis que vem sofrendo alterações devido à mudança climática. De acordo com o IPCC (2007), variações climáticas globais, como El Niño e Oscilação do Atlântico Norte/Sul estão ocorrendo ao mesmo tempo que o clima está mudando, afetando sistemas naturais e gerenciados. Como o vento atua na geração das ondas, as mesmas também podem sofrer alterações significativas ao longo do tempo. Contudo, estudos realizados por Meucci et. al (2020) dizem que as tendências de altura de onda do modelo podem diferir significativamente das estimativas de tendência de velocidade do vento.

As mudanças climáticas causam efeitos no oceano, segundo Manton, Woodbury e Tolley (1994) analisou amostras de gelo e obteve resultados de que a relação direta da temperatura e o CO<sub>2</sub> influencia na variação do nível médio do mar.

Atualmente as ferramentas computacionais são muito utilizadas para estudar e prever o regime de ondas. Os modelos numéricos são usados, por exemplo, para a compreensão da variabilidade natural das ondas, análise de casos extremos, dentre outros processos (Caetano, 1996).

Um destes modelos é o WaveWatch III (WW3) (Tolman 1997, 1999, 2009) que é um modelo de onda de terceira geração desenvolvido pela National Weather Service (NWS) e National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). O modelo WW3 permitem a estimativa de vários parâmetros úteis à engenharia naval, como altura, direção da onda, período de pico e velocidade do vento.

O modelo WaveWatch III (WW3) é utilizado mundialmente para previsão e monitoramento das ondas. McSweeney (2018) usou o modelo no estudo da variabilidade das ondas na costa da Austrália, permitindo uma análise da correlação espacial das condições das ondas e os processos climáticos para prever os processos que ocorriam na costa.

No Brasil os modelos numéricos vêm sendo utilizados para vários estudos. No litoral de Santa Catarina, por exemplo, foi usado para identificar a variabilidade do clima de ondas locais (Oliveira et al, 2019) que por meio do modelo, constatou que o clima das ondas vem sofrendo mudanças consideráveis ao longo do tempo e do espaço. Também foi usado para a costa norte e nordeste do Brasil por Aquino (2016), que descreveu a climatologia das ondas do local, e por Sampaio (2014), onde investigou a variabilidade temporal do regime de ondas no sudoeste do oceano Atlântico Tropical. Na região nordeste ainda o modelo foi validado e usado por Costa (2019), para descrever o padrão de ondas do estado do Ceará.

Dentro dos produtos de previsão e reanálise gerados com o WW3, temos o Hindcast Phase II, uma reanálise dos parâmetros de ondas e ventos com resoluções mais altas do que produtos anteriores e que produziu dados para os anos de 1978 a 2009. O mesmo já foi aplicado por Pianca, Mazzini e Siegle (2010) permitindo a descrição do clima de ondas e ventos em pontos off-shore em diferentes setores da costa brasileira.

Mesmo com diversos estudos sobre a análise de ondas, existe uma carência geral de dados sobre a variabilidade do regime de ondas ao longo da costa brasileira, este trabalho se propõe a analisar a sua variabilidade de longo prazo com base nas saídas do modelo WW3, com o intuito de contribuir com os estudos sobre ondas no litoral brasileiro.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Analisar as variações de longo período no regime das ondas ao longo da costa brasileira.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Identificar as mudanças de longo período na altura, direção e período de ondas;
- Identificar a variabilidade espacial destas variações;
- Determinar quais os setores que apresentaram maiores variações durante o período observado.

### **3. METODOLOGIA**

Para a execução da pesquisa, foram utilizados os dados do modelo WaveWatch III (Tolman 1997, 1999, 2009). Foram utilizados os dados da reanálise Hindcast Phase II e Hindcast de Produção Multigrid, que são rodadas do modelo WAVEWATCH III, com melhoras nos pacotes de física dos modelos de ondas e de vento e com melhor resolução espacial.

A partir da análise dos dados foram feitas médias anuais para cada dado, após isso fez-se a comparação dos dados entre cada um dos pontos com o intuito de observar as variações entre os pontos durante o intervalo investigado.

#### **3.1. Área de estudo**

O litoral Brasileiro possui aproximadamente 7.491,54 quilômetros de extensão, sendo considerado o 16<sup>o</sup> maior litoral nacional do mundo que se estende do Amapá ao estado do Rio Grande do Sul. Com o intuito de estudar as variações das ondas ao longo do litoral brasileiro, foram definidos seis pontos, distribuídos ao largo da costa do Brasil. Os mesmos se localizam após a plataforma continental, com profundidades variando aproximadamente entre 1000 a 4000 metros.

Os pontos foram selecionados com o mesmo padrão definido no trabalho de Pianca, Mazzini e Siegle (2010) onde os mesmos descreveram o clima geral de ondas para cada setor da costa brasileira. Os pontos foram chamados de: Setor Sul, Setor Sudeste, Setor Central, Setor Leste, Setor Nordeste e Setor Norte (Figura 1 e tabela 1). A partir dos dados obtidos, foi feita uma comparação entre os dados de cada região, com o intuito de investigar as mudanças presentes entre os locais.

Os dados analisados foram extraídos apenas nos pontos selecionados com o intuito de facilitar a análise, obtenção e compreensão dos dados.

**Tabela 1** - Coordenadas das localizações de cada setor, que corresponde aos pontos analisados durante o trabalho e suas respectivas profundidades em metros.

Ponto (P)	Setor	Latitude	Longitude	Profundidade
P1	Sul	32° S	48.75° W	2929 m
P2	Sudeste	26° S	45.00° W	1057 m
P3	Central	19° S	36.25° W	3896 m
P4	Leste	09° S	33.75° W	3413 m
P5	Nordeste	03° S	37.05° W	3778 m
P6	Norte	02° N	46.25° W	3441 m

Fonte: Autora, 2020.

**Figura 1** - Mapa dos seis setores (pontos) ao longo da costa brasileira, onde foi realizada as coletas dos dados de ondas.



Fonte: Autora, 2020.

### 3.2. Modelo

O WAVEWATCH III é um modelo de ondas desenvolvido pela National Weather Service (NWS) e National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). O modelo possui diversas melhorias comparada com as versões anteriores WAVEWATCH e WAVEWATCH II, possibilitando o desenvolvimento de abordagens físicas e numéricas

adicionais na modelagem das ondas. Através da modelagem atmosférica, um conjunto de dados estatisticamente homogêneo é gerado. A nova versão difere na equação de governo de ondas, parametrização física, na estrutura do modelo e nos métodos numéricos. A melhoria também propicia aplicação em águas rasas, pois foram incluídos termos de fontes para águas rasas.

A execução do modelo ocorre através da solução da equação do balanço de densidade no espectro da fase aleatória e direção de onda. Pressupõe a partir da equação que as propriedades do meio, quanto ao campo de ondas se diversificam em escalas de tempo e espaço, podendo ser maiores que a escala de uma única onda. O Hindcast Phase II foi desenvolvido como parte de um projeto para melhorar a resolução espacial e os pacotes de física dos modelos de ondas de vento.

Para a execução do projeto, foram utilizados 40 anos de dados, correspondendo aos anos de 1979 a 2018, sendo que entre os anos de 1979 a 2009, os dados foram obtidos através do Hindcast Phase II, que consiste 15 grades aninhadas globais e regionais, possibilitando uma menor resolução espacial, sendo adequado para análises locais, como regiões próximas das zonas costeiras. Já os dados entre 2010 a 2018 foram obtidos utilizando o Hindcast de Produção Multigrid, possuindo 9 grades retilíneas globais e regionais aninhadas, que também permite estudo de regiões locais, ambos os dados foram fornecidos com uma resolução temporal de 3 horas, ou seja, os dados são coletados às 00:00h, 03:00h, 06:00h, 09:00h, 12:00h, 15:00h, 18:00h e 21:00h, com o total de 8 leituras diárias.

Para a validação dos dados do modelo WW3, Dalanhese, Sarmiento e Belem (2017) compararam os dados simulados com os dados do PNBOIA para o estado de SC e obtiveram resultados que mostram que os dados modelados do WW3 possuem boa correlação quando comparados às observações do PNBOIA. O mesmo foi feito por Costa (2019) para a região costeira do CE, cujos resultados indicam boas relações com os dados observados para algumas variáveis. Para outras, o modelo superestimou ou subestimou consideravelmente seus valores, sendo necessário cautela ao usar os dados. Isso mostra que os dados são eficientes para serem usados como série temporal. Outros autores também fazem a comparação dos dados do modelo com outros trabalhos (ex: Poças, et al, 2010 e Ribeiro et al, 2017). Segundo Pianca, Mazzini e Siegle (2010) embora algumas incertezas estejam

envolvidas no processo de modelagem devido às limitações do modelo e aos dados do vento, eles se mostraram muito úteis para examinar o clima das ondas e eventos particulares de ondas.

### 3.3. Dados

A partir dos dados disponíveis no modelo, analisou-se o comportamento das séries temporais em cada um dos seis pontos ao longo da costa brasileira. Os dados analisados correspondem a altura significativa de onda (hs), período médio das ondas primárias (tp), e direção média das ondas (dire), descritos na tabela 2. O dado de vento também é fornecido pelo modelo, porém não foi utilizado neste trabalho devido a contratempos inesperados, o mesmo facilitaria na discussão dos dados, sendo importante para analisarmos os eventos extremos que influenciam nas regiões.

**Tabela 2** - Dados obtidos a partir do modelo WaveWatch 3.

<b>Dados do modelo</b>		
<b>Dados</b>	<b>Abreviatura</b>	<b>Descrição</b>
Ventos	Wind.	Componente U do vento de entrada, componente V do vento de entrada (m/s). O vetor descrito por esses componentes mostra a direção em que o vento sopra.
Altura Significativa	Hs.	Altura significativa das ondas de vento combinadas e do swell (m).
Período de Onda	Tp.	Período médio das ondas primárias.
Direção da Onda	Dire.	direção primária da onda (graus verdadeiros, ou seja, 0 graus => vindo do Norte; 90 graus => vindo do Leste)

Fonte: Autora, 2020.

Para analisarmos os 40 anos de dados, fizemos médias anuais da altura significativa, para o período das ondas e direção das ondas, em todos os seis setores. A partir das médias desses dados, foi possível calcular a tendência, através da regressão linear dos dados com limite de confiança de 95%, permitindo a análise das mudanças ocorridas na série temporal estudada.

Os mesmos dados permitiram determinar as modificações nas porcentagens de ocorrência das ondas sea e swell, que foram determinadas com base no período das ondas, sendo considerada onda sea as ondas com períodos inferiores a 10 s e onda de swell aquelas com o período maior que 10 s. Também foram examinadas as evoluções das alturas de ondas do tipo swell.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Análise das ondas na área de estudo**

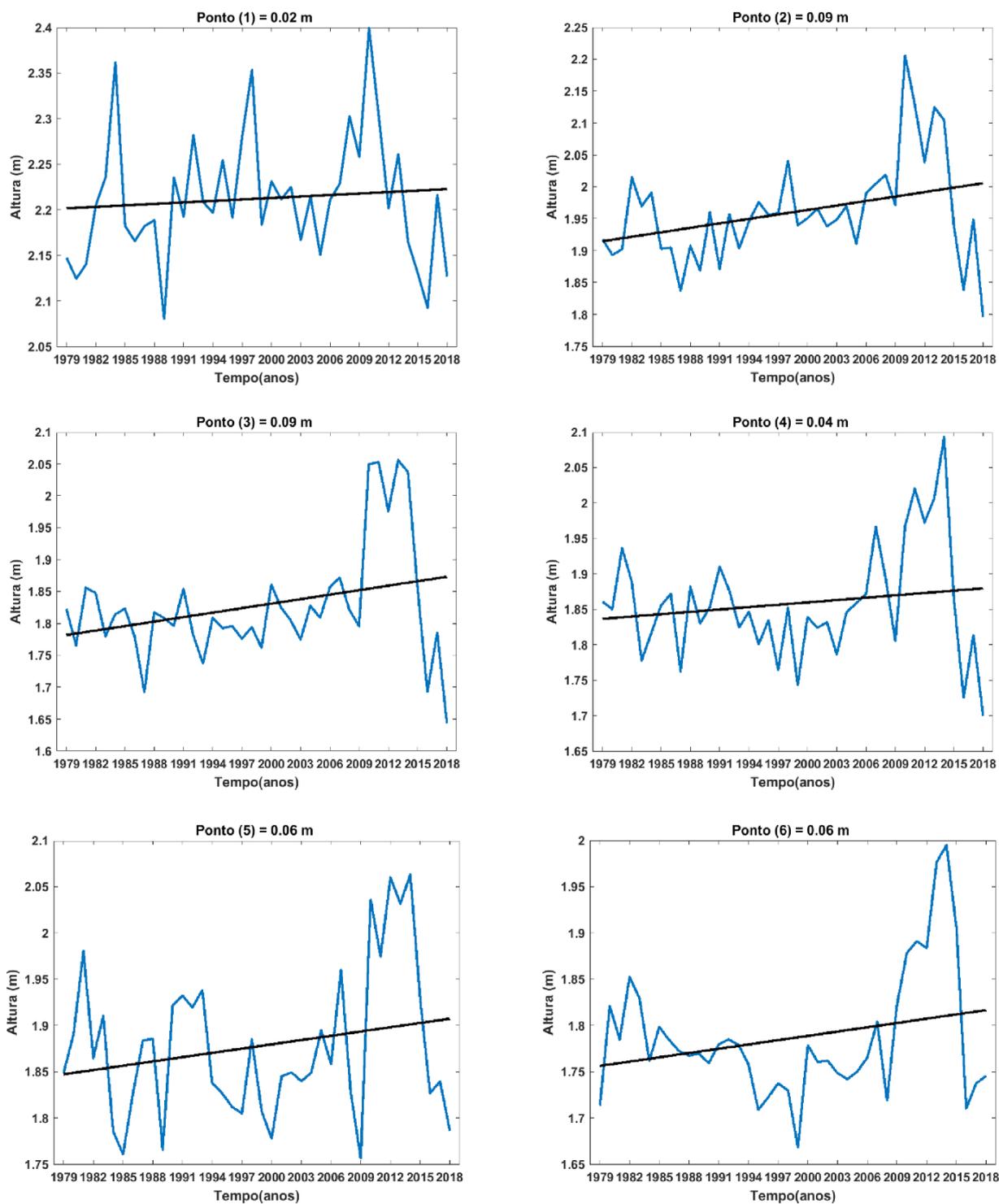
Nesta seção abordaremos as variações dos dados de ondas sendo respectivamente; altura significativa, período de onda e direção da onda. Também foram analisadas a porcentagem de swell e sea e a altura de cada um destes. Para facilitar a compreensão dos resultados, as variáveis foram separadas em tópicos e descritas para cada setor estudado.

#### **4.1.1 Altura significativa**

A altura da onda é representada pela distância vertical entre uma máxima elevação de uma crista e a mínima elevação da cava. Para Parente *et al.* (2015) os fatores principais que determinam a altura das ondas são a velocidade do vento, a duração do vento e a pista do vento.

De forma geral, o setor que apresentou maiores variações médias em 40 anos foram o Sudeste e Central (ponto 2 e 3 - figura 2), com uma tendência de aumentar 0,09 m ao longo de 40 anos. No intervalo de anos de 2009 a 2015 é possível observar aumento das alturas significativas das ondas em todos os pontos.

**Figura 2** - Médias anuais das alturas significativas para todos os setores entre 1979 e 2018. A linha preta denota a linha de tendência dos dados. O número à frente da denominação dos pontos denota a tendência acumulada no período. Dados em metros.



Fonte: Autora, 2020.

O setor Sul (ponto 1 – figura 2), apresentou alturas significativas de onda variando de 2,07 m a 2,4 m, com as maiores médias de 2,4 m para o ano de 2009 e 236 m no ano de 1992. As mínimas foram equivalentes aos anos de 1998 e 2016 com valores de 2,07 m e 2,09 m respectivamente. Nesse setor é observado uma tendência positiva, ou seja, aumento de 0,02 m na altura significativa da onda nos quarenta anos, isso representa 0,8% da altura média do período.

No Setor Sudeste (ponto 2 - figura 2) as alturas significativas possuem um intervalo entre 1,75 m a 2,2 m, a maior altura registrada neste ponto é de 2,2 m, ocorrendo no ano de 2009, a menor altura média obtida corresponde a 1,8 m ocorrendo no ano de 2018. Com base na linha de tendência, a altura das ondas aumentou 0,09 m ao longo do tempo estudado representando 4% da média no intervalo analisado.

O Setor Central (ponto 3 - figura 2) apresentou médias de altura que variam de 1,6 m a 2,1 m. A maior média equivale a 2,1 m, correspondendo aos anos de 2009 e 2014, a média mínima foi observada no ano de 2018 com alturas de ondas de 1,6 m. A linha de tendência indica um aumento na altura de 0,09 m no período analisado, representando 4,2% da média.

No setor Leste (ponto 4 - figura 2) as alturas médias observadas variaram de 1,7 m a 2,1 m para os 40 anos analisados, possuindo médias máximas de 2,1 m para o ano de 2013. Já as menores médias são observadas no ano de 2018, com altura de 1,7 m aproximadamente. A altura média aumentou 0,04 m como apresentado na linha de tendência gerada no gráfico, representando 1,9% da média durante o período estudado.

O setor Nordeste (ponto 5 - figura 2) possui médias de altura significativa com valores entre 1,75 m a 2,06 m. A média máxima obtida neste setor é de 2,06 m no ano de 2015, e com média mínima de 1,75 m no ano de 2009. Houve aumento de 0,06 m como observado na linha de tendência exposta no gráfico, representando 2,9% da média no tempo analisado.

Por fim, o setor Norte (ponto 6 - figura 2) apresenta valores médios de altura significativa variando de 1,66 m a 2 m, possuindo a média de alturas máximas de 2 metros no ano de 2013, e médias mínimas de 1,66 metros no ano de 1999. Os valores médios das alturas aumentam 0,06 m como observado na linha de tendência, representando 3% da média dentro do período estudado neste trabalho.

Observa-se que a altura significativa média das ondas aumentou para todos os pontos ao longo da climatologia estudada. Nota-se que apesar da altura significativa aumentar em direção ao sul do Brasil, a tendência de aumento não segue este padrão, sendo que os maiores aumento ocorrem no setor Central e no Sudeste.

Segundo estudos de Franco e Filho (2008), a variação da altura significativa média para a região de Santa Catarina para os anos de 2002, 2003, 2004 e 2005, foi respectivamente de 1,84 m, 1,49 m, 1,28 m e 1,71 m. Comparando com o setor Sudeste analisado no presente trabalho, por serem regiões próximas, percebe-se que os valores das médias são similares durante os anos observados, onde obtemos valores médios variando entre 1,95 m a 1,9 m.

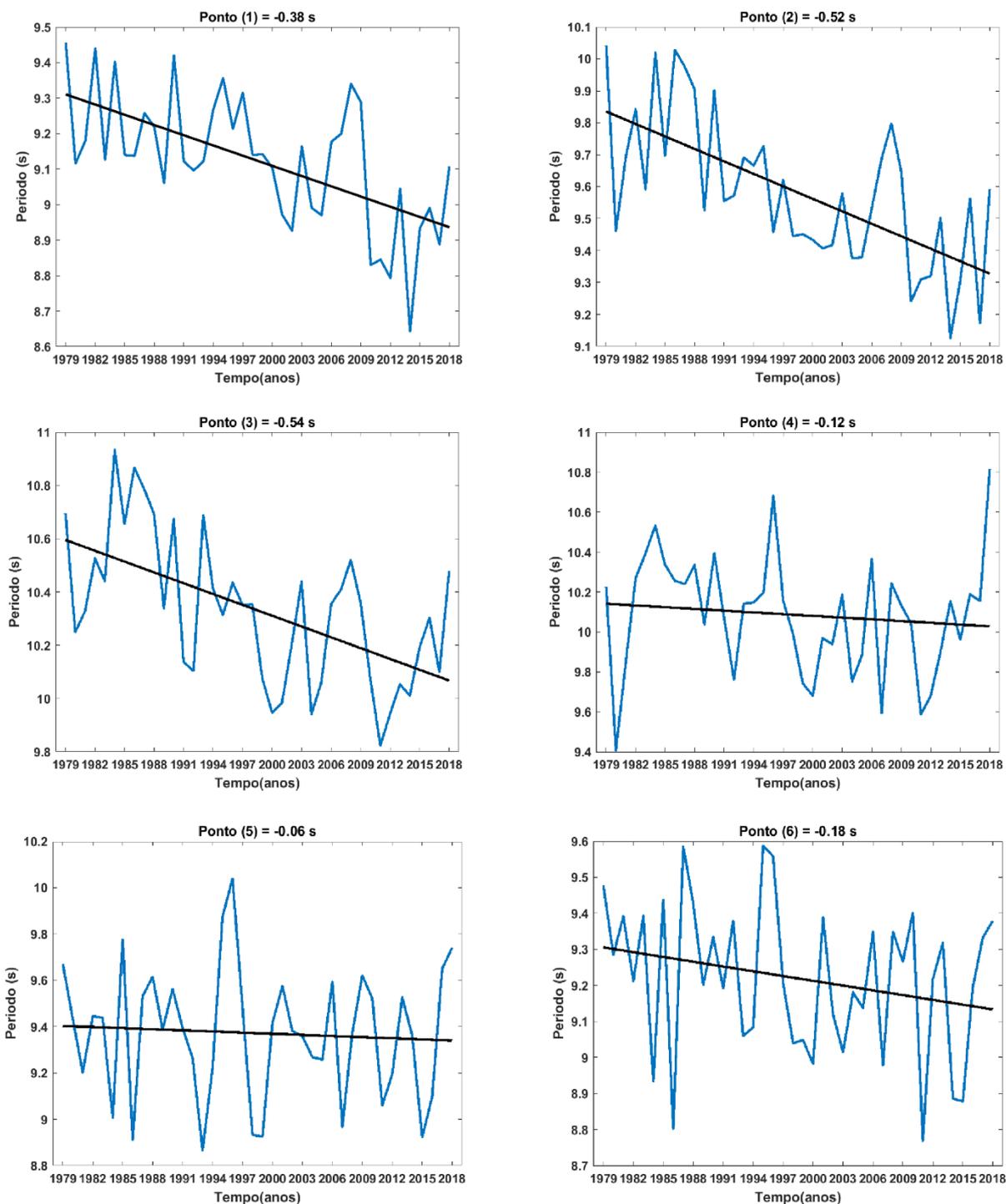
Nos anos de 2017 e 2018, todos os pontos apresentaram altura médias significativas menores que os demais anos, sendo que estas alturas não apresentam um padrão de aumento. Pode ser explicado por uma diminuição das tempestades extratropicais, Young, Zieger e Babanin (2011) observou um aumento na velocidade global dos ventos nas últimas décadas, com a intensificação de eventos extremos mais rápidas do que os ventos médios, com tendências mais fortes no Hemisfério Sul do que no Hemisfério Norte.

Segundo Machado (2014) os anos que ocorreram quatro eventos extremos de velocidade do vento foram os anos de 1998, 1999, 2000, 2008, 2010 e 2011, os dados explicam as maiores médias encontradas para o Setor Sul, ou seja, o aumento na altura das ondas é explicada devido a mudança ou intensificação de eventos extremos relacionados ao vento.

#### **4.1.2. Período da Onda**

O período da onda é o intervalo de tempo entre a ocorrência sucessiva de uma mesma fase da propagação da onda, usualmente utilizam-se as cristas (cavas) das ondas. Pode ser também definido como o tempo necessário para que ocorra uma oscilação completa da onda.

**Figura 3** - Médias anuais do período da onda para todos os setores entre 1979 e 2018. A linha preta denota a linha de tendência dos dados. O número à frente da denominação dos pontos denota a tendência acumulada no período. Dados em segundos.



Fonte: Autora, 2020.

No setor Sul (ponto 1 - figura 3) o período médio das ondas varia de aproximadamente 8,6 a 9,5 segundos, com período máximo aproximadamente de 9,5 s no ano de 1979 e

período mínimo de 8,64 s para o ano de 2014. A linha de tendência indica um decréscimo de 0,38 s no período, representando 4% de diminuição do período máximo durante os 40 anos estudados.

O setor Sudeste (ponto 2 - figura 3) caracteriza-se por uma média no período das ondas variando de 9,1 a 10,1 s. A média máxima atingida foi de aproximadamente 10 s para os anos de 1979, 1985 e 1998, já a média mínima é observada no ano de 2014 com período de aproximadamente 9,1 s. A linha de tendência mostra um decréscimo de 0,52 s no período médio, correspondendo a 5,1% do período máximo das ondas ao longo dos 40 anos.

O setor Central (ponto 3 - figura 3) possui variações no período com valores de 9,8 s a 10,9 s. A média máxima observada foi de aproximadamente 10,9 s no ano de 1979, e valor médio mínimo de aproximadamente 9,8 s observado no ano de 2011. A linha de tendência representa um declínio no período das ondas, com a diminuição de 0,54 s no tempo analisado, equivalente a 4,9% do período máximo nos anos observado.

Observa-se no setor Leste (ponto 4 - figura 3) uma variação no período das ondas de 9,4 s a 10,8 s, apresentando valor máximo de 10,8 s no ano de 2018, e valor mínimo de 9,4 s para o ano de 1980. A linha de tendência mostra uma diminuição de 0,12 s nas médias do período das ondas, equivalente a 1,1% nos anos observado.

O setor Nordeste (ponto 5 - figura 3) apresenta variações de 8,8 s a 10 s no período médio analisado. A maior média encontrada é de 10 s aproximadamente no ano de 1995, e valor mínimo de 8,9 para o ano de 1993. Nesse setor, a diminuição dos períodos também é pequena, e houve um decréscimo médio de 0,06 s, equivalente a 0,6% nos anos observado.

Já o setor Norte (ponto 6 - figura 3) mostra uma variação das médias de 8,7 a 9,6 s, com valor médio máximo de 9,6 s para os anos de 1985 e 1997. O valor mínimo observado foi de 8,75 s no ano de 2011. O período da onda tende a diminuir 0,18 s na média dos anos analisados, equivalente a 1,8% nos anos observado.

O período de onda muda entre um setor e o outro como esperado, porém, esta variação é relativamente pequena e não ultrapassa 3 s. De forma geral, nota-se que os períodos tendem a diminuir as médias ao longo do tempo em todos os setores analisados.

Podendo acontecer devido o aumento na intensidade dos ventos na região, por exemplo o setor Central sofre maiores variações no período de onda, sendo também a região que sofre maior influência dos ventos gerados pelo Anticiclone do Atlântico Sul, a intensificação dos ventos por esse fenômeno pode diminuir o intervalo de tempo necessário para uma oscilação completa da onda. Segundo Alves *et al* (2009) a circulação do anticiclone, provocada pela chegada do sistema de baixa pressão associado ao evento de mar severo, influência na alteração dos ventos locais.

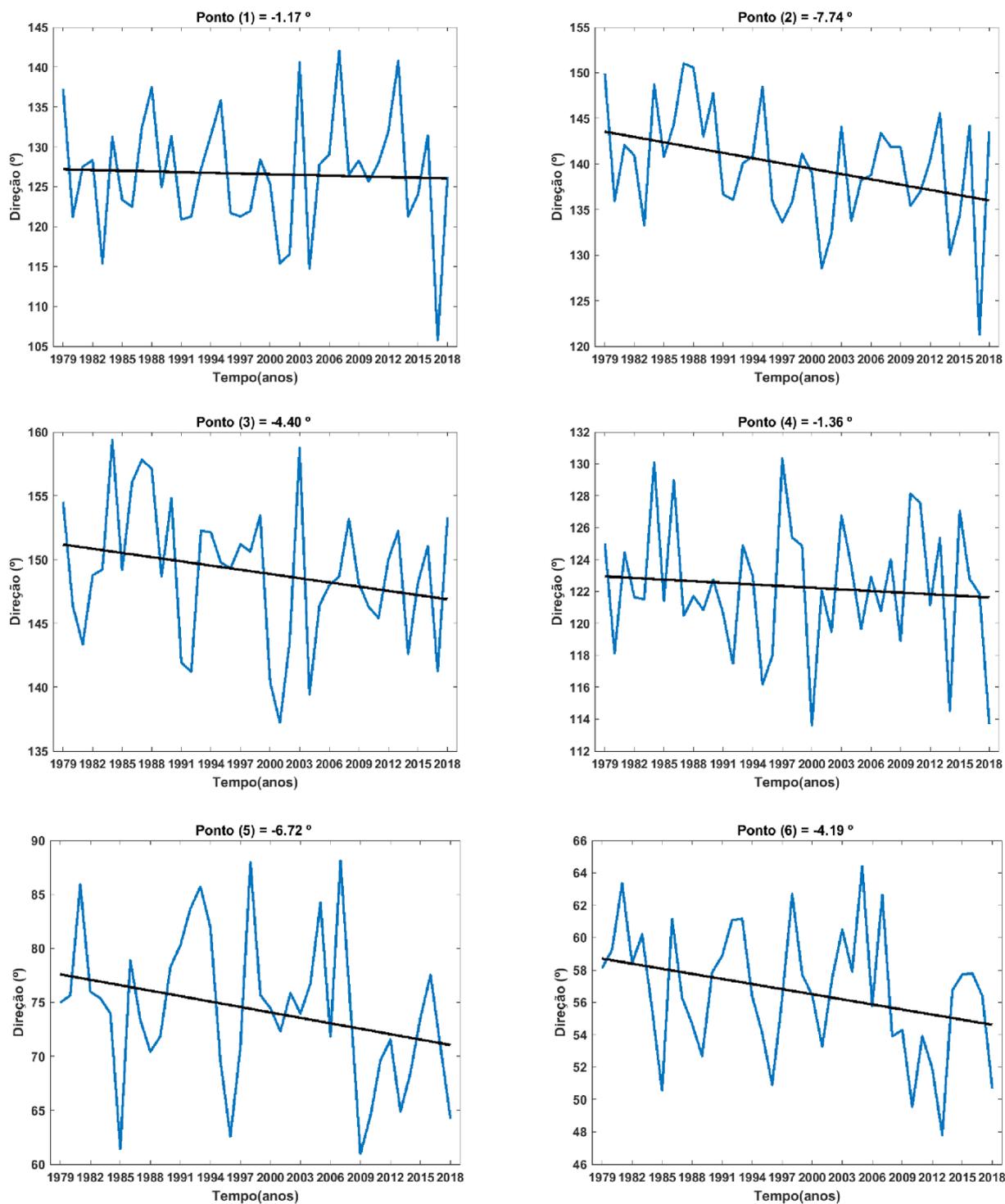
Comparando os do presente trabalho no ano de 2006 no Setor Sudeste, obtemos médias de 9 s, enquanto Oleikin, Marques e Kirinus (2016), obtiveram o período médio das ondas variando entre 7,5 e 9 s para toda a região Sul e Sudeste no ano de 2006. Sendo considerado valores próximos dos 9s.

Almeida *et al.* (2015) observou uma variação média no período de pico entre 6,5 a 9,0 s, durante o período de 1948 a 2009, no litoral do Rio Grande do Norte. Comparando-se com os dados da região Nordeste (ponto 5), que obtém médias variando entre 8,8 a 10 s, e considerando a diferença nos anos analisados, as médias possuem valores próximas.

#### **4.1.3. Direção da Onda**

A direção das ondas é influenciada principalmente pela direção dos ventos de geração e processos de interação entre as ondas. Tendo em vista que os pontos observados estão distantes da costa, ou seja, localizados no limite e fora da plataforma continental, os mesmos não sofrem influência do fundo, pois as profundidades em que se encontram são superiores à metade do comprimento da onda. Woolf (1997) menciona que a profundidade onde a onda quebra é proporcional à altura da onda. Estas tendem a modificar seu percurso quando ocorrem variações na profundidade e quando atingem águas mais rasas.

**Figura 4** - Médias anuais das direções de ondas para todos os setores entre 1979 e 2018. A linha preta denota a linha de tendência dos dados. O número à frente da denominação dos pontos denota a tendência acumulada no período. Dados em grau.



Fonte: Autora, 2020.

No setor Sul (ponto 1 - figura 4) as direções médias das ondas variam de  $105^{\circ}$  a  $143^{\circ}$ , possuindo as médias máximas próxima de  $143^{\circ}$  para os anos de 2006 e 2012, com média mínima de  $105^{\circ}$  no ano de 2017. De acordo com a linha de tendência, as direções seguem no sentido anti-horário, com um decréscimo de  $1,17^{\circ}$  durante o período analisado, correspondendo à 0,8% do valor médio. A predominância da direção das ondas neste ponto é de Sul-Sudeste (SSE) e Leste-Sudeste (ESE).

O setor Sudeste (ponto 2 - figura 4) mostra as variações da direção média, entre  $120^{\circ}$  a  $151^{\circ}$ , com valor máximo de  $151^{\circ}$  para o ano de 1997 e valor mínimo de  $121^{\circ}$  para o ano de 2017. Como observado na linha de tendência, a direção diminuiu  $7,74^{\circ}$  no período observado, correspondendo à 5,1% de variação na direção durante o período analisado. A predominância da direção das ondas são SEE e ESE.

O setor Central (ponto 3 - figura 4) apresenta uma variação de  $135$  a  $159^{\circ}$ , a média máxima atingida corresponde a  $159^{\circ}$  para o ano de 1983, enquanto o valor mínimo observado foi de  $136^{\circ}$  para o ano de 2001. A direção média tende regiões para com menores graus, apresentando um decréscimo de  $4,40^{\circ}$  ao longo dos anos estudados, correspondendo à 2,7% do valor médio. A direção média das ondas é predominante no sentido SSE para o respectivo setor.

No setor Leste (ponto 4 - figura 4) observa-se uma variação na direção das ondas com intervalo de  $112^{\circ}$  a  $132^{\circ}$ , sendo a média máxima de  $132^{\circ}$  para o ano de 1996, apresentando média mínima de  $114^{\circ}$  para o ano de 2000. A linha de tendência apresenta uma diminuição na direção de  $1,36^{\circ}$ , correspondendo à 1% do valor médio, com direções médias prevaletentes de ESE para esse ponto.

No setor Nordeste (ponto 5 - figura 4) as variações da direção das ondas estão entre intervalos de  $61^{\circ}$  a  $86^{\circ}$ , atingindo máxima de  $86^{\circ}$  para os anos de 1997 e 2008, e valor mínimo de  $61^{\circ}$  para os anos de 1985 e 2009. A direção diminuiu  $6,72^{\circ}$  ao longo do tempo estudado, correspondendo à 7,8% do valor médio. O setor Nordeste apresenta direções médias no sentido dominante de Leste-Nordeste (ENE).

O setor Norte (ponto 6 - figura 4) possui variações médias entre  $48^{\circ}$  a  $64^{\circ}$ , com valor máximo de  $64^{\circ}$  para o ano de 2006, e valor mínimo de  $48^{\circ}$  para o ano de 2013. A direção

apresenta uma diminuição de 4,19° no período analisado, correspondendo à 6,5% do valor médio. A predominância da direção média das ondas no setor Norte é no sentido de ENE.

As ondas das regiões analisadas apresentam oscilações na direção. A direção média das ondas em todos os pontos apresentou um declínio, apresentando variações negativas em todos os pontos estudados. As maiores mudanças ocorreram no setor Sudeste enquanto as menores no setor Sul e Leste.

Segundo Oleikin, Marques e Kirinus (2016), a direção média das ondas nas regiões Sul e Sudeste indicaram a dominância de ondas que vêm de Sudeste no ano de 2006. Lourenço (2012) analisou o clima de ondas entre os anos de 1997 a 2010 com o WW3 e obteve que a dominância na direção média de ondas no litoral do Rio Grande do Sul variou entre Sudeste (128,8°) em 1999 e Sul (180,2°) em 2003. Os estudos corroboram com os valores presentes neste trabalho para os pontos e anos analisados.

#### **4.1.4. Análise da altura e porcentagem de ocorrência de ondas tipo *Sea* e *Swell* para os pontos analisado.**

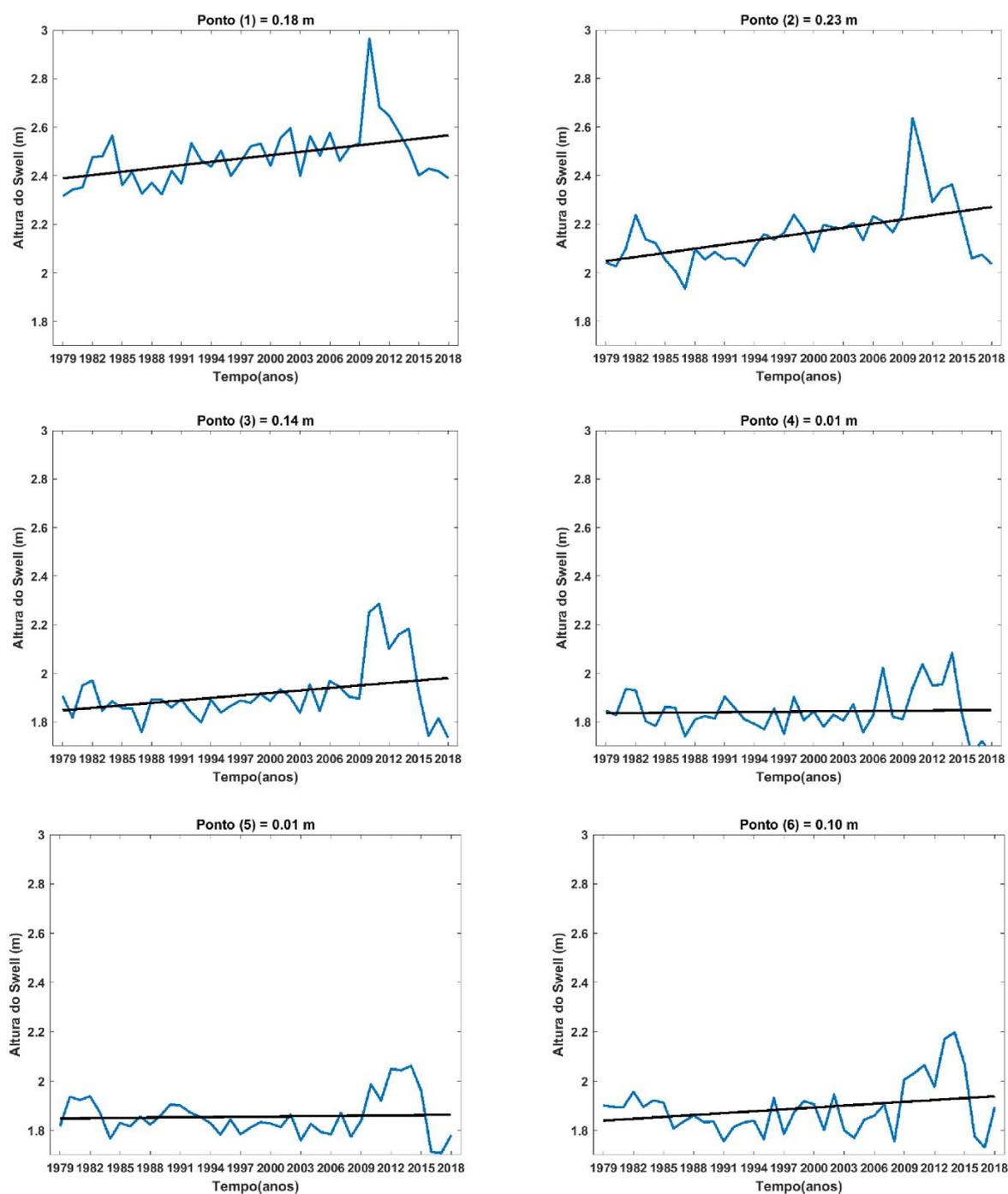
As ondas podem ser classificadas através do local de geração. As ondas superficiais de gravidade geradas por ventos locais são conhecidas como *sea*, e são localizadas próximas do local que foram geradas. As ondas do tipo *swell* são geradas em locais remotos do ponto observado, percorrendo longas distâncias. Para Cuchiara et al. (2006), as ondas *sea* estão nas zonas de geração, possibilitando a obtenção da energia do vento localmente. Já as ondas de *swell* propagam-se para fora da zona de geração.

Segundo Silva et al. (2011), as ondas que chegam com períodos maiores que 10 s na região costeira do CE podem ser consideradas do tipo *swell*, e com períodos menores que 10 segundos, do tipo *sea*. Com base no exposto, o presente estudo considera as ondas de *sea* com valores de período < 10 s e ondas de *swell* com períodos > 10 s.

As figuras descritas (figura 5) a seguir correspondem à média das alturas significativas, apresentando a variação das alturas das ondas para cada tipo de onda. Também mostra as porcentagens de ocorrência das ondas do tipo *swell* e *sea*, indicando as variações ocorridas no tempo estudado, e os valores máximos e mínimos das ondas

analisadas. A análise da porcentagem é feita a partir da linha de tendência gerada nos gráficos. Os valores das ondas de sea correspondem ao complemento dos valores das ondas de swell.

**Figura 5** - Médias anuais da altura das ondas de swell para todos os setores entre 1979 e 2018. A linha preta denota a linha de tendência dos dados. O número à frente da denominação dos pontos denota a tendência acumulada no período. Dados em metros.



Fonte: Autora, 2020.

No setor Sul (ponto 1 - figura 5), a altura média das ondas do tipo swell variam entre 2,3 a 3,0 m, obtendo valor mínimo de 2,3 m nos anos de 1979 e 1988, o valor máximo de 3,0 m é observado no ano de 2009. Baseado na linha de tendência, houve um aumento de 0,18 m, o que corresponde a uma mudança de 6% em relação à média.

Para o setor Sudeste (ponto 2 - figura 5) os valores variam entre 1,9 e 2,6 m de altura. O valor mínimo foi observado no ano de 1987, e o máximo no ano de 2009. Há uma tendência de aumento de 0,23 m ao longo do período analisado, como mostra a linha de tendência, correspondendo a 8,8% do valor médio observado ao longo dos 40 anos.

O setor Central (ponto 3 - figura 5) apresenta uma variação na altura dos swell entre 1,7 a 2,3 m, com a menor média no ano de 2015, e maiores médias nos anos de 2009 a 2010, com uma tendência de aumento de 0,14 m ao longo dos anos, correspondendo a 6% do valor médio observado ao longo dos 40 anos.

No setor Leste (ponto 4 - figura 5), as médias variam entre 1,7 e 2,1 m, com o maior valor no ano de 2014 e o menor observado no ano de 1988. A tendência de aumento ainda é observada, mas é de apenas 0,01 m no período observado, correspondendo a 0,4% do valor médio observado ao longo dos 40 anos.

O setor Nordeste (ponto 5 - figura 5) apresenta uma variação com os mesmos valores do setor Leste, porém se distinguindo dos anos onde observamos os valores mínimos e máximos, sendo respectivamente 2016 e 2014. Assim como o Leste, a tendência de aumento também é de apenas 0,01 m nos anos estudados, correspondendo a 0,4% do valor médio observado ao longo dos 40 anos.

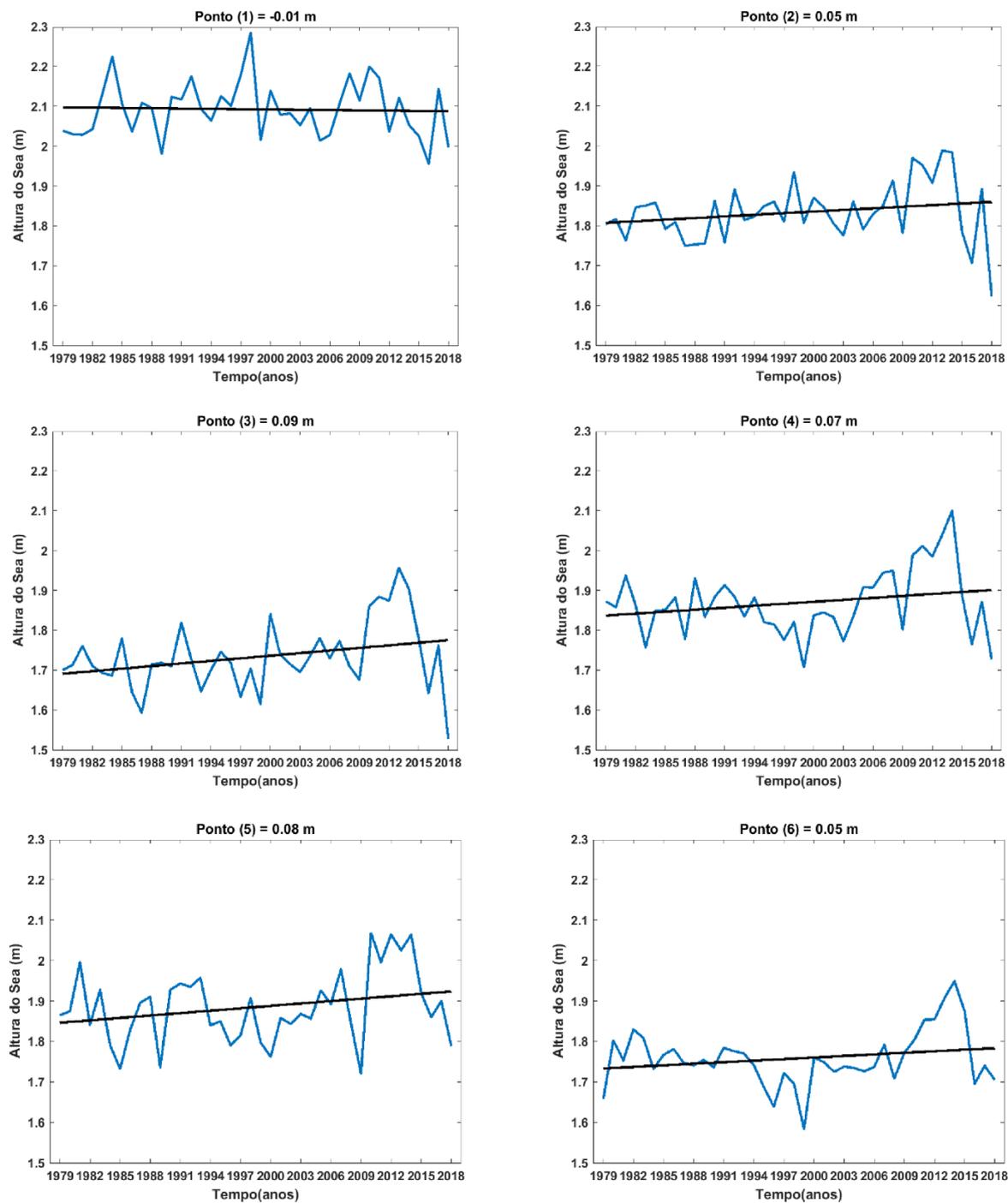
Já no setor Norte (ponto 6 - figura 5) os valores encontrados estão entre 1,7 e 2,2 m. A média mínima é observada no ano de 2017, e a máxima no ano de 2014, possuindo uma tendência de aumento de 0,10 m ao longos dos 40 anos, sendo possível observar um maior aumento na altura das ondas swell neste setor comparado aos setores Leste e Nordeste, correspondendo a 4,5% do valor médio observado ao longo dos 40 anos.

Em todos os setores analisados há um aumento na altura significativa das ondas tipo swell sendo que esta tendência é maior nos setores Sul, Sudeste, Central e no setor Norte.

Os dados das alturas médias de swell para o ano de 2017 é similar aos dados obtidos por Costa (2019), que registrou uma média de altura significativa de 1,58 m na costa do Ceará. No presente estudo os valores foram de 1,70 m (ponto 5 - figura 5) para o respectivo ano, sendo um pouco maior do que o obtido por Costa.

As ondas de swell apresentaram maiores variações no setor Sudeste, com 8,8% de variação na linha de tendência durante o período analisado. Já as menores variações ocorreram nos setores Leste e Nordeste, ambos correspondendo a 0,4% na variação. Os dados de alturas de onda (figura 2) e os da altura de swell (figura 5) possuem um mesmo padrão na linha de tendência, com as maiores variações observadas ao longo dos 40 anos de dados próximos à região Sul e Sudeste e diminuem em sentido a região Norte.

**Figura 6** - Médias anuais da altura das ondas de sea para todos os setores entre 1979 e 2018. A linha preta denota a linha de tendência dos dados. O número à frente da denominação dos pontos denota a tendência acumulada no período. Dados em metros.



Fonte: Autora, 2020.

Com relação aos valores de altura das ondas do tipo sea, no setor sul (ponto 1 - figura 6), a variação foi de 2 m a 2,3 m, com valor máximo para o ano de 1997, e valor mínimo

correspondente ao ano de 2016. A tendência de mudança neste ponto é de um decréscimo de apenas 0,01 m durante o período estudado, correspondendo a 0,4% do valor médio observado. Os valores médios da altura significativa das ondas do tipo sea são menores que as ondas do tipo swell neste ponto.

No Setor Sudeste (ponto 2 - figura 6), as alturas das ondas sea variaram entre 1,6 m e 2 m, com valor máximo para os anos de 2014 e 2015, e valor mínimo para o ano de 2018. A linha de tendência mostra um aumento de 0,05 m nas alturas das ondas sea na série temporal realizada correspondendo a 2,5% do valor médio observado. Os valores médios da altura significativa das ondas do tipo sea são inferiores aos valores das ondas do tipo swell para o segundo ponto.

No setor Central (ponto 3 - figura 6), verifica-se uma variação de 1,5 m a 2 m para as alturas das ondas sea, com valor máximo correspondente ao ano de 2014 e valor mínimo para o ano de 2018. A análise dos dados realizadas por meio da linha de tendência, mostra um aumento de 0,09 m na altura das ondas sea ao final da série temporal, correspondendo a 4,5% do valor médio observado. Os valores médios da altura significativa das ondas sea são menores que as ondas swell para o terceiro ponto.

Observa-se que o Setor Leste (ponto 4 - figura 6) possui variações de 1,7 m a 2,1 m para a altura da onda sea, com valores máximos ocorrendo no ano de 2014 e valor mínimo para o ano de 1999. O valor da linha de tendência representa um aumento de 0,07 m na altura dessas ondas durante todo o período analisado, correspondendo a 3,3% do valor médio observado. Os valores médios da altura significativa das ondas do tipo sea são maiores que as ondas do tipo swell neste ponto.

O setor Nordeste (ponto 5 - figura 6) apresenta variações entre os mesmos valores do setor Leste, com as mínimas no ano de 2009 e máximas em 2011. A linha de tendência indica um aumento das ondas de aproximadamente 0,08 m em 40 anos, correspondendo a 3,8% do valor médio observado. Os valores médios da altura significativa das ondas sea são superiores aos valores das ondas do tipo swell para o ponto cinco.

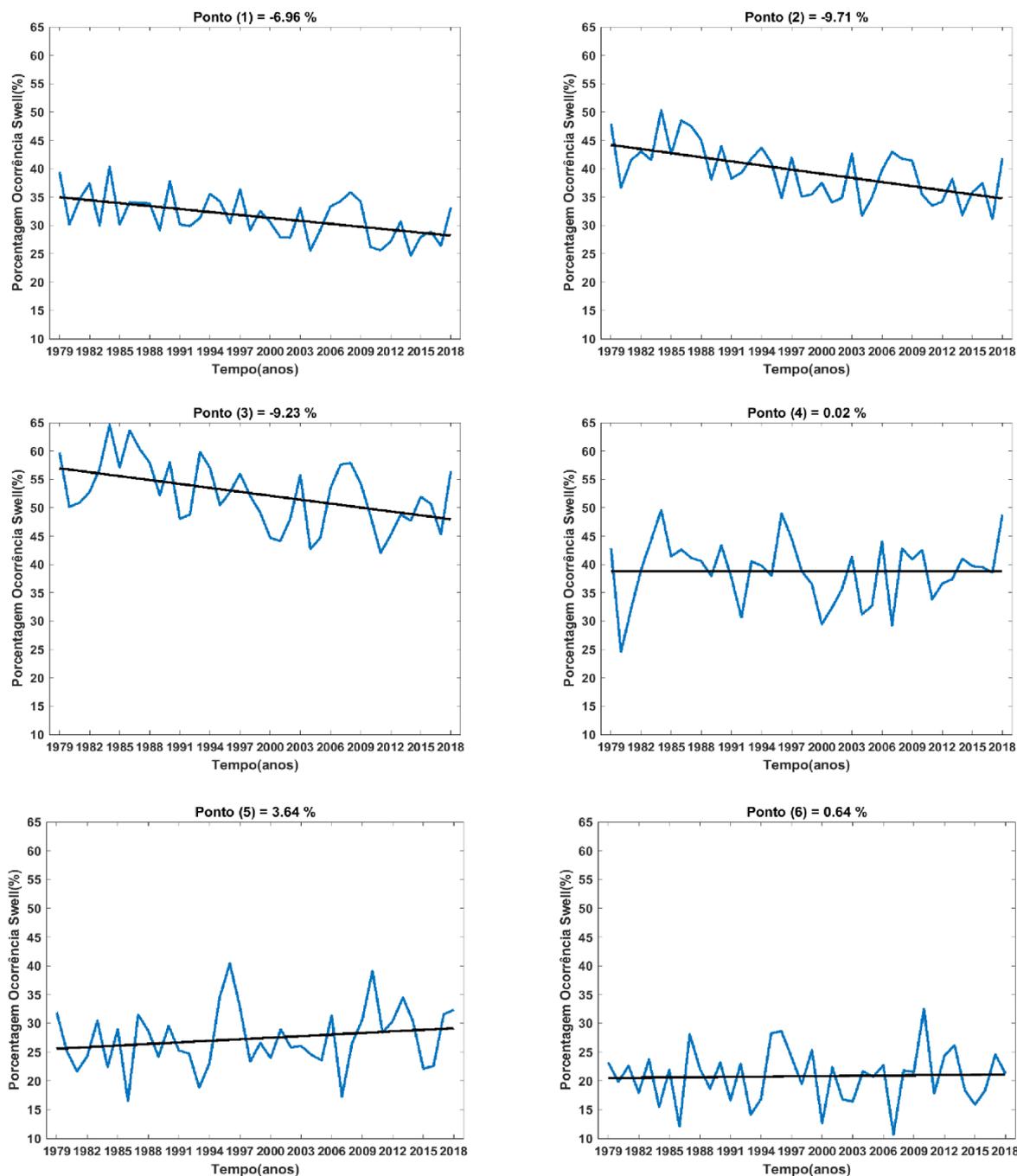
No setor Norte (ponto 6 – figura 6) a variação ocorre entre 1,6 e 2,0 m com os valores mínimos em 1999 e máximos em 2014. O setor apresentou uma tendência em aumento de

0,05 m na altura significativa da onda ao final da análise, correspondendo a 2,5% do valor médio observado. Os valores médios da altura significativa das ondas do tipo sea são menores que as ondas do tipo swell neste ponto.

De forma geral, com exceção do setor leste e nordeste, todas os setores apresentam uma diminuição na altura média das ondas do tipo sea ao longo do tempo analisado, as mudanças de longo prazo são menores do que as observadas nas ondas do tipo swell.

Os valores da altura média das ondas sea no ano de 2017 no setor Nordeste corresponde a valores similares analisados por Costa (2019) que analisou neste mesmo setor as alturas médias de sea e obteve um valor de 1,71 m. O presente estudo obteve médias com valores de 1,81 m, sendo resultados bem similares, corroborando com as médias encontradas.

**Figura 7** - Médias anuais da porcentagem de ocorrência das ondas de swell para todos os setores entre 1979 e 2018. A linha preta denota a linha de tendência dos dados. O número à frente da denominação dos pontos denota a tendência acumulada no período. Dados em porcentagem.



Fonte: Autora, 2020.

No Setor Sul (ponto 1 - figura 7) a porcentagem de ocorrência de ondas do tipo *swell* varia aproximadamente entre 24% a 42% do tempo, possuindo o maior valor de 42% para o ano de 1984, e o menor, de 24%, para o ano de 2014. A linha de tendência indica um

decréscimo de 6,96% da ocorrência de *swell* para o período estudado, correspondendo a 2,92% do valor médio observado ao longo dos 40 anos.

O Setor Sudeste (ponto 2 - figura 7) apresenta maior ocorrência de ondas do tipo *swell*, quando comparada com o Setor Sul, com valores entre 31% e 51%, possuindo o valor máximo para o ano de 1984 e o mínimo para o ano de 2016. Com tendência de diminuição de 9,71% da ocorrência de *swell* para a respectiva região, correspondendo a 4,95% do valor médio observado.

O Setor Central (ponto 3 - figura 7) apresenta variações com valores superiores a todos os pontos analisados, variando entre 42% e 65%, o valor máximo é observado no ano de 1983 e o valor mínimo no ano de 2011. Percebe-se um decréscimo de 9,23% na linha de tendência, indicando que a porcentagem de *swell* está diminuindo para este setor, correspondendo a 5,99% do valor médio observado.

As porcentagens apresentadas para o Setor Leste (ponto 4 – figura 7) possuem valores entre 25% e 50% de ocorrências de *swell*, com valor máximo para os anos de 1984 e 1995 e valor mínimo para o ano de 1980. Com apenas 0,02% de aumento na ocorrência das ondas de *swell*, observa-se que quase não há mudanças neste setor, correspondendo a 0,01% do valor médio observado.

O Setor Nordeste (ponto 5 - figura 7) possui variações entre 15% e 40% na ocorrência das ondas de *swell*, com valor máximo no ano de 1995, e mínimo para o ano de 2007. Ao contrário dos demais setores ao sul do ponto 5, ocorre um aumento de 3,64% nas ocorrências dessas ondas, correspondendo a 1,45% do valor médio observado ao longo dos 40 anos.

O Setor Norte (ponto 6 - figura 7) possui valores de ocorrência de *swell* variando entre 10% e 35%, atingindo valor máximo no ano de 2011, e mínimo para o ano de 2007. A tendência de aumento é de 0,64% neste setor, correspondendo a 0,22% do valor médio observado ao longo dos 40 anos.

Os setores sul, sudeste e central apresentaram uma tendência de diminuição de ocorrência de *swell* no decorrer dos anos. Já os outros setores mais ao norte mostraram um aumento na ocorrência de *swell*, porém este aumento só é maior que 1% no setor nordeste.

A porcentagem média da ocorrência de *swell* para o setor Nordeste no ano de 2017 é de 25%. Já valores encontrados neste respectivo ano por Costa (2019) equivale a aproximadamente 37% de ocorrência de *swell*. Os valores são menores para o presente trabalho, porém pode ser explicado através do período escolhido para a separação deste tipo de onda: Costa adotou que ondas de *swell* são consideradas com períodos superiores a 9 s, enquanto o presente estudo considerou ondas de *swell*, aquelas com períodos superiores a 10 s.

Já Silva *et al.* (2011) obteve que 20% dos períodos de pico estão compreendidos entre 10 a 20 s, indicando ondas do tipo *swell*, para a região do Porto do Pecém no estado do Ceará, com base nas médias dos anos de 1997, 2000 e 2001.

## 5. CONCLUSÃO

De acordo com a análise dos dados de onda estudados, observa-se uma mudança de longo prazo em todas as variáveis e pontos estudados.

Podemos observar que todos os seis setores apresentaram um aumento na altura média das ondas, sendo os maiores valores correspondentes aos setores Sudeste, com 4%, e Central, com 4,2% de aumento na altura média das ondas durante a série temporal investigada. O setor Sul apresentou a menor variação durante os 40 anos, correspondendo a 0,8% de mudança.

O período médio das ondas apresenta um decréscimo para todos os setores abordados no trabalho, com maiores decréscimos apresentados nos setores Sul, Sudeste e Central, com tendências de diminuição de 4%, 5,1% e 4,9% respectivamente durante o período analisado.

A direção média das ondas variou em todos os setores, quando analisado o padrão geral. O setor Nordeste mostrou maiores variações, com 7,8% de mudança na direção das ondas. As menores variações ocorreram no setor Sul, com 0,8% nos anos analisados.

As ondas de swell apresentaram aumento na altura em todos os setores durante o período analisado. O setor com maior variação foi o Sudeste, com aumento da altura das ondas swell correspondendo a 8,8%. As menores variações são encontradas nos setores Leste e Nordeste, correspondendo a 0,4% em ambos os setores.

Para as ondas sea, o valor máximo encontrado na altura média corresponde a 2,3 m no setor Sul, enquanto o menor valor foi encontrado no setor Central, correspondendo a 1,5 m. A maior variação ocorreu no setor Central, com 4,5% de aumento nos valores durante a climatologia analisada. A menor variação correspondeu ao setor Sul, com 0,4%.

Na análise da porcentagem média da ocorrência das ondas de swell, observamos que para os setores Sul, Sudeste e Central houve tendência de diminuição de ocorrência de swell, Os setores Leste, Norte e Nordeste apresentam resultados contrários, ou seja, a

ocorrência das ondas de swell aumentou para essas regiões, enquanto as ondas sea diminuíram.

A porcentagem de ocorrência das ondas de swell foi maior no setor Central, chegando a 65% em alguns anos, enquanto a menor média foi encontrada no setor Nordeste, com valores de 10% de ocorrência de swell. Os setores que obtiveram as maiores variações de longo prazo são o setor Sudeste, com uma variação negativa de 4,95% na ocorrência de ondas swell e o setor Central, com uma diminuição de 5,99%. O setor que apresentou menor variação foi o setor Leste, com 0,01% de mudança.

## 6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. R. et al. **Wave Climate Assessment on the Ponta Negra Beach (RN, Brazil) using SMC-Brazil and its contribution to coastal management.** Scielo Portugal, RGCI vol.15 no.2 Lisboa jun. 2015.

ALVES, J. H. G. M. et al. **Reconstituição do clima de ondas no sul-sudeste brasileiro entre 1997 e 2005.** Rev. Bras. Geof. vol.27 no.3 São Paulo July/Sept. 2009.

ANDRADE, J. C. S.; COSTA, P. **Mudança climática, protocolo de Kyoto e mercado de créditos de carbono: desafios à governança ambiental global.** Organ. Soc., Salvador, v. 15, n. 45, p. 29-45, jun. 2008. Disponível em [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1984-92302008000200002&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1984-92302008000200002&lng=pt&nrm=iso).

AQUINO, A. R. **Regime e Variabilidade das Ondas do Atlântico Tropical.** Monografia (Graduação em Oceanografia) - Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2016.

CAETANO, N. E. S.; INNOCENTINI, V.; ROCHA, R. P. **Um sistema de previsão de tempo e de ondas oceânicas para o Atlântico Sul.** São Paulo. Brazilian Journal of Oceanography. vol.44 no.1. 1996.

COSTA, C. E. B. **Análise Descritiva do Padrão de Ondas no Litoral do Ceará Através de Dados Observados.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) - Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2019.

CUCHIARA, D. et al. **Modelagem numérica do comportamento das ondas na costa do Rio Grande do Sul.** Rio Grande. II Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica, p 15. 2006.

DALANHESE, L. A.; SARMENTO, T. L.; BELEM, A.L. **Teleconexões Entre o El Niño Oscilação Sul e o Modo Anular Austral em Eventos Extremos de Onda nas Regiões**

**Oceânicas Sul e Sudeste do Brasil.** SIGAB - Simpósio de Gestão Ambiental e Biodiversidade. v. 6. Julho 2017.

FRANCO, D.; FILHO, E. M. **Relevância dos mares secundários na caracterização do regime de ondas ao largo da Ilha de Santa Catarina, SC (2002 – 2005).** III Seminário em Engenharia Oceânica, FURG, Rio Grande. p. 38. 2008.

IPCC, 2007. **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability.** Cambridge University Press, p. 84.

LOURENÇO, T.S. **Variabilidade interanual do clima de ondas e sua influência no litoral Sudeste e Sul do Brasil.** Dissertação de Mestrado (Mestre em Ciências) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2012.

MACHADO, A. A. **Estudo dos padrões atmosféricos sinópticos geradores de eventos extremos de altura de onda, intensidade de vento, marés meteorológicas e erosão na costa do Rio Grande do Sul.** Tese de Doutorado (Doutor em Oceanografia Física, Química e Geológica) - Instituto de Oceanografia - IO, Universidade Federal Do Rio Grande, Rio Grande. 2014

MANTON, K. G.; WOODBURY, M. A.; TOLLEY, H. D. **Statistical application using fuzzy sets.** John Wiley & Sons, Nova York, 1994.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e regionais: Avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro.** São Paulo. Revista Brasileira de Meteorologia, v.16, n.1, p. 2. 2001

MCSWEENEY, S. L. **Temporal and spatial variability of the open coast wave climate of Victoria, Australia.** Marine and Freshwater Research, [S. l.], p. 394-413, 15 ago. 2019. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/mf/MF18489>. Acesso em: 1 set. 2020.

MEUCCI, A.; YOUNG, I. R.; AARNES, O. J.; BREIVIK, Ø. **Comparison of Wind Speed and Wave Height Trends from Twentieth-Century Models and Satellite Altimeters.** *J. Climate*, 33, 611-624. 2020.

MUEHE, D. **Erosão e Progradação Do Litoral Brasileiro**. Brasília: MMA, 2006.

OLEINIK, P. H.; MARQUES, W. C.; KIRINUS, E. P. **Simulação de ondas oceânicas na costa sul-sudeste brasileira para análise do potencial energético**. Rio Grande. Vetor. 2016.

OLIVEIRA, B. A. *et al.* **A high-resolution wave hindcast off Santa Catarina (Brazil) for identifying wave climate variability**. Regional Studies in Marine Science, [S. l.], v. 32, 19 out. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.100834>. Acesso em: 14 ago. 2020.

PARENTE, C.E. *et al.* **Climatologia de ondas**. editores. Meteorologia e oceanografia. Rio de Janeiro: Elsevier. Habitats, v. 2. 2015. p. 55-96.

PIANCA, C.; MAZZINI, P. L. F.; SIEGLE, E. **Brazilian offshore wave climate based on NWW3 reanalysis**. São Paulo. Braz. j. oceanogr. vol.58 no.1. 2010

POÇAS, J. S. *et al.* **Análise comparativa dos espectros de ondas observados ao largo de Santa Catarina e de Rio Grande por ondógrafos, radar de abertura sintética e derivados de modelo**. 4º Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica, FURG, Rio Grande/RS, novembro, 2010.

RIBEIRO, J. *et al.* **Previsão Operacional de Suporte à Entrada e Saída de Navios no Porto De Santos–São Paulo**. 9ªs Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária. LNEC, Novembro, 2017.

SAMPAIO, N. D. E. G. do A. **Variabilidade temporal do regime de ondas na porção Sudoeste do Oceano Atlântico Tropical**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) - Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Fortaleza. 2014.

SILVA, A. C. et al. **Características das Ondas “Sea” And “Swell” Observadas no Litoral do Ceará-Brasil: Variabilidade Anual e Inter-Anual.** Tropical Oceanography, v. 39, n. 2, 2011.

SILVA, I. R.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; DOMINGUEZ, J. M. L.; MARTIN L. **Principais padrões de dispersão de sedimentos ao longo da costa do descobrimento – Sul do Estado da Bahia.** Bahia. Revista Brasileira de Geociências. 2001.

SIMÕES, R. S. F. **Influência Da Altura De Onda No Processo De Escoamento De Petróleo Offshore.** Monografia (Engenheiro naval oceânica) - UFRJ. 2017.

TESSLER, M. G.; GOYA C. S. **Processos Costeiros Condicionantes do Litoral Brasileiro.** São Paulo. Revista do Departamento de Geografia. p.14. 2015.

TOLMAN, H. L. **User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.15. NOAA / NWS / NCEP / OMB.** Tech. Note, 1997. v.151, p. 97, 1997.

WOOLF, D. K. Bubbles and role in gas exchange. In: LISS, P. S.; DULCE, R. A. (Ed.). **The sea surface and global change.** New York: Cambridge University Press, p. 173–206. 85. 1997.

YOUNG, I. R.; ZIEGER, S.; BABANIN, A. V. **Global Trends In Wind Speed And Wave Height.** Science, v. 332, p. 451-455. 2011.