

SISTEMAS FRONTAIS E OS IMPACTOS DE EVENTOS EXTREMOS NA ZONA COSTEIRA DO RIO DE JANEIRO – RJ: análise dos últimos 30 anos

FRONTAL SYSTEMS AND THE IMPACTS OF EXTREME EVENTS ON THE COASTAL ZONE OF RIO DE JANEIRO – R.J.:

analysis of the last 30 years

*SISTEMAS FRONTALES E IMPACTOS DE EVENTOS EXTREMOS EN LA ZONA COSTERA DE RIO DE JANEIRO – RJ: análisis
de los últimos 30 años*

RESUMO

Diante do contexto das mudanças climáticas, o presente trabalho teve como objetivo analisar a relação entre o fenômeno atmosférico da Frente Polar Atlântica (FPA) e os impactos observados sobre o litoral do município do Rio de Janeiro – RJ, identificando um possível aumento da tendência destes impactos sobre a linha de costa carioca a partir da análise das ocorrências históricas da FPA ao longo das últimas três décadas (1988 – 2017). Para isso, foi necessária a aquisição de dados meteorológicos, oceânicos e registros da midiáticos sobre ressacas oceânicas em conjunto com a elaboração estatística do coeficiente de correlação e a frequência relativa percentual entre estes eventos. Os resultados demonstraram uma correlação positiva moderada (0,56) e uma frequência inicial de 16,21% em direção a um crescimento final de 30,43%, o que fortalece a projeção futura do aumento numérico dos danos costeiros sobre as praias cariocas.

Palavras-chave: Frente Polar Atlântica; Ressacas; Vulnerabilidade a Impactos Costeiros.

ABSTRACT

In the context of climate change, this study aimed to analyze the relationship between the South Atlantic Polar Front (SAPF) and the observed impacts on the coastline of the municipality of Rio de Janeiro – R.J. The study identified a potentially increasing trend of these impacts on Rio's coastline by analyzing historical occurrences of the SAPF over the past three decades (1988 – 2017). This analysis required acquiring meteorological and oceanic data and media records of ocean swell events, combined with the statistical calculation of the correlation coefficient and the relative percentage frequency of these events. The results showed a moderate positive correlation (0.56) and an initial frequency of 16.21%, increasing to 30.43%, strengthening the future projection of increasing coastal damages on Rio's beaches.

Keywords: Atlantic Polar Front; Rough Sea; Vulnerability to Coastal Impacts.

RESUMEN

Frente al contexto del cambio climático, este estudio tuvo como objetivo analizar la relación entre el fenómeno atmosférico del Frente Polar Atlántico (APF) y los impactos observados en el litoral del municipio de Río de Janeiro - RJ. Se identificó una posible tendencia al aumento de estos impactos en el litoral de Río de Janeiro a partir del análisis de las ocurrencias históricas del APF en las últimas tres décadas (1988 - 2017). Para ello, fue necesario adquirir datos meteorológicos y oceánicos, así como registros de medios de comunicación sobre eventos de marejadas, junto con la elaboración estadística del coeficiente de correlación y la frecuencia relativa porcentual entre estos eventos. Los resultados mostraron una correlación positiva moderada (0,56) y una frecuencia inicial de 16,21% que

 Carlos Eduardo Santos Costa ^a

 Sérgio Caneda de Vasconcelos

 Núbia Beray Armond ^c

^a Pontífica Universidade do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Rio de Janeiro, RJ, Brasil

^b Pontífica Universidade do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Rio de Janeiro, RJ, Brasil

^c Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil

DOI: 10.12957/geouerj.2024.80339

Correspondência:

kadusantos903@gmail.com

Recebido em: 11 abr. 2024

Revisado em: 19 jun. 2024

Aceito em: 19 jun. 2024



aumentó a 30,43%, lo que refuerza la proyección futura del aumento numérico de daños costeros en las playas de Río de Janeiro.

Palabras Clave: Frente Polar Atlántico; resacas; Vulnerabilidad a Impactos Costeros.



INTRODUÇÃO

No atual cenário de mudanças climáticas, diferentes tipos de eventos extremos vêm sendo detectados em magnitude e frequência cada vez maiores no âmbito global, deflagrando impactos variados sobre o espaço geográfico (Schaller et al., 2016; Oldenborgh et al., 2017, 2021; Otto et al., 2018; Kew et al., 2019; Vautard et al., 2020; Dalagnol et al., 2021; Philip et al., 2021). Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2001), um evento extremo refere-se a uma variação estaticamente significativa nas condições médias do clima ou em sua variabilidade, e que persiste por um longo período – geralmente décadas ou mais, sendo consonante a abordagem do sexto Relatório de Mudanças Climáticas (AR6, 2021) referente a elevação das temperaturas médias que figuram os fenômenos meteorológicos extremos induzidos pelos seres humanos, os quais afetam todas as regiões do globo terrestre.

No caso específico das zonas litorâneas, estas historicamente têm atraído os seres humanos devido à abundante amenidade, valor estético e diversos serviços ecossistêmicos que fornecem, fazendo com que sejam densamente povoadas. Das 20 megacidades ao redor do mundo, 15 estão localizadas ao longo dos litorais, com uma população residente estimada superior a 10 milhões de habitantes (Luijendijk, 2018). Sendo assim, as mudanças climáticas despertam preocupação na população que habita a beira mar, agravando ainda mais os danos costeiros provenientes de eventos extremos sobre as linhas de costa.

No que se refere aos impactos causados na costa brasileira, ganham destaque eventos extremos associados à passagem de sistemas frontais e demais sistemas associados. Além dos próprios volumes de chuva, estes sistemas apresentam consequências importantes no ambiente costeiro, principalmente quanto à deflagração de ressacas por conta da formação de ondas de alta energia (Alves et al., 2009; Klumb-Oliveira et al., 2015).

Sendo gerados durante o ano inteiro, os sistemas frontais ganham força e passam a alcançar latitudes menores do continente sul-americano entre o período do equinócio de outono e solstício de veranil no hemisfério Sul. Esse processo gera fortalecimento do fluxo descendente de ar nas latitudes polares, fazendo com que essas massas de ar de caráter migratório se desloquem para as áreas de baixas latitudes tropicais, onde encontram a Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) (Marengo, 2001; Reboita et al., 2012; 2019; Degola, 2013; Gilliland & Keim, 2018). A convergência superficial entre os ventos provenientes dos polos com os ventos provenientes dos subtópicos favorece o surgimento de frentes, abordadas aqui de maneira genérica, segundo seu atributo genético, como Frente Polar Atlântica (Monteiro, 1969, 1971; Nimer, 1989; Sant'Anna Neto, 2005). A FPA, oriunda da atividade ciclogênica extratropical, atua sobre a costa sul e sudeste do Brasil, sobretudo entre as latitudes de 20°S e 40°S próxima do litoral fluminense e influenciando de maneira significativa o tempo e o clima de ondas junto a costa.

Tais frentes possuem o potencial de gerar tempestades que, ao atuarem sobre os oceanos, acabam por influenciar a altura das ondas que atingem o litoral. O vento que sopra sobre a superfície da água cria ondas por transferência de energia do movimento do ar (energia cinética) para a água (Alves et al., 2009; Klumb-Oliveira et al., 2015). Assim, a problemática deste trabalho se baseia na atuação das Frentes Polares na geração de ressacas (ondas de tempestade) capazes de provocar eventuais impactos litorâneos nas zonas costeiras, principalmente em litorais urbanizados como o do município do Rio de Janeiro (RJ), cuja orientação geral no sentido Leste-Oeste o deixa exposto as ondas provenientes do quadrante sul.

Segundo Barros (2005), na cidade do Rio de Janeiro as praias são atingidas anualmente por intensas ondulações denominadas ressacas, que apresentam ondas entre 3 e 5 metros de altura, provocando impactos significativos sobre a infraestrutura urbana, como a queda de muros de contenção e a destruição de quiosques, ruas, calçadas e demais estruturas de engenharia localizadas ao longo da costa. A destruição das estruturas costeiras tem se repetido gradativamente, evidenciando os problemas estruturais para lidar com a ação natural. Um reflexo disto pode ser observado nos noticiários cada vez mais frequentes divulgando informações acerca dos impactos socioambientais e econômicos desse tipo de evento sobre a orla carioca.

Diante deste cenário, este trabalho parte da premissa de que esteja ocorrendo um aumento no número de passagens frontais na zona costeira carioca nas últimas três décadas (1988 – 2017), com um consequente aumento do número de ressacas, e na ocorrência de impactos costeiros adversos no litoral do município do Rio de Janeiro.

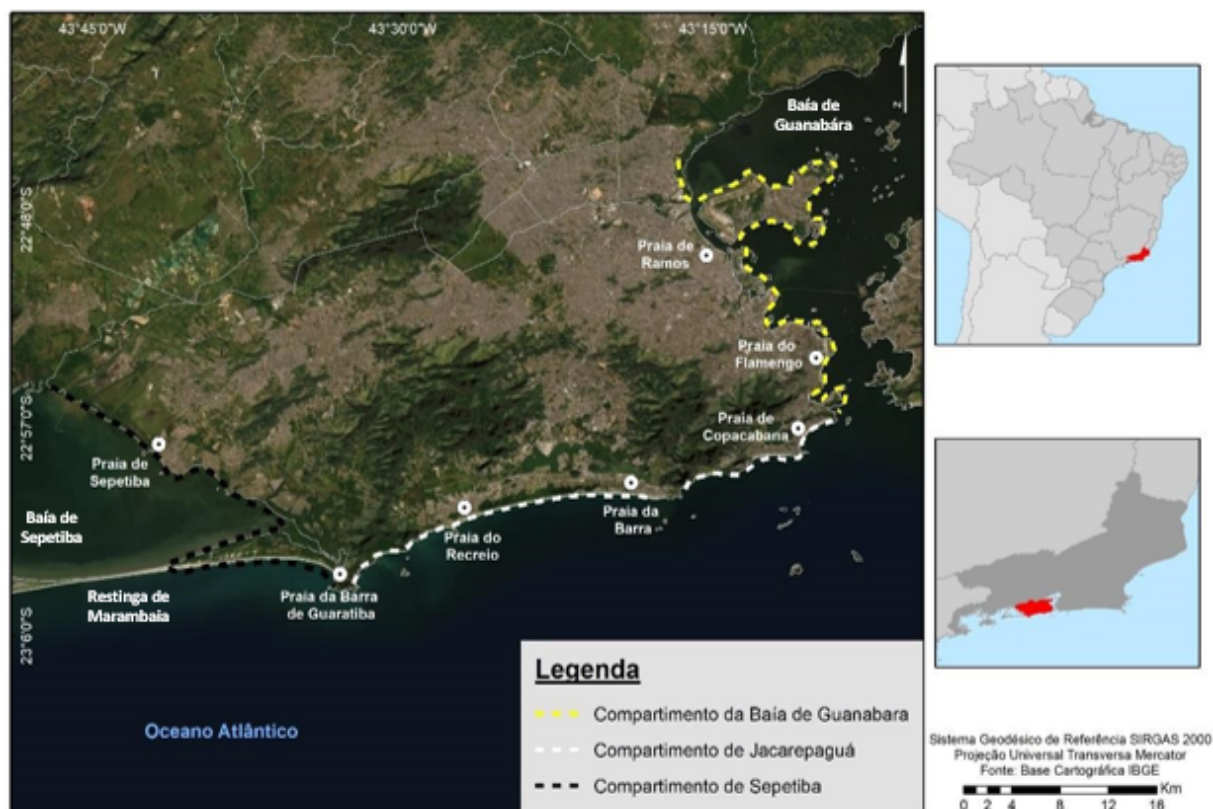
Com o objetivo de analisar a variação numérica histórica conjunta entre estes fenômenos oceânico-atmosféricos, os resultados desta pesquisa poderão ser utilizados como uma forma de subsídio ao planejamento urbano municipal, servindo de base para futuros planos de gerenciamento costeiro, objetivando minimizar os impactos dos eventos de ressaca ao longo do litoral carioca.

ÁREA DE ESTUDO E METODOLOGIA

Sendo definida por Rodrigues e Windevoxhel (1998) como *“o espaço delimitado pela interface entre o oceano e a terra, ou seja, a faixa terrestre que recebe influência marítima e terrestre”*, o recorte espacial desta pesquisa refere-se a zona costeira do município do Rio de Janeiro, mais especificamente dentro do quadrante: -23° 06' 00" Sul - 43° 47' 12.48" Oeste/ -22° 52' 00"Sul - 43° 09' 00"Oeste, englobando tanto praias protegidas no interior das Baías de Sepetiba e Guanabara, quanto praias oceânicas expostas a ação de ondas.

A extensão de 155,5 km da orla carioca foi dividida em três compartimentos: Baía de Guanabara (74 km), Jacarepaguá (38,5 km) e o compartimento da Baía de Sepetiba (43 km) (Figura 1).

Figura 1 - Área de estudo – litoral do município do Rio de Janeiro, com destaque aos três compartimentos costeiros abordados na pesquisa

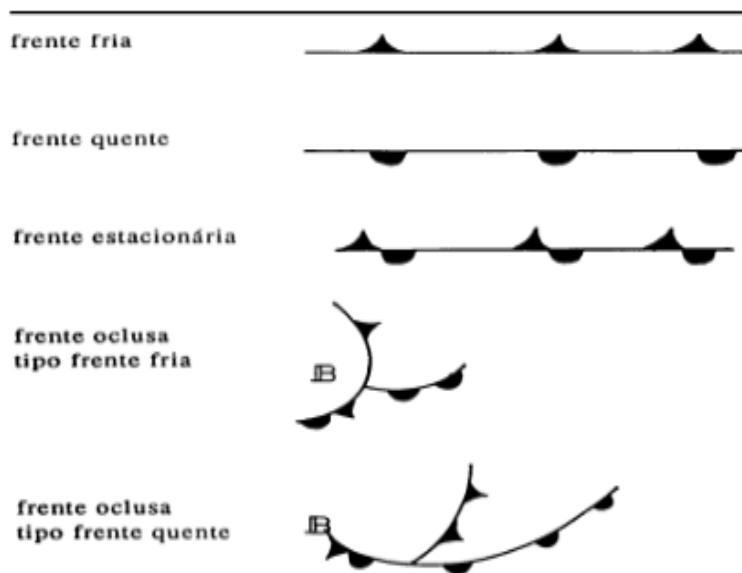


Elaborado pelos autores.

A metodologia utilizada contou com o processamento quantitativo tanto dos dados meteorológicos e oceanográficos, quanto das informações coletadas nos veículos de imprensa, em seis etapas distintas.

A partir dos dados meteorológicos cedidos pelo Banco Nacional de Dados Oceanográficos – BNDO da Marinha do Brasil, a primeira etapa consistiu na filtragem das datas de ocorrência da FPA sobre a região sudeste do Brasil, onde se localiza o município do Rio de Janeiro. Foram analisadas mais de 400 cartas sinóticas e, a partir delas, construído um banco de dados acerca da frequência da ocorrência das FPA sobre o recorte espacial em estudo, entre os anos de 1988 e 2017. Para isso, foi realizada a leitura das cartas sinóticas por meio da metodologia de Miguens (1996), a partir da simbologia de classificação de cada tipo de Frente, conforme a imagem abaixo.

Figura 2 - Representação dos diferentes tipos de Frentes nas Cartas Sinóticas.



Fonte: Miguens, 1996.

A segunda etapa se baseou na coleta de informações nos veículos de mídia como: Jornal O Globo, Jornal do Brasil, Jornal O Dia, Revista eletrônica G1, Revista eletrônica R7, página Geocosteira, Youtube, Revista Veja, Facebook, site UOL, SAPERJ (Sindicato dos Árbitros Profissionais do Estado do Rio de Janeiro) e site Agência Brasil; os quais puderem apontar registros de ocorrência histórica de ressacas marítimas significativas sobre a orla carioca. Foram usadas como referência as datas de ocorrência das FPA identificadas na etapa anterior. Além disso, as ressacas também foram categorizadas de acordo com sua altura, segundo a Escala de Douglas - Estado do Mar. Esses valores foram tabulados em ambiente de planilha eletrônica *Microsoft Excel*, no qual também foram gerados os produtos gráficos.

A terceira etapa consistiu na síntese dos danos litorâneos, de acordo com as datas e quantidade dos impactos costeiros gerados pelas ressacas na área de estudo. Também foi realizada uma classificação dos impactos baseando-se na categorização de Souza (2011): erosão, destruição e/ou comprometimento de propriedades e bens; Redução de espaços habitáveis; aumento da vulnerabilidade de pessoas e bens; problemas com atividades portuárias/retroportuárias (estruturas, dragagens), industriais (ex. petróleo e gás), turísticas e de serviço-comércio; comprometimento da beleza cênica; perda de potencial turístico; problemas com aplicação da legislação ambiental vigente (ex. Terrenos de Marinha e Áreas de Preservação Permanente); alto custo de manutenção/ recuperação/ mitigação; prejuízos socioeconômicos e perda da qualidade de vida.

A quarta consistiu na tabulação dos dados secundários reunidos (El Niño – Temperatura da superfície do mar, FPA, ressacas significativas e impactos costeiros), a fim de gerar a correlação entre estes eventos. Para tanto, foi calculado o Coeficiente de Correlação de Spearman (BAUNER, 2007), com base nas frequências anuais absolutas. Tal escolha baseia-se na perspectiva de Bauner (2007), que descreve este coeficiente como sendo um cálculo de avaliação do grau de relação quantitativa entre duas variáveis monótonas (causal ou não causal), ou seja, em que as variáveis oscilam não necessariamente em uma mesma quantidade, mas sim de forma simultânea, oscilando na mesma direção. Ele consiste em uma medida associativa entre duas variáveis qualitativas ordinais, que são ranqueadas (k) de modo a atribuir o status de valor 1 ao menor valor da variável x , de valor 2 ao segundo menor valor, e assim sucessivamente, até atingir a totalidade dos n valores. O cálculo do coeficiente de correlação de Spearman (r_{sp}) é dado pela seguinte expressão:

$$r_{sp} = 1 - \frac{6 \sum_{k=1}^n d_k^2}{n(n^2 - 1)}$$

(Eq. 1)

O Coeficiente de Spearman varia entre -1 e 1, os graus de intensidade das taxas obtidas variam da seguinte forma (Silvia et al., 2006): 0.9 a 1,00 - positivo ou negativo indica uma correlação muito forte. 0.70 a 0.89 - positivo ou negativo indica uma correlação forte. 0.40 a 0.69 - positivo ou negativo indica uma correlação moderada. 0.20 a 0.39 - positivo ou negativo indica uma correlação fraca. 0,00 a 0.19 - positivo ou negativo indica uma correlação bem fraca.

Caso o coeficiente de correlação (r_{sp}) seja igual a 1, então todos os postos são iguais para as duas variáveis em análise (associação positiva perfeita). Se (r_{sp}) = -1, então ocorre uma associação negativa perfeita. Em caso de (r_{sp}) = 0, é indicada a ausência de associação entre as variáveis x e y em investigação (Fávero & Belfiore, 2017). O coeficiente de correlação foi obtido através do website da *Social Science Statistics*, enquanto a frequência percentual relativa foi gerada pelo software de planilha eletrônica *Microsoft Excel*.

Os dados de El Niño/La Niña utilizados foram extraídos do website do *Climate Prediction Center* (CPC), centro do *National Weather Service* (NWS) da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Foram empregados os dados do *Oceanic Niño Index* (ONI). Esse índice é extraído utilizando-se a média móvel de 3 meses das anomalias da região do Niño 3.4 (entre 5°N – 5°S, 120° – 170°W). Tal média é considerada no contexto de um período de 30 anos, que é atualizado a cada 5 anos. Os dados de trimestres móveis foram

transformados em média anual, posto que os dados de FICs e FPA também são discutidos em âmbito anual. Essa operação foi realizada em ambiente *R*, no qual também foram gerados os gráficos de dispersão e também aplicada, de maneira exploratória, uma estatística de regressão linear (CHAMBERS, 1992; WILKINSON e ROGERS, 1973), conforme a Equação 2:

$$y \approx \beta_0 + \beta_1 * X$$

(Eq. 2)

Na qual a variável *y* (dependente) busca ser identificada, quanto à sua relação de linearidade, com uma variável *X* (independente). O principal objetivo da regressão linear é a previsão do valor de *y* com base nos valores de *X*, além de quantificar a força e a direção dessa relação – no presente caso, as relações entre o ONI, FIC's e FPA (MONTGOMERY; RUNGER, 2014; KUTNER et al., 2004). É importante ressaltar que as três variáveis seguem os princípios preconizados para um uso adequado da análise de regressão, quais sejam: aleatoriedade da distribuição, ausência de autocorrelação, homoscedasticidade, normalidade dos resíduos e ausência de multicolinearidade.

Na quinta etapa, foi realizado o processamento cartográfico digital dos dados de frequência dos impactos costeiros (FIC's), obtendo, assim, os produtos cartográficos. Foram utilizados os *softwares* *ArcGis* 10.3 e *Google Earth Pro*, além do software *Microsoft Excel*, que possui disponível a ferramenta "Formatação condicional", permitindo de forma automática a atribuição de cores às respectivas quantidades de impactos costeiros em cada praia.

Por fim, a sexta e última fase metodológica, contou com a execução de cálculos estatísticos sobre a tendência (Mann Kendall) de ocorrência e magnitude (Sen's Slope) das FPA's assim como dos IC's, a fim de comprovar o objetivo central referente a ocorrência simultânea entre ambos os fenômenos, com a utilização do *software* *R* (LIBISELLER e GRIMVALL, 2002; HIPEL e McLEOD, 1994).

Segundo Yue (et al., 2002), o teste de Mann-Kendall é um método robusto, sequencial e não-paramétrico, utilizado para identificar se determinada série de dados possui uma tendência temporal de alteração estatisticamente significativa. Por se tratar de um método não-paramétrico, este método não requer que os dados apresentem distribuição normal (YUE et al., 2002). Por isso, o método de Mann-Kendall é frequentemente utilizado para o cálculo de tendências em séries de variáveis ambientais (LIBISELLER e GRIMVALL, 2002; YUE et al., 2002; HIPEL e McLEOD, 1994), através da equação 3:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sin}al(x_j - x_i)$$

(Eq. 3)

em que S é o resultado da soma das contagens de $(x_j - x_i)$; x_j é o primeiro valor após x_i , n é o número de dados da série temporal. Para cada par de dados são atribuídos os seguintes valores (Equação 4):

$$\text{sin}al = \begin{cases} +1 & \text{se } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{se } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{se } (x_j - x_i) < 0 \end{cases}$$

(Eq. 4)

A distribuição de probabilidade da estatística S tende à normalidade quando há grandes amostras de observações (n), com média zero e variância (σ^2) dada por:

$$VAR(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)]$$

(Eq. 5)

em que t_p é o número de dados com valores iguais em certo grupo; q é o número de grupos contendo valores iguais na série de dados em um grupo p .

A estatística do teste de Mann-Kendall é baseada no valor da variável Z , calculado conforme a equação 6:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}}, & S < 0 \end{cases}$$

(Eq. 6)

Para saber se há tendência o p-valor do teste deve ser inferior ao nível de significância definido, para que a hipótese nula seja rejeitada. Para saber se a tendência é crescente ou decrescente, observa-se o sinal da estatística Z .

Já o Sen's Slope é um procedimento realizado para detectar o viés da declividade na curva de tendências lineares, e geralmente usado como complemento dos resultados do teste de Mann-Kendall (DA SILVA et al, 2015). Em outras palavras, o cálculo do coeficiente de regressão "Sen's slope", é utilizado para medir a

magnitude das tendências anteriormente obtidas (SEN, 1968), conforme suas respectivas equações: (Equação 7 e 8).

$$Q_{ij} = \frac{X_j - X_i}{j - i}, \text{ em que } j > i \quad (\text{Eq. 7})$$

$$Q_{med} = \{Q_{\lfloor \frac{M+1}{2} \rfloor}\}, \text{ se } M \text{ for par } \left(\frac{Q_{\lfloor \frac{M}{2} \rfloor} + Q_{\lfloor \frac{M+2}{2} \rfloor}}{2} \right), \text{ se } M \text{ for ímpar} \quad (\text{Eq. 8})$$

Em que:

n = tamanho amostral

M = número de pares comparados

X_j e X_i = valores das subamostras

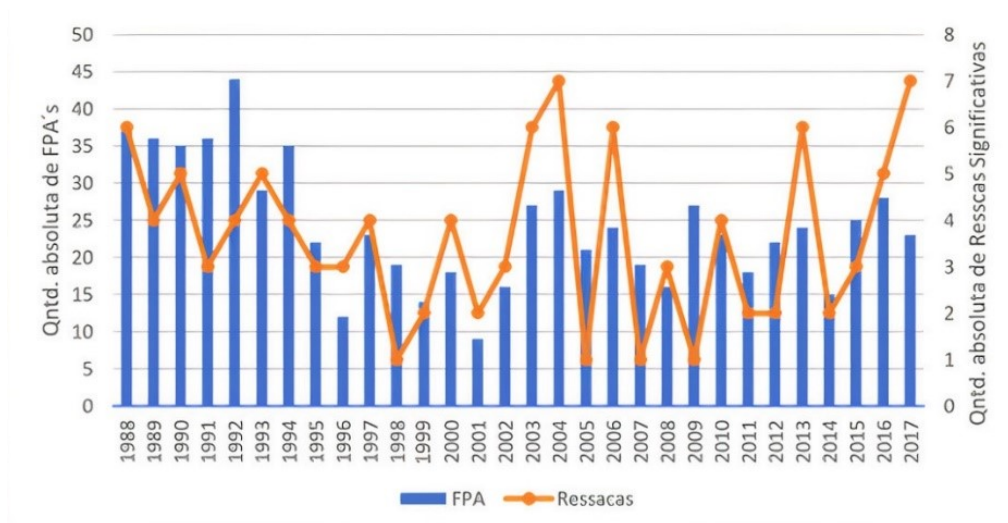
Lembrando que a mediana será o estimador de declive, e seu resultado determinará se a tendência na série é positiva, negativa ou inexistente (MOREIRA; NAGHETTINI, 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Frente Polar Atlântica e Ressacas Significativas

De 1988 até 2017 ocorreu um total de 726 episódios de FPA, com uma média de 24 episódios por ano, sobre a cidade do Rio de Janeiro (Figura 2).

Figura 3: Gráfico de análise de oscilação conjunta entre a FPA e as ressacas significativas (1988 – 2017).

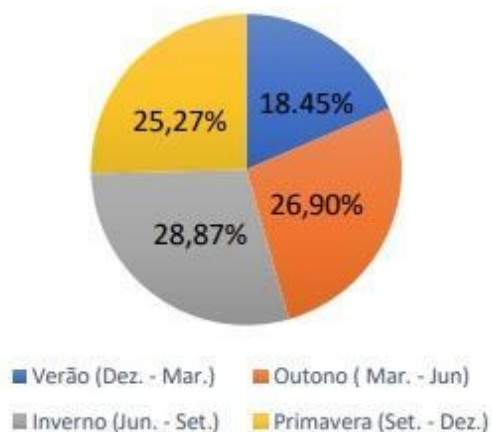


Elaborado pelos autores.

Foi possível observar uma quantidade significativa de eventos já nos primeiros anos do recorte temporal estudado: os anos compreendidos entre 1988 e 1992 apresentaram a maioria das ocorrências, totalizando a passagem de 188 FPA (25, 89%). Nos dez anos seguintes, o número de passagens frontais deflagradoras de ressacas significativas sobre a capital carioca diminuiu de forma expressiva. Em termos absolutos e percentuais, no período de 1993 a 1997 ocorreram 121 eventos, correspondendo a 16,6% do total. Entre 1998 e 2002, apenas 76 ocorrências (10,46%) foram registradas. Entretanto, a partir dos anos posteriores (2003 – 2017), foi possível identificar uma alteração neste padrão, apresentando tendência de aumento na frequência de FPAs sobre a orla carioca. Entre os anos de 2003 e 2007, ocorreram 44 casos a mais do que no último período descrito (1998 – 2002), totalizando 120 episódios frontais (16,52% do total), além dos 106 e dos 115 episódios (14,60% e 15,84% do total respectivamente) registrados nos intervalos subsequentes de 2008 – 2012 e 2013 – 2017.

Houve uma concentração de 55, 77% dos eventos associados a FPA nas estações de outono e inverno.

Figura 4 - Histórico percentual de ocorrência da Frente Polar Atlântica entre as estações climáticas anuais no município do Rio de Janeiro (1988 – 2017). Fonte: Banco Nacional de Dados Oceanográficos – Marinha do Brasil



Elaborado pelos autores.

Este resultado corrobora as características conhecidas da dinâmica climática local, marcada, na prática, pela divisão em duas amplas estações: uma estação mais quente e relativamente chuvosa, e outra de temperaturas mais amenas e menores totais pluviométricos. Desta forma, primavera e outono agregam-se às características das demais, tratando-se mais de intervalos de transição do que estações propriamente definidas (NIMER, 1989; SANT'ANNA NETO, 2005; CLIMATEMPO, 2017).

Ao observar a totalidade da série histórica, é possível identificar a presença de significativa variabilidade temporal (sazonal e interanual). Nos primeiros 20 anos da série (1988 – 2007), a ocorrência de episódios

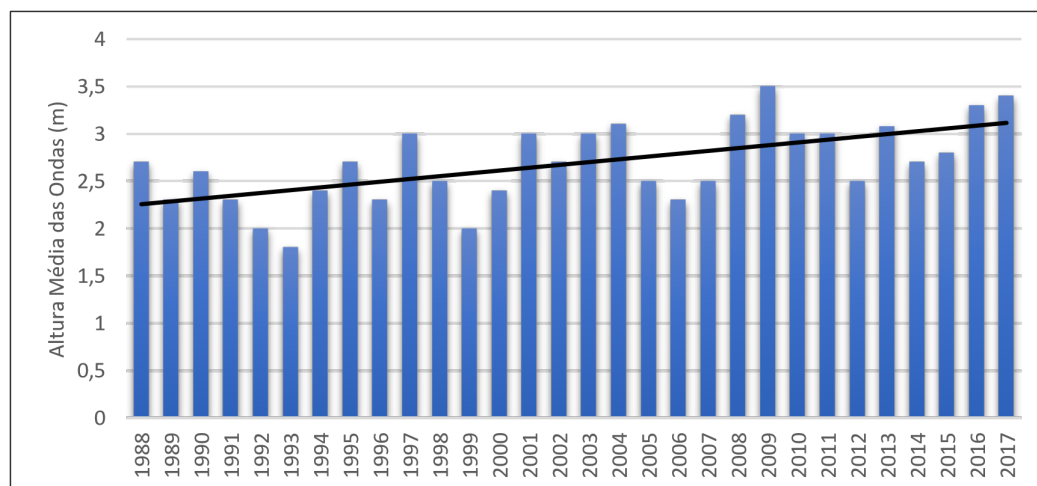
frontais na área em estudo foi reduzida, oscilando de 5,09% para uma ocorrência percentual de 2,61%, enquanto os 10 anos seguintes (2008 – 2017) demonstraram uma variabilidade percentual crescente de 6,06% sobre a sua ocorrência, em comparação à década de 1988 a 2007 (Figura 2).

Seguindo os mesmos períodos anuais estabelecidos para a análise das FPAs, observou-se um total de 109 eventos de ressacas significativas no Rio de Janeiro. Este fenômeno apresentou considerável variação ao longo dos anos. Em números absolutos e percentuais, entre 1988 e 1992 foram identificadas 22 ressacas (equivalentes a 20% do total). Esse valor diminuiu para 19 casos (17,27% do total) nos anos seguintes (entre 1993 e 1997). Esta sequência de queda se manteve também entre 1998 e 2002, no qual apenas 11 ressacas foram registradas (10% do total), o menor número em 14 anos. Contudo, a frequência observada se altera nos anos posteriores, como foi o caso do período entre 2003 a 2007, em que foram registrados 21 episódios (19,09% do total), e nos anos de 2008 a 2012 e 2013 a 2018 que apresentaram, respectivamente, 12 e 17 casos, o que equivale a 10,90 % e 15,45% do total de ressacas significativas.

Com um valor médio de 3,6 ressacas significativas/ano, a frequência das ressacas significativas diminuiu ao longo dos primeiros 20 anos, oscilando entre 6,42% (máximo) e 0,91% (mínimo). Entretanto, os dados percentuais refletem, ainda, a expansão do número de marés meteorológicas (ou marés de ressaca) sobre o litoral carioca no período entre 2008 e 2017, quando ocorreu um aumento de 4,54% na quantidade de ressacas significativas registradas, em comparação à década de 1998 a 2007.

Quanto à oscilação das médias altimétricas, o valor de 3,0 metros de altura das ondas apresentou maior frequência anual, consistindo no valor referente à moda aritmética.

Figura 5 - Médias históricas das alturas das ondas das ressacas significativas costeiras no município do Rio de Janeiro (19988 – 2017).



Fonte: Banco Nacional de Dados Oceanográficos – Marinha do Brasil. Elaborado pelos autores.

Associando este valor com a classificação proposta pela Lei de Douglas – Estado do Mar, é possível constatar que as ressacas significativas obtiveram um aspecto “grosso”, apresentando riscos consideráveis por conta de uma condição de mar com grandes ondulações.

Assim como na frequência da FPA, a distribuição das ressacas significativas também pôde ser caracterizada de acordo com a sazonalidade. Elas também se fizeram mais presentes nos meses de outono e inverno, evidenciando uma relação com a ocorrência das FPAs.

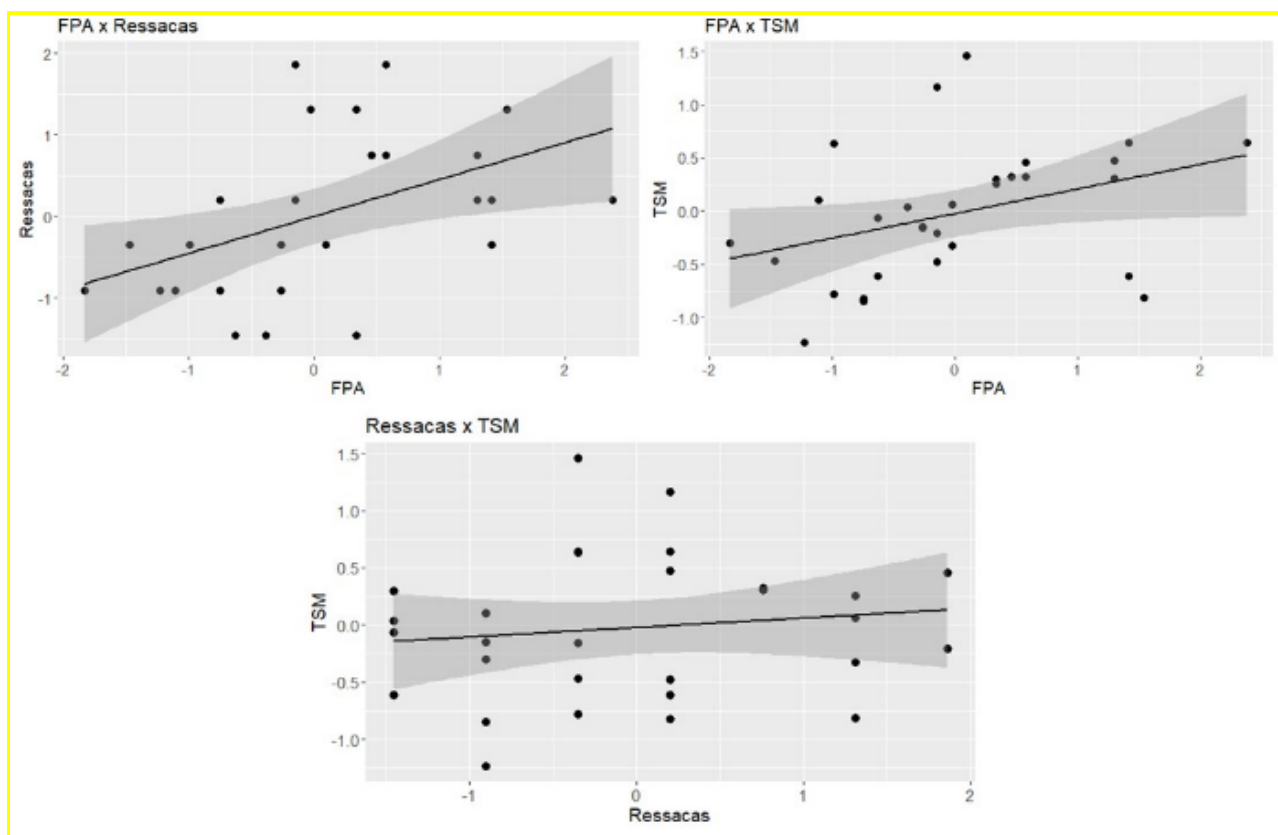
Um dos fatores explicativos dessa associação na ocorrência tanto de episódios gerados por FPAs quanto pela altura das ondas consiste no fenômeno do El Niño/Oscilação Sul (ENOS). De acordo com Minuzzi (2006), o ENOS se caracteriza como sendo um modo acoplado (atmosfera-oceano) de variabilidade e teleconexão situado no oceano Pacífico Equatorial e Pacífico Tropical e que modula elementos climáticos como precipitação pluviométrica em várias partes do planeta, inclusive na América do Sul. Conforme estudos de Klumb-Oliveira (2015), o litoral do Rio de Janeiro é afetado pela atuação do ENOS: anos de El Niño se caracterizam pela maior média anual de episódios de tempestade (6,4 tempestades/ano), com maior probabilidade de ocorrência de episódios extremos.

Associado ao ENOS, em escala sinótica, a atuação da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) possui estreita relação com as variações na atuação da FPA. Sobretudo durante os meses de inverno, a variação na posição do ASAS está intimamente ligada à passagem de frentes frias (Ito, 1999; Degola, 2013; Reboita et al., 2010, 2015, 2019). Tal sistema anticiclônico no sudeste do Brasil é mais intenso justamente no inverno, quando apresenta um deslocamento para norte, enquanto no verão, ele se afasta do continente e se desloca mais para o sul. Este deslocamento se deve ao aquecimento e a formação de uma baixa térmica continental. (SATYAMURTY et al., 1998).

Para Kourky et al. (1984), durante a atuação do El Niño ocorre a intensificação da ASAS e, consequentemente, maior transferência de energia para as ondas de ENE-ESE na costa brasileira. Klumb-Oliveira (2015) demonstra que, em períodos de El Niño, a costa fluminense estaria mais exposta a danos e prejuízos causados por eventos extremos do que em anos de La Niña.

Nesse contexto, os produtos de análise exploratória que objetivaram colocar em relação as variáveis do ONI, FPAs e Ressacas significativas (Figura 6) expressam possibilidades analíticas importantes para o entendimento da interação entre tais variáveis.

Figura 6 - Gráficos de dispersão com linha de ajuste de regressão linear entre a média anual de temperatura da superfície do mar (Niño Oceânico – ONI), FPA's e as ressacas significativas costeiras no município do Rio de Janeiro (1988 – 2017)



Fonte: Banco Nacional de Dados Oceanográficos – Marinha do Brasil e NOAA (Administração Nacional Oceânica e Atmosférica).
Elaborado pelos autores.

Os produtos gráficos que indicam dispersão dos pontos de ocorrência de FPAs em relação a Ressacas significativas, e de FPAs em relação ao ONI sugerem um relacionamento linear positivo entre essas variáveis. Ou seja, na medida em que se apresenta incremento na ocorrência de FPAs, também apresenta-se um incremento da ocorrência de ressacas significativas, o que coaduna com o expresso na literatura. O mesmo ocorre quando se observa o incremento da temperatura de superfície do mar via ONI, que também aparece como acompanhado do aumento da ocorrência de FPAs – o que também converge com o encontrado na literatura. O mesmo padrão já não pode ser visualmente identificado no que se refere ao ONI e às ressacas significativas, o que é um resultado esperado, posto que as relações entre temperatura da superfície do mar e ressacas não ocorre de modo direto, mas indireto, através dos sistemas atmosféricos (como a FPA, por exemplo) em interação com a costa.

Os produtos quantitativos dessas relações podem ser identificados no Quadro 1, que sugere confirmação da análise visual realizada.



Quadro 1 - Estatísticas exploratórias de ajuste de modelo de regressão linear

	FPA x ONI	FPA x ressacas	ONI x ressacas
Coefficiente	0.54	0.45	0.21
p-valor	0.04	0.01	0.4
Valor de R²	0.13	0.20	0.01

Elaborado pelos autores.

As ressacas variaram negativamente em relação à TSM, com um coeficiente de 0.213, mas com um p-valor de 0.4. Este último indica ausência de significância estatística, sugerindo que o ONI não é um bom preditor para ressacas. Em relação à TSM e as FPAs, o coeficiente identificado foi de 0.54, com um p-valor de 0.04, indicando um resultado estatisticamente significativo. Ou seja, um aumento na TSM sugere um incremento na frequência das FPAs, com uma expectativa de crescimento de 59%. Além disso, o valor de R^2 é de 0.1377, indicando que aproximadamente 13.77% da variação dos dados de FPA podem ser explicados pela TSM.

Quanto às FPAs e ressacas significativas, o coeficiente encontrado foi de 0.45, com um p-valor de 0.0121, sugerindo que para cada unidade de aumento de FPA, espera-se um aumento de 45% nas ressacas. O valor de R^2 foi de 0.2045, indicando que 20.45% da variação dos dados de ressaca pode ser explicada pelas FPAs.

Considerando outras variáveis ambientais também influentes, é possível afirmar que, de forma anômala, quanto maior for a temperatura da superfície do mar no Pacífico Equatorial (períodos de El Niño), maior será a tendência de passagens da Frente Polar Atlântica, com suas consequentes ressacas nas praias do Rio de Janeiro em recorte inter-anual.

Impactos Costeiros

A partir da coleta de notícias sobre as ressacas costeiras, tais informações foram filtradas e associadas à classificação de Souza (2011), alcançando, assim, 12 tipos diferentes de Impactos Costeiros (IC's) sobre as praias do município do Rio de Janeiro: erosão, destruição e/ou comprometimento de propriedades e bens (37% de ocorrência), aumento da vulnerabilidade de pessoas e bens (14% de ocorrência), problemas com as redes de esgoto e de fornecimento de água potável (5% de ocorrência), alto custo de manutenção, recuperação, mitigação (3% de ocorrência), prejuízos socioeconômicos (10% de ocorrência), perda progressiva de terrenos naturais (4% de ocorrência), inundações periódica de terrenos da orla (14% de ocorrência), mortandades de espécies vegetais e animais (1% de ocorrência), salinização dos terrenos e do lençol freático (1% de ocorrência), perda da qualidade de vida (9% de ocorrência), modificações paulatinas nos processos biogeoquímicos (1% de ocorrência) e comprometimento da beleza cênica (1% de ocorrência).

Descrevendo a frequência dos impactos costeiros (FIC), eles demonstraram uma regularidade (frequência) desigual ao longo das zonas litorâneas em destaque nesta pesquisa (Figura 5).

Foram identificadas significativas variações numéricas (quantidade) de IC's entre os compartimentos litorâneos do município do Rio de Janeiro. Estas divergências suscitam justificativas relacionadas à morfologia das zonas costeiras estudadas, assim como seu grau de exposição (maior ou menor) ao regime de ondas provenientes dessas condições climáticas ao longo das estações do ano.

O Compartimento de Jacarepaguá foi o trecho que apresentou maior registro de danos associados a impactos costeiros, com um total de 172 ocorrências. Neste compartimento, a praia do Leblon teve o maior percentual de frequência de IC's nos últimos 30 anos, totalizando 44 impactos (25,58% do total), seguido da praia da Barra da Tijuca, com 25 impactos (14,53% do total). Neste mesmo compartimento, a praia de Grumari apresentou o menor número de danos, com apenas 1 registro (0,58% do total).

O Compartimento da Baía de Guanabara representa o segundo compartimento costeiro com a maior incidência de IC's, com um quantitativo total de 16 impactos registrados durante o período de análise (1988 - 2017). Neste compartimento, a praia do Flamengo possui a maior parcela dos danos costeiros, com 37,5% dos IC's, seguida da praia Vermelha e Marina da Glória que representam, cada uma, 18,75% dos impactos, além da praia da Urca, com 12,5%. Já a praia de Botafogo apresentou a menor percentagem dos IC's na orla da Baía de Guanabara, com apenas 6,25% da ocorrência total de impactos, ressaltando também os IC's em partes da pista de pouso do Aeroporto Santos Dumont (6, 25%).

Suas características morfológicas associadas à sua posição, protegida da incidência direta das ondas, pode se constituir em um importante fator explicativo para esse resultado, no que se refere às praias mais próximas da entrada da baía ou posicionadas de frente à entrada das ondas de ressaca se apresentam dinâmicas e até vulneráveis à energia das ondas, da mesma forma como os demais ambientes praieros de baixa energia das ondas em seu interior, abrigadas dos eventos de alta energia, mas que não são imunes aos mesmos (DA SILVA et.al), conforme os meses de maior incidência (outono e inverno) das FPA's

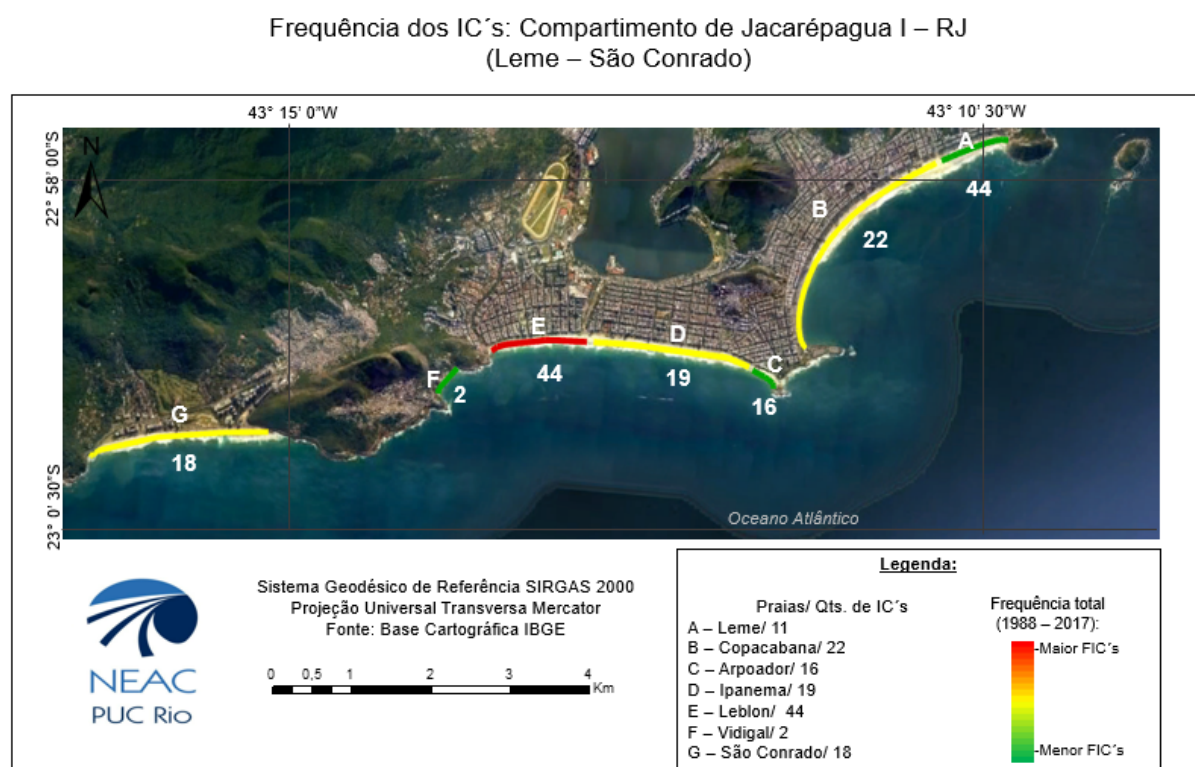
Por fim, o Compartimento da Baía de Sepetiba teve suas praias impactadas apenas 12 vezes. A praia da Barra de Guaratiba e a praia de Sepetiba possuem os maiores percentuais de impactos neste compartimento, representando 50% e 33,33% dos impactos, respectivamente. Já as praias de Ponta Grossa e Pedra apresentaram 8,33% dos impactos cada uma.

Em suma, as diferenças entre os compartimentos litorâneos cariocas quanto à exposição aos impactos se justificam pela morfologia das zonas costeiras estudadas em associação ao regime de ondas provenientes

dessas condições climáticas ao longo das estações do ano. O Compartimento de Jacarepaguá (figuras 7 e 8) é representado pelas praias oceânicas do município, que são mais expostas a ação direta das ondas de tempestade. Situação diferente é encontrada no Compartimento da Baía de Guanabara (figura 9), que engloba praias semiprotégidas. Entretanto, a depender da localização, algumas praias ainda podem ser atingidas por ondas de alta energia principalmente oriundas do quadrante sul que sofrem refração de ondas junto a entrada da Baía de Guanabara. Já o Compartimento da Baía de Sepetiba (figura 10) apresenta as praias mais bem protegidas em relação à ação direta das ondas em função da presença da restinga da Marambaia.

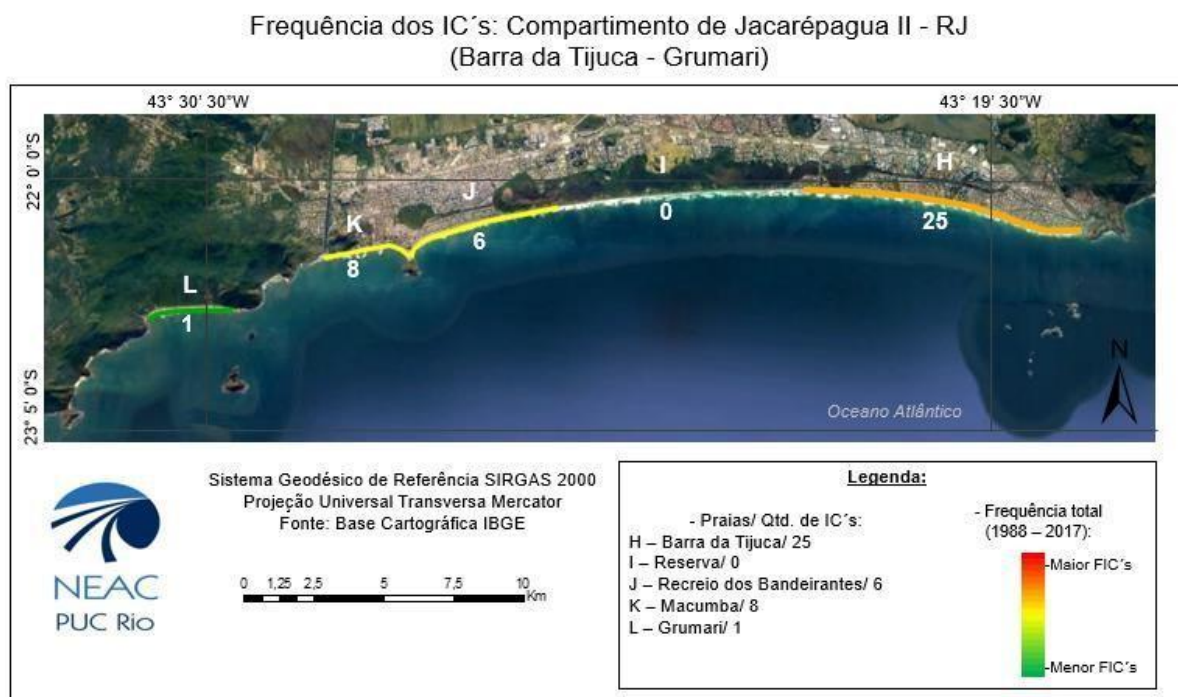
As frequências de IC's em suas respectivas praias de ocorrência foram representadas espacialmente a partir dos Mapas de Frequência dos Impactos Costeiros (FIC's) de cada um dos compartimentos costeiros do município do Rio de Janeiro. É válido destacar que o Compartimento de Jacarepaguá foi dividido em setores I e II apenas para fins de visualização (escala).

Figura 7: Mapa da Frequência dos tipos de Impactos costeiros no Compartimento costeiro de Jacarepaguá I (1988 – 2017).



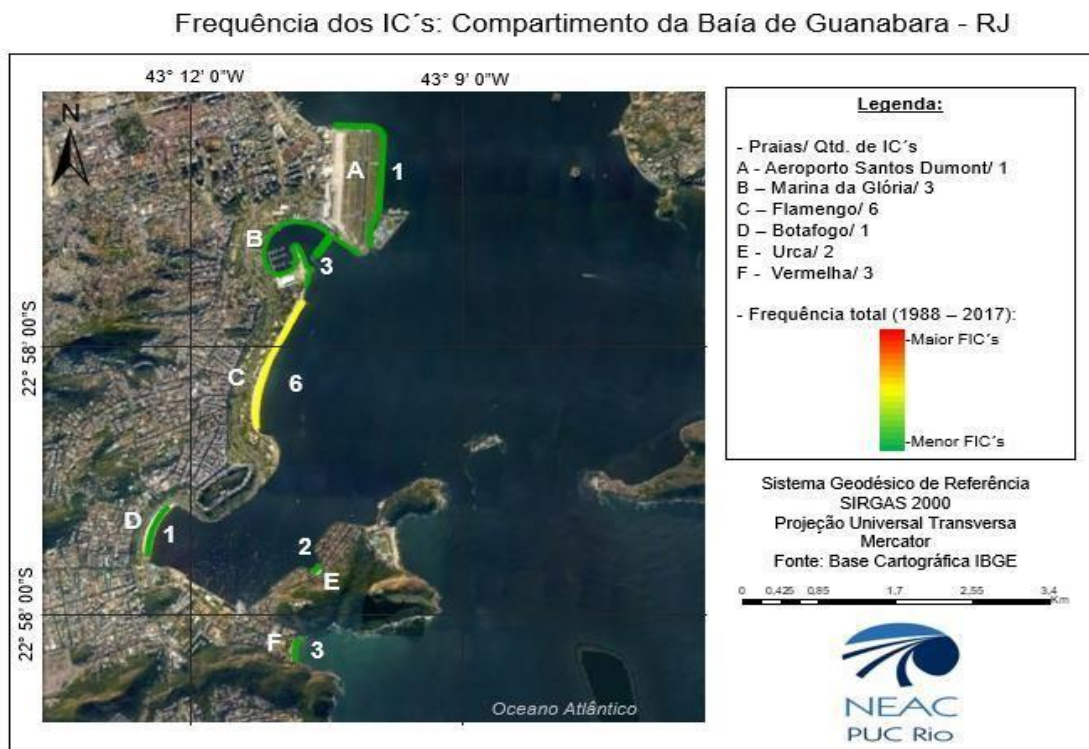
Elaborado pelos autores.

Figura 8 - Mapa da Frequência dos tipos de Impactos costeiros no Compartimento costeiro de Jacarepaguá II (1988 – 2017).



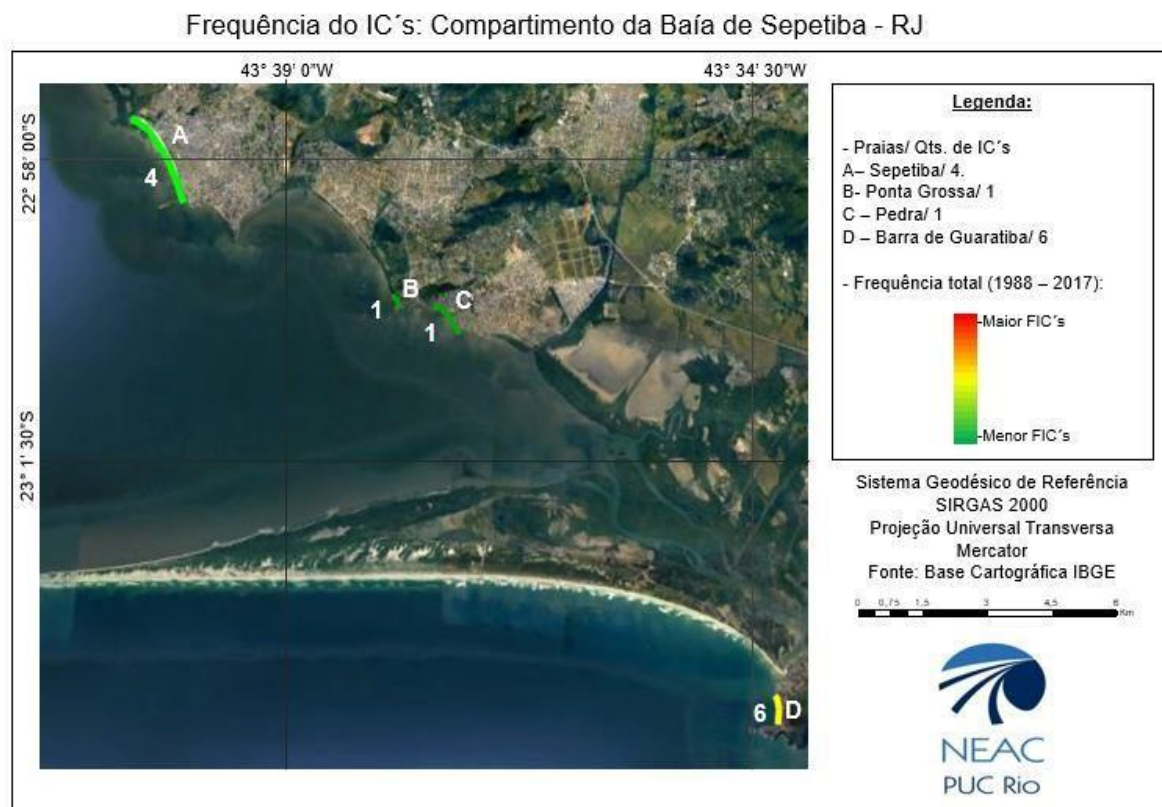
Elaborado pelos autores.

Figura 9 - Mapa da Frequência dos tipos de Impactos costeiros no Compartimento costeiro da Baía de Guanabara (1988 – 2017).



Elaborado pelos autores.

Figura 10: Mapa da Frequência dos tipos de Impactos costeiros no Compartimento costeiro da Baía de Sepetiba (1988 – 2017).



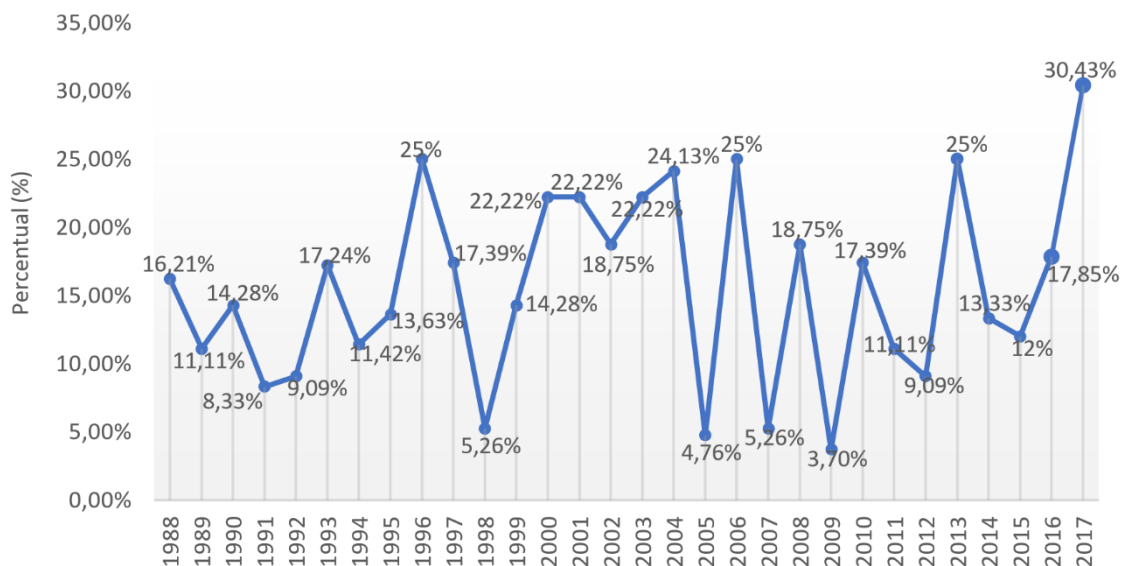
Elaborado pelos autores.

É importante salientar que, por mais que algumas praias possam ter tido o registro de um número pequeno de eventos, os danos socioambientais repercutiram de forma prejudicial em curto prazo. Isto faz com que seja importante levar em consideração não só a quantidade de episódios de impactos costeiros em conjunto aos eventos de ressacas e frentes frias, mas também as suas consequências, levando em conta os aspectos morfológicos das praias e o uso e cobertura do solo.

Análise histórica conjunta (1988 – 2017): interação entre as variáveis

Em um recorte temporal anual, além do relacionamento linear entre as variáveis, já destacado anteriormente na figura 6, ambos os objetos de estudo (FPAs e ICs - em conjunto aos mapas anteriores) – também demonstram uma resposta proporcional quanto a influência que as FPAs tiveram sobre a formação das ressacas significativas em termos percentuais na escala de tempo em destaque (Figura 11).

Figura 11 - Frequência percentual relativa entre o número de Ressacas significativas e FPA's.



Elaborado pelos autores.

A Figura 11 apresenta uma variabilidade entre ambas as variáveis destacadas a partir de uma alternância percentual crescente ao longo dos últimos trinta anos. A partir do gráfico, abre-se a possibilidade de inferir possíveis tendências temporais na ocorrência de ICs, posto que a sua frequência varia entre 16,21% em direção à 30,43%. Com o intuito de conferir robustez a essa análise temporal, vislumbrando a identificação de eventuais tendências de aumento, diminuição ou estabilidade dessas variáveis, foram aplicados os testes não-paramétricos de Mann-Kendall e Sen's Slope. Os resultados encontram-se no Quadro 2.

Quadro 2 - Estatísticas dos testes de Mann-Kendall (z e p-valor) e Sen's slope (sinal e magnitude da tendência).

	FPA	Ressacas
Z	-1.8592	-0.6522
Sen's slope	-0.421	0
p-valor	0.06	0.5142

Elaborado pelos autores.

Ambos os resultados indicam tendências negativas, o que sugeriria um aparente decréscimo tanto no que se refere à variável de FPA quanto de ressacas significativas. Esses resultados podem ser identificados pelos valores negativos de Z (ainda que muito próximos de zero, o que sugeriria uma tendência fraca) e do Sen's

Slope. No entanto, para ambas as variáveis, foi identificada ausência de significância estatística, representada pelo valor de p superior ao valor do intervalo de confiança considerado (p -valor superior a 5% no contexto de 95% de intervalo de confiança). Nesse contexto, considerando os critérios estabelecidos neste estudo, não é possível identificar tendência de incremento ou diminuição, ou mesmo de estabilidade, na ocorrência de FPA's e de ICs nas praias do Rio de Janeiro.

CONCLUSÃO

Tendo em vista o propósito de auxiliar o planejamento e gestão costeira da cidade do Rio de Janeiro, este trabalho evidenciou a relação entre a formação das marés meteorológicas e seus correspondentes impactos litorâneos nas praias cariocas. A existência de correlação positiva entre as variáveis em recorte anual na série histórica (1988 – 2017) acaba por comprovar parte da hipótese levantada no início da pesquisa, ao menos no que se refere a variação conjunta entre as FPA's e as ressacas. Entretanto, por mais que a FPA e as ressacas apresentem indicações de crescimento para os próximos anos, isto não torna essa relação linear. Em síntese, não significa que os impactos costeiros irão aumentar ou diminuir futuramente, mas, sim, que o número de ressacas significativas e seus devidos danos sobre a orla, de modo geral, indicam variar em concordância (na mesma direção) aos episódios de frentes frias.

Isso se deve a heterogeneidade na ocorrência dos impactos litorâneos entre as diferentes praias cariocas, que se justificam não exclusivamente pelos episódios de ressacas significativas (altura) e episódios de FPA, mas também a outras variáveis capazes de influenciar sua ocorrência. Entre elas, tanto os aspectos morfológicos quanto o uso e cobertura da terra nas praias (principalmente as mais urbanizadas) e as próprias precipitações decorrentes dos mesmos sistemas frontais destacados; os quais, em conjunto, contribuem para o aumento dos riscos.

Em um cenário incipiente acerca deste tema principalmente quanto à área de estudo em questão, esta pesquisa tornou possível a construção de um panorama histórico sobre os níveis de correlação entre a Frente Polar Atlântica e as ressacas significativas e seus respectivos impactos litorâneos na orla carioca. Além de colaborar para o entendimento das transformações na paisagem costeira, esta investigação também pode auxiliar na gestão e planejamento da orla do município do Rio de Janeiro, com base em trabalhos futuros que também analisem as tendências e projeções estatísticas climatológicas, em meio ao atual contexto das mudanças climáticas globais, ao apontar os compartimentos litorâneos que apresentam maior frequência de ocorrência de danos costeiros.



AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Marinha do Brasil (BNDO) por ceder os dados utilizados nesta pesquisa; a CAPES pela concessão de bolsa de mestrado durante o desenvolvimento do trabalho e a PUC-Rio e ao NEAC (Núcleo de Estudos em Ambientes Costeiros) pela infraestrutura disponibilizada na pós-graduação em Geografia do Departamento de Geografia e Meio Ambiente.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J. H. G. M. et al. **Reconstituição do clima de ondas no Sul-Sudeste brasileiro entre 1997 e 2005**. Revista Brasileira de Geofísica, 17 (3), p. 427 – 445, 2009.
- AQUINO, A. R.; PALETTA, F. C.; ALMEIDA, J. R. **Vulnerabilidade ambiental**. São Paulo: Blucher, 2017.
- BAUER, L. **Estimação do coeficiente de correlação de Spearman ponderado**. Programa de Pós-graduação em Epidemiologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.
- BIRD, E. C. F. **Coastal geomorphology: an introduction**. Chichester, England: John Wiley & Sons Ltd, 2008. 411 p.
- BULHÕES, E. **Condições Morfodinâmicas Associadas a Riscos aos Banhistas. Contribuição à Segurança nas Praias Oceânicas da Cidade do Rio de Janeiro, RJ**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRJ. Rio de Janeiro, 2006.
- CHAMBERS, J. M. Chapter 4 - Linear models. In: Chambers, J. M.; Hastie, T. J. (orgs). **Statistical Models**. Wadsworth & Brooks/Cole, 1973.
- CHRISTOPHERSON, R. W. Geossistemas. **Uma introdução à geografia física**. 7.ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.
- CUNHA, L. **Vulnerabilidade: a face menos visível do estudo dos riscos naturais. Riscos naturais, antrópicos e mistos: homenagem ao professor doutor Fernando Rebelo**. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2013.
- CUNHA, L.; LEAL, C. **Natureza e sociedade no estudo dos riscos naturais. Exemplos de aplicação ao ordenamento do território no município de Torres Novas (Portugal)**. In: PASSOS, M. M.; CUNHA, L.; JACINTO, R. **As novas geografias dos países de língua portuguesa. Paisagens territórios e políticas no Brasil e em Portugal**. Geografia em Movimento, S. Paulo, 2012. p.47-66.
- DALAGNOL, R. et al. **Extreme rainfall and its impacts in the Brazilian Minas Gerais state in January 2020: can we blame climate change?** Climate Resilience and Sustainability, 2021. <https://doi.org/10.1002/cli2.15>
- DA SILVA, M. A. M. et al. Praias da Baía de Guanabara no Estado do Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 17, n. 2, 2016.
- DEGOLA, T. S. D. **Impactos e variabilidade do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul sobre o Brasil no clima presente e em cenários futuros**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Ciências Atmosféricas, IAG/USP, 92 pp, 2013.
- DHN. **Roteiro Costa Sul: do Cabo Frio ao Arroio Chui, Lagoas dos Patos e Mirim**. Diretoria de Hidrografia e Navegação. 12.ed. Rio de Janeiro, 1994.
- FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P. **Manual de análise de dados**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.
- FEEMA – Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente. **Gerenciamento Costeiro**. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: http://www.feema.rj.gov.br/gerenciamento_costeiro.htm. Acesso em: 8 mar 2020.
- GILLIAND, J. M.; KEIM, B. D. **Position of the South Atlantic Anticyclone and its impact on surface conditions across Brazil**. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 57, p. 535 – 553, 2018. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-17-0178.1>
- HIPEL, K.W.; MCLEOD, A.I. **Time Series Modelling of Water Resources and Environmental Systems**. New York: Elsevier Science, 1994.



- IPCC AR6 (Intergovernmental Panel on Climate Change). Summary for Policymakers. In: MASSON-DELMOTTE, V. et al. (Eds). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2021, 41 pp
- ITO, E. R. K., 1999: **Um estudo climatológico do anticiclone subtropical do Atlântico Sul e sua possível influência em sistemas frontais**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Ciências Atmosféricas, IAG/USP, 126 pp.
- KEW, S. F. et al. The exceptional summer heat wave in Southern Europe 2017. In: **Explaining Extremes of 2017 from a Climate Perspective**. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 100 (1), 49 – 53. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-18-0109.1>
- KLUMB-OLIVEIRA, L. A.; PEREIRA, N. E. S.; LEÃO, R. R. **Morfodinâmica multitemporal em praia refletiva no litoral centro-norte do RJ, em resposta ao clima de ondas regional**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 16 (1), p. 19 – 36, 2015.
- KOURSKY, V.E.; KAGANO, M.T.; CAVALCANTI, I.F. **A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rain fall anomalies**. *Tellus*, v. 36, n. 5, 1984, p. 490–504. doi: 10.1111/j.1600-0870. 1984.tb00264.x
- KLUMB-OLIVEIRA, L. A. **Variabilidade Interanual do Clima de Ondas e Tempestades e seus Impactos sobre a Morfodinâmica de Praias do Litoral Sudeste do Estado do Rio de Janeiro**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.
- KUTNER, M. H.; NACHTSHEIM, C. J.; NETER, J.; LI, W. **Applied linear statistical models**. McGraw-Hill Irwin, 2004.
- Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, **The Scientific Basis-Contribution of Working Group 1 to the IPCC Third Assessment Report**. (Cambridge Univ. Press. 2001).
- LIBISELLER, C.; GRIMVALL, A. Performance of partial Mann-Kendall tests for trend detection in the presence of covariates. *Environmetrics* 13: 71 – 84, 2002.
- LINS-DE-BARROS, F. M. **Risco e Vulnerabilidade à Erosão Costeira no Município de Maricá, Rio de Janeiro**. 2005. 147f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia - PPGG / UFRJ. Rio de Janeiro, 2005.
- LINS-DE-BARROS, F. M., and EMR BULHOES. **"GEOMORFOLOGIA COSTEIRA E RISCOS: DIFERENTES ABORDAGENS, CONTRIBUIÇÕES E APLICABILIDADES."**, 2005.
- LUIJENDIJK, A. et al. **The state of the world's beaches**. Scientific reports, v.8, n.1, p.1-11, 2018.
- MARENGO, J. A. et al. **Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. Rio de Janeiro: PBM, COPPE-UFRJ, 2016.
- MENDONÇA, F. A. **Geografia e meio ambiente**. 7.ed. São Paulo: Contexto, 2007.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M.; **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Texto, 2007.
- MIGUENS, A. P. **Navegação: a Ciência e a Arte**. Volume I - **Navegação Costeira, Estimada e em Águas Restritas**. Rio de Janeiro: DHN, 1996.
- MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Applied statistics and probability for Engineers**. Wiley, 2014.
- MONTEIRO, C. A. F. **A frente polar atlântica e as chuvas de inverno na fachada sul-oriental do Brasil: contribuição metodológica à análise rítmica dos tipos de tempo no Brasil**. São Paulo: Instituto de Geografia da USP, 1969.
- MONTEIRO, C. A. F. **Análise rítmica em Climatologia. Problemas da atualidade climática no Estado de São Paulo e achegas para um programa de trabalho**. São Paulo: Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, 1971.
- MOREIRA, J. G. V.; NAGHETTINI, M. **Deteção de Tendências Monotônicas Temporais e Relação com Erros dos Tipos I e II: Estudo de Caso em Séries de Precipitações Diárias Máximas Anuais do Estado do Acre**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 4, p. 394–402, 29 set. 2016.
- MOREIRA, J.; NAGHETTINI, M.; ELEUTÉRIO, J. **Frequência e risco sob nãoestacionariedade em registros pluviométricos da bacia do alto rio Tarauacá, Acre**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 21, n. 1, p. 232–241, 25 fev. 2016.
- MOURA, J. A.; DIAS-BRITO, D.; BRÖNNIMANN P. 1982 - **Modelo ambiental de laguna costeira clástica - Baía de Sepetiba, RJ**. Atas do IV Simpósio do Quaternário no Brasil, p.135-152.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.
- OLDENBORGH, G. J. et al. Attribution of extreme rainfall from Hurricane Harvey, August 2017. *Environmental Research Letters*, 12, 2017. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa9ef2>



- OLDENBORGH, G. J. et al. Attribution of the Australian bushfire risk to anthropogenic climate change. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, 21, p. 941 – 960, 2021. <https://doi.org/10.5194/nhess-21-941-2021>
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Eventos climáticos extremos aumentam em frequência; relatório pede ação precoce**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/95478-eventos-climaticos-extremos-aumentam-emfrequencia-relatorio-pede-acao-precoce>. Acesso em: 19 out 2020.
- OTTO, F. E. L. et al. Anthropogenic influence on the drivers of the Western Cape drought 2015 – 2017. **Environmental Research Letters**, 13, 2018. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae9f9>
- PARISE, C. K. **Padrões atmosféricos sinóticos geradores de marés meteorológicas intensas e a resposta morfodinâmica da praia do Cassino**. 2007. 60p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanologia) - Faculdade de Oceanografia, Fundação Universidade do Rio Grande, Rio Grande, 2007.
- PHILIP, S.Y. et al. Rapid attribution analysis of the extraordinary heatwave on the Pacific Coast of the U.S. and Canada June 2021. **Earth System Dynamics Discussions**, p. 1 – 34, 2021. <https://doi.org/10.5194/esd-2021-90>.
- REBOITA, M. S. et al. **Regimes of precipitation in South America: a bibliographical review**. Revista Brasileira de Meteorologia, 25, 185 – 204, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862010000200004>
- REBOITA, M. S. et al. **Entendendo o tempo e o clima na América do Sul**. Terrae Didatica, 8(1), p. 34 – 50, 2012.
- REBOITA, M. S. et al. **Climatic aspects of the state of Minas Gerais**. Revista Brasileira de Climatologia, 17, p. 209 – 229, 2015.
- REBOITA, M. S. et al. **The South Atlantic Subtropical Anticyclone: presente and future climate**. *Frontiers in Earth Science*, 7 (8), 2019. <https://doi.org/10.3389/feart.2019.0008>
- RODRÍGUEZ, J. J.; WINDEVOXHEL, N. J. **Análisis Regional de la Situación de la Zona Marina Costera Centroamericana**. Washington: Banco Interamericano de Desenvolvimento. No.ENV-121,1998.
- SANT'ANNA NETO, J. L. **O decálogo da climatologia do Sudeste brasileiro**. Revista Brasileira de Climatologia, 1(1), p. 43 – 60, 2005.
- SATYAMURTY, P.; NOBRE, C. A.; SILVA DIAS, P. L. South America. In: **Meteorology of the southern hemisphere**. American Meteorological Society, Boston, MA, 1998. p. 119-139.
- SCHALLER, N. et al. **Human influence on climate in the 2014 southern England winter floods and their impacts**. *Nature Climate Change*, v. 6, p. 627 – 635, 2016. <https://doi.org/10.1038/nclimate2927>
- SEN, P.K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau, *Journal of the American Statistical Association* 63, 1379–1389, 1968.
- SOUZA, C. R. G. **Os ecossistemas costeiros frente às mudanças climáticas no Brasil: efeitos da elevação do nível do mar**. XIV Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar - COLACMAR, Balneário Camboriú (SC). Boletim de Resumos Expandidos (CD-ROM), 2011.
- SOUZA, P. H. G. O.; SIEGLE, E.; TESSLER, M.G. **Environmental and Anthropogenic Indicators for Coastal Risk Assessment at Massaguaçu Beach (S.P.) Brazil**. *Journal of Coastal Research*, v.64, p.319-323, 2011.
- VAUTARD, R. et al. **Human contribution to the record-breaking June and July 2019 heatwaves in Western Europe**. *Environmental Research Letters*, 15, 2020. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aba3d4>
- WILKINSON, G. N.; ROGERS, C. E. Symbolic descriptions of factorial models for analysis of variance. **Applied Statistics**, 22: 392 – 399, 1973.
- YUE, S.; PILON, P.; CAVADIAS, G. Power of the Mann-Kendall and spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v. 259, n. 1-4, p. 254-271, Mar. 2002.



Consulta aos sites:

BORESTENÁUTICA. **Noções de Meteorologia para Navegantes.** Disponível em: <https://www.borestenautica.com.br/arquivos/Meteorologia.pdf>. Acesso em: 16 de Agosto de 2019.

CEM. **Centros de Estudos do Mar.** 2005. Disponível em: <http://www.cem.ufpr.br/portal/>. Acesso em: 12 set 2019.

CLIMATEMPO. **Climatempo.** Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/> Acesso em: 3 jan 2020.