

As dificuldades no rastreamento de tempestades com uso de refletividade radar a partir de técnicas de geoprocessamento: Um estudo de caso sobre a região Amazônica

Helvecio B. Leal Neto¹, Adriano P. Almeida¹, Alan J. P. Calheiros¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
CEP 12.227-010 – São José dos Campos – SP – Brasil

{helvecio.neto,adriano.almeida,alan.calheiros}@inpe.br

Abstract. *This work proposes the application of geoprocessing techniques for storm tracking, and demonstrates what are the problems involved in using polygon centroids to track events in the instability lines, common in the Amazon region. The developed algorithm uses the overlapping of consecutive observation times in the weather radar data, to track the storm cell trajectory. Merger events between storm cells occur due to the dynamics of development of the instability lines, which makes tracking difficult. To solve this problem, a correction was applied to the vectors of the systems involved to a certain threshold that best represents the dynamics of storms in this region.*

Resumo. *Este trabalho propõe à aplicação de técnicas de geoprocessamento para o rastreamento de tempestades, e demonstra quais os problemas envolvidos na utilização dos centróides de polígonos para rastreamento de eventos das linhas de instabilidade, comuns na região Amazônica. O algoritmo desenvolvido utiliza a sobreposição de tempos consecutivos de observações nos dados de radar meteorológico, para rastrear a trajetória de células de tempestades. Eventos de fusões entre células de tempestade ocorrem devido a dinâmica de desenvolvimento das linhas de instabilidade, o que dificulta o rastreamento. Para resolver este problema, foi aplicada uma correção nos vetores dos sistemas envolvidos para em certo limiar que melhor represente a dinâmica das tempestades na região.*

1. Introdução

As tempestades são fenômenos meteorológicos que podem gerar grandes transtornos, além de implicar em prejuízos econômicos podem causar perdas de vida devido aos eventos associados, como chuvas excessivas, raios, alagamentos, deslizamento de encostas e etc [Confalonieri 2015]. Uma das dificuldades encontradas para rastreamento e previsão de tempestades está associado à dinâmica temporal e espacial destes fenômenos, devido à alta variabilidade de processos físicos, são necessários sistemas capazes de discretizar suas características morfológicas e aplicar técnicas que possibilitam rastrear o deslocamento de suas células convectivas, tais sistemas também podem realizar previsões em curtíssimo prazo (*nowcasting*, em inglês) [Wilson et al. 1998] e são essenciais para tomadas de decisões na prevenção de desastres naturais associados às tempestades.

Na Amazônia, uma grande quantidade de tempestades são formadas em linha e chamadas de linhas de instabilidade (LI), estes eventos produzem volumes significativos de chuva e propagam-se a velocidades médias entre 50 à 60 km/h, formando-se ao longo

da costa e se deslocando de noroeste para sudoeste [Garstang et al. 1994]. As estruturas convectivas das LIs durante seu estágio de maturação apresentam uma dinâmica em seu movimento que provoca o desenvolvimento de novos sistemas convectivos, boa parte dessas estruturas são levadas para parte frontal (*gust front*) a direção de deslocamento tempestade, e o restante é espalhado na sua retaguarda [Gamache and Houze Jr 1982].

Algoritmos computacionais são bastante utilizados para identificação e rastreamento do ciclo de desenvolvimento das tempestades, [Dixon and Wiener 1993],[Vila et al. 2008]. Técnicas baseadas no centróide das células convectivas são frequentemente aplicadas para definir a trajetória de deslocamento e contribuem para identificação dos processos dinâmicos envolvendo as tempestades (fusões, divisões e continuidades) [del Moral et al. 2018]. Contudo, o posicionamento do centróide em eventos de junções, quando duas células de tempestades se juntam e forma um único sistema, ainda é um desafio a ser resolvido. Devido a mudanças bruscas no deslocamento dos centróides o cálculo das velocidade e direção são comprometidos e na maioria dos casos são não realistas, comprometendo assim a eficácia do monitoramento e previsão dessas tempestades. Como estudo de caso, este apresenta o deslocamento de uma LI sobre a Amazônia e apresentada uma solução para correção da trajetória das células ao utilizar o centróide de células convectivas como característica para rastreamento.

2. Área de estudo e dados

Os dados utilizados neste trabalho são observações volumétricas do Radar de Banda S do SIPAM (Sistema de Proteção da Amazônia) localizado na cidade de Manaus (AM) (Figura 1). O projeto GoAmazon (*Green Ocean Amazon*, em inglês) desenvolveu diversas atividades de pesquisas relacionadas à dinâmica da floresta e sua interação com a atmosfera, em uma de suas campanhas foram coletadas informações sobre a física das nuvens e precipitação, onde dados de observações do radar meteorológico foram compilados por [Schumacher and Funk 2018] e utilizados neste trabalho.

Um dos principais produtos obtidos através de varreduras volumétricas em coordenadas polares, é o CAPPI (Indicador de posição do plano de altitude constante, em inglês *Constant Altitude Plan Position Indicator*). Este produto é referente a projeções em um plano horizontal para uma determinada altitude de varredura volumétrica e bastante utilizado para monitoramento de precipitação [Raghavan 2013]. O valor de CAPPI utilizado foi baseado na altura de 2.0 km da superfície.

3. Metodologia

A metodologia aplicada neste trabalho visou extrair características morfológicas das tempestades com intuito de rastrear o deslocamento de uma LI sobre a região de Manaus. Para isso, foi desenvolvido um algoritmo capaz de identificar células de tempestade a partir de multilimares de refletividade. O processo de rastreamento foi dividido em etapas, onde, cada uma destas pretende melhor representar os eventos decorrentes dos processos dinâmicos em uma LI. A análise de estudo de caso é uma prática comum em meteorologia, onde é possível analisar a fundo as características dos eventos que são importante para uma determinada região, dando subsídio ao desenvolvimento de técnicas que possam melhorar a previsão do tempo local. Neste caso foi estudado um evento de LI que ocorreu no intervalo entre as 13:12 min e 14:12 min do dia 18 de Janeiro de 2014.

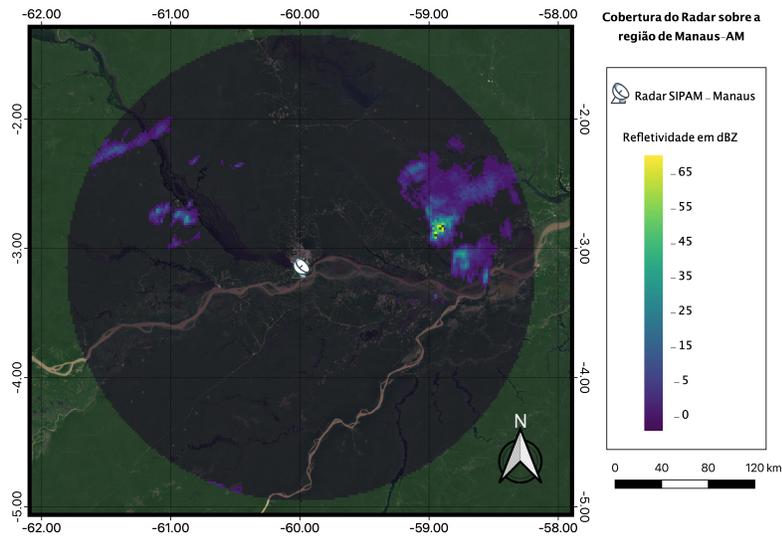


Figura 1. Área de cobertura do Radar de Banda para o CAPPI 2.0km

Na primeira etapa os pontos de grade com valores de refletividade do radar são rotulados com identificadores através do algoritmo DBSCAN (abreviação para *Density-based spatial clustering of applications with noise*, traduzido para português como, agrupamento espacial para aplicações com ruído baseado em densidade). Cada "cluster" é referente à uma célula de tempestade a partir do seu limiar e em um tempo de observação. O processamento das características de contorno do limite exterior de cada clusters é realizado a partir do processo que faz a conversão dos pontos de grade em formato matricial para sua representação vetorial como polígonos (Figura 4). Estes polígonos individuais em tempos consecutivos (t e $t-1$) são processados e caso existam sobreposições ("overlaps") o deslocamento é definido a partir dos centróides de cada um.

Devido a grande quantidade de processos dinâmicos que ocorrem nas tempestades, a representação da trajetória dos centróides pode ser comprometida, pois, múltiplas sobreposições entre polígonos de tempos consecutivos podem ocorrer. Isso está relacionado aos eventos de fusões e divisões nas células da tempestade, comuns durante o ciclo de sistemas organizados, como as LIs. Então, o vetor de deslocamento dos centróides precisa sofrer uma correção de modo que rastreio seja mais realístico.

A proposta para correção dos vetores de deslocamento nos centróides em casos de fusões, pode ser feita por meio da autocorreção do vetor deslocamento a partir do cálculo do vetor resultante da média entre as células convectivas que apresentaram junção em $t-1$, que irá substituir os valores do vetor de deslocamento no tempo t , esta reamostragem pode ser feita através da seguinte formulação (1).

$$\vec{V}_{corrigido(t)} = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{V}_{i(t-1)}}{n} \quad (1)$$

Onde, $\vec{V}_{corrigido(t)}$ é o vetor resultante da média entre a soma dos vetores das células observadas antes ($t-1$) da fusão (t).

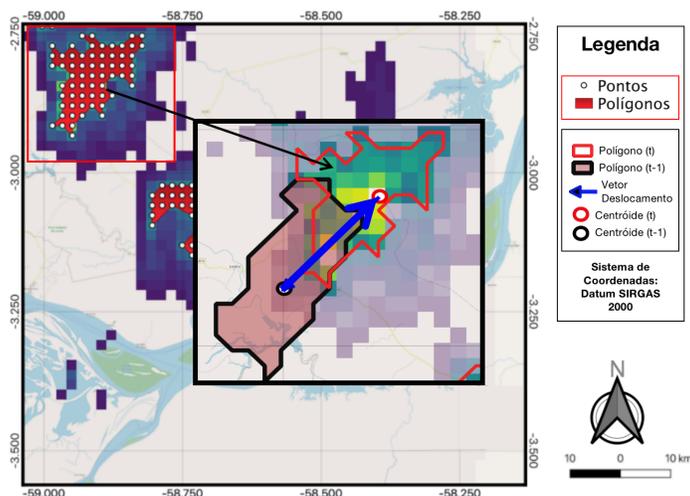


Figura 2. Representação da metodologia de rastreamento para uma célula de tempestade em tempos consecutivos polígono vermelho (t) e polígono preto ($t-1$).

4. Resultados

O processo de rastreamento dos eventos apresentados neste trabalho podem ser visualizados na Figura 3. Nestes eventos, duas zonas de limiar acima de 35 dBZ foram utilizadas para representar os problemas relacionados ao rastreamento de células de tempestades, como as LIs. Logo, podem ser observados na figura supracitada o desenvolvimento destas células no decorrer de quatro tempos de varredura. Observa-se no último quadro a junção entre essas duas células convectivas, aqui referenciadas como evento 1 e evento 2. Note que o rastreamento da trajetória de cada evento individual (célula convectiva embebida na tempestade) é descrito como linhas a partir do centróide de cada polígono, onde estes polígonos são baseados na área correspondente ao limiar de rastreamento de 35 dBZ para o nível Z de 2 km de altitude.

A Figura 4a mostra a disposição entre os polígonos dos eventos 1 (azul), 2 (verde) e fusão (vermelhos), assim como seus vetores baseados nos centróides. Já a Figura 4b apresenta a relação entre todos os vetores associados a Figura 4a a partir de um mesmo ponto. Aplicando a proposta apresentada na seção de metodologia, utilizou-se a equação (1) para correção do vetor de deslocamento dos centróides entre o Evento 1 (Polígono azul) e o Evento de Fusão (Polígono Vermelho).

Observa-se que logo após a ocorrência da fusão entre os eventos 1 e 2 que o vetor de deslocamento, que é baseado nos centróides do evento 1 (aquele de maior área e que dará continuidade ao ciclo de vida da tempestade) no tempo $t-1$ e o centróide atual, apresenta uma velocidade muito maior que aquelas apresentadas nos tempos antecedentes e com direção que não condiz a realidade, com isso, o vetor deslocamento deve ser reajustado, uma vez que, se aplicada uma análise subjetiva quadro a quadro, é possível notar que este sistemas têm um deslocamento em direção a sudoeste (225°) com velocidade de aproximadamente 12 km/h, que aqui será referenciado como vetor "real".

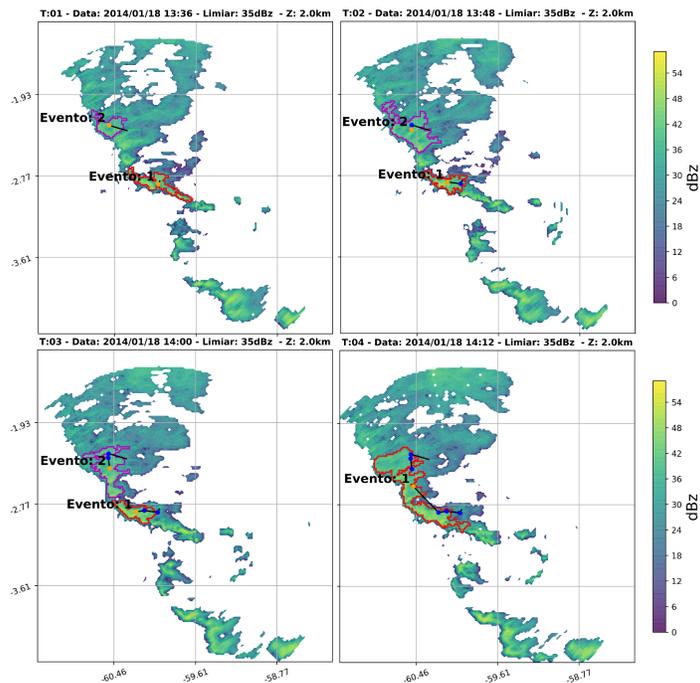


Figura 3. Rastreo dos Eventos 1 e 2 para Limiar 35 dBz no nível Z de 2 km

O vetor corrigido (Vetor Verde na Figura 4.b) corresponde a média entre os vetores dos Eventos 1 e 2 no tempo T03 para o tempo consecutivo T04. O vetor correspondente ao movimento realístico da LI (Vetor Cinza em ambas as figuras, "real") foi adicionado para comparação com os resultados alcançados neste trabalho.

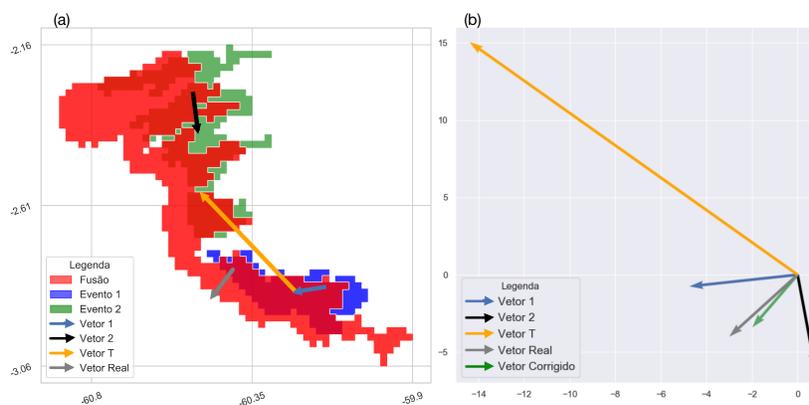


Figura 4. (a) Fusão (polígono vermelho) entre os eventos 1 (azul) e 2 (verde). (b) Relação entre os vetores e aplicação da correção dos vetores.

Nota-se pela Figuras 4b que o vetor corrigido (verde), aquele que substituirá erro ocasionado pela junção (vetor laranja), que é baseado nos vetores azul (Evento 1) e preto (Evento 2) é mais próximo daquele que seria o vetor real (Cinza) do deslocamento do sistemas. Deste modo, fica claro que para este evento em episódios de junção, uma correção simples é suficiente para determinar o deslocamento real de tempestades em linha.

5. Considerações Finais

Como mostrado nos resultados deste trabalho, fica evidente que a aplicações de técnicas simples, como a correção dos vetores de deslocamento, em sistemas mais complexos de rastreamento de tempestades, podem ser importantes na melhorias do monitoramento e previsão de sistemas severos, como as linhas de instabilidade. Apesar dos resultados serem aplicados a apenas um sistema, como neste estudo de caso, as diferenças regionais no rastreamento deste tipo de tempestade com relação a sua morfologias, são pequenas, e tais resultados podem ser utilizados para outras localidades, e técnicas de rastreios semelhantes que partam do princípio de posicionamento dos centróides para definir o vetor deslocamento. Cabe ressaltar que este estudo de caso faz parte de um trabalho mais profundo sobre rastreamento de tempestades que envolve o uso de diferentes limiares e plataformas, cujos os resultados serão mais robusto do ponto de vista estatístico.

Agradecimentos: O presente trabalho foi realizado com apoio das Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Processo 438310/2018-7).

Referências

- Confalonieri, U. E. (2015). Variabilidade climática, vulnerabilidade social e saúde no Brasil. *Terra livre*, 1(20):193–204.
- del Moral, A., Rigo, T., and Llasat, M. C. (2018). A radar-based centroid tracking algorithm for severe weather surveillance: Identifying split/merge processes in convective systems. *Atmospheric Research*, 213:110–120.
- Dixon, M. and Wiener, G. (1993). Titan: Thunderstorm identification, tracking, analysis, and nowcasting—a radar-based methodology. *Journal of atmospheric and oceanic technology*, 10(6):785–797.
- Gamache, J. F. and Houze Jr, R. A. (1982). Mesoscale air motions associated with a tropical squall line. *Monthly Weather Review*, 110(2):118–135.
- Garstang, M., Massie Jr, H. L., Halverson, J., Greco, S., and Scala, J. (1994). Amazon coastal squall lines. part i: Structure and kinematics. *Monthly Weather Review*, 122(4):608–622.
- Raghavan, S. (2013). *Radar meteorology*, volume 27. Springer Science & Business Media.
- Schumacher, C. and Funk, A. (2018). Goamazon2014/5 rain rates from the sipam manaus s-band radar. (2).
- Vila, D. A., Machado, L. A. T., Laurent, H., and Velasco, I. (2008). Forecast and tracking the evolution of cloud clusters (fortracc) using satellite infrared imagery: Methodology and validation. *Weather and Forecasting*, 23(2):233–245.
- Wilson, J. W., Crook, N. A., Mueller, C. K., Sun, J., and Dixon, M. (1998). Nowcasting thunderstorms: A status report. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79(10):2079–2100.