



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

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



Ciclones subtropicais Guará e Lexi Parte I: Estrutura Térmica e Características Gerais

Bruna Andreлина Silva¹, Michelle Simões Reboita², Natália Machado Crespo³, Rosmeri Porfírio da Rocha⁴, Lívia Márcia Mosso Dutra⁵

¹ Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá, Av. BPS 1303, bairro Pinheirinho, CEP 37500-903, Itajubá, Minas Gerais. (35) 3629-1703. brunaandrelina@gmail.com ² Dr. Pesquisadora, Professora do Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá, reboita@unifei.edu.br ³ Doutora em Meteorologia, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, R. do Matão 1226, bairro Butantã, CEP 05508-0090, São Paulo, São Paulo. (11) 912833. natalia.crespo@iag.usp.br ⁴ Dr. Pesquisadora, Professora do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, rosmerir.rocha@iag.usp.br ⁵ Mestre em Meteorologia, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, livia.dutra@iag.usp.br

Artigo recebido em 06/07/2021 e aceito em 22/11/2021

RESUMO

Enquanto para o Oceano Atlântico Sul (OAS) o número de estudos sobre ciclones subtropicais tem aumentado, no oceano Pacífico Sudeste (OPS) estes ainda são raros. Diante disso, objetiva-se contribuir para o entendimento dos processos físicos associados aos ciclones subtropicais Guará, com gênese subtropical pura e ocorrido em dezembro de 2017 no OAS, e Lexi, com transição subtropical e ocorrido em maio de 2018 no OPS. O estudo encontra-se dividido em Parte I e Parte II. A Parte I apresenta a caracterização da estrutura térmica dos dois ciclones, o Índice do Potencial de Gênese (IPG) bem como as características desses sistemas em termos de pressão, ventos e precipitação ao longo do ciclo de vida. Já a Parte II enfoca os processos físicos associados à gênese do Guará e a transição subtropical do Lexi. Para tanto, são utilizados dados da reanálise ERA5. Entre os principais resultados obtidos no estudo Parte I, têm-se que o diagrama de fase confirmou a gênese subtropical pura do ciclone Guará e a gênese extratropical do Lexi com a posterior transição para a categoria subtropical. O IPG mostrou que, no ambiente de gênese/transição subtropical, havia condições ambientais favoráveis a sistemas com núcleo quente, sendo mais intensos no OPS, região conhecida por apresentar temperatura da superfície do mar fria e, por consequência, inviabilizar a formação de ciclones tropicais e subtropicais. O Guará propiciou chuva de cerca de 40 mm no leste da Bahia causando alagamentos. Já o Lexi propiciou chuva somente no oceano.

Palavras-Chave: Ciclones Subtropicais, Oceano Atlântico Sul, Oceano Pacífico Sudeste, estrutura térmica, precipitação, ventos

Subtropical Cyclones Guará and Lexi Part I - Thermal Structure and General Characteristics

ABSTRACT

While for the South Atlantic Ocean (SAO) the number of studies focusing on the occurrences of subtropical cyclones has increased, in the Southeast Pacific Ocean (SPO) these studies are rare. Therefore, the objective of this work is to contribute to the understanding of the physical processes associated with pure subtropical cyclogenesis of Guará, which occurred in December 2017 in the SAO, and Lexi, with subtropical transition occurred in May 2018 in SPO. The study is divided into Part I and Part II. Part I presents the characterization of the thermal structure of the two cyclones, the Genesis Potential Index (GPI) as well as the characteristics of these systems in terms of pressure, winds and precipitation over the life cycle. On the other hand, Part II focuses on the physical processes associated with the genesis of Guará and the subtropical transition of Lexi. For this purpose, data from the ERA5 reanalysis are used. Among the main results of the study Part I, we obtained that the phase diagram confirmed the pure subtropical genesis of Guará and the extratropical genesis of Lexi with the subsequent transition to the subtropical category. The GPI showed that, in the subtropical genesis/transition environment, there were favorable environmental conditions for warm core systems, being more intense in the SPO, a region known for presenting cold sea surface temperature and, consequently, making the formation of tropical and subtropical cyclones unfeasible. Guará caused rain of about 40 mm on the eastern sector of Bahia State leading to flooding. Lexi provided rain only in the ocean.

Keywords: Subtropical Cyclones, South Atlantic Ocean, South Pacific Ocean, thermal structure, precipitation, winds

Introdução

Os ciclones são um dos sistemas atmosféricos de escala sinótica (escala horizontal de 103 km e duração de dias a semana) mais estudados, são capazes de produzir mudanças no tempo com grandes impactos sociais (cerca de 20 mil mortes/ano ao redor do globo de acordo com Barry e Chorley, 2013) e de controlar o clima do planeta por transportarem calor e umidade das regiões equatoriais para os polos (Peixoto e Oort, 1992).

Os ciclones de escala sinótica podem adquirir características de três tipos: ciclones tropicais (CT), ciclones extratropicais (CE) e ciclones subtropicais (CS). Os ciclones subtropicais, embora tenham sido abordados na década de 1960 por Gray (1968), foram menos investigados pela comunidade científica, mas o aumento de observações da atmosfera por satélites e o desenvolvimento da metodologia de classificação dos tipos de ciclones (*Cyclone Phase Space - CPS*) de Hart (2003) atraiu novamente a atenção dos pesquisadores em relação a esse tipo de ciclones. De forma breve, as principais características de cada um dos três tipos de ciclones são: os CT se formam sobre os oceanos tropicais (Gray, 1968; Frank, 1977) e possuem estrutura vertical com núcleo quente e alinhado verticalmente, se estendendo até a alta troposfera (Emanuel, 1986), e apresentam ventos mais intensos próximos à superfície. Já os CE se formam, basicamente, associados aos intensos gradientes horizontais de temperatura em superfície e/ou por influência das ondas em médios e altos níveis da atmosfera. Além disso, possuem núcleo frio e com inclinação para oeste com aumento da altitude durante o estágio de desenvolvimento (Charney, 1947; Wallace e Hobbs, 2006). Por fim, os ciclones subtropicais são caracterizados por núcleo quente em baixos níveis, como os tropicais, e frio na alta troposfera, como os extratropicais; devido a esse fato, os CS também são chamados de sistemas híbridos (da Rocha et al., 2019).

Yanase et al. (2014) identificaram globalmente os tipos de ciclones no período de 1981 a 2011 e destacaram a ocorrência de CS no oceano Atlântico Sul. Conforme Gozzo et al. (2014), a média anual de CS nesse oceano é de 7,2 comparada ao valor de 1,2 sistemas/ano obtida por Evans e Braun (2012). A diferença entre as climatologias é explicada pelos critérios menos restritivos utilizados por Gozzo et al. (2014) na identificação dos sistemas. Ainda, de acordo com Silva, B. A.; Reboita, M. S.; Crespo, N. M.; da Rocha, R. P.; Dutra, L. M.

Gozzo et al. (2014) e de Jesus et al. (2020), os CS são mais frequentes no verão.

A gênese dos CS envolve mecanismos dinâmicos e termodinâmicos. Guishard (2006) e Evans e Guishard (2009) mostraram que cavados em altos níveis fornecem aporte dinâmico para a gênese desses sistemas no Atlântico Norte. Evans e Braun (2012) destacaram a importância de um cavado com pequena amplitude em níveis médios, fraco cisalhamento do vento e convergência do fluxo de umidade para ciclogênese subtropical no Atlântico Sul. Esses mecanismos também são mostrados por Gozzo et al. (2014, 2017), Reboita et al. (2017a-b, 2019) e da Rocha et al. (2019).

Após a ocorrência do CS Anita (nome atribuído pelos centros de meteorologia do país), a Marinha do Brasil (MB) passou a nomear os CS ocorridos no Atlântico Sul. Desde o Anita, mais 10 tempestades já foram batizadas: Arani (2011), Bapo (2015), Cari (2015), Deni (2016), Eçaí (2016), Guará (2017), Iba (2019), Jaguar (2019), Kurumí (2020), Mani (2020), Oquira (2020), Potira (2021), Raoni (2021), e Uba (2021). Os seis primeiros CS nomeados foram estudados por Reboita et al. (2019). Dentre os resultados, os autores mostraram uma contribuição secundária da temperatura da superfície do mar (TSM) na fase inicial destes eventos e núcleo menos profundo verticalmente, quando comparados aos sistemas tropicais. Entretanto, uma análise dos balanços de vortacidade e calor não foi realizada e, além disso, de 2017 até o presente estudo, os CS que se formaram no sudoeste do Atlântico Sul, permanecem sem investigação.

No oeste da América do Sul, nas proximidades da costa chilena, outros dois sistemas com características híbridas foram registrados e nomeados (não oficialmente): Katie (2015) e Lexi (2018); ambos se formaram após a temporada de ciclones tropicais do Pacífico Sul. O CS Katie foi identificado extraoficialmente, pois no OPS não há nenhum centro meteorológico responsável pelo monitoramento de ciclones (Weather, 2018). A NOAA (2018) também ressalta que as condições no Pacífico Sudeste são desfavoráveis à formação de ciclones subtropicais em decorrência de dois principais fatores: a atuação do anticiclone semipermanente do Pacífico Sul (ASPS) que desfavorece sistemas ciclônicos e pelo fato da região apresentar TSM relativamente fria. A afirmação anterior pode ser confirmada com a climatologia de ciclones de Yanase et al. (2014),

(disponível em <https://pmm.nasa.gov/data-access/downloads>).

Trajétoria e Distância Percorrida pelos Ciclones

A trajetória de cada sistema foi identificada através da análise dos campos de pressão ao nível médio do mar. O ponto de grade com menor valor de pressão teve suas coordenadas registradas (longitude e latitude) bem como o valor da pressão atmosférica no referido ponto. A gênese dos ciclones foi considerada no horário sinótico em que surgiu a primeira isóbara fechada no campo de pressão atmosférica e a pré-ciclogênese corresponde a um horário sinótico anterior à gênese. Já a distância percorrida por cada sistema foi calculada de acordo com: a Equação 1 (Van Brummelen, 2012):

$$D = \arccos(\sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot \cos \Delta\lambda) a \quad (1)$$

onde D é a distância entre dois pontos (1 e 2) identificados pelas coordenadas geográficas (km), φ_1 é a latitude do ponto 1 (radianos), φ_2 é a latitude do ponto 2 (radianos), $\Delta\lambda$ é diferença entre as longitudes (radianos) e a é o raio da Terra (km).

Estrutura Térmica dos Ciclones

Para a análise da estrutura térmica e classificação dos ciclones é utilizada a metodologia do CPS, desenvolvida por Hart (2003). O CPS utiliza três parâmetros que são a assimetria térmica (B), o vento térmico em baixos níveis ($-|V_T^L|$) e o vento térmico em altos níveis ($-|V_T^U|$). Para o cálculo desses parâmetros é fornecido ao algoritmo do CPS a trajetória do ciclone e os dados de altura geopotencial nos níveis de 900, 600 e 300 hPa. Detalhes do cálculo dos três parâmetros são apresentados, por exemplo, em Hart (2003), Gozzo et al. (2014), da Rocha et al. (2019) e Reboita et al. (2020). De acordo com Gozzo et al. (2014), um ciclone adquire características de subtropical quando $B < 25$ m, $-|V_T^L| > -50$ e $-|V_T^U| < -10$. Os parâmetros do CPS podem ser representados graficamente em diagramas que são denominados diagramas de fase. Os scripts fornecidos por Hart (2003) também informam a intensidade do vento em 925 hPa, portanto, esta variável é utilizada como entrada nos algoritmos.

Precipitação e Ventos

Acumulados de precipitação e da média da intensidade do vento seguindo a trajetória dos ciclones, a cada horário sinótico, são computados a fim de fornecer uma visão espacial dessas variáveis. As médias são calculadas em áreas de

20° de latitude por longitude, ao redor do centro dos ciclones.

Resultados e discussão

Características dos Ciclones Guará e Lexi

A Figura 1 mostra a trajetória de todos os CS que receberam nomes nos oceanos adjacentes à América do Sul até 2020, incluindo os ciclones Guará e Lexi destacados em linhas mais espessas. O Guará apresenta gênese às 0000 Z de 09 de dezembro de 2017, nas coordenadas 19,5°S e 39,5°W, com pressão central de 1005,9 hPa e sobre águas com TSM superior a 25°C. Esse sistema se deslocou para sudeste ao longo de todo o ciclo de vida, perdurou por cerca de 3 dias, percorreu uma distância total de 2415 km e se dissipou às 0000 Z de 12 de dezembro de 2017.

O ciclone Lexi tem um ciclo de vida não muito convencional, isto é, ele tem gênese na categoria extratropical, às 1200 Z do dia 01 de maio de 2018, a partir do prolongamento de um intenso ciclone extratropical, se assemelhando até a um processo de ciclogênese secundária (Iwabe e da Rocha, 2009). Na região de formação é registrada TSM de 20,5°C. O Lexi se desloca para leste até 0000 Z do dia 05 de maio de 2018, posteriormente, para sudeste até 0000 Z do dia 07 maio e, por fim, segue para nordeste até sua total dissipação. Com base nisso, o sistema perdura por 9 dias, dissipa às 1200 Z de 10 de maio de 2018 (sobre TSM de 20°C) e percorre uma distância total de 4904 km.

Os diagramas de fase indicam o ciclone Guará tendo gênese na categoria subtropical, pois B é 7,9 m (Figura 2A), $-|V_T^L|$ é positivo (51,7) e $-|V_T^U|$ é negativo (-115,8) (Figura 2B). Às 0600 Z de 11 de dezembro de 2017, $-|V_T^L|$ torna-se -152, enquanto B aumenta para 12,8 m; ambos valores caracterizam o início da fase extratropical do sistema (Harr e Elsberry, 2000). Já os diagramas de fase mostram o ciclone Lexi com gênese como ciclone extratropical, uma vez que B é igual a 52,5 m (Figura 2C), $-|V_T^L|$ é -179,0 e $-|V_T^U|$ é -155,6 (Figura 2D). Ao longo do ciclo de vida do Lexi esses parâmetros mudam e às 0600 Z do dia 5 de maio atingem os valores característicos de um CS, que são: $B < 25$ m ($B = 24,2$ m), $-|V_T^L| > -50$ ($-|V_T^L| = 0,2$) e $-|V_T^U| < -10$ ($-|V_T^U| = -159$). O sistema perde as características de CS às 1200 Z de 9 de maio ao sofrer transição para a fase extratropical.

Em ambos os ciclones, o parâmetro $-|V_T^U|$ apresentou valores negativos, caracterizando a estrutura fria em altos níveis. O período em que os ciclones se mantiveram com estrutura subtropical está destacado em cinza na Figura 2.

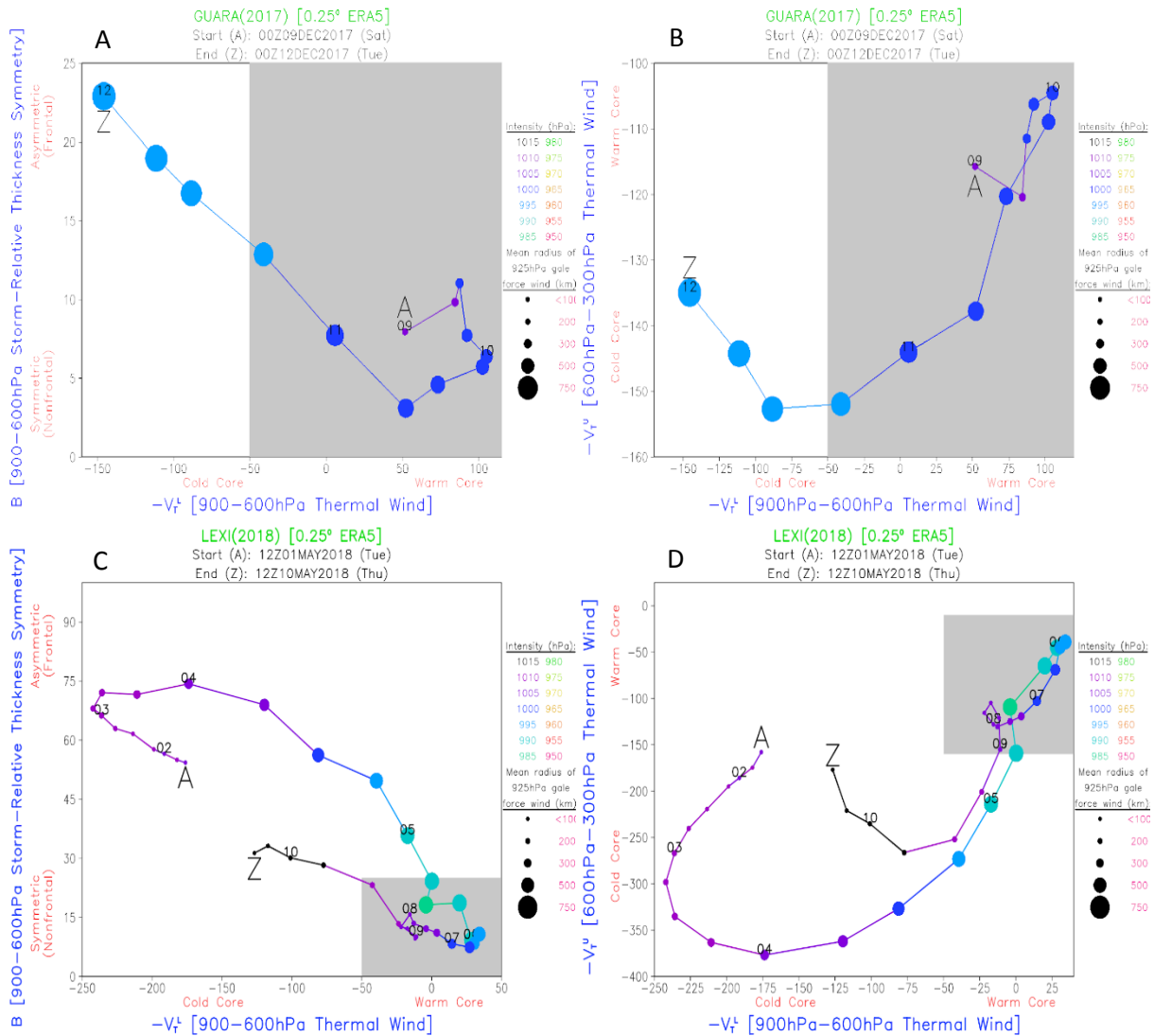


Figura 2. Parâmetro de simetria B (m) versus $-|V_T^L|$ para o A. ciclone Guara e C. ciclone Lexi. Parâmetro $-|V_T^U|$ versus $-|V_T^L|$ para o B. ciclone Guara e D. ciclone Lexi. A região sombreada destaca a fase subtropical dos ciclones de acordo com os limiares apresentados na metodologia. A e Z indicam, respectivamente, o primeiro e o último horário sinótico dos ciclones. O tamanho do círculo indica o raio médio de atuao do vento com intensidade superior a 17 m s^{-1} em 925 hPa e as cores representam a PNMM no centro do ciclone (escala  direita da figura). As posies em 0000Z são rotuladas com o dia.

O momento de maior intensidade dos ciclones  definido através do perfil vertical da vorticidade relativa ciclônica, fixado na latitude central dos sistemas, a cada horário sinótico (figuras não mostradas). Adicionalmente, rastreia-se o mínimo de vorticidade relativa em uma grade de 10° de latitude por 10° de longitude, a fim de mostrar a informao no diagrama (Figura 3B-D). A mesma metodologia  aplicada para a intensidade do vento, porém, foi rastreado o valor máximo (Figura 3A-C). Na Figura 3, quando as siglas GN, TS, FI, TE, DS, FS e FT forem mencionadas, isso significa, respectivamente: gênese, transio subtropical, fase intensa, transio extratropical, dissipo, fase subtropical e fase extratropical.

No caso do CS Guara (Figuras 3A-B), a magnitude do vento aumenta próximo  superfície logo após a gênese, o que concorda com a localizao dos máximos de vorticidade relativa ciclônica. Em termos de estrutura vertical, o vento máximo  mais intenso entre 200 e 300 hPa durante todo o ciclo de vida, o que confirma que as características de altos níveis de um CS são similares às dos extratropicais. Analisando o perfil vertical de vorticidade relativa, com centro na latitude do sistema, para cada horário sinótico (figuras não mostradas), verifica-se a não inclinao do sistema com o aumento da altura (o que o distingue de um sistema extratropical) e a presença de um núcleo sem se estender até a tropopausa (o que o distingue de um sistema

tropical), o tubo de vorticidade se estende até cerca de 500 hPa. O perfil de vorticidade relativa ciclônica (Figura 3B) evidencia maior intensidade às 1200 Z de 09 de dezembro de 2017. Já às 1200 Z de 11 de dezembro, outro máximo de vorticidade ciclônica em superfície torna-se evidente pela proximidade de um sistema extratropical com o CS (figuras não mostradas).

Os ventos do ciclone Lexi (Figura 3C) são mais intensos em altos níveis, entre 300 e 200 hPa.

Tanto os ventos quanto a vorticidade relativa ciclônica são mais intensos às 1800 Z de 04 de maio de 2018 (Figura 3C-D), quando o sistema ainda está na fase extratropical de acordo com o CPS (Figura 2C-D). O ciclone só atinge a fase subtropical às 0600 Z do dia 05 de maio. Entre os dias 8 e 10 de maio os máximos de vento e vorticidade relativa ciclônica situam-se em níveis mais altos (acima de 400 hPa).

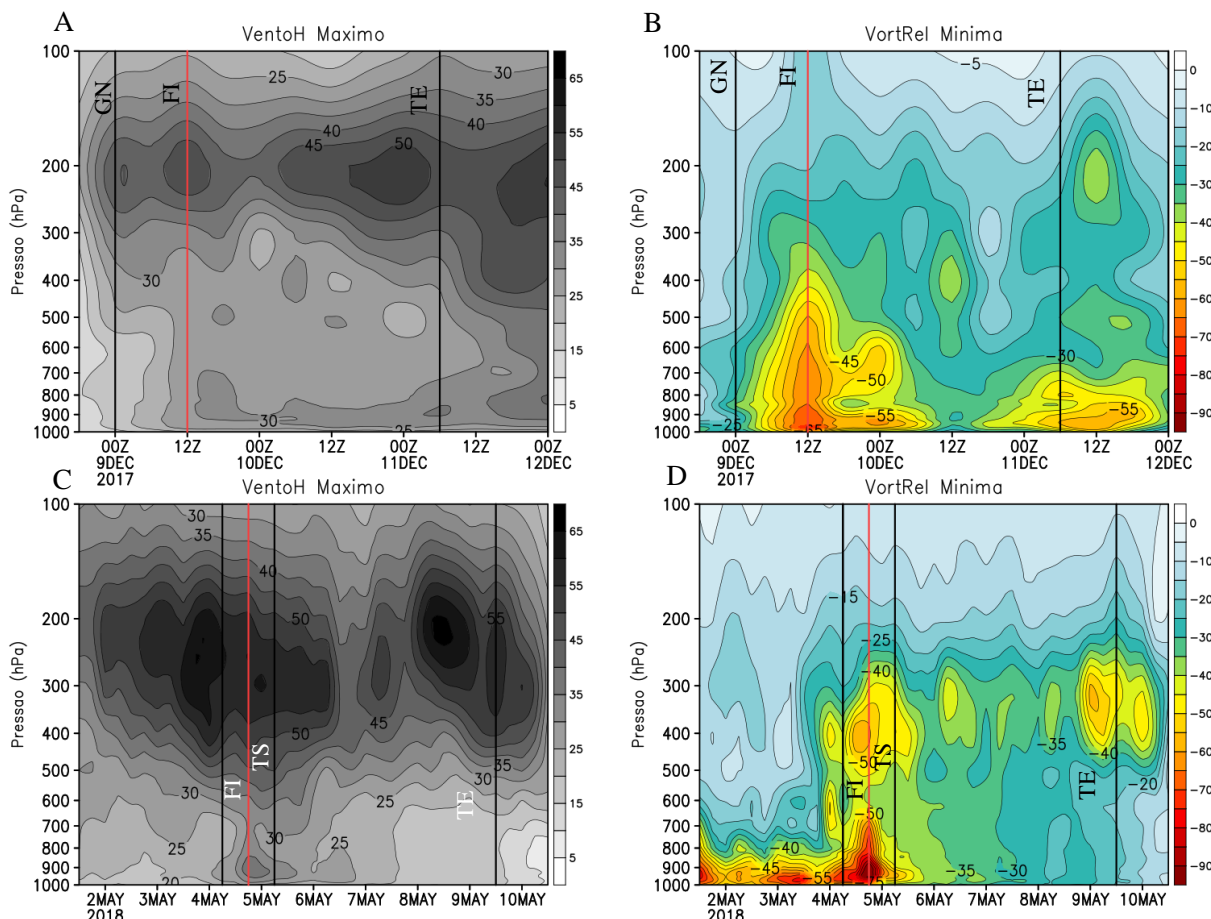


Figura 3. Perfis verticais do Guará: A. vento máximo (m s^{-1}) e B. vorticidade relativa ciclônica mínima (10^{-5} s^{-1}); perfis verticais do Lexi: A. vento máximo (m s^{-1}) e B. vorticidade relativa ciclônica mínima (10^{-5} s^{-1}). Essas variáveis foram calculadas em uma caixa de 10° de latitude por 10° de longitude. Da esquerda para a direita, as linhas na vertical indicam, no Guará, a gênese, a fase mais intensa (linha vermelha) e a transição extratropical. No Lexi, as linhas indicam, da esquerda para a direita, a gênese, a fase mais intensa (linha vermelha), transição subtropical e transição extratropical. As fases mais intensas foram definidas em termos de vorticidade relativa ciclônica em baixos níveis.

Os processos físicos associados com a gênese do Guará e com a transição subtropical do Lexi serão discutidos no artigo parte II. Entretanto, aqui, de forma breve é apresentado o IPG nesses estágios de ambos os ciclones. O IPG mostrado na Figura 4 indica um ambiente favorável à ciclogênese de sistemas com núcleo quente, pois o valor obtido é maior do que o climatológico das respectivas regiões mostrado em Beerli (2013) e

Andreлина e Reboita (2021). Enquanto no OPS no mês de maio a climatologia é inferior a 0,5, na transição do Lexi, o IPG apresenta valor superior a 16, bem próximo ao centro do sistema (Figura 4B). Já no OAS, o IPG climatológico do mês de dezembro é de cerca de 2,5 e na ocorrência do Guará há valores próximos de 10, no setor leste do sistema (Figura 4A).

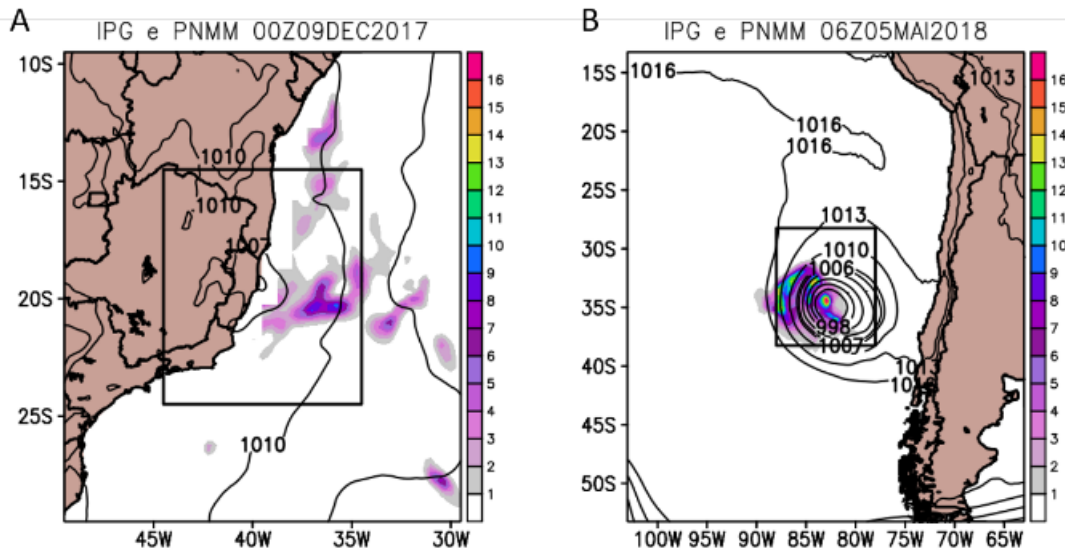


Figura 4. IPG (adimensional) e PNMM (hPa) para o A. ciclone Guará e para o B. ciclone Lexi.

PNMM, Ventos e Precipitação

A Figura 5 apresenta a evolução temporal da PNMM no centro dos ciclones e o vento máximo a 10 metros de altura registrados numa caixa de 6° de latitude por 6° de longitude centrada nos ciclones. Com base nas informações do CPS (Figura 2), destacou-se em sombreado na Figura 5 o período em que os sistemas se mantiveram na categoria subtropical. De forma geral, a pressão e o vento são inversamente proporcionais (Figura 5), em razão da força gradiente de pressão. O Guará manteve sua tendência de diminuição da pressão e aumento do vento máximo ao longo do ciclo de vida, em especial nas primeiras 24 horas. A pressão central do Lexi decaiu nos primeiros dois dias

devido ao deslocamento para latitudes mais altas e, posteriormente, aumentou abruptamente até seu enfraquecimento e consequente dissipação. Já o vento máximo sustentado a 10 metros, no caso do Lexi, diminuiu de intensidade com o tempo. No caso do CS Guará, os ventos mais intensos ocorrem durante a transição extratropical. Embora com tendências diferentes ao longo do tempo, a Figura 5 indica que ambos os ciclones subtropicais sustentaram ventos máximos acima de 15 m s⁻¹ por mais de dois dias nas suas vizinhanças. Em particular, para o Guará, as informações da MB indicam que isso resultou em ondas no mar de até 5 m de altura na costa da Bahia e Espírito Santo.

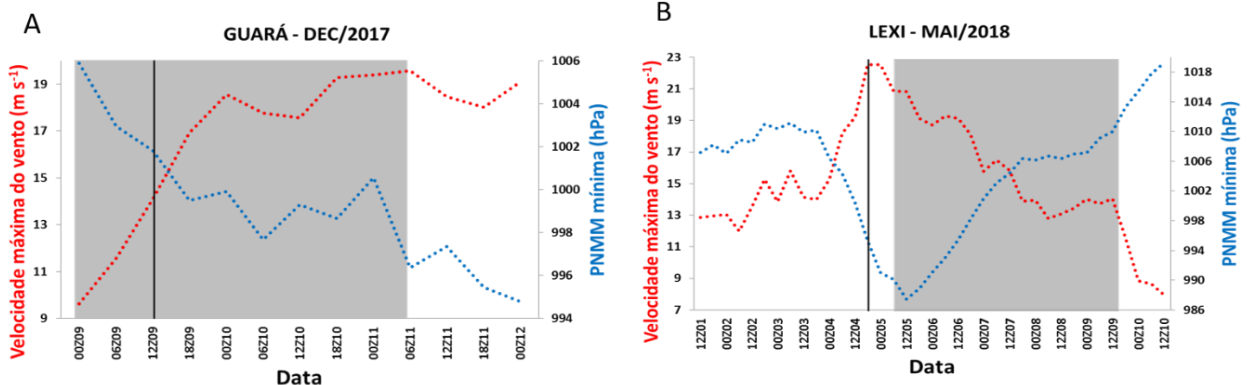


Figura 5. Evolução temporal da PNMM (hPa) e do vento máximo em 10 metros (m s⁻¹) localizado dentro de uma caixa de 6° de latitude por longitude para o ciclone A. Guará e para o ciclone B. Lexi. A região em cinza corresponde ao período em que os sistemas se mantiveram na categoria subtropical. As linhas pretas contínuas, na vertical, indicam a fase de maior intensidade dos sistemas.

Acumulados elevados de precipitação e ventos intensos podem causar danos à população que reside nas regiões costeiras afetadas por ciclones. A Figura 6 mostra os acumulados de precipitação e a média da intensidade do vento a 10 metros de altura ao longo do ciclo de vida do Guará

e do Lexi. O ciclone Guará causou cerca de 40 mm de precipitação no setor leste da Bahia e na região próxima à costa da Bahia e Espírito Santo. O maior acumulado de chuva foi registrado no oceano (> 120 mm - Figura 6A), próximo à costa do Espírito Santo (ES). Já o ciclone Lexi provocou chuva de

até cerca de 70 mm sobre o oceano (Figura 6B). A chuva observada na Argentina e no Chile provavelmente não esteve associada com o Lexi. Com relação à intensidade média do vento a 10 metros, nota-se ventos mais intensos no setor oeste do ciclone Lexi (Figura 6D) e no setor nordeste do ciclone Guará (Figura 6C). No continente, ambos ciclones contribuíram com ventos moderados (de até 5 m s⁻¹). No caso do Guará, os ventos mais intensos a nordeste decorrem do intenso gradiente de pressão entre o centro do ciclone e o anticiclone subtropical do Atlântico Sul (ver Figura 1CB - Parte 2). Já no caso do Lexi, os ventos mais intensos a oeste devem-se à contribuição da fase extratropical no início do sistema e do anticiclone transiente à oeste do CS Lexi.

Comparando a intensidade do vento dos ciclones estudados com o caso Arani (Palmeira e Matias, 2020), nota-se que o Guará no momento da gênese subtropical foi menos intenso do que o Arani (~17,5 m s⁻¹) e mais intenso no restante do ciclo de vida. Já o Lexi foi mais intenso do que o Arani ao longo de todo o ciclo de vida. Os ciclones Guará e Lexi produziram ventos mais intensos sobre o oceano, entretanto, destaca-se que alguns ciclones subtropicais podem afetar a região costeira com maior intensidade como no caso do Eçaí que causou prejuízos em Florianópolis como destacado por Selmo (2020).

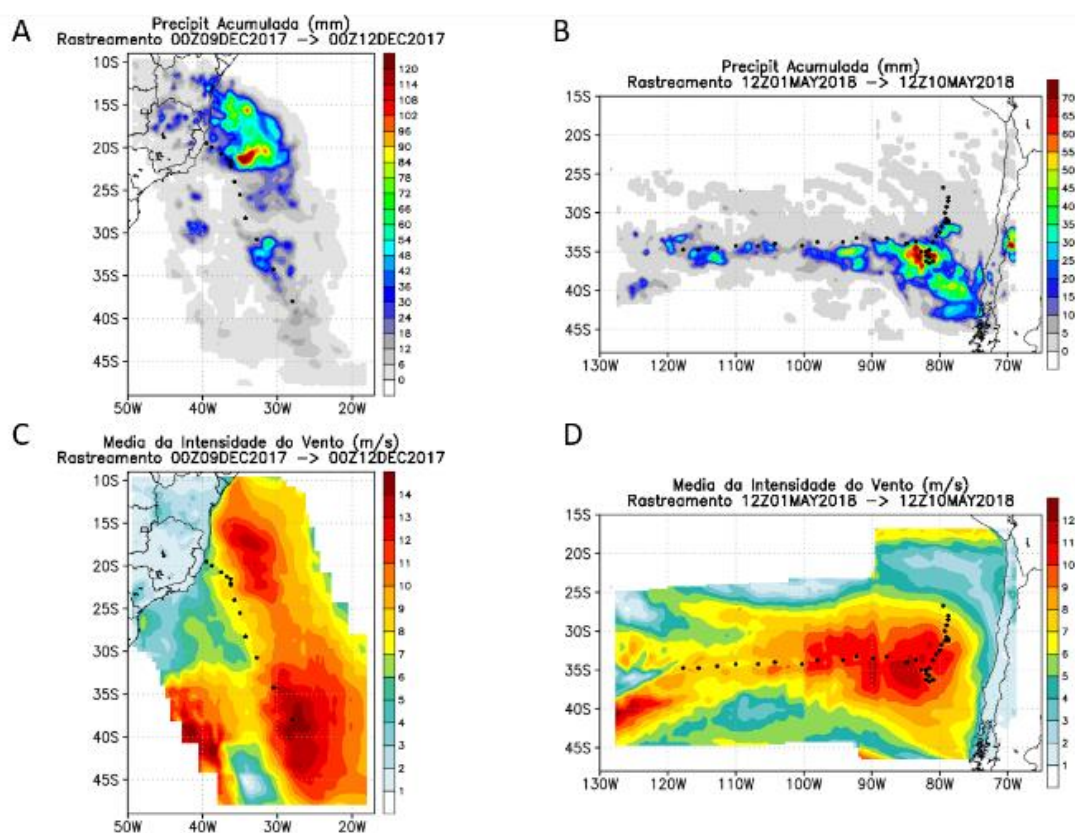


Figura 6. Acumulado de precipitação (mm) para o A. ciclone Guará e para o B. ciclone Lexi. Média da intensidade do vento (m s⁻¹) para C. ciclone Guará e para o D. ciclone Lexi. Os acumulados e as médias foram calculados em uma caixa de 20° de latitude por longitude centrada nos ciclones, desde a gênese até a dissipação. Os pontilhados, em preto, representam a trajetória percorrida por ambos os ciclones.

Conclusões

O presente trabalho analisa a estrutura térmica de dois ciclones subtropicais que tiveram gênese em 09 de dezembro de 2017 e 01 de maio de 2018 e foram denominados de Guará (pela MB) e Lexi (não oficialmente), respectivamente. Os principais resultados obtidos são:

- estrutura térmica: o diagrama de fase confirma a gênese subtropical pura do ciclone Guará e mostra

que o ciclone Lexi tem gênese como extratropical e, posterior, transição subtropical a partir de 0600 Z de 05 de maio de 2018;

- índice do potencial de gênese: o IPG, índice que combina os ingredientes necessários para a ciclogênese tropical/subtropical, mostra valores elevados na gênese do Guará e transição do Lexi quando comparado à climatologia dos oceanos ao redor da América do Sul;

- características gerais: ambos os ciclones em suas fases híbridas situavam-se em regiões de TSM anormalmente positivas e produziram maior acumulado de precipitação sobre o oceano do que sobre o continente. O ciclone Guará causou acumulados de precipitação de cerca de 40 mm na BA. A dissipação do Guará ocorre quando interage com um ciclone extratropical, já sobre águas mais frias; o Lexi, por sua vez, se desloca para sudeste antes de se tornar CS e depois para nordeste, dissipando em águas com TSM mais elevada. A PNMM central do CS Guará, em geral, decai com o tempo, em razão do deslocamento para latitudes maiores e da interação com um sistema extratropical em superfície; já o Lexi mostra tendência de diminuição até um horário sinótico após a fase mais intensa e, posterior a esse momento, há tendência de aumento desta variável, devido ao deslocamento para latitudes menores.

A discussão dos processos físicos responsáveis pela característica subtropical dos ciclones Guará e Lexi é apresentada no artigo Parte II.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao ECMWF, pela disponibilização dos dados utilizados neste estudo, e às agências de fomento: CAPES (código financeiro 001), CNPq e FAPEMIG.

Referências

- Andreolina, B., Reboita, M. S., 2021. Climatologia do Índice do Potencial de Gênese de Ciclone Tropicais nos Oceanos Adjacentes à América do Sul. Anuário do Instituto de Geociências, 44, 39515.
- Barry, R.G., Chorley, R.J., 2013. Atmosfera, tempo e clima. Bookman Editora, Porto Alegre, Rio Grande do Sul
- Beerli, R., 2013. Climatological Study of Prerequisites for Tropical Cyclone Formation in the South Atlantic. Tese (Doutorado). Institute for Atmospheric and Climate Sciences
- Charney, J.G., 1947. The Dynamics of Long Waves in a Baroclinic Westerly Currents. Journal of Meteorology 4, 135-162
- Da Rocha, R.P., Reboita, M.S., Gozzo, L.F., Dutra, L.M.M., de Jesus, E.M., 2019. Subtropical cyclones over the oceanic basins: a review. Annals of the New York Academy of Sciences 1436(1), 138-156
- De Jesus, E.M., Da Rocha, R.P., Crespo, N.M., Reboita, M.S., Gozzo, L.F., 2020. Multi-model climate projections of the main cyclogenesis hot-spots and associated winds over the eastern coast of South America. Climate Dynamics, 1-

21. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00382-020-05490-1>

- Emanuel, K.A., 1986. An air-sea interaction theory for tropical cyclones. Part I: Steady-state maintenance. Journal of the Atmospheric Sciences 43 (6), 585-605. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1986\)043<0585:AASITF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1986)043<0585:AASITF>2.0.CO;2)
- Evans, J.L., Guishard, M.P., 2009. Atlantic subtropical storms. Part I: Diagnostic criteria and composite analysis. Monthly Weather Review 137 (7), 2065-2080. DOI: <https://doi.org/10.1175/2009MWR2468.1>
- Evans, J.L., Braun, A., 2012. A Climatology of subtropical cyclones in the South Atlantic. Journal of Climate 25 (21), 7328-7340. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00212.1>
- Frank, W.M., 1977. The structure and energetics of the tropical cyclone I. Storm structure. Monthly Weather Review 105 (9), 1119-1135. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1977\)105<1119:TSAEOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1977)105<1119:TSAEOT>2.0.CO;2)
- Gozzo, L.F., da Rocha, R.P., Reboita, M.S., Sugahara, S., 2014. Subtropical cyclones over the southwestern South Atlantic: Climatological aspects and case study. Journal of Climate 27 (22), 8543-8562. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00149.1>
- Gozzo, L.F., da Rocha, R.P., Gimeno, L., Drumond, A., 2017. Climatology and numerical case study of moisture sources associated with subtropical cyclogenesis over the southwestern Atlantic Ocean. Journal of Geophysical Research: Atmospheres 122 (11), 5636-5653. DOI: <https://doi.org/10.1002/2016JD025764>
- Gray, W.M., 1968. Global View of the origin of Tropical Disturbances and Storms. Monthly Weather Review 96 (10), 669-700. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1968\)096<0669:GVOTOO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1968)096<0669:GVOTOO>2.0.CO;2)
- Guishard, M.P., 2006. Atlantic subtropical storms: Climatology and characteristics. Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Pennsylvania State University
- Harr, P.A., Elsberry, R.L., 2000. Extratropical transition of tropical cyclones over the western North Pacific. Part I: Evolution of structural characteristics during the transition process. Monthly Weather Review 128 (8), 2613-2633
- Hart, R.E., 2003. A cyclone phase space derived from thermal wind and thermal asymmetry. Monthly Weather Review 131 (4), 585-616. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2003\)131<0585:ACPSDF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2003)131<0585:ACPSDF>2.0.CO;2)
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons,

- A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., de Chiara, G., Dahlgren, P., Dee, D., Diamantakis, M., Dragani, R., Flemming, J., Forbes, R., Fuentes, M., Geer, A., Haimberger, L., Healy, S., Hogan, R.J., Hólm, E., Janisková, M., Keeley, S., Laloyaux, P., Lopez, P., Lupu, C., Radnoti, G., de Rosnay, P., Rozum, I., Vamborg, F., Vilauze, S., Thépaut, J.N., 2020. The ERA5 global reanalysis. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 146 (730), 1999-2049. DOI: <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Braithwaite, D., Hsu, K., Joyce, R., Xie, P., Yoo, S. H., 2015. NASA global precipitation measurement (GPM) integrated multi-satellite retrievals for GPM (IMERG). Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) 4 (26)
- Iwabe, C.M.N., da Rocha, R.P., 2009. An event of stratospheric air intrusion and its associated secondary surface cyclogenesis over the South Atlantic Ocean. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 114 (D9)
- McTaggart-Cowan, R., Davies, E.L., Fairman Jr, J.G., Galarneau Jr, T.J., Schultz, D.M., 2015. Revisiting the 26.5° C sea surface temperature threshold for tropical cyclone development. Bulletin of the American Meteorological Society 96 (11), 1929-1943
- NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration, 2018. Rare Subtropical Storm off the Coast of Chile. Disponível: <<https://www.nesdis.noaa.gov/content/rare-subtropical-storm-coast-chile>>. Acesso: 20 jan. 2020
- Palmeira, A.C.P. Mathias, R.D.S. B., 2020. Estudo do ciclo de vida do ciclone subtropical Arani ocorrido no Atlântico Sul em março de 2011 através das reanálises ERA-Interim e CFSR. Sistemas & Gestão, 15(3)
- Peixoto, J.P., Oort, A.H., 1992. Physics of climate, United States
- Reboita M.S., Crespo N.M., Dutra L.M.M., Silva B.A., Capucin, B.C., da Rocha, R.P., 2020. Iba: the First Pure Tropical Cyclogenesis over the Western South Atlantic Ocean. Journal of Geophysical Research: Atmospheres 126 (1), 1-20. DOI: <https://10.1029/2020JD033431>
- Reboita, M.S. Gan, M.A. da Rocha, R.P.D., Custódio, I.S., 2017a. Ciclones em Superfície nas Latitudes Austrais: Parte I-Revisão Bibliográfica. Revista Brasileira de Meteorologia 32 (2), 171-186. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863220010>
- Reboita, M.S., Gan, M.A., da Rocha, R.P., Custódio, I.S., 2017b. Ciclones em Superfície nas Latitudes Austrais: Parte II Estudo de Casos. Revista Brasileira de Meteorologia 32 (4), 509-542. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786324002>
- Reboita, M.S., da Rocha, R.P., Oliveira, D.M.D., 2019. Key Features and adverse weather of the named subtropical cyclones over the Southwestern South Atlantic Ocean. Atmosphere 10 (1), 6. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos10010006>
- Selmo, L., 2020. Os impactos socioambientais provocados pelo ciclone subtropical Eçaí, em Florianópolis. Trabalho de conclusão de curso (Graduação). Universidade Federal de Santa Catarina
- Silva, B.A., Reboita, M.S., 2021. Iba: The First Pure Tropical Cyclogenesis Over the Western South Atlantic Ocean. Anuário do Instituto de Geociências
- TERRA. Tempestade subtropical Guarú atua no mar entre ES e BA, 2017. Disponível: <<https://www.terra.com.br/noticias/climatempo/tempestade-subtropical-guara-atua-no-mar-entre-es-e-ba,95ddb3a42386040e6f695509947a29a122jt5wdj.html>>. Acesso: 12 fev 2020
- TNH1. Chegada do ciclone Guarú assusta baianos no final de semana, 2017. Disponível: <<https://www.tnh1.com.br/noticia/nid/chegada-de-ciclone-guara-assusta-baianos-no-final-de-semana/>>. Acesso: 16 out 2020
- Van Brummelen, G.H., 2012. Mathematics: The Forgotten Art of Spherical Trigonometry. PRINCETON; OXFORD: Princeton University
- VEJA. Ciclone Guarú se afasta da costa brasileira, 2019. Disponível: <<https://veja.abril.com.br/brasil/ciclone-guara-se-afasta-da-costa-brasileira/>>. Acesso: 16 out 2020
- Wallace, J.M., Hobbs, P.V., 2006. Atmospheric Science: na introduction survey, 18th ed. Elsevier Academic Press, Amsterdam.
- Weather. Ciclone Subtropical no Chile, 2018. Disponível: <<https://weather.com/storms/hurricane/news/2018-05-08-subtropical-cyclone-chile>>. Acesso: 15 out. 2019
- Yanase, W., Niino, H., Hodges, K., Kitabatake, N., 2014. Parameter spaces of environmental fields responsible for cyclone development from tropics to extratropics. Journal of Climate 27 (2), 652-671