



ANÁLISE DA ENERGÉTICA DE DOIS CICLONES OCORRIDOS NOS ANOS DE 2014 E 2023

HENRIQUE NORNBURG DA SILVA¹; YURI DA CRUZ BRIZOLARA²;
LEONARDO JOSÉ GONÇALVES AGUIAR³; GRACIELA REDIES FISCHER⁴;
FELIPE FREITAS COSTA⁵; VINICIUS DE LIMA LOPES⁶

¹*Universidade Federal de Pelotas – hiquens8@gmail.com*

²*Universidade Federal de Pelotas – yuribrizolara22@gmail.com*

³*Universidade Federal de Pelotas – veraneiro@yahoo.com.br*

⁴*Universidade Federal de Pelotas – graciela.fischer@gmail.com*

⁵*Universidade Federal de Pelotas – felipefreitasc@hotmail.com*

⁶*Universidade Federal de Pelotas – viniciuscodmobile20@gmail.com*

1. INTRODUÇÃO

Os ciclones extratropicais, que ocorrem em latitudes médias, são um dos principais causadores de desastres naturais na região sul do Brasil. Eles provocam altos volumes de precipitação e ventos de grande intensidade, provocando destruição nas regiões próximas à atuação do sistema.

A energética de área limitada tem se tornado uma importante ferramenta para a compreensão da dinâmica responsável pelo crescimento e dissipação dos sistemas ciclônicos (DIAS PINTO e da ROCHA, 2011).

Este estudo tem como objetivo comparar a energética de área limitada de um ciclone explosivo e um extratropical ocorridos no Rio Grande do Sul em 12 de abril de 2014 e 12 de julho de 2023, respectivamente, buscando identificar as diferenças entre esses dois sistemas.

2. METODOLOGIA

Os dados utilizados foram da quinta geração de reanálise fornecidos pelo Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio Prazo (ECMWF-ERA5), com resolução espacial de 0,25 graus, recortados para região de 10N a 80S e 90W a 20E.

Para o cálculo da energética foi empregada a metodologia de Michaelides (1987), sendo utilizadas as componentes zonal, meridional e ômega do vento e temperatura em todos os níveis de pressão entre 1000 e 100hPa.

A região de recorte para aplicação das equações da energética foi de 25 a 50S e 65 a 30W para o ciclone explosivo e para ciclone extratropical foi recortado de 20 a 55S e 70W a 20E.

Para a análise dos casos foram escolhidas as fases de formação e desenvolvimento, em virtude do ciclone extratropical a ponto de atingir a fase madura se afastar muito do continente. Em ambos os casos as fases que mais influenciaram na região sul, foram as de formação e desenvolvimento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ciclone extratropical ocorrido no dia 12 de julho de 2023 e o ciclone explosivo ocorrido no dia 12 de abril de 2014 causaram grande destruição na região de Pelotas. No caso extratropical, ocasionou elevadas rajadas de vento na região, causando quedas de árvores na cidade e deixando a população sem luz,

além de intensa precipitação. O ciclone explosivo ocasionou um valor de 48 mm de precipitação diária para cidade de Pelotas.

A formação do ciclone explosivo foi ocasionada tanto por forçantes termodinâmicas como dinâmicas. O escoamento de noroeste transportando ar mais quente e úmido da região norte (Figura 1a), aumentando a instabilidade na região sul, auxiliou a formação do ciclone explosivo, juntamente com a advecção de vorticidade ciclônica a leste do cavado no nível de 500 hPa (Figura 1b).

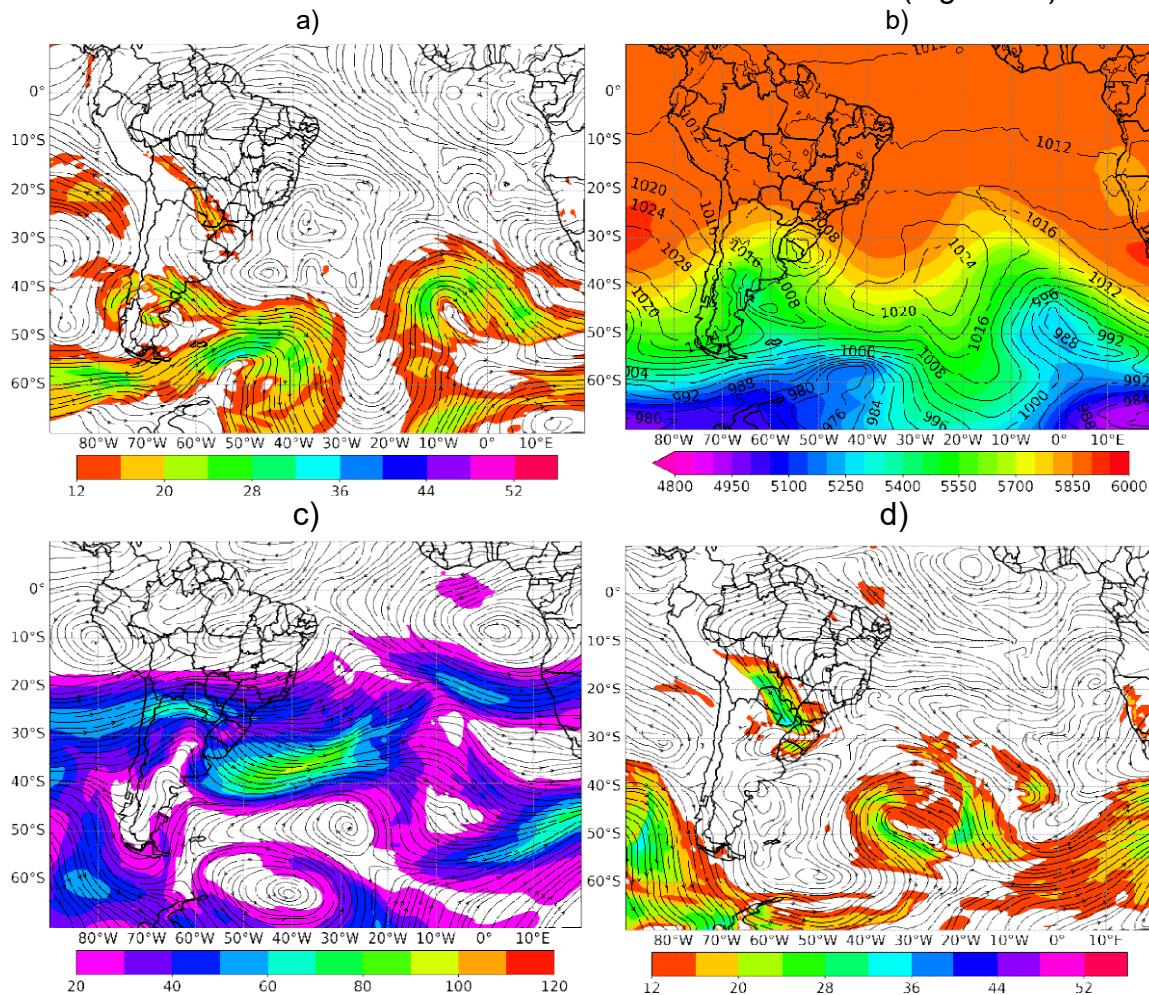


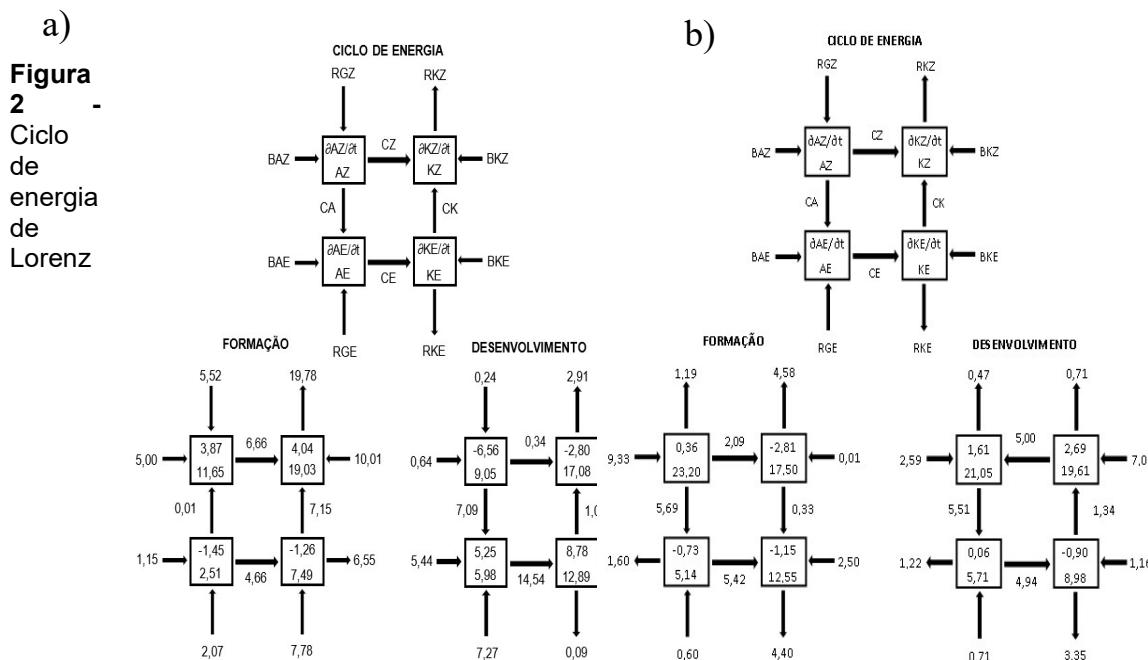
Figura 1 - a)Altura geopotencial em 500 hPa e PNMM (hPa) no dia 12/04/2014 6Z. b) Linhas de corrente e intensidade do vento ($m s^{-1}$) em 850 hPa 11/04/2014 18Z. c) Linhas de corrente e intensidade do vento ($m s^{-1}$) em 250 hPa no dia 12/07/2023 18Z. d) Linhas de corrente e intensidade do vento ($m s^{-1}$) em 850 hPa 12/07/2023 12Z.

Por sua vez, a formação do ciclone extratropical também foi ocasionada por forçantes termodinâmicas e dinâmicas, com a atuação do Jato de Baixos Níveis (JBN) (Figura 1d), advectando umidade e calor para a região de formação do ciclone. A advecção de vorticidade ciclônica a leste do cavado no nível de 250 hPa (Figura 1c) também auxiliou na formação do ciclone extratropical.

Ao analisar os sistemas, observa-se que os dois ciclones apresentaram sua fase mais destruidora logo no início de sua formação. Durante este período, eles estavam mais próximos do Rio Grande do Sul, acarretando em eventos de tempo severo sobre o nosso estado.

Apesar da semelhança nas formações dos dois ciclones, eles apresentaram algumas diferenças significativas. O ciclone explosivo apresentou Taxa Normalizada de Aprofundamento da Pressão Central (TNAc) de 2,42 Bergerons no dia 13/04/2014 às 0 UTC, já iniciando sua trajetória como

explosivo, sendo classificado como explosivo forte segundo a classificação de Sanders (1986). Para o caso extratropical aTNAc máxima foi de 0,92 Bergerons no dia 13/07/2023 às 12UTC, com pressão no centro do ciclone igual a 990 hPa. Com esse valor de TNAc pode-se afirmar que é um ciclone extratropical intenso, porém não explosivo.



integrado no volume nas fases de formação e desenvolvimento. (a) Fases de formação (11/04/2014 das 00 às 23 UTC) e desenvolvimento (12/04/2014 00 UTC a 13/04/2014 05 UTC) do caso explosivo. (b) Fases de formação (11/07/2023 12 UTC a 12/07/2023 11 UTC) e desenvolvimento (12/07/2023 12 UTC a 16/07/2023 18 UTC) do caso extratropical. As unidades estão em W m^{-2} , exceto pelos armazenamentos (10^5 J m^{-2}).

Pelo ciclo de energia de Lorenz, pode-se observar que 24 horas antes dos surgimentos dos ciclones (período de formação) a atmosfera apresentava um elevado gradiente meridional de temperatura, indicado pela magnitude da energia potencial zonal (AZ), principalmente para o ciclone extratropical ($23,20 \text{ } 10^5 \text{ J m}^{-2}$) (Figura 2). Curiosamente, o ciclone explosivo apresentou valor de AZ 50% inferior em relação ao extratropical no período de formação, havendo menor energia potencial disponível zonal para ser convertida.

No período de formação do ciclone extratropical, AZ estava sendo convertida em energia potencial da perturbação (AE) e posteriormente em energia cinética da perturbação (KE), apresentando valores mais elevados em relação ao ciclone explosivo, tanto dos armazenamentos AE e KE quanto das conversões CA (AZ - AE) e CE (AE - KE). A energia cinética zonal (KZ) foi o único componente de armazenamento da energética que apresentou maior valor para o ciclone explosivo no período de formação, indicando maior atuação dos Jatos de Altos Níveis na ciclogênese explosiva. A conversão (CK) de energia cinética da perturbação em energia cinética zonal obteve valor de aproximadamente $7,15 \text{ W m}^{-2}$ nessa fase. Por outro lado, no ciclone extratropical, CK atuou no sentido de fornecer energia cinética para a perturbação, removendo energia do escoamento médio por meio de trocas de momento angular. Outra fonte de energia cinética da perturbação no ciclone explosivo foi o termo RKE, contribuindo com $7,78 \text{ W m}^{-2}$ no período de formação, devido ao trabalho realizado nas bordas da área limitada. Por outro lado, o termo RKE atuou como um sumidouro de energia no



ciclone extratropical, tanto na fase de formação como na de desenvolvimento, reduzindo a energia cinética da perturbação, o que auxiliou para que o ciclone extratropical não se intensificasse tanto.

Os ciclones explosivos são caracterizados por um rápido e intenso aprofundamento da pressão em seu centro. Analisando a evolução no tempo dos ciclones extratropical e explosivo fica evidente as diferenças dos dois em termos de energética. O ciclone extratropical não apresentou grandes variações nas componentes da energética entre as fases de formação e desenvolvimento, com magnitudes dos armazenamentos e conversões muito próximas, preservando também o sentido das conversões de energia, exceto pela componente CK. Por outro lado, o ciclone explosivo apresentou forte aumento da conversão CA, passando de 0,01 para 7,09 W m⁻², e da CE, indo de 4,66 para 14,54 W m⁻². Além disso, a geração de AE(RGE) foi mais intensa no ciclone explosivo do que no extratropical, indicando uma maior contribuição do calor latente liberado na condensação na intensificação do ciclone explosivo, principalmente na fase de desenvolvimento, passando de 2,07 (formação) para 7,27 W m⁻² (desenvolvimento). A junção destes fatores culminou em uma variação positiva da energia cinética da perturbação de 8,78 W m⁻² na fase de desenvolvimento, sendo este outro grande diferencial entre as energéticas dos ciclones explosivo e extratropical, visto que o extratropical apresentou variação negativa de 0,90 W m⁻².

4. CONCLUSÕES

Os processos de conversão no sentido AZ – AE – KE, observados em ambos os sistemas, indicam que os dois sistemas se desenvolveram por meio de processos baroclínicos, algo que é esperado que ocorra em ciclones extratropicais.

Apesar dos processos de formação dos dois ciclones serem parecidos, a energética da ciclogênese explosiva possui modificação das taxas de conversão bem mais elevadas em relação as fases do sistema, indicando que os processos de conversão de energia na fase de desenvolvimento do ciclone explosivo são mais eficientes do que no ciclone extratropical.

A forte geração de energia potencial da perturbação na fase de desenvolvimento do ciclone explosivo, reforça a importância do calor latente liberado pela condensação na intensificação de ciclones.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DIAS PINTO, J. R.; DA ROCHA, R. P. The energy cycle and structural evolution of cyclones over southeastern South America in three case studies. **Journal of Geophysical Research**, v. 116, D14112, 2011.
- VEIGA, J. A. P., PEZZA, A. B.; SIMMONDS, I.; SILVA DIAS, P. L. An analysis of the environmental energetics associated with the transition of the first South Atlantic hurricane. **Geophysical Research Letters**, v. 35, p. 1-6, 2008.
- MICHAELIDES, S. C. Limited Area Energetics of Genoa Cyclogenesis. **Monthly Weather Review**, v. 115, p. 13-26, 1987.
- SANDERS, F. Explosive Cyclogenesis in the West-Central North Atlantic Ocean, 1981-84. Part I: Composite Structure and Mean Behavior. **Monthly Weather Review**, v. 114, p. 1781-1794, 1986.
- LORENZ, E. N. Available potential energy and the maintenance of the general circulation, **Tellus**, 7, 157-167, 1955.