

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO

ALEXSANDRO SANTANA FEITOZA

COMPORTAMENTO DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS NO ESTADO DO
RIO DE JANEIRO

Macaé, junho de 2020.

ALEXSANDRO SANTANA FEITOZA

COMPORTAMENTO DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS NO ESTADO DO
RIO DE JANEIRO

Monografia apresentada ao Laboratório de Meteorologia do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a conclusão do Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Clima, Água e Energia: uma Abordagem Técnica e Integrada.

Orientador: Prof.^a Dra. Eliane Barbosa Santos

Macaé, junho de 2020.

FICHA CATALOGRÁFICA PREPARADA PELA BIBLIOTECA DO CAMPUS DE MACAÉ

551.57758153

F311c

2020

Feitoza, Alexsandro Santana

Comportamento das temperaturas máximas e mínimas no estado do Rio de Janeiro / Alexsandro Santana Feitoza. --- Macaé: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Laboratório de Meteorologia, 2020.

37 f. : il.

Monografia (Pós-Graduação *Lato Sensu* em Clima, Água e Energia: uma Abordagem Técnica e Integrada)

Orientadora: Eliane Barbosa Santos.

Bibliografia: f. 35-37

1. Alterações climáticas 2. Análise de tendência 3. Índices de extremos climáticos de temperatura I. Título.

ALEXSANDRO SANTANA FEITOZA

COMPORTAMENTO DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS NO ESTADO DO
RIO DE JANEIRO

Monografia apresentada ao Laboratório de Meteorologia do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a conclusão do Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Clima, Água e Energia: uma Abordagem Técnica e Integrada.

Aprovado em 16 de junho de 2020

BANCA EXAMINADORA

Prof. Alfredo Silveira da Silva, D.Sc., UFRJ

Prof. Nivaldo Silveira Ferreira, D.Sc., UENF

Prof.^a Eliane Barbosa Santos, D.Sc., UENF
(Orientadora)

A Deus, aos meus pais, a
minha esposa, a minha
filha, meu bem mais
precioso, e aos mestres
com grande carinho e
admiração, dedico.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro e a Universidade Federal do Rio de Janeiro, pelo ensino gratuito e de qualidade.

À Deus sempre, antes de todas as coisas, por me proporcionar a dádiva da vida, e com ela a oportunidade de estar em constante aprendizado e crescimento, me mantendo firme e de pé frente as todas as circunstâncias.

À professora Dra. Eliane, pela amizade, pela admirável demonstração e domínio de conhecimento e pela paciência em diligenciar a execução deste estudo.

À professora Dra. Justi, pela demonstração de tamanho conhecimento, pela alegria tão admirável em ensinar e pela satisfação de ter o privilégio de aprender com ela.

À banca examinadora pelas sugestões dadas para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Aos demais professores do curso clima, água e energia, pelo conhecimento transmitido ao longo do curso.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e à Agência Nacional de Águas (ANA).

Aos meus colegas amigos de curso, sem exceções.

Aos meus pais, por seu imenso amor e carinho por mim, por serem sempre meu norte e meu porto seguro, que sempre me incentivaram com seu jeito humilde, mas sempre inspirador para toda vida.

Às minhas irmãs e sobrinhas, por seu eterno amor por mim.

À minha esposa, por seu amor, seu carinho, sua cumplicidade, por ser minha parceira na vida e para toda vida e por ter me dado o maior presente de todos, nossa filha.

À meu bem mais precioso, minha filha Olívia, por ser a alegria que faltava em meu lar e por me mostrar a grandeza da benção de poder ser pai.

RESUMO

Dentre os potenciais impactos do aumento da temperatura do ar, estão o desconforto térmico, o aumento da demanda por água e energia, o aumento da evaporação à superfície que provoca alterações no balanço hídrico da vegetação natural e das culturas agrícolas, entre outros. Portanto, um estudo sobre o comportamento da temperatura do ar utilizando registros de longo prazo torna-se necessário, uma vez que, tais informações podem contribuir para um melhor planejamento estratégico visando reduzir os impactos oriundos das alterações climáticas. Este trabalho tem como objetivo principal analisar o comportamento das temperaturas máximas e mínimas no estado do Rio de Janeiro, a partir de dados diários de quatro estações meteorológicas pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET): Avelar - Paty do Alferes, Resende, Cordeiro e Campos dos Goytacazes. Foi realizada uma análise descritiva dos dados por meio de medidas de posição e dispersão. Também foi analisado doze índices de extremos climáticos relacionados à temperatura do ar. A análise de tendência dos índices climáticos foi feita através do teste estatístico de Mann-Kendall e o estimador de Sen. Foram observadas tendências significativas (a 1% ou 5%) principalmente nos índices climáticos de Campos dos Goytacazes e Cordeiro, regiões que também apresentaram as maiores magnitudes de tendências. De forma geral, os resultados obtidos sugerem aumento das noites quentes e diminuição das noites frias, bem como aumento das mínimas anuais médias.

Palavras-chave: Alterações Climáticas. Análise de Tendência. Índices de Extremos Climáticos de Temperatura.

ABSTRACT

Among the potential impacts of the increase in air temperature are thermal discomfort, increased demand for water and energy, increased evaporation at the surface that causes changes in the water balance of natural vegetation and agricultural crops, among others. Therefore, a study on the behavior of air temperature using long-term records is necessary, since such information can contribute to better strategic planning in order to reduce the impacts arising from climate change. This work has as main objective to analyze the behavior of the maximum and minimum temperatures in the state of Rio de Janeiro, from daily data of four meteorological stations belonging to the National Institute of Meteorology (INMET): Avelar - Paty do Alferes, Resende, Cordeiro and Campos dos Goytacazes. A descriptive analysis of the data was performed using position and dispersion measures. Twelve indexes of climatic extremes related to air temperature were also analyzed. The trend analysis of the climatic indexes was performed using the Mann-Kendall statistical test and the Sen estimator. Significant trends (at 1% or 5%) were observed, mainly in the climatic indices of Campos dos Goytacazes and Cordeiro, regions that also presented the greatest magnitudes of trends. In general, the results obtained suggest an increase in hot nights and a decrease in cold nights, as well as an increase in average annual minimums.

Key-words: Climate change. Trend Analysis. Climate Extremes indexes of Temperature.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Posição da Terra em relação ao Sol, nas quatro estações do ano.....	14
Figura 2. Média anual da temperatura do ar (°C) a 2 metros de altura, para o período de 1980 a 2008.....	14
Figura 3. Média sazonal da temperatura do ar (°C) a 2 metros de altura, para o período de 1980 a 2008.....	15
Figura 4. Localização dos municípios e das estações meteorológicas utilizadas neste trabalho.....	20
Figura 5. Mapa do relevo do estado do Rio de Janeiro com as localizações das estações meteorológicas: Resende, Avelar, Cordeiro e Campos dos Goytacazes.....	21
Figura 6. Informações contidas no boxplot.....	22
Figura 7. Dados diários de temperatura das quatro estações meteorológicas analisadas: a) Temperatura mínima e b) Temperatura máxima.....	26
Figura 8. Dados diários de temperatura mínima na escala sazonal: a) Verão (DJF); (b) Outono (MAM); (c) Inverno (JJA) e (d) Primavera (SON).....	27
Figura 9. Dados diários de temperatura máxima na escala sazonal: a) Verão (DJF); (b) Outono (MAM); (c) Inverno (JJA) e (d) Primavera (SON).....	28
Figura 10. Temperaturas mínimas médias anuais das estações meteorológicas localizadas em Resende, Cordeiro, Campos dos Goytacazes e Avelar.....	29
Figura 11. Temperaturas máximas médias anuais das estações meteorológicas localizadas em Resende, Cordeiro, Campos dos Goytacazes e Avelar.....	30
Figura 12. Amplitudes térmicas anuais das estações meteorológicas localizadas em Resende, Cordeiro, Campos dos Goytacazes e Avelar.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Código, coordenadas geográficas, altitude, período de análise e porcentagem de falhas das estações meteorológicas utilizadas na elaboração deste estudo.....	21
Tabela 2. Definição e unidade dos índices de extremos climáticos relacionados à temperatura do ar.....	23
Tabela 3. Médias e valores absolutos das temperaturas mínimas e máximas das quatro estações meteorológicas analisadas.....	27
Tabela 4. Teste de Mann-Kendall para os índices de extremos climáticos.....	31
Tabela 5. Estimador de Sen para os índices de extremos climáticos.....	33

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas
AR5	Quinto Relatório de Avaliação
DJF	Dezembro, janeiro, fevereiro
GEE	Gases de Efeito Estufa
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
JJA	Junho, julho, agosto
MAM	Março, abril, maio
NASA	Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço
NOAA	Administração Nacional Oceânica e Atmosférica
OMM	Organização Meteorológica Mundial
SON	Setembro, outubro, novembro

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1. OBJETIVOS.....	12
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	13
2.1. O CLIMA E A TEMPERATURA DO AR.....	13
2.2. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E EVENTOS EXTREMOS.....	16
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
3.1. ÁREA DE ESTUDO.....	19
3.2. DADOS.....	19
3.3. ANÁLISE DESCRITIVA.....	21
3.4. ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS.....	23
3.5. ANÁLISE DE TENDÊNCIA.....	23
3.5.1. Teste de Mann-Kendall.....	23
3.5.2. Estimador de Sen.....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	26
4.1. ANÁLISE DESCRITIVA.....	26
4.2. ANÁLISE DAS SÉRIES TEMPORAIS.....	28
4.3. TENDÊNCIAS DOS ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS.....	31
5. CONCLUSÕES.....	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

1. INTRODUÇÃO

O tema mudanças climáticas têm despertado muita atenção da comunidade científica e da sociedade pelos possíveis impactos ambientais, sociais e econômicos sobre o planeta. Segundo o Quinto Relatório de Avaliação (AR5, sigla em inglês) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, sigla em inglês), o aquecimento do sistema climático é inequívoco e as emissões antropogênicas de Gases de Efeito Estufa (GEE) são provavelmente a principal causa do aumento da temperatura desde meados do século XX (IPCC, 2013).

As projeções feitas pelo IPCC no AR5 indicam que caso as emissões de GEE continuem crescendo às atuais taxas ao longo dos próximos anos, a temperatura média global poderá aumentar de 2,6 a 4,8°C até o final deste século. Entre os vários potenciais impactos do aumento da temperatura, alguns dos efeitos preocupantes estão relacionados ao desconforto térmico, a demanda por água e energia, a produção agrícola, entre outros. A vulnerabilidade desses setores ao aumento da temperatura varia de acordo com seu grau de desenvolvimento, resiliência e adaptação. Todavia, é importante destacar que, na escala regional, as variações climáticas são muito divergentes e nem sempre acompanham a tendência global, principalmente em referência à temperatura (MINUZZI; CARAMORI; BORROZINO, 2011). Também vale ressaltar que a temperatura média global à superfície apresenta variabilidade interanual e decadal, logo, as tendências com base em registros de curta duração, em geral, não refletem tendências climáticas de longo prazo (IPCC, 2013).

Portanto, um estudo sobre o comportamento da temperatura utilizando registros de longo prazo torna-se necessário, uma vez que de posse dessas informações será possível contribuir em um planejamento estratégico melhor, minimizando assim os problemas oriundos das alterações climáticas da temperatura.

1.1. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é analisar o comportamento sazonal e anual das características das temperaturas máximas e mínimas do estado do Rio de Janeiro.

Os objetivos específicos são:

- Detectar alterações nos padrões das temperaturas máximas e mínimas;
- Avaliar as tendências de índices de extremos climáticos relacionados à temperatura do ar.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. O CLIMA E A TEMPERATURA DO AR

Segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007), a contar do momento em que o homem tomou consciência da relação entre as condições climáticas e sua intervenção no meio natural como necessidade para o desenvolvimento social, ele passou a produzir e registrar o conhecimento sobre os componentes da natureza.

Em virtude disso, instrumentos técnicos foram desenvolvidos, possibilitando as observações do tempo, da transmissão de dados e análise de dados meteorológicos, o que tem sido vital para o desenvolvimento da meteorologia e climatologia modernas. No decorrer dos tempos, a maneira pela qual a atmosfera é estudada tem mudado consideravelmente. Por exemplo, o desenvolvimento dos satélites meteorológicos, mostrou-se um avanço espetacular para observação do tempo, tornando-se uma importante ferramenta de informações climatológicas para os cientistas da atmosfera (AYOADE, 2011).

Nesse contexto, é importante destacar a distinção entre tempo e clima. Para Ynoue *et al.* (2017), o termo tempo é utilizado para se referir ao estado da atmosfera em um determinado momento e local, enquanto o termo clima se refere ao estado médio da atmosfera, que é obtido pela média dos eventos de tempo durante um período de 30 anos.

O clima e a sua variabilidade são provenientes da ação conjunta de fatores que podem ser externos ou internos ao sistema climático. Dos fatores externos, destacam-se as variações orbitais terrestres, a inclinação do eixo terrestre, os efeitos relacionados com a variabilidade da atividade solar; dos fatores internos, destacam-se as variações ocorridas no albedo (refletividade) das superfícies, os processos tectônicos e as erupções vulcânicas, as correntes marítimas e a proximidade do mar, a fisiografia e a vegetação e, naturalmente, a latitude e a altitude (ANDRADE; BASCH, 2017).

É importante destacar que as consequências da ação dos fatores externos ao sistema climático na variação do clima relacionam-se principalmente com a variação da quantidade de energia solar que chega ao topo da atmosfera terrestre (ANDRADE; BASCH, 2017).

Devido à inclinação do eixo da Terra, por exemplo, a quantidade de luz solar que atinge determinado ponto na superfície varia ao longo do ano (OLIVEIRA *et al.*, 2017), conforme mostra a Figura 1.



Figura 1: Posição da Terra em relação ao Sol, nas quatro estações do ano.
Fonte: Oliveira, Silva e Henriques (2009).

O aquecimento da superfície terrestre se dá pela inclinação dos raios solares que chegam até ela, sendo que quanto mais próximo de uma incidência vertical, maior a taxa de aquecimento da superfície (DIAS; SILVA, 2009). Logo, o aquecimento da superfície terrestre não ocorre de maneira uniforme. Os raios solares atingem a região tropical quase que perpendicularmente à superfície, enquanto nas regiões mais próximas aos polos, a incidência é oblíqua, o que implica numa maior concentração de energia por unidade de área próxima à linha do Equador do que nos polos (REBOITA *et al.*, 2012).

Portanto, em virtude da curvatura da Terra e da inclinação do seu eixo de rotação, a região localizada entre as latitudes de 30°N e 30°S (região tropical) é a que mais recebe energia solar, e consequentemente é a mais quente, conforme ilustra a Figura 2.

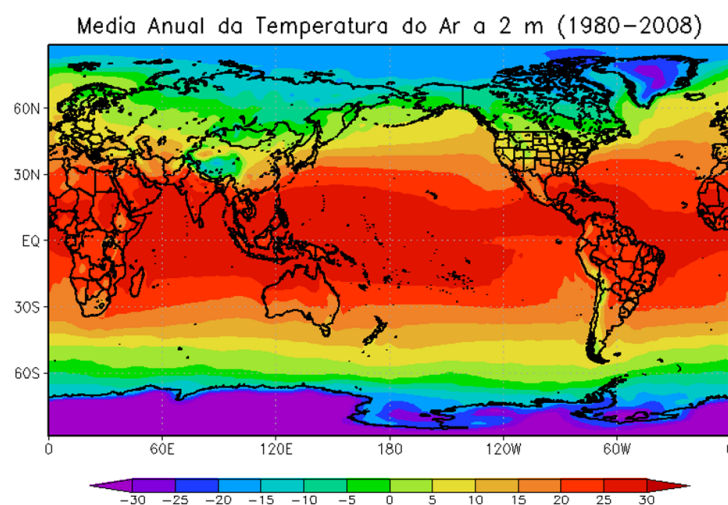


Figura 2: Média anual da temperatura do ar (°C) a 2 metros de altura, para o período de 1980 a 2008.
Fonte: Reboita *et al.* (2012).

É importante ressaltar que as mudanças na intensidade da insolação recebida dependem da duração do dia e do ângulo de incidência da radiação, que são determinados pela latitude e dia do ano (OLIVEIRA *et al.*, 2017). A cada instante uma parte do planeta está mais exposta aos raios solares do que outra, isso em decorrência da interação entre os movimentos de translação e rotação da Terra (YNOUE *et al.*, 2017). Portanto, o padrão espacial da temperatura média do ar próxima à superfície, não é constante ao longo do ano, conforme ilustra a Figura 3.

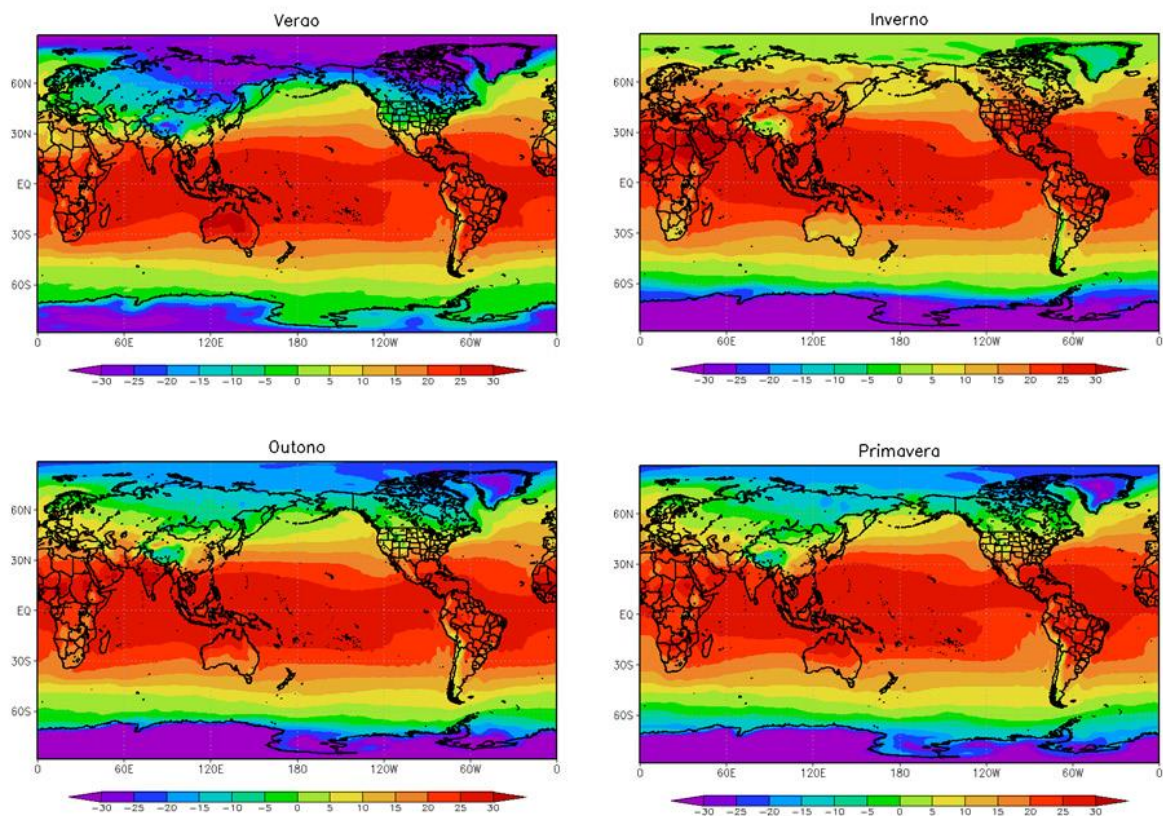


Figura 3. Média sazonal da temperatura do ar (°C) a 2 metros de altura, para o período de 1980 a 2008.
Fonte: Reboita *et al.* (2012).

Segundo Andrade e Basch (2017), a temperatura do ar apresenta uma variação diária e anual de carácter periódico, com valores mais elevados próximo do equador e mais baixos nas latitudes maiores; além disso, a amplitude térmica, que é calculada ao subtrair o valor da temperatura máxima pelo valor da temperatura mínima, é menor em regiões vizinhas dos mares e oceanos que em zonas mais afastadas das costas, maior em áreas sem revestimento vegetal que em zonas florestais, etc.

Nos trópicos, as grandes diferenças de temperatura do ar em pequenas distâncias estão principalmente relacionadas aos efeitos da variação da altitude e nebulosidade e não da latitude,

sendo que pode haver também grandes diferenças nas condições de temperatura entre os locais a barlavento e os situados a sotavento de uma montanha (OMETTO, 1981, *apud* FRITZSON; MANTOVANI; AGUIAR, 2008).

Na baixa atmosfera (troposfera), a temperatura diminui em altitude a uma taxa média de 0,65°C por cada 100 metros, resultante da manifestação das leis físicas que regem a ascensão adiabática de uma massa de ar na atmosfera (ANDRADE; BASCH, 2017). Quanto maior a altitude, menor a pressão atmosférica, logo, há uma menor concentração de gases, umidade e materiais particulados responsáveis pela retenção de calor. Além disso, nas maiores altitudes, a superfície que recebe e irradia calor é menor, o que somado aos fatores anteriores promovem temperaturas mais baixas nas altitudes elevadas (SENE; MOREIRA, 2011).

Outro fator importante é a fisiografia da superfície terrestre, nomeadamente através da altitude, do relevo e da sua direção, que exerce efeitos no clima à escala local, global e regional, podendo influenciar condições meteorológicas predominantes sobre grandes distâncias quando, por exemplo, cordilheiras representam obstáculos para a circulação dos ventos, deslocando massas de ar para destinos “improváveis” (ANDRADE; BASCH, 2017).

2.2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E EVENTOS EXTREMOS

A Terra, ao longo de seus milhões de anos, passa por ciclos naturais de aquecimento e resfriamento, da mesma maneira que períodos de intensa atividade geológica lançaram à superfície quantidades colossais de gases, que formaram ao longo do tempo uma espécie de bolha gasosa sobre o planeta, criando um efeito estufa natural (MARENGO, 2007), fenômeno natural que faz com que a temperatura média da Terra mantenha-se em torno de 15°C, permitindo assim que ocorra a vida da forma como a conhecemos. No entanto, a concentração de GEE na atmosfera tem aumentado acentuadamente desde a revolução industrial, o que levou a intensificação do efeito estufa (IPCC, 2007), contribuindo para o aquecimento global.

O IPCC define mudanças climáticas como mudanças no clima ao longo do tempo, que podem ocorrer por processos naturais e/ou como resultado da atividade humana (ANA, 2016). Vale ressaltar que as atividades humanas interferem apenas nos fatores internos do sistema climático, alterando, por exemplo, as concentrações de gases e partículas na atmosfera.

A influência antropogênica surge, principalmente, das alterações na exploração e uso da terra (desflorestação, urbanização, irrigação) e da crescente combustão de combustíveis fósseis (liberação de aerossóis e GEE), com consequências diretas nos balanços radiativo e energético à superfície terrestre (ANDRADE; BASCH, 2017).

A quantidade de radiação recebida e reemitida pela Terra depende basicamente de três fatores: i) emissão da radiação, que é considerado fator primário e determinado por variações solares, como os ciclos solares de Schwaber e outros, ii) recepção da radiação, fator secundário e determinado por variações da posição terrestre em relação ao Sol, como observado nos ciclos diários, ciclos anuais e ciclos de Milankovitch e iii) reflexão, absorção, distribuição do calor e reemissão da radiação, fator terciário e determinado por alterações da composição atmosférica (gases de efeito estufa e nuvens), do modelado da superfície terrestre (uso dos solos) e dos oceanos (circulação oceânica) (OLIVEIRA *et al.*, 2017). Oliveira *et al.* (2017) destaca ainda que os processos antrópicos não interferem nos dois primeiros fatores, apenas no fator terciário.

Segundo o IPCC (2013), a Terra tem estado em desequilíbrio radioativo desde a década de 1970, com mais energia solar entrando do que saindo do topo da atmosfera. Esse desequilíbrio tem como fator preponderante o aumento na concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosférica, principalmente por conta do forçamento radioativo total causado pelas atividades antropogênicas.

Os impactos das mudanças climáticas podem repercutir em diferentes setores, agrícola, saúde da população, infraestrutura urbana, biodiversidade dos ecossistemas, entre outros. Os efeitos diretos das mudanças climáticas na população englobam a exposição a condições extremas, como o estresse térmico das ondas de calor e aos desastres naturais (GALATI *et al.*, 2015).

Os relatórios periódicos do IPCC, que tratam as causas, impactos e medidas de mitigação das mudanças climáticas globais são atualmente uma referência do assunto para toda a comunidade científica, governos e indústrias em todo o mundo. Avaliar as alterações nos extremos do clima, entretanto, apresenta desafios únicos, pois além de se tratarem de eventos raros, são consideravelmente influenciados por padrões climáticos de grande e de pequena escala, modos de variabilidade, processos termodinâmicos, *feedbacks* da terra-atmosfera e condições antecedentes, sendo que para determinados eventos climáticos extremos, como secas, inundações e ondas de calor, é preciso combinar vários fatores (IPCC, 2013).

Segundo o AR5, muitos eventos climáticos extremos vêm apresentando alterações desde 1950, sendo muito provável que a ação humana tenha contribuído para as alterações observadas à escala global na frequência e intensidade dos extremos de temperatura diários (IPCC, 2013). Ainda segundo o IPCC (2013), é provável que o número de dias e noites frias tenha diminuído e o número de dias e noites quentes tenha aumentado numa escala global.

Conforme análises independentes da Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (NASA, sigla em inglês) e da Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (NOAA, sigla

em inglês), no ano de 2019 as temperaturas da superfície da Terra foram as segundas mais quentes desde que os registros modernos começaram, em 1880, ficando atrás apenas das registradas em 2016, apontando tendência de aquecimento a longo prazo. Ademais, indicam que os últimos cinco anos foram os mais quentes dos últimos 140 anos (NASA Earth Observatory, 2020).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estado do Rio de Janeiro, localizado entre os paralelos 20,5° e 23,5°S (~300 km de extensão norte-sul) e os meridianos 41° e 45°W (~ 400 km de extensão oeste-leste), possui uma área total de 43.750,427 km² (IBGE, 2019). É caracterizado por um clima bastante diversificado em virtude da sua topografia acidentada, com morros, serras, vales, vegetação pluralizada, regiões de baixada e baías, além da proximidade com o oceano Atlântico (SILVA; DERECHYNSKI, 2014).

Os principais tipos de climas observados no estado do Rio de Janeiro são: tropical e tropical de altitude. O clima tropical é observado nas áreas de baixas altitudes, denominadas de baixadas (situadas entre o planalto e o oceano), com temperatura média anual em torno de 24°C e áreas úmidas e semiúmidas. O tropical de altitude é encontrado nas terras altas, onde se observam as maiores altitudes (acima de 400 metros), caracterizando-se por apresentar temperaturas mais amenas devido à altitude do relevo, sendo no Planalto de Itatiaia registradas as temperaturas mais baixas. Já outras áreas apresentam-se quentes e secas, como é o caso de Arraial do Cabo e alguns municípios das Regiões Norte e Noroeste Fluminense, como, por exemplo, São João da Barra, São Francisco de Itabapoana e Bom Jesus do Itabapoana (CEPERJ, 2010).

3.2 DADOS

Para a realização deste estudo, foram utilizados dados diários de temperaturas mínimas (Tmin) e máximas (Tmax) de quatro estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET): Resende (01/01/1970 a 31/12/2018), Cordeiro (01/08/1971 a 31/12/2018), Campos dos Goytacazes (01/01/1970 a 31/12/2018) e Avelar - Paty do Alferes (01/01/1985 a 31/12/2018), localizadas no estado do Rio de Janeiro, conforme ilustra a Figura 4.

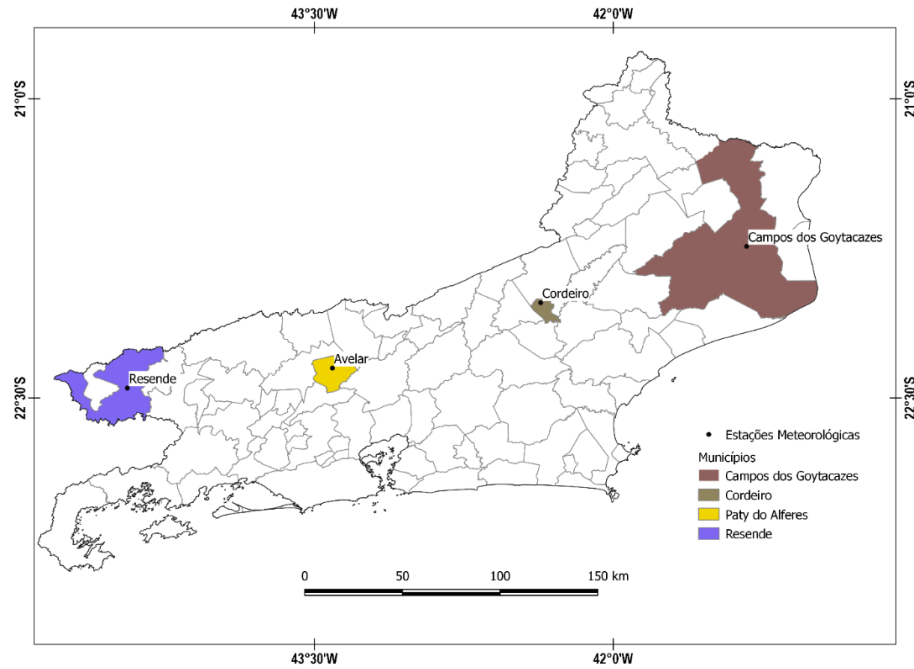


Figura 4. Localização dos municípios e das estações meteorológicas utilizadas neste trabalho.
Fonte: Autor (2020).

A Figura 5 mostra o relevo do estado do Rio de Janeiro com as localizações das estações meteorológicas. Observa-se que as estações de Avelar, Cordeiro e Resende estão localizadas em regiões com topografia classificada como terras altas, onde se observam altitudes acima de 400 metros. Já a estação de Campos dos Goytacazes está localizada na Baixada Campista, com altitude próxima ao nível do mar. As coordenadas, a altitude, o período inicial e final de análise e porcentagem de falhas das estações são apresentadas na Tabela 1.

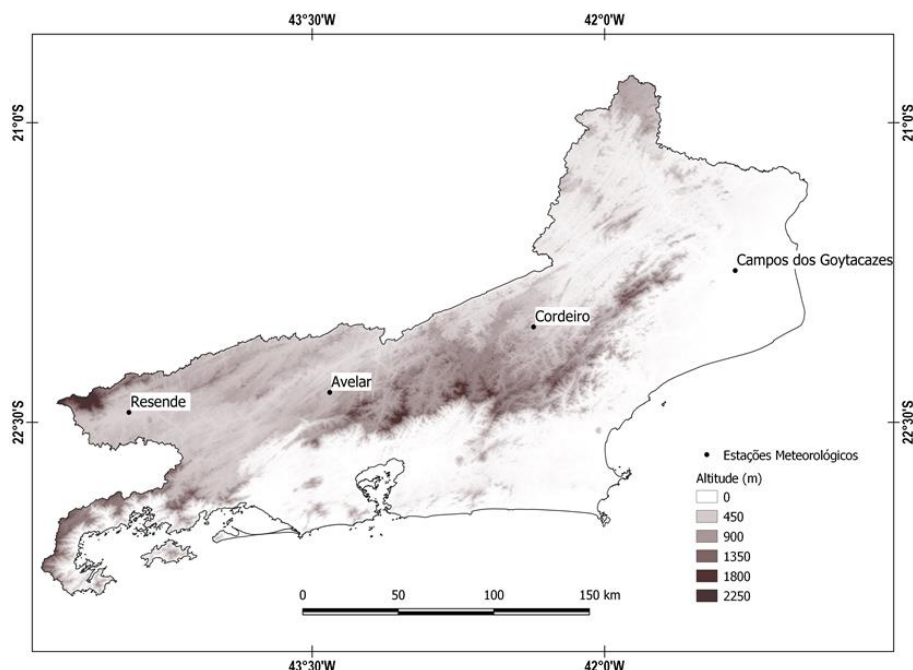


Figura 5. Mapa do relevo do estado do Rio de Janeiro com as localizações das estações meteorológicas: Resende, Avelar, Cordeiro e Campos dos Goytacazes.
Fonte dos dados: Miranda (2019).

Tabela 1. Código, coordenadas geográficas, altitude, período de análise e porcentagem de falhas das estações meteorológicas utilizadas na elaboração deste estudo.

	Avelar - Paty do Alferes	Resende	Cordeiro	Campos dos Goytacazes
Latitude	-22,35	-22,45	-22,02	-21,74
Longitude	-43,41	-44,44	-22,02	-41,33
Altitude (m)	507,00	439,89	505,92	11,20
Período Inicial	01/01/1985	01/01/1970	01/08/1971	01/01/1970
Período Final	31/12/2018	31/12/2018	31/12/2018	31/12/2018
Falhas Tmin (%)	4,4	7,3	6,1	4,9
Falhas Tmax (%)	5,0	7,7	6,4	4,8

* Organização Meteorológica Mundial (WMO, sigla em inglês)

Fonte: Autor (2020).

3.3 ANÁLISE DESCRITIVA

A análise descritiva dos dados foi realizada por meio de gráficos do tipo boxplot, que exibem medidas de tendência central (mediana), de dispersão (quartis), forma de distribuição ou simetria da amostra (valores pontuais mínimo e máximo), valores atípicos (outliers) (VALLADARES NETO *et al.*, 2017).

A mediana, assim como a média, é uma medida que procura caracterizar o centro da distribuição de frequências das informações. A mediana, também conhecida como segundo quartil, é o valor que divide o conjunto ordenado de dados em duas partes com igual número de elementos, isto é, 50% das observações ficam acima da mediana e 50% ficam abaixo (GRAÇA MARTINS, 2005).

Os quartis são valores que dividem um conjunto ordenado de dados em quatro partes iguais, ou seja, cada parte contém 25% desses elementos e os percentis são medidas que dividem a amostra em 100 partes. O boxplot, ou diagrama de caixa, é uma maneira gráfica de representar essas medidas. O tamanho da caixa representa o intervalo interquartilico, ou seja, a amostra compreendida entre o quartil inferior (Q_1 - indica o percentil 25%) e quartil superior (Q_3 - indica o percentil 75%). Metade (ou 50%) dos dados estão concentrados neste intervalo, conforme mostra a Figura 6. O tamanho das hastes é definido pelos valores do intervalo entre o Q_1 ao limite inferior (L_i), e do Q_3 ao limite superior (L_s). Os limites são calculados da seguinte forma: $L_i = Q_1 - 1,5(Q_3 - Q_1)$ e $L_s = Q_3 + 1,5(Q_3 - Q_1)$ (VALLADARES NETO *et al.*, 2017).

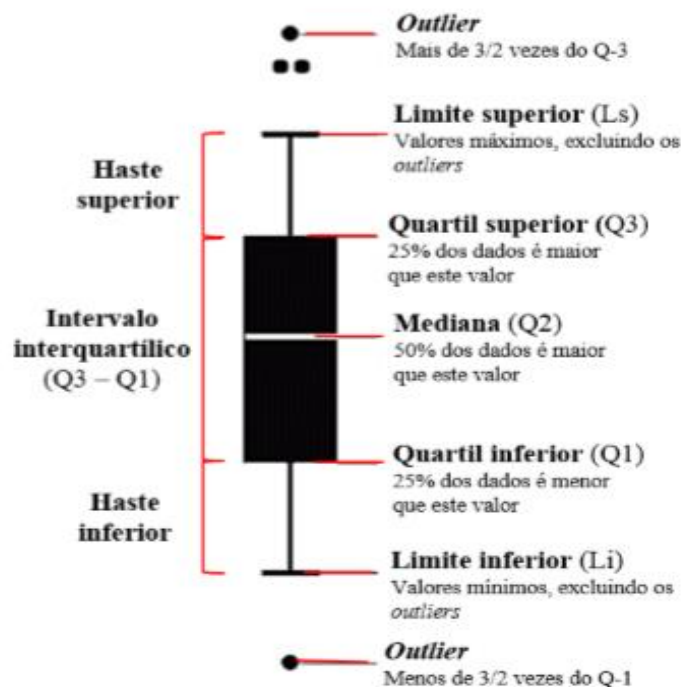


Figura 6. Informações contidas no boxplot.
Fonte: Valladares Neto *et al.* (2017).

3.4 ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS

Para verificar se houve alterações no comportamento das séries temporais de temperaturas máximas e mínimas, foram utilizados índices de extremos climáticos relacionados à temperatura do ar. Os índices utilizados neste estudo estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Definição e unidade dos índices de extremos climáticos relacionados à temperatura do ar.

INDICADOR	DEFINIÇÃO	UNIDADE
TN10p	Porcentagem anual de dias em que a temperatura mínima < percentil 10 (Noites frias)	%
TN90p	Porcentagem anual de dias em que a temperatura mínima > percentil 90 (Noites quentes)	%
TD10p	Porcentagem anual de dias em que a temperatura máxima < percentil 10 (Dias frios)	%
TD90p	Porcentagem anual de dias em que a temperatura máxima > percentil 90 (Dias quentes)	%
TMINmin	Menor temperatura mínima anual	°C
TMINmax	Menor temperatura máxima anual	°C
TMAXmin	Maior temperatura mínima anual	°C
TMAXmax	Maior temperatura máxima anual	°C
TMINmean	Temperatura mínima anual média	°C
TMAXmean	Temperatura máxima anual média	°C
TMIN20	Número de dias do ano em que a temperatura mínima > 20°C	dias
TMAX25	Número de dias do ano em que a temperatura máxima > 25°C	dias

Fonte: Adaptado de Silva *et al.* (2015).

3.5 ANÁLISE DE TENDÊNCIA

3.5.1 Teste de Mann-Kendall

Para analisar as tendências dos índices de extremos climáticos, foi utilizado o teste de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975), teste robusto, sequencial e não paramétrico utilizado para verificar se determinada série de dados possui uma tendência temporal de alteração estatisticamente significativa (SALVIANO; GROPPPO; PELLEGRINO, 2016).

Recomendado pela Organização Meteorológica Mundial, o teste de Mann-Kendall, é um método comumente utilizado para detectar tendências de mudanças climáticas (SENA; LUCENA, 2013). Para uma serie temporal de observações $(x_1, x_2, \dots, x_n)$, no teste de Mann-Kendall, pretende-se testar a hipótese nula (H_0), de que não exista tendência na série de dados, ou seja, as observações x_n são aleatoriamente ordenadas no tempo, em oposição à hipótese alternativa (H_1), no qual existe uma tendência de aumento ou redução.

A estatística do teste é calculada de acordo com as equações abaixo:

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sigma}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sigma}, & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (1)$$

em que:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{ sinal } (x_j - x_k) \quad (2)$$

sendo x_j e x_k valores sequenciais, n é o número de observações e, o sinal é obtido da seguinte forma:

$$\text{sinal}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{se } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{se } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{se } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Neste trabalho, ainda foi utilizada a equação $\tau = 2s/[n(n - 1)]$, em que τ é o tau de Mann–Kendall e s é o sinal.

Kendall (1975) mostra que S é normalmente distribuída, e a média (μ) e a variância (σ^2) de S , para uma situação na qual pode haver valores iguais de x , são calculadas por:

$$\mu = 0 \quad (4)$$

$$\sigma^2 = \frac{n(n - 1)(2n + 5) - \sum_{j=1}^P t_j(t_j - 1)(2t_j + 5)}{18} \quad (5)$$

em que t_j é o número de observações iguais no grupo j e P é o número de grupos com observações iguais na série temporal.

Por se tratar de um teste bilateral, para rejeitar a hipótese nula (H_0), a um certo nível de significância α , é preciso que o valor absoluto de Z seja superior a $Z_{\alpha/2}$, ou seja, $|Z| > Z_{\alpha/2}$ (SALVIANO; GROppo; PELLEGRINO, 2016). Neste estudo, foi adotado os níveis de significância de 5% e 1%.

3.5.2 Estimador de Sen

Para estimar o valor da tendência foi utilizado o estimador não paramétrico de Sen, desenvolvido por Sen (1968), onde se assume que a tendência é linear.

A estimativa da inclinação de N pares de dados é calculada por:

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \text{ para } i = 1, 2, \dots, N \quad (6)$$

em que x_j e x_k são os valores dos dados no tempo j e k ($j > k$), respectivamente.

A mediana dos N valores de Q_i é o estimador de Sen, calculado por:

$$\begin{cases} Q_{med} = Q_{[N+1/2]}, \text{ se } N \text{ é ímpar} \\ Q_{med} = \frac{1}{2} (Q_{[N/2]} + Q_{[N+2/2]}), \text{ se } N \text{ é par} \end{cases} \quad \begin{matrix} (7a) \\ (7b) \end{matrix}$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE DESCRITIVA

A Figura 7 apresenta os dados diários das temperaturas mínimas e máximas das quatro estações analisadas: Resende, Cordeiro, Campos dos Goytacazes e Avelar - Paty do Alferes. É possível observar na Figura 7 (a e b), a dispersão e as medidas de tendência central (média e mediana). De forma geral, nota-se um comportamento semelhante entre as estações de Resende, Cordeiro e Avelar. No entanto, os dados de temperatura mínima da estação localizada em Campos apresentam maior dispersão, conforme mostra o boxplot na Figura 7.

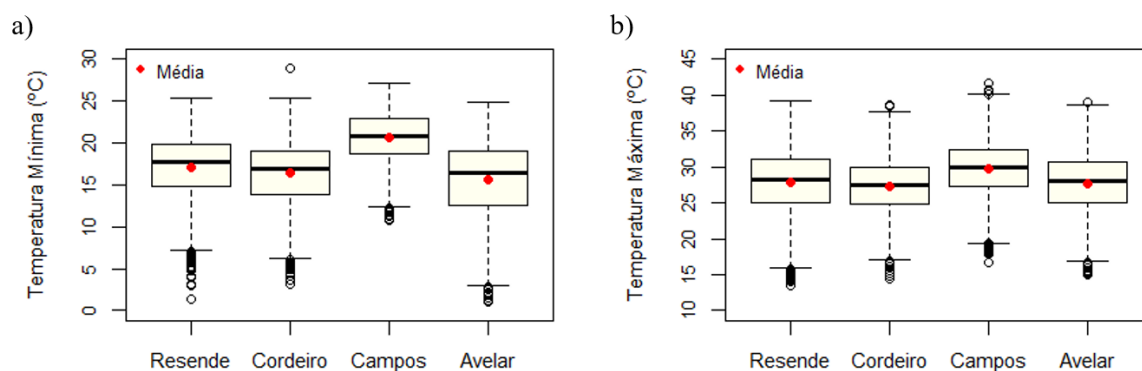


Figura 7. Dados diários de temperatura das quatro estações meteorológicas analisadas: a) Temperatura mínima e b) Temperatura máxima.

Fonte: Autor (2020).

Em Campos dos Goytacazes, os valores são mais elevados do que nas outras regiões analisadas, principalmente nas temperaturas mínimas (Figura 7a). O menor valor absoluto da temperatura mínima foi de 10,7°C, já nas demais estações o menor valor absoluto foi de 1,1°C, como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3. Médias e valores absolutos das temperaturas mínimas e máximas das quatro estações meteorológicas analisadas.

	Resende	Cordeiro	Campos dos Goytacazes	Avelar - Paty do Alferes
Mínimo Absoluto da Tmin (°C)	1,4	3,2	10,7	1,1
Mínimo Absoluto da Tmax (°C)	13,5	14,4	16,8	15,1
Máximo Absoluto da Tmin (°C)	25,4	28,9	27,2	24,9
Máximo Absoluto da Tmax (°C)	39,2	38,7	41,6	39,1
Média da Tmin (°C)	17,0	16,4	20,6	15,6
Média da Tmax (°C)	27,9	27,2	29,7	27,7

Fonte: Autor (2020).

A Figura 8 apresenta os dados diários de temperatura mínima na escala sazonal. Observa-se que as temperaturas mínimas são mais elevadas e apresentam menor dispersão no verão (Dezembro, Janeiro e Fevereiro - DJF), com 50% dos valores concentrados entre 18,3°C e 21°C em Resende, Cordeiro e Avelar e, entre 22,3°C e 24°C em Campos dos Goytacazes (Figura 8a). Os menores valores das temperaturas mínimas, nas quatro regiões estudadas, são observados no inverno (Junho, Julho, Agosto - JJA), com 50% dos valores entre 11°C e 15,1°C em Resende e Cordeiro, entre 8,6°C e 13,4°C em Avelar e, entre 16,7°C e 19,2°C em Campos dos Goytacazes (Figura 8c).

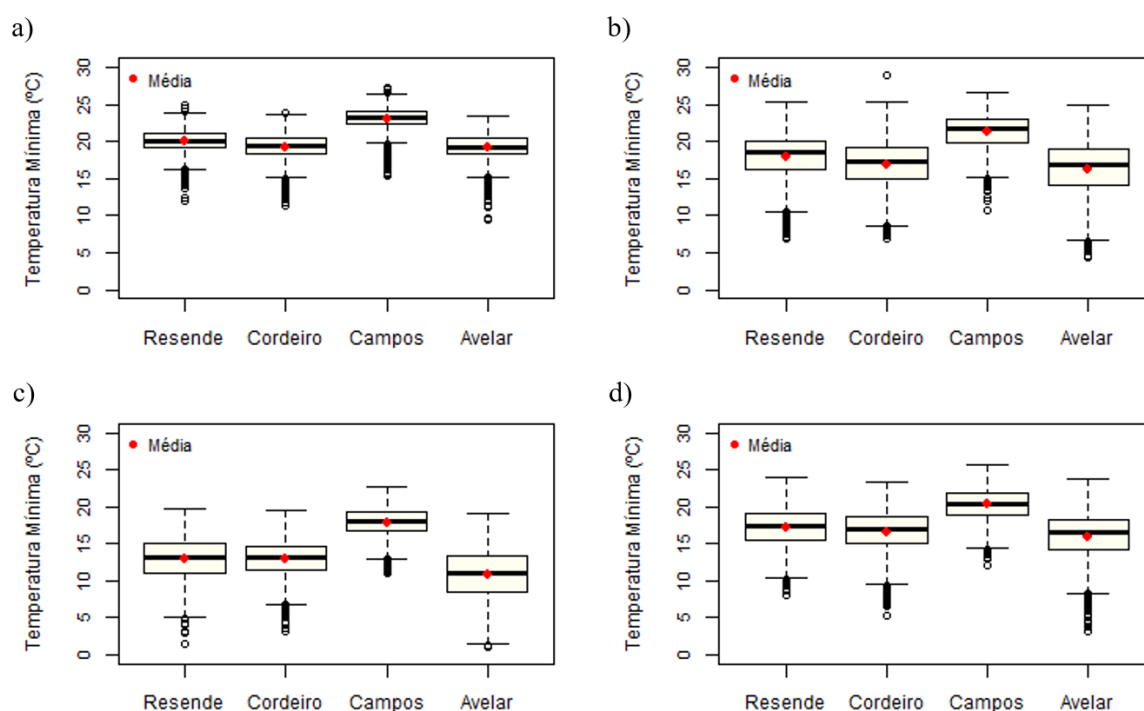


Figura 8. Dados diários de temperatura mínima na escala sazonal: a) Verão (DJF); b) Outono (MAM); c) Inverno (JJA) e d) Primavera (SON).

Fonte: Autor (2020).

No outono (Março, Abril, Maio - MAM) e primavera (Setembro, Outubro, Novembro - SON), de maneira geral, o comportamento é semelhante, com médias entre 16°C e 18°C em Resende, Cordeiro e Avelar e, em torno de 21°C em Campos dos Goytacazes, como pode ser observado na Figura 8 (b e d).

A Figura 9 mostra o comportamento das temperaturas máximas diárias na escala sazonal. Observa-se que o comportamento é similar nas quatro estações do ano, tanto na dispersão quanto nas medidas de tendência central (média e mediana). Todavia, as temperaturas máximas são mais elevadas no verão (Figura 9a) e menos elevadas no inverno (Figura 9c). Além disso, é possível perceber que os valores na primavera (Figura 9d) são mais dispersos. Destaca-se, ainda, Campos dos Goytacazes que apresenta as maiores temperaturas máximas, com médias entre 27,7°C e 32,1°C. Resende, Cordeiro e Avelar apresentaram médias entre 24,9°C e 30,5°C, nas quatro estações do ano.

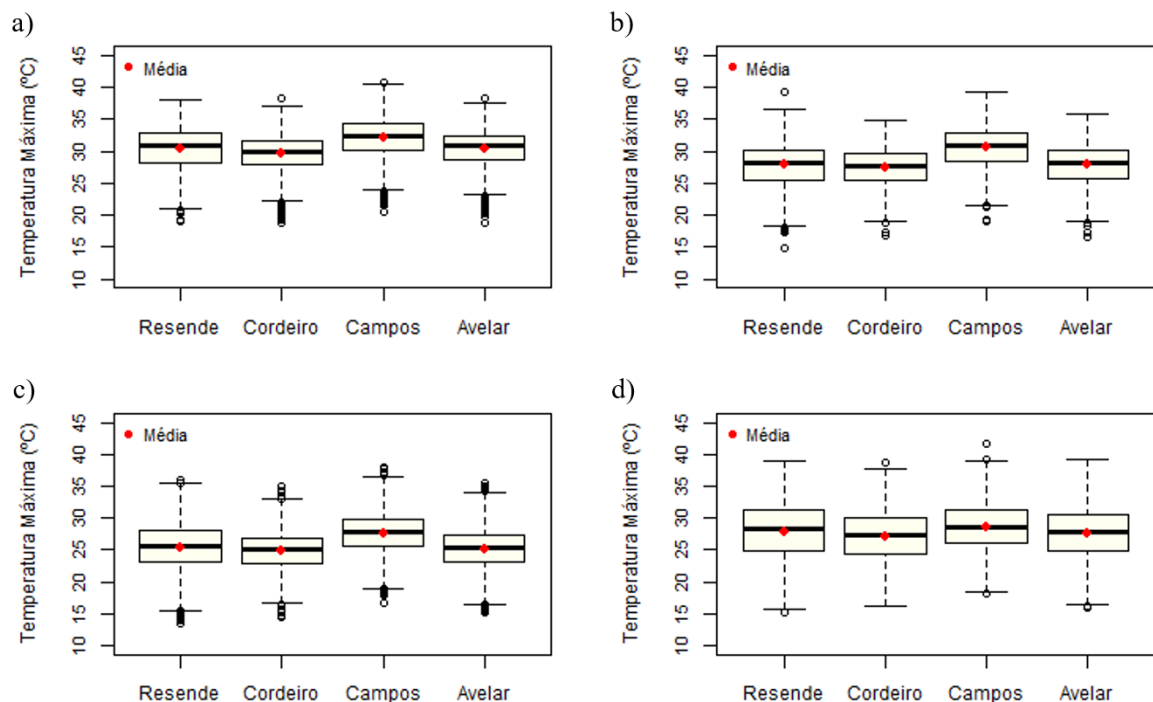


Figura 9. Dados diários de temperatura máxima na escala sazonal: a) Verão (DJF); b) Outono (MAM); c) Inverno (JJA) e d) Primavera (SON).

Fonte: Autor (2020).

4.2 ANÁLISE DAS SÉRIES TEMPORAIS

A Figura 10, apresenta as séries temporais das temperaturas mínimas médias anuais das estações meteorológicas localizadas em Resende (01/01/1970 a 31/12/2018), Cordeiro (01/08/1971 a 31/12/2018), Campos dos Goytacazes (01/01/1970 a 31/12/2018) E Avelar - Paty do Alferes (01/01/1985 a 31/12/2018). Em média, observa-se que os maiores valores foram registrados em Campos dos Goytacazes, com temperaturas acima de 20°C na maioria dos anos. Já os menores valores foram observados em Avelar, com médias entre 14,4°C e 16,5°C. Em Cordeiro e Resende, as médias estão entre 15,4°C e 18,7°C, sendo que Resende apresentou temperaturas mais elevadas em quase todo o período estudado.

De forma geral, destaca-se que Campos dos Goytacazes apresenta temperaturas mínimas mais elevadas em comparação as demais regiões estudadas, com uma diferença média em torno de 3,5°C, 4,2°C e 5°C, para Resende, Cordeiro e Avelar, respectivamente. Nota-se ainda, na Figura 10, uma leve tendência de aumento das temperaturas mínimas.

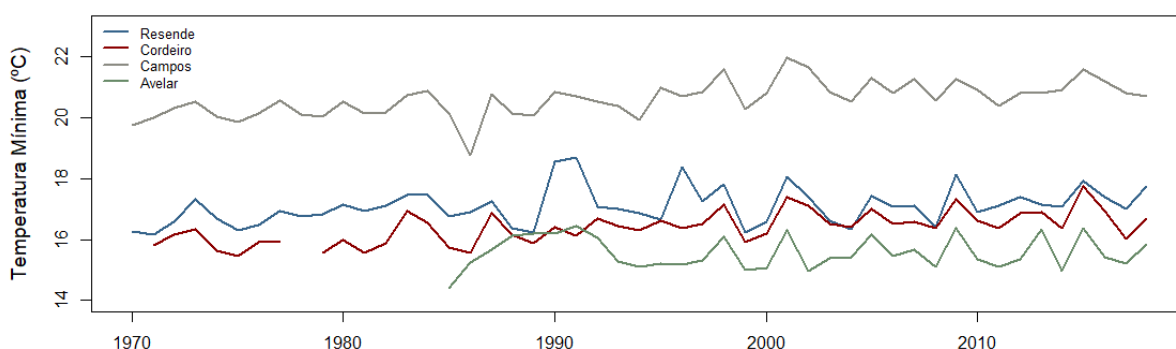


Figura 10. Temperaturas mínimas médias anuais das estações meteorológicas localizadas em Resende, Cordeiro, Campos dos Goytacazes e Avelar.
Fonte: Autor (2020).

Na Figura 11, que mostra as séries temporais das temperaturas máximas médias anuais, onde observa-se que os maiores valores também foram registrados em Campos dos Goytacazes, com temperaturas máximas entre 28,6°C e 30,9°C, apresentando uma diferença média em torno de 1,8°C, 2°C e 2,5°C em relação as médias de Resende, Avelar e Cordeiro, respectivamente.

De maneira geral, observa-se que as médias das temperaturas máximas de Resende, Avelar e Cordeiro apresentam um comportamento semelhante ao longo dos anos, com valores entre 25,9°C e 29,5°C (Figura 11). Destaca-se, ainda, que as médias da estação meteorológica localizada em Avelar apresentaram as menores temperaturas mínimas das quatro regiões analisadas (Figura 10), no entanto, não apresentou as menores temperaturas máximas (Figura 11). Consequentemente, Avelar registra as maiores amplitudes térmicas anuais.

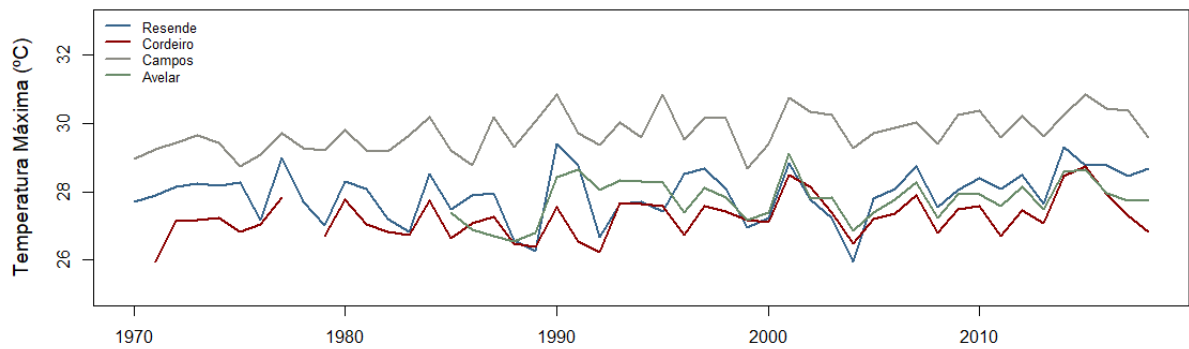


Figura 11. Temperaturas máximas médias anuais das estações meteorológicas localizadas em Resende, Cordeiro, Campos dos Goytacazes e Avelar.
Fonte: Autor (2020).

A Figura 12 mostra as amplitudes térmicas anuais das quatro estações meteorológicas analisadas. As maiores amplitudes foram observadas em Avelar, com médias em torno de 12,2°C. Já as menores amplitudes anuais, observa-se em Campos dos Goytacazes, com médias em torno de 9°C.

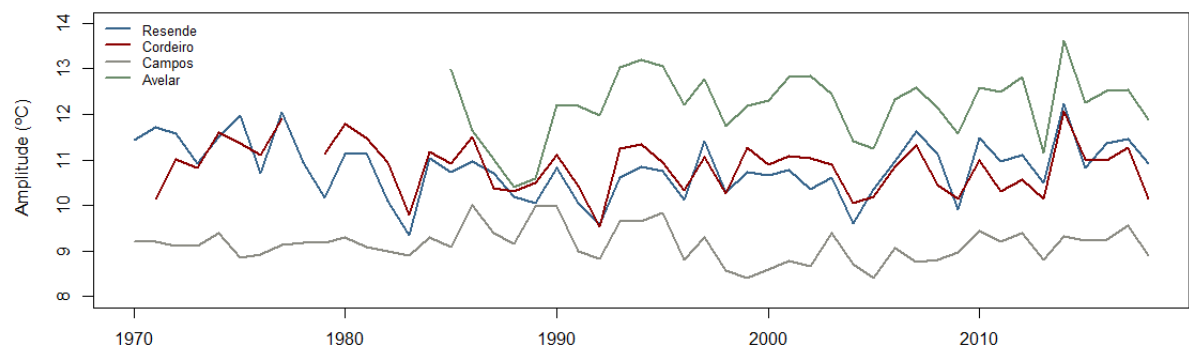


Figura 12. Amplitudes térmicas anuais das estações meteorológicas localizadas em Resende, Cordeiro, Campos dos Goytacazes e Avelar.
Fonte: Autor (2020).

De forma geral, nota-se que as estações meteorológicas localizadas em altitudes mais elevadas (Resende, Cordeiro e Avelar) apresentaram temperaturas mais amenas e maiores amplitudes térmicas. Já a estação meteorológica localizada em Campos dos Goytacazes, que está em altitude próxima ao nível do mar, apresentou temperaturas mais elevadas e menores amplitudes térmicas. Percebe-se dessa forma a influência da altitude (relevo) sobre as temperaturas das regiões analisadas. Na troposfera, a temperatura diminui em altitude a uma taxa média de 0,65°C por cada 100 metros (ANDRADE; BASCH, 2017), o que explica Resende, Cordeiro e Avelar apresentar temperaturas mais amenas que Campos dos Goytacazes.

4.3 TENDÊNCIAS DOS ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS

Os resultados do teste de Mann-Kendall são apresentados na Tabela 4. O teste foi aplicado nos 12 índices de extremos climáticos com o objetivo de identificar se existe tendência significativa positiva ou negativa nos valores de temperatura máxima e mínima. Dos índices baseados em percentis (TN10p, TN90p, TD10p, TD90p), destaca-se o TN90p (noites quentes) que apresentou tendência positiva significativa em Resende, Cordeiro e Campos dos Goytacazes, e o TN10p (noites frias) que apresentou tendência negativa significativa em Cordeiro e Campos dos Goytacazes, sugerindo aumento das noites quentes e diminuição das noites frias nessas regiões.

Tabela 4. Teste de Mann-Kendall para os índices de extremos climáticos.

		Avelar - Paty do Alferes	Resende	Cordeiro	Campos dos Goytacazes
TN10p	tau	0,007	-0,176	-0,298	-0,26
	p valor	0,964	0,077	0,003**	0,008**
TN90p	tau	0,030	0,244	0,420	0,484
	p valor	0,812	0,014*	0,000**	0,000**
TD10p	tau	-0,173	-0,121	-0,162	-0,414
	p valor	0,158	0,227	0,112	0,000**
TD90p	tau	0,285	0,135	0,197	0,179
	p valor	0,019*	0,175	0,052	0,072
TMINmin	tau	0,250	0,200	0,311	0,109
	p valor	0,040*	0,046*	0,002**	0,276
TMINmax	tau	-0,157	0,158	0,169	0,473
	p valor	0,205	0,119	0,101	0,000**
TMAXmin	tau	0,007	0,246	-0,046	0,259
	p valor	0,964	0,014*	0,652	0,010*
TMAXmax	tau	0,319	0,138	0,202	0,114
	p valor	0,008**	0,171	0,048*	0,257
TMINmean	tau	0,019	0,250	0,430	0,459
	p valor	0,882	0,011*	0,000**	0,000**
TMAXmean	tau	0,118	0,155	0,195	0,379
	p valor	0,335	0,118	0,054	0,000**
TMIN20	tau	-0,025	0,223	0,393	0,291
	p valor	0,847	0,024*	0,000**	0,003**
TMAX25	tau	0,174	0,127	0,201	0,217
	p valor	0,154	0,201	0,048*	0,029*

*Significativo a 5% (p valor < 0,05); ** Significativo a 1% (p valor < 0,01)

Fonte: Autor (2020).

Nos índices absolutos, que representam os valores máximos (TMAXmin e TMAXmax) e mínimos (TMINmin e TMINmax) anuais, destaca-se o TMINmin que apresentou tendência positiva significativa nos dados referentes as estações meteorológicas de Avelar, Resende e Cordeiro. O índice TMAXmax também apresentou tendência positiva significativa em Avelar e em Cordeiro e o TMAXmin em Resende e em Campos dos Goytacazes.

De forma geral, esses resultados indicam um aumento dos valores mínimos das temperaturas mínimas e dos valores máximos das temperaturas máximas em Avelar e Cordeiro. Já em Campos dos Goytacazes, que também apresentou tendência positiva significativa no índice TMINmax, os resultados indicam um aumento dos valores mínimos das temperaturas máximas e dos valores máximos das temperaturas mínimas.

Na análise das temperaturas mínima e máxima anuais médias (TMINmean e TMAXmean), destaca-se a estação meteorológica localizada em Campos dos Goytacazes, que apresentou tendência positiva significativa nos dois índices. A tendência do TMINmean também foi significativa em Resende e Cordeiro, o que sugere aumento das temperaturas mínimas anuais médias nessas regiões.

Nos índices em que os limiares são definidos pelo número de dias em que a temperatura mínima é maior que 20°C e a máxima é maior que 25°C, Campos dos Goytacazes e Cordeiro também apresentaram tendência positiva significativa. Vale ressaltar que essas duas estações foram as que apresentaram maior quantidade de índices com tendência significativa.

A magnitude das tendências dos índices de extremos climáticos pode ser observada na Tabela 5, que mostra os resultados do estimador de Sen. De forma geral, verifica-se que as maiores magnitudes foram encontradas nos índices que apresentaram tendência significativa no teste de Mann-Kendall.

Tabela 5. Estimador de Sen para os índices de extremos climáticos.

	Avelar - Paty do Alferes	Resende	Cordeiro	Campos dos Goytacazes
TN10p	0,00	-0,064	-0,127**	-0,105**
TN90p	0,017	0,091*	0,169**	0,274**
TD10p	-0,115	-0,037	-0,025	-0,120**
TD90p	0,157*	0,067	0,118	0,063
TMINmin	0,065*	0,031*	0,067**	0,014
TMINmax	-0,014	0,008	0,007	0,032**
TMAXmin	0,00	0,037*	-0,011	0,029*
TMAXmax	0,058**	0,020	0,036*	0,015
TMINmean	0,001	0,014*	0,024**	0,021**
TMAXmean	0,014	0,013	0,016	0,020**
TMIN20	-0,091	0,544*	0,740**	0,885**
TMAX25	0,700	0,309	0,771*	0,603*

Tendência significativa a 5% (*) e a 1% (**) no teste de Mann-Kendall.

Fonte: Autor (2020).

Nos índices de porcentagem anual (TN10p, TN90p, TD10p e TD90p) os maiores valores do estimador de Sen foram observados no índice de porcentagem anual de noites quentes (TN90p), sugerindo que os eventos estão aumentando a uma taxa de 0,16%/ano para a região de Cordeiro e de 0,27%/ano para a região de Campos dos Goytacazes (Tabela 5), indicando eventos mais frequentes de ondas de calor em períodos noturnos.

Em relação aos resultados de Sen para os índices absolutos, que representam os valores máximos (TMAXmin e TMAXmax) e mínimos (TMINmin e TMINmax) anuais, destacam-se as estimativas do TMINmin, que sugerem aumento de 0,067°C/ano para os dados de Avelar e 0,067°C/ano para os dados de Cordeiro.

Para o número de dias do ano em que a temperatura mínima > 20°C (TMIN20), destacam-se as estações meteorológicas de Resende, Cordeiro e Campos dos Goytacazes, que apresentaram tendência significativa a 5% (Tabela 4) com aumento de 0,54 dia/ano, 0,74 dia/ano e 0,88 dia/ano, respectivamente (Tabela 5).

Para o número de dias do ano em que a temperatura máxima > 25°C (TMAX25), Cordeiro e Campos dos Goytacazes também apresentaram tendência significativa a 5%, com aumentos acima de 0,6 dia/ano.

5. CONCLUSÕES

Este estudo consistiu em analisar o comportamento das temperaturas máximas e mínimas no estado do Rio de Janeiro. Para isso, foram utilizados dados diários de quatro estações meteorológicas do INMET, localizadas em Resende; Cordeiro; Campos dos Goytacazes e Avelar - Paty do Alferes.

Os resultados obtidos neste estudo indicam que as estações meteorológicas localizadas em altitudes mais elevadas (Resende, Cordeiro e Avelar) apresentam temperaturas mais amenas e maiores amplitudes térmicas. Já a estação meteorológica localizada em Campos dos Goytacazes, que se encontra mais próxima do nível do mar, apresenta temperaturas mais elevadas e menores amplitudes térmicas.

No teste Mann-Kendall, foram observadas tendências significativas (a 1% ou 5%) em alguns índices climáticos, principalmente, em Campos dos Goytacazes e Cordeiro. De maneira geral, os resultados sugerem aumento das noites quentes e diminuição das noites frias, bem como aumento das mínimas anuais médias.

No estimador de Sen, foi verificada tendência positiva na porcentagem de noites quentes, com maior taxa de aumento (0,27%/ano) em Campos dos Goytacazes. Nos índices absolutos, destacam-se os resultados do índice da menor temperatura mínima anual, com tendência positiva significativa em Resende, Cordeiro e Avelar, sendo a maior magnitude observada em Cordeiro (0,065°C/ano). Nos demais índices (TMINmean, TMAXmean, TMIN20 e TMAX25), de forma geral, os maiores valores do estimador de Sen foram observados em Campos dos Goytacazes e Cordeiro.

Diante dos resultados obtidos, ressalta-se a importância da análise pontual, pois estão ocorrendo alterações nos padrões das temperaturas máximas e mínimas, mas não necessariamente acompanhando a tendência global, as alterações climáticas podem ser locais.

Para trabalhos futuros, sugere-se investigar as causas das alterações climáticas locais no estado do Rio de Janeiro, analisando fatores como vegetação, crescimento urbano e poluição do ar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA. Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos: avaliações e diretrizes para adaptação. Brasília: ANA, GGES. 2016.

ANDRADE, J., BASCH, G. **Clima e estado do tempo. Fatores e elementos do clima. Classificação do clima.** In: GUIMARÃES, R. C., SHAHIDIAN, S. E RODRIGUES, C. M. (Editores). Hidrologia Agrícola, 2ª edição. ISBN: 978-989-8550-40-8. Évora, 2017, p. 215-234.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos.** 15. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. 350 p.

DIAS, M. A. F. S.; SILVA, M. G. A. J. **Para entender o tempo e o clima.** In: Cavalcanti, I. F. A.; Ferreira, N. J.; Justi da Silva, M. G. A.; Silva Dias, M. A. F. (Eds.) Tempo e clima no Brasil. São Paulo, Oficina de Textos. 2009. p.135-148.

FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E.; AGUIAR, A. V. Relação entre altitude e temperatura: uma contribuição ao zoneamento climático no estado do Paraná. **Revista de Estudos Ambientais**, Blumenau, v. 10, n. 1, p. 49-64, 2008.

FUNDAÇÃO CENTRO ESTADUAL DE ESTATÍSTICAS, PESQUISAS E FORMAÇÃO DE SERVIDORES PÚBLICOS DO RIO DE JANEIRO - CEPERJ. O Estado do Rio de Janeiro e seu ambiente. Centro de Estatísticas, Estudos e Pesquisas, 2010. Disponível em: <<http://www.ceperj.rj.gov.br/Conteudo.asp?ident=85>>. Acesso em: 04 de fevereiro de 2020.

GALATI, E. A. B. *et al.* Mudanças climáticas e saúde urbana. **Revista USP**, São Paulo, v. 107, p. 79-90. 2015. DOI: 10.11606/issn.2316-9036.v0i107p79-90

GRAÇA MARTINS, M. E. **Introdução à Probabilidade e à Estatística - Com complementos de Excel.** Edição da SPE, 2005. ISBN: 972-8890-03-6. Disponível em: <http://www.arquivoscolar.org/bitstream/arquivo-e/97/1/IPE%202005.pdf>. Acesso em: 18 março de 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/panorama>>. Acesso em: 12 de julho de 2020.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods.** 4 ed. London: Charles Griffin, 1975.

MANN, H. B. **Non-parametric tests against trend.** *Econometrica*, 13p, 1945.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. 2ª Edição. Brasília: MMA: 2007.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 206p.

MINUZZI, R. B; CARAMORI, P. H; BORROZINO, E. Tendências na variabilidade climática sazonal e anual das temperaturas máxima e mínima do ar no Estado do Paraná. **Bragantia**, v. 70, n. 2, p.471-479, 2011.

MIRANDA, E. E.; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2019. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 15 fevereiro, 2020.

NASA Earth Observatory, 2019 foi o segundo ano mais quente já registrado. 2019. Disponível em: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/146154/2019-was-the-second-warmest-year-on-record?fbclid=IwAR3K8ZTx6V6cDTc201G8WNT3yfd03OvmDtDG2nVMWJbM_VvGRb-svRZmo0s>. Acesso em: 01 de fevereiro de 2020.

OLIVEIRA, G. S. de.; SILVA, N. F. da.; HENRIQUES, R. **Mudanças climáticas: ensino fundamental e médio**. MEC/SEB; MCT; AEB; FBMC; INPE. Brasília, 2009. 348 p. --: il. – (Coleção Explorando o ensino; v. 13). Disponível em: http://www.dsr.inpe.br/vcsr/files/24111-Colecao_Explorando_o_Ensino_Mudancas_Climaticas.pdf. Acesso em: 18 mar. 2020.

OLIVEIRA, M. J.; CARNEIRO, C. D. R.; VECCHIA, F. A. S.; BAPTISTA, G. M. de M. Ciclos climáticos e causas naturais das mudanças do clima. **Terrae Didática**, UNICAMP, v. 13, n. 3, p. 149-184, 2017.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS CLIMATICAS – IPCC. Mudança Climática 2007: Relatório de Síntese. Contribuição dos Grupos de Trabalho I, II e III ao Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas [Equipe de Redação do Núcleo, Pachauri, R. K. e Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Genebra, Suíça, 104 pp, 2007.

REBOITA, M. S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. **Terra e Didática**, v. 8, n. 1, p. 34-50, 2012.

SALVIANO, M. F; GROppo, J. D; PELLEGRINO, G. Q. Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p.64-73, 2016.

SENA, J. P. O.; LUCENA, D. B. Identificação de tendência da precipitação na Microrregião do Cariri Paraibano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 5 p. 1400-1416, 2013.

SENE, E.; MOREIRA, J. C. **Geografia Geral e do Brasil**, v.1: espaço geográfico e globalização. SÃO PAULO: Spicione, 2011.

SILVA, W. L.; DEREZYNSKI, C.; CHANG, M.; FREITAS, M.; MACHADO, B. J.; TRISTÃO, L.; RUGGERI, J. Tendências observadas em indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 2, p. 181-194, 2015.

SILVA, W.L.; DEREZYNSKI, C.P. Caracterização Climatológica e Tendências Observadas em Extremos Climáticos no Estado do Rio de Janeiro. **Anuário do Instituto de Geociências** – UFRJ, v. 37, n. 2, p. 123-138, 2014.

VALLADARES NETO, J. *et al.* Boxplot: um recurso gráfico para a análise e interpretação de dados quantitativos. **Revista Odontológica do Brasil Central**, Goiânia, v. 26, n. 76, p. 1-6, 2017.

YNOUE, R. Y.; AMBRIZZI, T.; REBOITA, M. S.; SILVA, G. A. M. **Meteorologia: Noções Básicas**. Ed. Oficina de Textos, São Paulo, 2017, 179 p.