



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge>



Variabilidade espacial e temporal da energia cinética da atmosfera mediante dados de reanálises do NCEP

Lorranny Dias de Araújo¹ Enilson Palmeira Cavalcanti² Bárbara Silva Souza³ Thiago Luiz do Vale Silva⁴

¹Graduanda em Meteorologia, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, UFCG, Campina Grande, PB, e-mail: lorranny.dias@estudante.ufcg.edu.br

²Doutor, Professor Titular, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, UFCG, Campina Grande, PB, e-mail: enilson.cavalcanti@ufcg.edu.br

³Mestranda em Meteorologia, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, UFCG, Campina Grande, PB, e-mail: barbarasouza3397@gmail.com

⁴Doutor, Analista em Gestão de Recursos Hídricos, Agência Pernambucana de Águas e Clima, APAC, Recife, PE, e-mail: thiago.lui@ufpe.br

Artigo recebido em 09/10/2023 e aceito em 25/12/2023

RESUMO

O objetivo deste trabalho visa quantificar e analisar aspectos da variabilidade espacial e temporal da energia cinética KE da atmosfera. A relevância científica se dá em virtude de questões como aquecimento global e eventos extremos, visto às alterações climáticas observadas neste século. O conhecimento das mudanças do comportamento de KE, são imprescindíveis para o conhecimento dos padrões de sistemas meteorológicos que vem alterando conforme as mudanças do clima. A hipótese deste trabalho é de que há uma tendência de mudança na energia cinética da atmosfera face às mudanças do clima. Neste estudo é analisada a variabilidade espacial e temporal da energia cinética global e regional da atmosfera, no período de 1981 a 2020, utilizando dados de reanálises do NCEP. Além de investigar sobre variações sazonais e interanuais, buscou-se detectar tendências nas séries temporais de energia cinética. Os resultados apontam variabilidade sazonal bem definida e distribuição espacial da energia cinética total concentrada em médias latitudes nas regiões associadas à Corrente de Jato. Tendências mais acentuadas são observadas para os últimos 10 anos da série temporal com tendência de acréscimo para o globo terrestre, H.N. e H.S. e decrescente para o NEB. Essas tendências se mostraram estatisticamente significativas à 95% e 99% pelo teste *t* de Student. O resultado deste trabalho, portanto, indicou que as mudanças climáticas podem estar causando variações na energia cinética da atmosfera, com maior intensidade nas regiões das correntes de jato.

Palavras-chave: Energia cinética, Reanálises NCEP, Mudança do Clima.

Spatial and temporal variability of the atmosphere's Kinetic energy through NCEP reanalysis data

ABSTRACT

The objective of this study is to quantify and analyze aspects of the spatial and temporal variability of the kinetic energy (KE) of the atmosphere. The scientific relevance arises due to issues such as global warming and extreme events, given the observed climate changes in this century. Understanding changes in the behavior of KE is essential for knowledge of weather system patterns that have been altering with climate changes. The hypothesis of this study is that there is a tendency for a change in the kinetic energy of the atmosphere in response to climate changes. This study analyzes the spatial and temporal variability of global and regional kinetic energy in the atmosphere from 1981 to 2020, using NCEP reanalysis data. In addition to investigating seasonal and interannual variations, efforts were made to detect trends in the time series of kinetic energy. The results indicate a well-defined seasonal variability and spatial distribution of total kinetic energy concentrated in mid-latitudes in regions associated with the Jet Stream. More pronounced trends are observed for the last 10 years of the time series, with an increasing trend for the Earth as a whole, the Northern Hemisphere (H.N.), and the Southern Hemisphere (H.S.), and a decreasing trend for Northeast Brazil (NEB). These trends were statistically significant at 95% and 99% confidence levels according to the Student's t-test. Therefore, the results of this study suggest that climate changes may be causing variations in the kinetic energy of the atmosphere, with greater intensity in the regions of the jet streams.

Keywords: Kinetic energy; NCEP reanalysis; Climate change.

Introdução

As energias renováveis vêm sendo cada vez mais exploradas devido à sua importância frente o combate às emissões fósseis causadoras das mudanças climáticas antropogênicas. Isso se deve, principalmente, porque a geração de energia por meio de combustíveis fósseis é responsável por uma grande parcela das emissões de gases do efeito estufa. Sendo assim, fontes renováveis, como a energia eólica, são uma alternativa importante para geração de energia elétrica (Pinheiro et al., 2021; Silva et al., 2022; Lopes et al., 2023).

O principal motor do sistema climático da Terra é a distribuição desigual da radiação solar incidente na atmosfera. Ao entrar no sistema atmosférico o fluxo radiativo é particionado em energias de calor interno, potencial, latente e cinética (Trenberth & Stepaniak, 2004). Estudos sobre a energia cinética atmosfera vem sendo realizados para diversas áreas aplicadas, como estudo em energia eólica, eventos meteorológicos extremos, mudanças do clima, dentre outros (Fasullo e Trenberth, 2008; Silverthorne e Toole, 2009; Li et al. 2011; Ha et al., 2013; Kozar e Misra, 2014; Ferreira, 2021; Schuster, 2021).

A energia eólica é altamente influenciada pela energia cinética em baixos níveis da atmosfera, que está diretamente associada aos sistemas atmosféricos atuantes. Entretanto, a energia cinética integrada na atmosfera fornecerá informações importantes para variabilidades climáticas e impacto em eventos meteorológicos extremos, como mostrado por (Li et al. 2011; Ha et al. 2013; Kozar e Misra, 2014). Os movimentos atmosféricos podem ser divididos em duas grandes classes, devem sua existência à distribuição desigual do aquecimento adiabático na atmosfera (Aranha, 2014), sendo:

1) Movimentos originados por gradientes de aquecimento, de forma direta ou indireta. Em uma atmosfera estável e estratificada representam mais de 98% da energia cinética atmosférica. Quase toda essa energia cinética está associada com o vento horizontal de escala sinótica e planetária, que em média tem uma velocidade média quadrática global de cerca de 12 a 15 m/s.

2) Movimentos impulsionados por instabilidade convectiva representam o restante da energia cinética atmosférica. A convecção está continuamente presente na atmosfera como consequência do gradiente vertical de aquecimento adiabático. Os movimentos resultantes têm escalas de espaço que variam de cerca de 30 km para as maiores trovoadas até menos de 1 mm em movimentos de microescala dentro da camada

limite planetária. Apesar de sua pequena contribuição para a energia cinética atmosférica, movimentos convectivos têm um papel importante no transporte ascendente de energia latente e sensível.

Estudos recentes apontam a importância da energia atmosférica para a compreensão e previsão de eventos climáticos extremos. De acordo com Sharma et al. (2023), as tendências na energia cinética dos vórtices (EKE) na alta troposfera oferecem insights importantes sobre o papel dessa energia na intensificação dos eventos pluviométricos extremos. Essa análise se alinha com estudos anteriores que sugerem que a elevada energia cinética associada à corrente de jato tem o potencial de intensificar distúrbios, contribuindo assim para o aumento de eventos extremos de precipitação (Hunt, et al. 2018, Pujol & Larnicol, 2005). Além disso, Ginesta et al. (2023) revela um aumento na energia cinética e um padrão atmosférico mais persistente para ciclones extratropicais.

O estudo de Ma (2021) que visou entender a relação entre a energia atmosférica e os extremos de calor no verão no Hemisfério Norte enfatizou a importância de entender as mudanças nas circulações atmosféricas para prever e compreender eventos climáticos extremos. Descoberta corroborada por Qian et al. (2023), que mostrou que a energia cinética total dos ventos anômalos pode servir como um indicador eficaz para a previsão desses eventos.

Face ao exposto, a necessidade de uma base de dados climatológica confiável se faz necessária. Devido à escassez de dados medidos, o uso de dados provenientes de reanálise são ideias para abordagens climáticas. Um projeto de reanálise envolve o reprocessamento de dados observacionais, por meio de um sistema de análise moderno, com um período histórico prolongado. O projeto de reanálise do National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) gerou uma base de informações de variáveis meteorológicas em pontos de grade. Nesse processamento foi aplicado o estado atual da arte em análise e previsão dentro de um rígido controle de qualidade. Diferentes plataformas de observações foram utilizadas na geração das reanálises (Kalnay et al., 1996; Kistler et al., 2001; Decker, 2012).

Face ao exposto buscou-se estudar aspectos da energia cinética da atmosfera mediante dados de reanálise do NCEP/NCAR. Portanto, o objetivo deste trabalho é de quantificar e analisar as variabilidades e tendências da energia cinética

do vento para as camadas baixas, médias e altas da atmosfera global, mediante dados de reanálises do NCEP para o período de janeiro de 1981 a dezembro de 2020, no intuito de averiguar as variações da energia cinética ao longo das últimas décadas.

Material e Métodos

Dados

Foram obtidos dados de reanálise em escala global do *National Center for Environmental Prediction/Nacional Center for Atmospheric Research* (NCEP/NCAR). Os dados referem-se às componentes zonal e meridional do vento num período de janeiro de 1981 a dezembro de 2020. A escolha do uso desta base de dados se dá por constituírem em uma base de dados representativos das condições globais e já foi utilizado com sucesso em outros estudos relacionados à atmosfera (Bezerra e Cavalcanti, 2008; Silva et al. 2010; Cavalcanti e Mariano, 2016).

Cálculo da Energia Cinética (KE)

Após a obtenção dos dados de reanálise, a energia cinética (KE) por unidade de massa para a atmosfera foi obtida por:

$$KE(i, j, k) = \frac{1}{2} [u^2(i, j, k) + v^2(i, j, k)] \quad (1)$$

em que u é velocidade zonal e v a velocidade meridional do vento. A partir da realização da estimativa de KE, foram realizados três tipos de análises, uma espacial, uma integração global e vertical, e uma integração global dividida por camadas atmosféricas. Sendo assim, permite-se observar a energia cinética atmosférica ao redor do globo, a global e a global dividida por camadas.

A energia cinética (KE) foi avaliada em todo o domínio global do modelo de (90° S a 90° N de latitude; e de 180° W a 180° E de longitude). A grade correspondente é de 145 pontos em x ($i=1, 2, \dots, 145$) e 73 pontos em y ($j=1, 2, \dots, 73$) espaçados de 2,5°. Na vertical, além da superfície, foram utilizados 12 níveis isobáricos 1000, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100 hPa. ($k=1, 2, \dots, 12$).

Na integração vertical foi adotado três camadas: 1) baixa - da superfície a 500 hPa (Sup-500hPa); 2) média - de 500 a 300 hPa (500-300hPa) e 3) alta - de 300 a 100 hPa (300-100hPa).

A energia cinética integrada verticalmente foi avaliada por:

$$IKE(i, j) = \frac{1}{g} \int_{l_s}^{l_i} KE(i, j) dp \quad (2)$$

em que g é a aceleração da gravidade, l_i e l_s são os limites inferior e superior de cada camada, respectivamente e dp é o elemento infinitesimal de pressão na vertical.

A média global (90°S a 90°N e de 180°W a 180°E) por camada de IKE foi calculada por

$$\begin{aligned} \underline{IKE} \\ = \frac{1}{M \times N} \left[\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N IKE(i, j) \right] \end{aligned} \quad (3)$$

De forma semelhante foi calculado o IKE médio para o Hemisfério Norte (0° a 90°N e de 180°W a 180°E); Hemisfério Sul (90°S a 0° e de 180°W a 180°E) e o Nordeste do Brasil - NEB (15,5°S a 3,0°S e de 47,5°W a 34,5°W).

Foram realizadas análises climáticas para averiguar o comportamento mensal e sazonal da energia cinética nos diferentes domínios de estudos. Tais características irão subsidiar o entendimento e compreensão das variabilidades climáticas e seus efeitos sazonais. Para caracterizar uma climatologia da energia cinética com melhor detalhamento, foram realizadas estatísticas descritivas, definidas nas regiões de estudo, global, H.N., H.S. e NEB. Dentre as estatísticas serão relatados os máximos e mínimos, média e mediana, por fim, os limites do primeiro e terceiro quartis, separando valores mais prováveis de ocorrência. A utilização da técnica de quartis permite avaliar a dispersão e a tendência central do conjunto de dados.

Análises de tendências

Após a criação das séries temporais de KE para o Globo, H.N., H.S. e NEB, foram avaliadas a inclinação da linha de tendência pelo método de regressão linear e calculado o coeficiente de correlação entre os valores observados de $\overline{IKE}$ e os valores inferidos pela reta de tendência. Neste caso, foi aplicado o teste t de *Student* com significância estatística de 99% ($\square = 0.01$) e 95% $\square\square = 0.05$) com $(n-2)$ graus de liberdade.

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (4)$$

$$r_c = \frac{t_c}{\sqrt{(n-2) + t_c^2}} \quad (5)$$

em que, t_c é o valor obtido em tabela e n é o número de dados da série.

As estatísticas presentes neste trabalho irão subsidiar a inferência das mudanças no comportamento da energia cinética com o passar dos últimos 40 anos. Com isso a avaliação da sazonalidade, variabilidade e tendências.

Resultados e discussões

Análise da $\overline{IKE}$ da atmosfera para o Hemisfério Norte

No hemisfério Norte é observado que a camada média (500-300 hPa) apresenta os menores valores mensais, quando se compara com as demais camadas com mínimo de 7,4 kJ/m² e máximo de 15,3 kJ/m². A baixa camada da atmosfera (Sup-500 hPa) registrou o menor valor médio de energia cinética no mês de setembro com 12,7 kJ/m² e o maior valor em janeiro, 18,7 kJ/m². Isto ocorre devido os ciclones extratropicais atuarem com mais frequência durante o inverno, cujo sistema é capaz de gerar ventos intensos, de acordo com Fuente et al. (2013). Na camada mais alta (300-100 hPa) os valores mínimos e máximos foram, 10,7 kJ/m² e 22,0 kJ/m², em julho e janeiro, respectivamente.

A variabilidade sazonal da camada da Sup-100 hPa no H.N. apresenta maiores valores de IKE no inverno e os menores valores no verão do H.N. Os mínimos são observados no trimestre junho/julho/agosto, enquanto os máximos são registrados em janeiro/ fevereiro/março, conforme a Tabela.

Tabela 1. Energia Cinética média para o Hemisfério Norte (kJ/m²) com destaque para os valores máximos em vermelho e mínimos em azul

ENERGIA CINÉTICA MÉDIA H.N. (kJ/m ²)													
Camadas (hPa)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
300-100	22,0	21,8	20,2	17,4	13,8	11,3	10,7	11,2	12,1	14,0	17,5	20,4	16,0
500-300	15,3	15,3	14,1	12,2	9,9	8,2	7,4	7,7	8,6	10,1	12,2	14,1	11,3
Sup-500	18,7	18,3	16,7	14,9	13,4	13,6	13,4	12,8	12,7	13,7	15,9	17,9	15,2
Sup-100	55,9	55,4	51,1	44,5	37,1	33,1	31,5	31,7	33,4	37,7	45,5	52,4	42,5

Análise da $\overline{IKE}$ da atmosfera para o Hemisfério Sul

Na Tabela 2, assim como na representação da média mensal no Hemisfério Norte, a camada média da atmosfera (500-300 hPa) teve os menores valores em comparação com as outras camadas, o valor mínimo registrado foi 10,8 kJ/m² em janeiro e o valor máximo foi 15,5 kJ/m² em agosto.

Na camada alta, os menores valores de energia cinética foram registrados no verão, com um mínimo médio de 14,6 kJ/m² nos dois primeiros meses do ano. Em altos níveis da troposfera, devido aos menores gradientes meridionais de temperatura, ocorre a formação das correntes de jato (Albuquerque, 2022, Hunt., et al. 2018). De acordo com Pezzi et al. (1996), na estação do inverno, o jato atinge a sua máxima intensidade e

atuação. Dessa forma, o valor máximo de 22 kJ/m² foi registrado em agosto, possivelmente associado às correntes de jato.

Na camada Sup-500, assim como nas outras camadas, agosto foi o mês que atingiu o maior valor da energia cinética 20,9 kJ/m², e o valor mínimo foi 17,1 kJ/m² em janeiro.

Ao analisar a soma das camadas (Sup-100 hPa) os valores de IKE no Hemisfério Sul apresentam um comportamento em que os menores valores são no verão e os maiores no inverno do H.S. O trimestre junho/julho/agosto obteve os máximos mensais, agosto atingiu 58,6 kJ/m² e foi o valor máximo, devido à maior disponibilidade de KE, conseqüentemente uma atmosfera mais instável. O trimestre de menor valor foi dezembro/janeiro/fevereiro e o valor mínimo foi 42,5 kJ/m² em janeiro.

Tabela 2. Energia Cinética média para o Hemisfério Sul (kJ/m²) com destaque para os valores máximos em vermelho e mínimos em azul.

Camadas (hPa)	ENERGIA CINÉTICA MÉDIA H.S. (kJ/m ²)												
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
300-100	14,6	14,6	15,4	17,4	20,1	21,5	22,0	22,2	21,3	19,7	17,7	15,7	18,5
500-300	10,8	10,9	11,6	12,7	14,1	14,9	15,3	15,5	15,1	14,0	12,7	11,5	13,3
Sup-500	17,1	17,3	17,4	18,0	19,0	20,0	20,7	20,9	20,8	19,7	18,3	17,4	18,9
Sup-100	42,5	42,7	44,3	48,1	53,1	56,3	57,9	58,6	57,2	53,5	48,7	44,6	50,6

Análise da $\overline{IKE}$ da atmosfera para o Nordeste do Brasil

Na Tabela 3 tem-se o comportamento da média mensal de Energia Cinética para o Nordeste do Brasil em três camadas da atmosfera, bem como, o valor total da soma das camadas. Na camada mais alta, os maiores valores ocorrem de maio a julho, com pico de 11,3 kJ/m² em maio, após isso os números decrescem até um valor mínimo de 5,9 kJ/m². A camada média (500-300 hPa) apresenta os menores valores mensais observados variando de 3,1 kJ/m² a 5,8 kJ/m².

Na baixa camada da atmosfera, o trimestre junho/julho/agosto concentra os máximos valores, e o menor valor registrado foi de 10,5 kJ/m² no mês de março.

O aumento da energia cinética nas camadas baixas da atmosfera pode levar a um aumento da frequência e intensidade de eventos extremos, como ciclones, pois essas regiões são mais dinâmicas e energeticamente ativas.

O Nordeste está localizado na faixa de baixa latitude, portanto, fica evidente que a variabilidade sazonal de KE nesta região é mais baixa em comparação com a média global, o que impacta positivamente na geração de energia eólica. Ao analisar a camada Sup-100 hPa observa-se que os maiores valores de KE ocorrem de maio a julho, e o máximo registrado foi no mês de julho. A distribuição de energia cinética na região diminui a partir da primavera e se mantém baixos até o outono.

Tabela 3. Energia Cinética média para o Nordeste do Brasil (kJ/m²) com destaque para os valores máximos em vermelho e mínimos em azul.

Camadas (hPa)	ENERGIA CINÉTICA MÉDIA NEB (kJ/m ²)												
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
300-100	7,9	7,3	5,9	5,9	11,3	11,2	11,1	10,7	8,9	7,5	7,8	7,9	8,7
500-300	3,9	3,8	3,7	3,6	5,2	5,4	5,6	5,8	4,8	3,4	3,1	3,3	4,3
Sup-500	11,6	11,6	10,5	11,0	11,9	14,4	14,5	14,1	13,5	11,8	10,6	11,1	12,3
Sup-100	23,3	22,8	20,1	20,6	28,5	31,0	31,2	30,6	27,2	22,7	21,5	22,3	25,2

Análise da média de Energia Cinética da atmosfera para o globo terrestre

Na Tabela 4 é apresentado o comportamento da média mensal para todo o globo terrestre nas três camadas, assim como, o total representado pela soma destas camadas. No geral,

observa-se que a camada média (500-300 hPa) apresenta os menores valores mensais, quando se compara com as demais camadas com mínimo de 11,5 kJ/m² e máximo de 13,3 kJ/m². Este resultado encontra-se coerente devido à camada de médios níveis ser o nível de não divergência (Howaedd,

1992; Gomes & Lemes, 2007). Isso ocorre pois nos níveis médios da atmosfera, o gradiente de pressão horizontal geralmente é menor do que nas superfícies e altos níveis, o que resulta em ventos com velocidades mais baixas.

Na camada alta e baixa os valores se equiparam e variam de 16,2 a 18,0 kJ/m² na camada 300-100 hPa e de 16,5 a 18,4 kJ/m² na camada Sup-500. Os mínimos são observados no trimestre maio/junho/julho, enquanto os máximos estão concentrados no trimestre novembro/dezembro/janeiro.

Na integração das camadas (Sup-100 hPa) a variabilidade sazonal fica mais evidente. Os maiores valores de $\overline{IKE}$ são observados durante o período de inverno boreal (Tabela 4). Essa

tendência pode ser associada à dinâmica atmosférica sazonal, onde a atmosfera de inverno geralmente apresenta aumento na baroclinicidade, no cisalhamento vertical e na instabilidade atmosférica (Sharma et al., 2023; Ginesta et al., 2023). Essa complexa interação influencia a dinâmica global da atmosfera promovendo a formação de sistemas meteorológicos mais dinâmicos e, consequentemente, elevando os valores de energia cinética na atmosfera. Em contrapartida, o verão boreal influencia diretamente na diminuição da KE global, visto a continentalidade, fazendo com que a média global venha a diminuir consideravelmente, devido a desaceleração da corrente de jato do H.N. do que ser influenciado pela aceleração das correntes de jatos do H.S.

Tabela 4. Energia Cinética média para o Globo (kJ/m²) com destaque para os valores máximos em vermelho e mínimos em azul.

Camadas (hPa)	ENERGIA CINÉTICA MÉDIA GLOBAL (kJ/m ²)												
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
300-100	18,0	17,9	17,1	16,5	16,2	16,8	17,1	16,9	16,8	16,7	17,2	17,7	17,1
500-300	13,2	13,3	13,0	12,6	12,1	11,6	11,5	11,7	12,0	12,2	12,6	13,0	12,4
Sup-500	18,4	18,4	18,0	17,6	17,2	16,6	16,5	16,8	16,9	17,1	17,8	18,2	17,5
Sup-100	49,6	49,5	48,1	46,8	45,5	45,0	45,0	45,4	45,6	46,1	47,6	48,9	46,9

Um resumo da variação sazonal de toda soma das camadas da atmosfera (Sup-100 hPa) é mostrada na Figura 1. Ressalta-se que, para os hemisférios N e S, os máximos (mínimos) se encontram em seus respectivos invernos (verão).

Em relação à média do Globo Terrestre, observa-se uma curva mais suave representando a média entre os dois hemisférios. Ou seja, prevalece na média global o padrão observado no HN. Este fato reflete o impacto da continentalidade nas condições de instabilidade da atmosfera planetária.

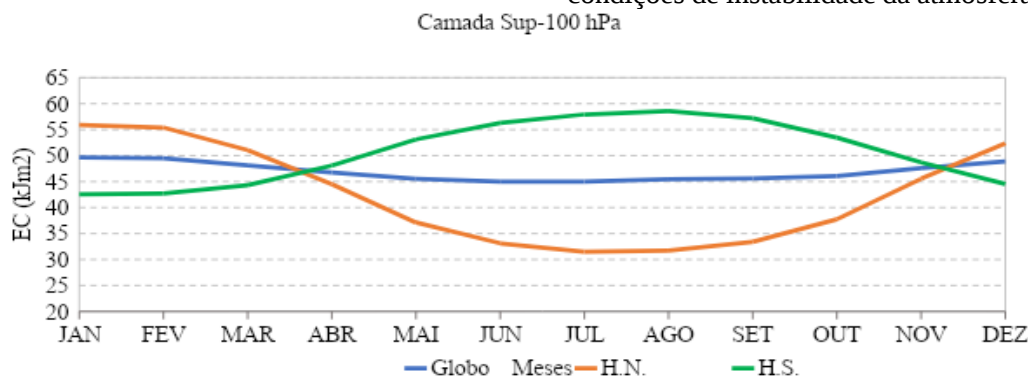


Figura 1. Resumo da variabilidade sazonal da Energia Cinética da atmosfera (Sup-100hPa) para o Globo, H.N. e H.S.

Distribuição espacial da Energia Cinética média para o Globo

Ao analisar os campos médios (Figura 2) é possível afirmar que há uma maior concentração de energia cinética bem definida nas latitudes médias, destacadas pela região das correntes de jato nas altas latitudes, para valores de KE acima 35 kJ/m² para as subcamadas baixa, média e alta e acima de 90 kJ/m² para a soma das camadas. Destaca-se que para o H.N. esta faixa fica em torno de 30° N ao contrário do H.S. que está exatamente entre 30° -

60° S. Especula-se haver influência da continentalidade, a maior porção continental no H.N. acarreta maiores gradientes de temperatura entre continente e oceano devido as diferentes características da superfície (desertos, florestas, oceano, gelo etc.).

Esta maior disponibilidade de KE em regiões de altas latitudes, evidencia uma atmosfera mais instável, associadas às correntes de jato, substancial na atividade sinótica e pelas características do clima em superfície.

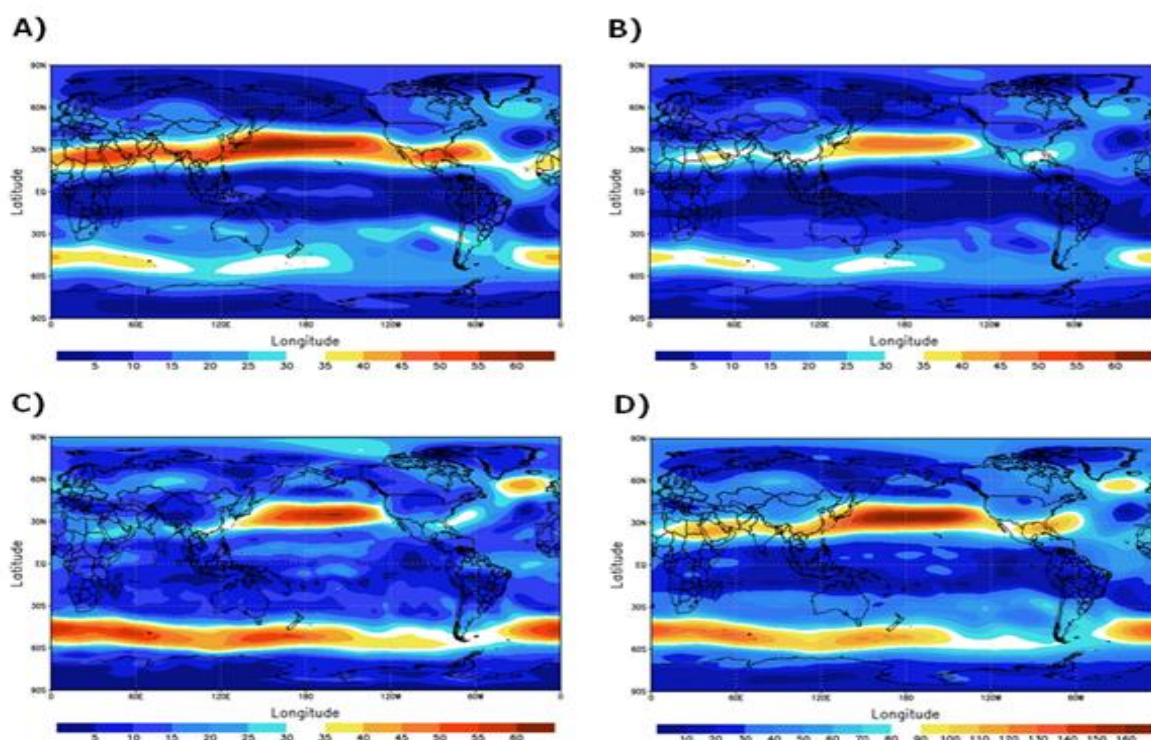


Figura 2. Energia Cinética média (kJ/m²) no período de 1981-2020 para as camadas: A) alta, 300-100 hPa, B) média, 500-300 hPa, C) baixa, Sup-500 hPa e D) total Sup-100 hPa.

Variabilidade interanual da Energia Cinética da Atmosfera integrada verticalmente

Na Tabela 5 constam os valores mínimos, máximos, primeiro quartil, média, segundo quartil (mediana) e terceiro quartil para os meses de janeiro a dezembro e o valor da média anual referente ao período de 1981 a 2020. Essa técnica de quartis possibilitou analisar a variabilidade interanual da média para o Globo; H.N.; H.S. e NEB da energia cinética integrada verticalmente na atmosfera (Sup-100 hPa).

Na média para o Globo Terrestre se observa que o mês de fevereiro se destaca pelo seu alto valor de máxima, atingindo 51,7 kJ/m². O menor valor observado ocorreu no mês de junho, marcando 43,1 kJ/m². O valor mínimo do 2º quartil se sucedeu em julho, atingindo 44,9 kJ/m², sendo o valor máximo de 49,6 kJ/m² em janeiro. A amplitude entre valores máximo e mínimo oscilam

em torno de 1,8 kJ/m². Verifica-se também, que a mediana tem comportamento próximo da média indicando boa assimetria na variabilidade interanual.

Ainda na Tabela 5, na parte referente a média para o Hemisfério Norte, o mês de janeiro se destaca pelo seu alto valor de máxima, atingindo 59,6 kJ/m², e o valor máximo da mediana de 56,2 kJ/m², verificado também em janeiro. O menor valor observado na série ocorreu no mês de julho, marcando 29,4 kJ/m². O valor mínimo do 2º quartil ocorreu no mesmo mês, atingindo 31,4 kJ/m². Para o H.N. a amplitude aumenta suavemente, variando em torno de 2,2 kJ/m². Observa-se que a mediana é aproximadamente igual a média.

Para o Hemisfério Sul (Tabela 5), agosto se destacou por apresentar o maior valor entre os máximos da série com 60,2 kJ/m² e o máximo da mediana de 58,1 kJ/m², nos meses de julho e

agosto. Por outro lado, o mês de fevereiro atingiu 40,20 kJ/m², sendo este o mínimo de KE entre os mínimos da série. Em janeiro, ocorreu a mediana mínima de 42,5 kJ/m². A amplitude entre máximo e mínimo é de 2,1 kJ/m², praticamente a mesma amplitude verificada para o H.N.

Por sua vez, a média do Nordeste do Brasil ocorreu no mês de junho obtendo o maior valor máximo de 40,3 kJ/m². Assim como julho verificou o maior valor da mediana com 31,1 kJ/m². Em março observou-se o menor valor do mínimo e o menor valor da mediana com 13,8 kJ/m² e 19,7 kJ/m², respectivamente.

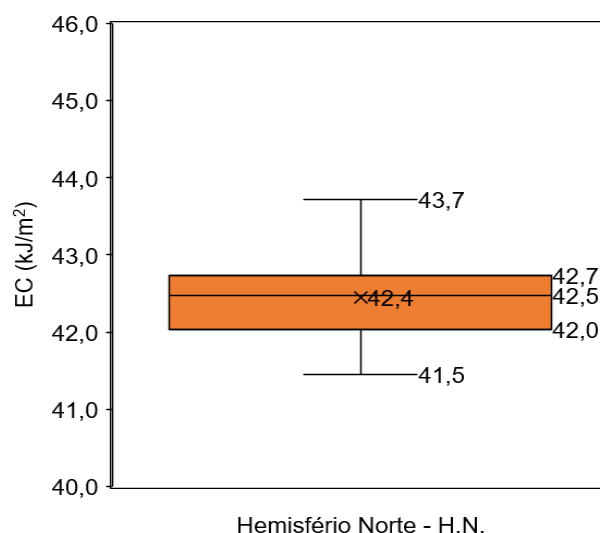
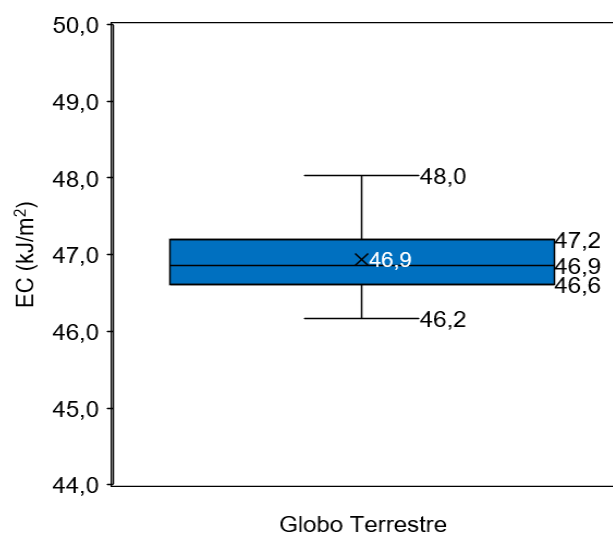
Tabela 5. Variabilidade da Energia Cinética da Atmosfera em kJ/m², camada Sup-100 hPa, usando método dos quartis entre outras estatísticas

Globo Terrestre	Meses	Mínimo	Máximo	1° Quartil	Média	Mediana	3° Quartil
	JAN	48,1	51,3	49,0	49,6	49,6	50,0
	FEV	47,8	51,7	48,7	49,5	49,4	50,0
	MAR	45,5	50,2	47,6	48,1	47,9	49,0
	ABR	45,3	47,8	46,4	46,8	46,9	47,2
	MAI	43,6	47,5	44,9	45,5	45,5	46,2
	JUN	43,1	46,7	44,5	45,0	45,0	45,6
	JUL	43,5	47,0	44,5	45,0	44,9	45,6
	AGO	44,3	46,6	44,3	45,4	45,5	46,0
	SET	44,0	46,9	45,0	45,6	45,6	46,4
	OUT	44,2	48,2	45,4	46,1	46,1	46,7
	NOV	46,3	49,3	47,0	47,6	47,6	48,2
	DEZ	47,0	50,9	48,2	48,9	48,9	49,7
	ANO	46,2	48,0	46,6	46,9	46,9	47,2
Hemisfério Norte – H.N.	JAN	52,6	59,6	54,7	55,9	56,2	56,8
	FEV	53,2	58,2	54,2	55,4	55,3	56,1
	MAR	48,2	53,5	50,3	51,1	51,2	51,8
	ABR	42,5	46,4	43,6	44,5	44,8	45,3
	MAI	35,4	39,3	36,5	37,1	37,1	37,8
	JUN	31,8	34,6	32,6	33,1	33,1	33,7
	JUL	29,4	33,5	30,9	31,5	31,4	32,0
	AGO	30,3	33,4	31,0	31,7	31,7	32,4
	SET	31,6	35,2	32,8	33,4	33,5	34,0
	OUT	35,0	40,4	37,1	37,7	37,7	38,5
	NOV	43,5	48,1	44,7	45,5	45,5	46,2
	DEZ	49,0	54,8	51,5	52,4	52,6	53,5
	ANO	41,5	43,7	42,0	42,5	42,5	42,7
Hemisfério Sul – H.S.	JAN	40,7	45,2	42,1	42,5	42,5	43,2
	FEV	40,2	45,0	41,9	42,7	42,7	43,5
	MAR	42,3	47,7	43,6	44,3	44,3	45,0
	ABR	46,4	49,5	47,4	48,1	48,2	48,7
	MAI	51,0	55,8	52,2	53,1	52,9	53,9
	JUN	53,4	59,3	55,3	56,3	56,1	57,0
	JUL	56,1	60,1	57,0	57,9	58,1	58,5
	AGO	56,6	60,2	58,1	58,6	58,1	59,4
	SET	55,0	59,5	56,7	57,2	57,2	58,1
	OUT	51,9	55,9	52,5	53,5	53,4	54,2
	NOV	47,1	50,5	47,9	48,7	48,7	49,2
	DEZ	41,9	46,7	43,9	44,6	44,4	45,5
	ANO	49,8	51,9	50,2	50,6	50,6	51,0

Nordeste do Brasil - NEB	JAN	18,0	31,4	31,2	23,3	22,9	25,6
	FEV	16,6	30,4	20,2	22,8	22,4	24,9
	MAR	13,8	27,8	17,8	20,1	19,7	22,3
	ABR	15,7	27,0	18,6	20,6	21,1	22,5
	MAI	19,9	35,9	25,9	28,5	28,0	30,9
	JUN	24,3	40,3	28,7	31,0	30,7	33,3
	JUL	24,8	39,7	28,2	31,2	31,1	32,8
	AGO	24,5	36,2	28,8	30,6	30,3	32,1
	SET	20,7	37,0	24,2	27,2	26,9	29,5
	OUT	17,6	29,5	20,3	22,7	22,8	24,6
	NOV	14,9	29,1	19,4	21,5	21,5	23,5
	DEZ	15,5	30,3	19,6	22,3	22,2	24,7
	ANO	23,1	28,7	24,4	25,2	25,3	26,2

Na Figura 3 é apresentada a variabilidade da média anual da Energia Cinética da Atmosfera para o A) Globo, B) H.N., C) H.S. e D) NEB por meio de *box plot*. Embora a escala da KE apresenta valores diferentes, estas preservam uma variação de uma unidade num intervalo de 6 kJ/m². Desta forma, observa-se que, embora o NEB apresente valores menores de KE, apresenta maior amplitude entre o máximo e mínimo, que oscilam em torno de 5,6 kJ/m² (máximo de 28,7 kJ/m² e mínimo de 23,1 kJ/m², portanto, é um pouco mais que o dobro do observado para o H.N. e H.S. e praticamente o triplo do verificado para o globo. A diferença

interquartílica no boxplot do NEB (Figura 3) exibe uma maior variabilidade na média anual da Energia Cinética da Atmosfera nessa região, que pode estar relacionado ao baixo gradiente térmico nas regiões tropicais. As demais amplitudes são bem similares, com valores de 1,8; 2,2 e 2,1 kJ/m² para o Globo, e os hemisférios N. e S., respectivamente. Observa-se ainda, uma média igual ou muito próxima da mediana em todos os casos, indicando uma distribuição normal. Em grandes extensões territoriais, como as análises dos hemisférios, as variações tendem a ser suavizadas.



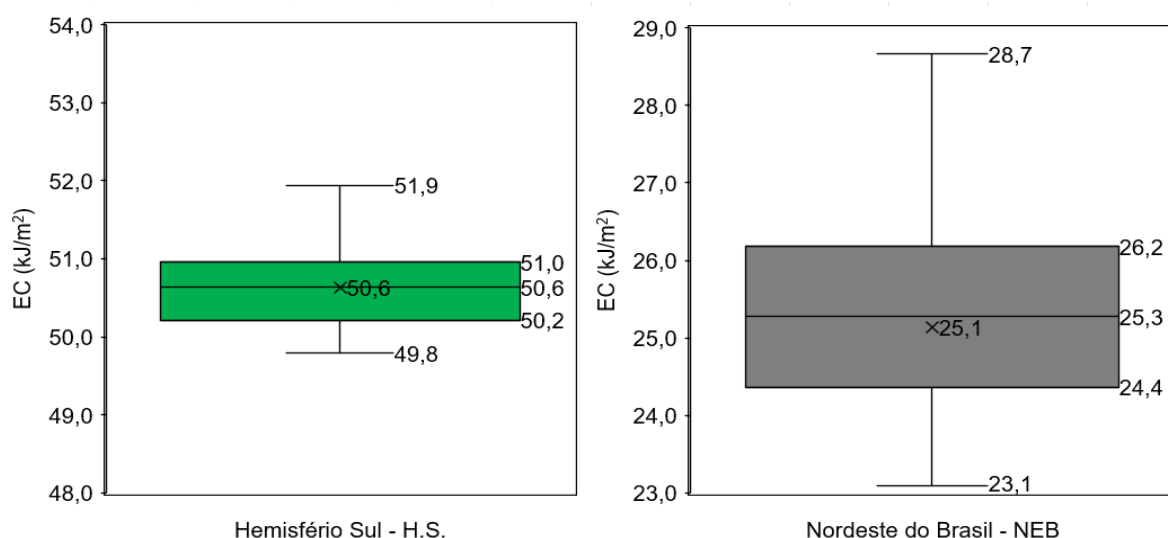


Figura 3. Box Plot da média anual da Energia Cinética da Atmosfera (kJ/m^2) para A) Globo; B) H.N.; C) H.S. e D) NEB.

Séries temporais de Energia Cinética da Atmosfera (Sup-100 hPa)

A Figura 4 exibe o comportamento da série temporal da $\overline{IKE}$ integrada verticalmente na atmosfera, corresponde à média anual no período de 1981 a 2020, totalizando 40 anos. Observa-se que para o globo não há tendência com

significância estatística. Já o H.N. apresenta uma leve tendência negativa de $-0,02 \text{ kJ/m}^2.\text{ano}$ com significância estatística à 99%, enquanto para o H.S. a tendência é crescente de $0,01 \text{ kJ/m}^2.\text{ano}$, significativa à 95% (Figura 4A). Para o NEB (Figura 4B), a tendência é decrescente de $0,05 \text{ kJ/m}^2.\text{ano}$.

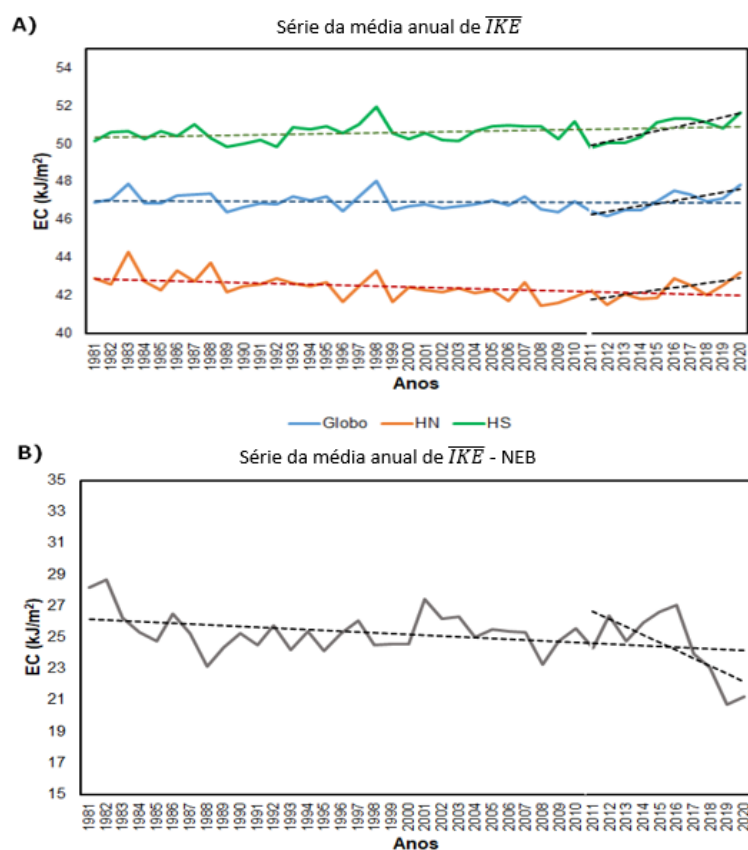


Figura 4. Série temporal e tendência da Energia Cinética da Atmosfera (kJ/m^2), média anual no período de 1981-2020. A) Globo, H.N. e H.S. B) NEB.

Destaca-se ainda, uma tendência crescente nos últimos 10 anos, de 2011 a 2020, para o Globo e os H.N. e H.S. O aumento da energia cinética é significativo devido à sua associação com a corrente de jato, sendo mais persistente durante a estação de inverno, quando a energia cinética atinge seu máximo. Essas correntes desempenham um papel crucial na distribuição de energia e momentum atmosféricos, influenciando as variações climáticas ao longo do tempo.

Para o NEB a tendência é decrescente e bem mais pronunciada de aproximadamente $-0,5 \text{ kJ/m}^2\text{.ano}$.

As equações de tendências e os respectivos coeficientes de correlação são apresentados na Tabela 6. Observa-se, segundo o teste *t* de *Student*, que os ajustes são estatisticamente significativos à 95% (*) e (ou) 99% (**), exceto na série completa para o Globo. A hipótese nula é rejeitada para valores absolutos superiores a $r_c = 0,31$ e $r_c = 0,40$.

Já para a série dos últimos 10 anos (8 graus de liberdade), tem-se $t_c = 2,30$ e $t_c = 3,35$ implicando em valores absolutos de $r_c = 0,63$ e $r_c = 0,76$ para significância estatística de 95% e 99%, respectivamente.

Tabela 6. Equações da tendência linear e respectivo coeficientes de correlação para as séries de 1981-2020 e 2011-2020.

	Série completa 1981 a 2020		Últimos 10 anos 2011 a 2020	
	Eq. Tendência Linear	r	Eq. Tendência Linear	r
Globo	$Y = -0,0039X + 47,017$	-0,11	$Y = 0,1494X + 46,109$	0,85**
H.N.	$Y = -0,0227X + 42,915$	-0,44**	$Y = 0,1125X + 41,669$	0,65*
H.S.	$Y = 0,0143X + 50,333$	0,33*	$Y = 0,1852X + 49,733$	0,87**
NEB	$Y = -0,0513X + 26,186$	-0,38*	$Y = -0,492X + 26,186$	-0,67*

Significância estatística (*t Student*): * à 95% ($\alpha = 0,05$) e ** à 99% ($\alpha = 0,01$)

Conclusão

Com intuito de averiguar as variações da energia cinética ao longo das últimas décadas, os resultados mostraram que os valores de $\overline{IKE}$ (kJ/m^2), para todas as regiões analisadas, observados na camada média (500-300 hPa) foram inferiores aos obtidos para as camadas Sup-500 e 300-100 hPa. Na camada mais alta, observa-se a marcante influência da corrente de jato.

Com base nos dados analisados do cálculo da energia cinética da atmosfera (KE) foi possível concluir que na variação sazonal da média global da KE seguiu o padrão observado no Hemisfério Norte, com máximos no inverno e mínimos no verão. Embora os valores de KE no Hemisfério Sul tenham sido maiores, essa diferença pode ser explicada pela influência do fator continentalidade, o que reduz significativamente a KE no H.N. reduzindo a média planetária no verão boreal. Para as médias de cada hemisfério observou-se que os máximos ocorrem no período de inverno e mínimos no verão de cada hemisfério.

As séries de Energia Cinética no período de 40 anos apresentaram tendências suaves, mas, estatisticamente significativas segundo o teste *t* de *Student*. Para os últimos 10 anos da série, as tendências foram significativamente crescentes, porém, mais acentuadas que as séries completas,

exceto para o NEB que apresentou tendência decrescente.

O estudo da energia cinética no planeta já está em um bom nível de desenvolvimento, principalmente devido aos impactos das mudanças climáticas nas correntes de jato. Entretanto, para demais regiões do planeta, como no NEB, estes impactos ainda não estão claros, merecendo atenção, principalmente devido a uma taxa de diminuição significativa da KE conforme os resultados apresentados. Sugere-se, portanto, estudos posteriores para identificar impactos das mudanças da KE nos sistemas meteorológicos que ocorrem no NEB devido às mudanças climáticas.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil. PIBIC/CNPq-UFCEG e da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências

Albuquerque, I. S. D. 2022. Associação entre as correntes de jato e zonas frontais no nordeste brasileiro.

- Alves, J.C.B.; Martins, L.L.; Martins, W.A.; Moraes, J.F.L.; Blain, G.C. 2021. Uso de dados meteorológicos de reanálise para a simulação da vazão na bacia hidrográfica do Ribeirão do Pinhal, Limeira/SP. *Caminhos de Geografia*, 22 (80), 234-252. <https://doi.org/10.14393/RCG228054849>
- Aranha, A.F. 2014. Na visão espectral o aumento na concentração de gases estufa intensifica o trabalho atmosférico. [Dissertação de mestrado - Universidade do estado do Amazonas - UEA]. Repositório em: https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/12586/1/André_Ferreira_Aranha.pdf
- Archer, C.L.; Caldeira, K. 2009. Global Assessment Of High-Altitude Wind Power. *Energies*, 2 (2), 307-319. <https://doi.org/10.3390/en20200307>
- Assunção, A., Neto, P.M., & Vasconcelos, E. (2022). Um Sistema Baseado Em Combinação de Modelos para Previsão de Velocidade do Vento. *Revista De Engenharia E Pesquisa Aplicada*, 7(2), 1-11. <https://doi.org/10.25286/rep.v7i2.2206>
- Bezerra, A.C. Do N.; Cavalcanti, E.P. 2008. Energia estática sobre o Norte e Nordeste do Brasil relacionada com a temperatura da superfície do mar. *Revista Brasileira De Meteorologia*, 23, 239-263. <https://doi.org/10.1590/S010277862008000200010>
- Cavalcanti, E.C.; Mariano, E.B. 2016. Tendência do vapor d'água na atmosfera mediante dados do Ncep/Ncar. *Revista Brasileira De Meteorologia*, 31(4), 564-569. <https://doi.org/10.1590/01027786312314b20150061>
- Cavalcanti, E.P., Silva, B.B., Silva, V.P.R., Chaves, J.B., 2020. Wind Speed Variability and Ocean Influences: An Approach for Electrical Energy Generation Purposes in Northeastern Brazil. *Anuário Do Instituto de Geociências – UFRJ [Online]* 43. https://doi.org/10.11137/2020_1_273_285.
- Chebly, S. B., Cavalcanti, E. P., Nóbrega, R. S., & Correia, M. de F. 2021. Tendência da Energia Estática Global. *Revista Brasileira De Meteorologia*, 36(3), 393-402. <https://doi.org/10.1590/0102-77863630010>
- Claudino, C., Herdies, D. L., Leal de Quadro, M. F., & De Sales Filho, P. C. 2021. Validação da reanálise do MERRA-2 com dados observados: Estudo de caso de Itajaí - Santa Catarina. *Metodologias E Aprendizagem*, 4, 106-111. <https://doi.org/10.21166/metapre.v4i.1498>
- Decker, M.; Brunke, M.A.; Wang, Z.; Sakaguchi, K.; Zeng, X.; Bosilovich, M.G. 2012. Evaluation Of The Reanalysis Products From Gsfc, Ncep, And Ecmwf Using Flux Tower Observations. *Journal Of Climate*, 25, 1916-1944. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00004.1>
- Fasullo, J.T.; Trenberth, K.E. 2008. The Annual Cycle Of The Energy Budget. Part I: Global Mean And Land-Ocean Exchanges. *Journal Of Climate*, 21, 2297-2312. <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1935.1>
- Ferreira, R.B. (2021). Efeito da estrutura de torres micrometeorológicas nas medidas de turbulência atmosférica: Projeto ATTO. [Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Oeste do Pará]. Repositório em: <https://repositorio.ufopa.edu.br/jspui/handle/123456789/662>
- Fuentes, E. V., Bitencourt, D. P., & Fuentes, M. V. 2013. Análise da velocidade do vento e altura de onda em incidentes de naufrágio na costa brasileira entre os estados do Sergipe e do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 28, 257-266.
- Gan, M.A., Ferreira, S.H.S., Piva, E.D., Rozante, J.R., Garcia, J.R.M., Fernandes, A.A., Neves, A.L.O., & Silva, V.M. 2021. Avaliação da Energética Prevista nos Modelos Regionais BRAMS, ETA e WRF: Parte I - Inverno. *Revista Brasileira De Meteorologia*, 36(4), 775-803. <https://doi.org/10.1590/0102-77863640042>
- Ginesta, M., Yiou, P., Messori, G., & Faranda, D. (2023). A methodology for attributing severe extratropical cyclones to climate change based on reanalysis data: the case study of storm Alex 2020. *Climate Dynamics*, 61(1-2). <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06565-x>
- Gomes, H. B., & Lemes, M. A. M. 2007. Revisão de métodos de cálculo da divergência e uma aplicação usando o método cinemático para determinar de movimentos verticais na atmosfera. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 22, 112-120. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862007000100012>
- GWEC. Global Wind Energy Council, 2021. Global Wind Report 2021. Global Wind Energy Council. Disponível: <https://gwec.net/global-wind-report-2021/>. Acesso: 1 dezembro 2023
- Ha, Y.; Zhong, Z.; Hu, Y.; Yang, X. 2013. Influences Of Enso On Western North Pacific Tropical Cyclone Kinetic Energy And Its Meridional Transport. *Journal Of Climate*, 26, 322-332. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00543.1>

- Howaed, B. 1992. Synoptic dynamic meteorology in midlatitudes.
- Hunt, K. M. R., Turner, A. G., & Shaffrey, L. C. 2018. The evolution, seasonality and impacts of western disturbances. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 144(710). <https://doi.org/10.1002/qj.3200>
- Kalnay, E.; Kanamitsu, M.; Kistler, R.; Collins, W.; Deaven, D.; Gandin, L.; Iredell, M.; Saha, S.; White, G.; Woollen, J.; Zhu, Y.; Chelliah, M.; Ebisuzaki, W.; Higgins, W.; Janowiak, J.; Mo, K.C.; Ropelewski, C.; J. Wang, J.; Leetmaa, A.; Reynolds, R.; R. Jenne, R.; Joseph, D. 1996. The Ncep/Ncar 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, V. 77, 437-471. [https://doi.org/10.1175/15200477\(1996\)077<0437:TNYP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/15200477(1996)077<0437:TNYP>2.0.CO;2)
- Kistler, R.; Kalnay, E.; Collins, W.; Saha, S.; White, G.; Woollen, J.; Chelliah, M.; Ebisuzaki, W.; Kanamitsu, M.; Kousky, V.; Van Den Dool, H.; R. Jenne, R.; Fiorino, M. (001). The Ncep-Ncar 50-Year Reanalysis: Monthly Means Cd-Rom And Documentation. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 82, 247-267. [https://doi.org/10.1175/15200477\(2001\)082<0247:TNYP>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/15200477(2001)082<0247:TNYP>2.3.CO;2)
- Kozar, M.E.; Misra, V. 2014. Statistical Prediction Of Integrated Kinetic Energy In North Atlantic Tropical Cyclones. *Monthly Weather Review*, 142, 4646-4657. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-14-00117.1>
- Li, L.; Jiang, X.; Chahine, M.T.; Wang, J.; Yung, Y.L. 2011. The Mechanical Energies Of The Global Atmosphere In El Niño And La Niña Years. *Journal Of The Atmospheric Sciences*, 68, 3072-3078. <https://doi.org/10.1175/JAS-D-11-072.1>
- Lopes, R.F.C., Cavalcanti, E.P., Rodrigues, E.L., Nóbrega, R.S., Correia, M. de F. (2023). Variabilidade do Vento no Estado da Paraíba para Eventos de Anomalia de TSM dos Oceanos Atlântico e Pacífico Tropicais. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16(5), 2941-2959. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.5.p2941-2959>
- Ma, Q. 2021. Extreme events: maintenance mechanisms and energetics (Dissertação de Doutorado - Staats-und Universitätsbibliothek Hamburg Carl von Ossietzky).
- Miller, L.M.; Gans, F.; Kleidon, A. 2011. Jet Stream Wind Power As A Renewable Energy Resource: Little Power, Big Impacts. *Earth System Dynamics*. V. 2, 201-212. <https://doi.org/10.5194/esd-2-201-2011>
- Nehme, D.M., Toste, R., & Assad, L.P.F. 2019. Comparação Climatológica do Vento na Superfície do Mar entre Duas Reanálises Atmosféricas Globais para a Margem Continental Leste/Sudeste Brasileira. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, 42(1), 117-126. https://doi.org/10.11137/2019_1_117_126
- Pezzi, L. P., Rosa, M. B., & Batista, N. N. 1996. A Corrente de Jato sobre a América do Sul. *Boletim Climanalise*. CPTEC-Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Cachoeira Paulista-SP.
- Pinheiro, V. M., Gomes, L. C., de Oliveira, C. A., & Beletti, M. A. 2021. Análise do setor de energia eólica no Brasil. *Revista Científica UMC*, 6(1). Disponível em: <https://seer.umc.br/index.php/revistaumc/article/view/976>
- Pujol, M. I., & Larnicol, G. 2005. Mediterranean sea eddy kinetic energy variability from 11 years of altimetric data. *Journal of Marine Systems*, 58(3-4). <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2005.07.005>
- Qian, W., Du, J., Leung, J. C. H., Li, W., Wu, F., & Zhang, B. 2023. Why are severe weather and anomalous climate events often associated with the orthogonal convergence of airflows? *Weather and Climate Extremes*, 42, 100633. <https://doi.org/10.1016/J.WACE.2023.100633>
- Sales, R.M.M., Lima, L.G.S., 2022. Energias Renováveis E Territórios Na Bacia Hidrográfica Piancó-Piranhas-Açu No Nordeste Brasileiro. *Revista Ciência Geográfica* [Online] 26. <https://doi.org/10.18817/26755122.26.01.2022.2881>
- Santos Jr, E. P. dos., Blain, G. C., & Xavier, A. C. F. 2022. Avaliação dos Dados de Reanálise do Climatic Research Unit (CRU) e do 5th Generation of European Reanalysis (ERA5) no Monitoramento Probabilístico Padronizado da Seca. *Revista Brasileira De Meteorologia*, 37(2), 243-260. <https://doi.org/10.1590/0102-77863720019>
- Schuster, M.F. (2021). Modelagem E Simulação Da Estratificação Térmica Na Camada Limite Atmosférica. [Dissertação de mestrado – universidade do Vale do Rio dos Sinos]. Repositório em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/10841>
- Sharma, N., Saini, R., K, S., Pathaikara, A., Punde, P., & Attada, R. 2023. Hydrological Extremes in Western Himalayas-Trends and Their Physical Factors. In *Natural Hazards - New Insights*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.109445>
- Siefert, C. A. C., Dombrowski Netto, N., Marangon, F. H. S., Schultz, G. B., Silva, L. M. dos R., Fontenelle, T. H., & Santos, I. dos.

- (2021). Avaliação de Séries de Velocidade do Vento de Produtos de Reanálises Climáticas para o Brasil. *Revista Brasileira De Meteorologia*, 36(4), 689–701. <https://doi.org/10.1590/0102-7786360026>
- Silva A. G., Correia, M.F., Silva Aragão, M.R., Cavalcanti, E.P., Silva, W.E.A. 2022. Avaliação do potencial eólico na região de Petrolina-PE utilizando dados de reanálises do ERA5-Land durante a influência relativa dos oceanos Pacífico Tropical e Atlântico Tropical Sul. *Revista Brasileira de Climatologia [Online]* 31. <https://doi.org/10.55761/abclima.v31i18.16041>.
- Silva, V.P.R.; Silva, R.A.; Cavalcanti, E.P.; Braga, C.C.; Azevedo, P.V. ; Singh, V.P. ; Pereira, E.R.R. 2010. Trends In Solar Radiation In Ncep/Ncar Database And Measurements In Northeastern Brazil. *Solar Energy*, 1, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.07.011>
- Silverthorne, K. E., & Toole, J. M. 2009. Seasonal kinetic energy variability of near-inertial motions. *Journal of Physical Oceanography*, 39(4). <https://doi.org/10.1175/2008JPO3920.1>
- Trenberth, K.E.; Stepaniak, D.P. 2004. The Flow Of Energy Through The Earth's Climate System. *Quarterly Journal*, 130(603), 2677-2701. <https://doi.org/10.1256/qj.04.83>