

VISUALIZAÇÃO DE CAMPO DE DENSIDADE DE OCORRÊNCIA DE DESCARGAS ELÉTRICAS ATMOSFÉRICAS COMO FERRAMENTA AUXILIAR NO NOWCASTING

Mirian Caetano, Gustavo C. J. Escobar, Stephan Stephany, Varlei E. Menconi, Nelson J. Ferreira, Margarete O. Domingues, Odim Mendes Jr.

**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
São José dos Campos – Brasil.**

RESUMO

A visualização das ocorrências das descargas elétricas atmosféricas permite monitorar sistemas de tempo severo. A existência de uma rede de sensores de descargas fornece uma boa cobertura geográfica do território brasileiro e apresenta uma resolução temporal da ordem de milissegundos. Na medida em que se pode associar tempo severo ligado a atividade convectiva às descargas elétricas, esses sensores constituem uma alternativa viável para monitoramento de tais eventos e complementam as informações dos radares meteorológicos. Os radares disponíveis no território brasileiro são em pequeno número e, embora haja diversos satélites meteorológicos norte americanos e europeus disponíveis, sua resolução temporal é restrita a 15 minutos, no melhor caso, e há limitações relativas às suas órbitas, as quais foram otimizadas para cobertura do hemisfério norte, exceto pelo GOES-10. Em 2005, foi proposta uma nova metodologia para geração de campos de densidade de ocorrência de descargas atmosféricas para monitoramento de atividade convectiva severa. As ocorrências são acumuladas para um intervalo de tempo selecionado e os campos gerados permitem associar as regiões mais intensas a entidades denominadas Centros de Atividade Elétrica (CAEs). Posteriormente, desenvolveu-se um ambiente computacional que implementa essa metodologia. A visualização em tempo quase real dos campos de densidade e, conseqüentemente, dos CAEs parece ser útil na previsão meteorológica a curtíssimo prazo ou *nowcasting*, como vem sendo demonstrado em caráter experimental, no CPTEC/INPE. Embora a visualização das ocorrências de descargas já esteja disponível no esquema *paintball*, os campos gerados permitem um agrupamento espaço-temporal mais facilmente interpretável pelo meteorologista.

Palavras-chave: análise espacial, estimação de densidade de núcleo, descargas elétricas atmosféricas, sistemas convectivos.

VISUALIZATION OF THE DENSITY FIELD OF OCCURENCES OF ATMOSPHERIC ELECTRICAL DISCHARGES AS AN AUXILIARY TOOL FOR NOWCASTING.

ABSTRACT

The visualization of occurrences of atmospheric electrical discharges allows the monitoring of severe weather. There is a network of sensors for atmospheric electrical discharges in Brazil that allows a good coverage of the country and has a milisecond temporal resolution. Assuming that severe weather due to convective activity can be

linked to the occurrence of such discharges, this network is an alternative way to monitor convective activity and occurrence data can be useful to complement other data such as from meteorological radar or satellites. Brazil has a limited number of radars and, despite the availability of meteorological satellites from Europe and US, their images and data have a temporal resolution restricted to 15 minutes. In addition, these satellites, except for the GOES-10, have their orbits optimized for the coverage of the Northern Hemisphere. A new methodology to generate fields of density of occurrences of electrical discharges was proposed in 2005 in order to monitor severe convective activity. The occurrences are computed for a selected time interval and more intense regions of the field are called Electrical Activity Centers. Afterwards, a computational environment was developed in order to implement this methodology. Considering that such fields could be visualised in near real time, this approach seems to be useful for short term weather forecast or nowcasting as it has been tried at CPTEC/INPE. A paintball scheme for the visualization of discharge occurrences is already operational, but the new scheme offer a spatial-temporal representation of the occurrences that is easy to be interpreted by the meteorologist.

Keywords: Spatial analysis, kernel density estimation, atmospheric electrical discharges, convective systems.

1. INTRODUÇÃO

Vários estudos apresentam resultados que demonstram uma forte correlação entre descargas elétricas e sistemas convectivos, muitas vezes inclusive associados a condições de tempo severo (Mac Gorman e Nielsen, 1991).

Atualmente, existe a disponibilidade de dados de sensores de descargas elétricas atmosféricas, e têm-se observado que os mesmos são potencialmente úteis para o monitoramento e previsão de curtíssimo prazo (*nowcasting*) de sistemas precipitantes no Centro-Sul do Brasil.

Desde 2005, com a criação da Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas (RINDAT), o grupo de previsão de tempo do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) vem utilizando dados obtidos por meio de sensores de detecção descargas elétricas atmosféricas como uma ferramenta de monitoramento de sistemas precipitantes.

O monitoramento desses sistemas por meio de descargas elétricas

atmosféricas, é feito a partir de imagens relativas às ocorrências de descargas, as quais são atualizadas a cada 15 minutos de forma automática. Estas imagens mostram as ocorrências recentes de descargas elétricas por meio de pontos, num esquema denominado *paintball*. Os pontos correspondentes às ocorrências são coloridos em função do tempo decorrido de cada ocorrência, considerando intervalos de 15 minutos, o que permite visualizar o deslocamento do sistema precipitante considerado em tempo real. Esta ferramenta de monitoramento pode ser acessada livremente através do site <http://www.inpe.br/webelat/homepage/>.

Em 2005, foi proposto o agrupamento espacial e temporal de dados de descargas elétricas nuvem-solo por meio de uma técnica de análise espacial, o estimador de densidade de núcleo (Politi2005, Politi et al 2006). Esta técnica gera um campo de densidade de ocorrências de descargas que permite identificar regiões mais densas, as quais foram denominadas Centros de Atividade Elétrica (CAE's). Estes centros estão associados a nuvens convectivas que geram descargas elétricas,

permitindo uma melhor identificação da área atingida pelas descargas elétricas no decorrer do tempo. Observa-se que os CAE's podem auxiliar no monitoramento de sistemas precipitantes, uma vez que há um correspondência espacial e temporal dos mesmos com aglomerados de nuvens e campos de densidade presentes em imagens de satélites e radares, respectivamente para sistemas precipitantes.

Em 2008, uma equipe do INPE desenvolveu um ambiente computacional que emprega esta técnica de agrupamento de ocorrências de descargas visando a análise de casos de atividade convectiva (Menconi et al. 2009). O presente trabalho demonstra seu uso no monitoramento de atividade convectiva e seu potencial na previsão de curtíssimo prazo (*nowcasting*) de sistemas precipitantes, sendo apresentado um estudo de caso para um evento de tempo severo ocorrido no Centro-Sul do Brasil na primavera de 2008. O presente estudo apresenta uma discussão das condições sinóticas presentes nesse dia que favoreceram as condições de tempo severo, e uma análise baseada em uma comparação qualitativa dos CAE's observados com dados do Hidroestimador e de imagens do satélite GOES-10.

2. METODOLOGIA E DADOS

2.1. Dados utilizados

Neste trabalho foram utilizados dados obtidos de sensores de descargas elétricas atmosféricas instalados sobre a região centro sul do Brasil que fazem parte da Rede de Sensores BrasilDAT. Trata-se de uma rede de sensores híbrida composta por sensores LPATS e IMPACT que abrangem todo o território brasileiro. Estes dados encontram-se no formato UALF (Universal ASCII Lightning Format). Maiores detalhes podem ser obtidos em K. P. Naccarato 2008.

Para análise dos sistemas convectivos foram utilizadas imagens do satélite geostacionário GOES-10, da série *Geostationary Operational Environmental Satellite*. Estas imagens estão disponíveis no

site do CPTEC/INPE, pseudocoloridas com base nas temperaturas de topos de nuvens

No intuito de se comparar qualitativamente os CAES com outras imagens correspondentes a sistemas precipitantes foram também utilizados imagens do Hidroestimador cedidas pelo CPTEC/INPE, correspondentes às estimativas de precipitação a intervalos de 15 minutos. O procedimento para geração destas imagens pode ser visto no site http://sigma.cptec.inpe.br/prec_sat/

O evento severo selecionado ocorreu entre 20 e 21 UTC do dia 01 de outubro de 2008. Para a análise comparativa proposta, foram geradas imagens correspondentes aos campos de densidade de descargas (nas quais se observam os CAE's) a intervalos de 15 minutos, de forma a se obter uma resolução temporal semelhantes às imagens do satélite GOES-10 e do Hidroestimador. Além disso, a descrição sinótica associada à ocorrência de tempo severo foi feita através da análise de diversos campos meteorológicos derivados do modelo *Global Forecast System (GFS)* do NCEP/NOAA (*National Centers for Environmental Prediction - National Oceanic and Atmospheric Administration*) correspondente ao dia 02 de outubro de 2008 às 00 UTC.

2.2 Metodologia para geração dos CAE's

As ocorrências de descargas são muito esparsas, tanto temporal como espacialmente. No caso de tempestades, sua frequência é altíssima e, de maneira geral o volume de dados de descargas é elevado, da ordem de dezenas de milhares de ocorrências para um único dia para a região de cobertura dessa rede. Como então criar um campo de representação, ou uma representação espacial que evolua no tempo, de forma a monitorar, a partir dessas ocorrências de descargas, sistemas convectivos associados às tempestades elétricas?

Na metodologia proposta por Politi, no escopo de uma dissertação de mestrado

do curso de Computação Aplicada do INPE (Politi, 2005), aplicou-se uma técnica de análise espacial, o estimador de densidade de núcleo (kernel estimator) a dados de ocorrências de descargas elétricas atmosféricas do tipo nuvem-solo. Essa técnica possibilita a geração de um campo de densidade de ocorrências de descargas, constituindo essa aplicação uma abordagem inovadora para dados de descargas.

Como mencionado anteriormente, o campo de densidade resultante do agrupamento espaço-temporal das ocorrências permite identificar regiões mais intensas, os CAE's. Em Politi (2005), diversas metodologias de análise espacial foram avaliadas para a representação espaço-temporal das descargas do tipo nuvem-solo: *paintball* (plotagem de eventos pontuais), agrupamento em grade e *clustering* (agrupamento) bem como técnicas baseadas em estimadores de densidade. Como resultado, optou-se pela estimação de densidade de núcleo, em razão da representação obtida, um campo suave que melhor permitia a análise pretendida.

Essa técnica de estimação de densidade foi empregada considerando-se uma região bidimensional genérica que contém n pontos de ocorrência de descargas (X_1, X_2, \dots, X_n). Uma grade de latitudes e longitudes é definida com uma dada resolução, composta pelos pontos (ϕ_i, λ_j) , onde ϕ_i e λ_j denotam latitudes e longitudes discretas, respectivamente.

Um estimador de densidade $F(\phi, \lambda)$ é então ajustado para interpolar os n pontos de ocorrência, representando uma superfície sobre essa região bidimensional. O valor de $F(\phi, \lambda)$ em qualquer ponto da grade expressa a densidade de ocorrências ponderada pela distância de cada ocorrência ao ponto de grade. Essa densidade é computada usando-se uma dada função de interpolação K , conhecida como o estimador de núcleo de $F(h, (\phi, \lambda))$, como mostrado na Eq. (1), fazendo uso de um parâmetro extra h , discutido a seguir. Usualmente, adota-se para K uma função de densidade de

probabilidade simétrica (Silverman, 1990) que seja conveniente.

$$F(h, (\phi, \lambda)) = \frac{1}{nh^2} \sum_{k=1}^n K(y_k) \quad (1)$$

onde $y_k = d((\phi_i, \lambda_j), X_k)/h$ é uma distância normalizada baseada na distância Euclidiana $d((\phi_i, \lambda_j), X_k)$ do ponto de ocorrência X_k ao ponto de grade (ϕ_i, λ_j) . O parâmetro h é usado no cálculo das distâncias normalizadas e define a vizinhança circular das ocorrências que mais influem o estimador para cada ponto de grade. Uma vez que h pondera as distâncias das ocorrências no cálculo da superfície expressa por $F(h, (\phi, \lambda))$, ele atua como um *parâmetro suavizador*. Quanto maior o h , mais suave será a superfície gerada e vice-versa. Além do mais, ele define o tamanho médio dos campos gerados.

Existem critérios para automaticamente ajustar o valor ótimo do parâmetro suavizador h , sendo o mais empregado aquele proposto em 1956 por Rosenblatt, que é baseado no erro quadrático médio integrado (Silverman, 1990). Este erro avalia a precisão da função, no caso o estimador de núcleo $F(h, (\phi, \lambda))$, quando empregado como estimador da função de densidade de probabilidade real (desconhecida). A presente metodologia baseou-se no h ótimo conforme definido em (Scott, 1992) para dados bidimensionais. A expressão adotada para o h é dada por:

$$h = \sigma n^{(-1/6)} \quad (2)$$

onde σ é o desvio padrão das distâncias euclidianas das ocorrências até o ponto de grade considerado.

Proposta originalmente em (Politi, 2005) e (Politi et al, 2006), essa metodologia foi implementada no ambiente computacional descrito em (Menconi et al, 2009), que emprega a linguagem C++ e o pacote *Gnuplot*.

Primeiramente, deve-se realizar a integração temporal dos dados separando as ocorrências de descargas em intervalos de

tempo compatíveis com a escala de tempo do fenômeno observado, ou seja, o ciclo das estruturas convectivas. Estes intervalos de tempo devem também ser definidos convenientemente para possibilitar a comparação com outros dados meteorológicos (dados de modelos ou de radiossondagem, imagens de satélites, etc.), que geralmente possuem resolução temporal mais baixa.

Em seguida, é necessária a análise da evolução espaço-temporal dos CAEs por meio de sua identificação, uma vez que um CAE pode se deslocar ou deixar de existir e novos CAEs podem surgir. Para tal, definiu-se uma distância de máximo deslocamento do CAE e também um número máximo de intervalos de tempo em que um determinado CAE não é detectado. Isto porque pode ter ocorrido um descarregamento elétrico do sistema convectivo associado a um determinado CAE num intervalo e este somente voltar a ter atividade elétrica após alguns intervalos. Essa evolução espaço-temporal CAEs pode ser associada à própria evolução física da atividade convectiva mais intensa.

3. ANÁLISE E DISCUSSÕES

3.1 Análise Sinótica

No dia 01 de outubro de 2008, várias localidades do Paraná (PR), do centro-sul e leste de São Paulo (SP) e do sul de Mato Grosso do Sul (MS) foram atingidas por chuvas fortes, acompanhadas de fortes rajadas de vento, descargas elétricas e queda de granizo. Na cidade de Maringá (PR), por exemplo, registrou-se 63 mm de chuva acumulada em 24hs. Segundo relatos da imprensa local, ocorreram diversos estragos em telhados de casas e, de maneira geral, na infraestrutura urbana. Na cidade de Cascavel (PR) foram registradas rajadas de vento de 70 km/h. O jornal O Globo relatou estragos provocados pelo temporal nas cidades de Paranavaí, Campo Mourão e Curitiba. No sul de Mato Grosso do Sul (MS) a cidade de Iguatemi foi atingida por fortes rajadas de vento. No

Estado de SP este mesmo sistema meteorológico provocou queda de granizo na cidade de São José dos Campos. A Figura 1 mostra a localização das cidades atingidas pelos temporais.

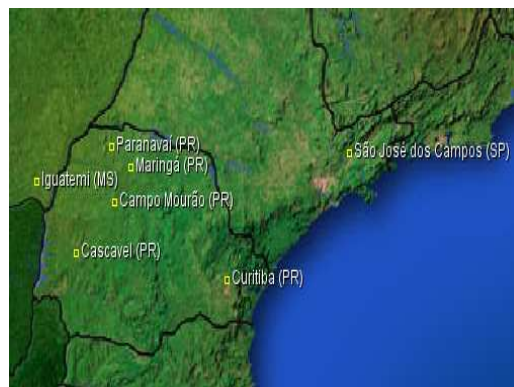


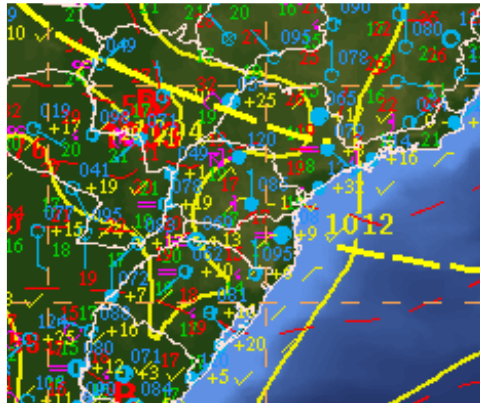
Figura 1: Localização das cidades atingidas pelos temporais do dia 01 de outubro de 2008.

A análise sinótica das 00 UTC do dia 02 de outubro (Figura 2, itens a, b e c) correspondente as 21hs local do dia 1º, referente a este evento severo, mostra a presença de um fluxo bastante difluente em altitude (250 hPa) (Figura 2 item a) afetando boa parte do Estado de MS, PR, SP e RJ e o sul de MG. Esta forte difluência em altitude cria divergência, a qual favorece a intensificação da convergência de massa em superfície dando suporte a formação de nuvens de grande desenvolvimento vertical.

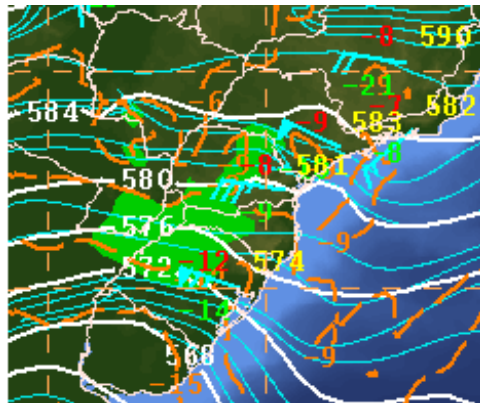
No nível de 500 hPa (Figura 2 item b) nota-se um fluxo bastante perturbado entre o Estado de São Paulo e a Região Sul do Brasil. Dentro deste fluxo de oeste, observam-se algumas perturbações de ondas curtas embebidas, como por exemplo, aquela detectada no centro-sul do Estado de SP. Estes sistemas, de menor escala, favorecem a ocorrência de tempo severo, como apresentado nesta ocasião.

Na análise de superfície (Figura 2 item c) observa-se um cavado entre o Estado de MS e SP, refletindo os sistemas descritos em altitude. Além dos fatores dinâmicos descritos nesta análise ressalta-se que, neste dia, as temperaturas e os teores de umidade foram elevados, devido ao intenso fluxo de

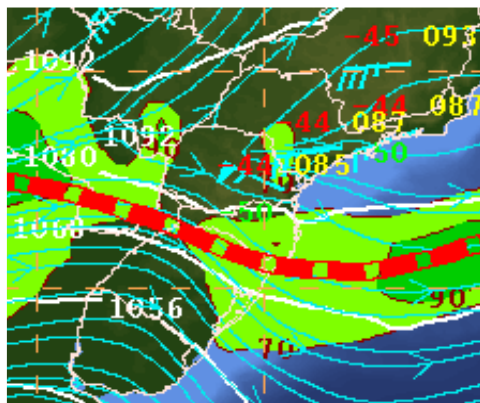
noroeste, que juntamente com os fatores dinâmicos, favoreceram a ocorrência de chuvas fortes.

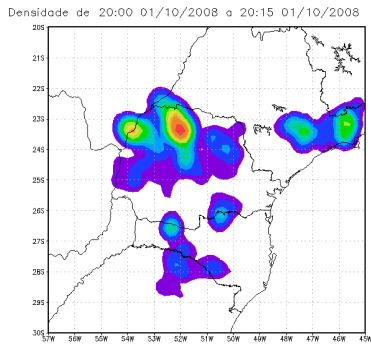


(a)

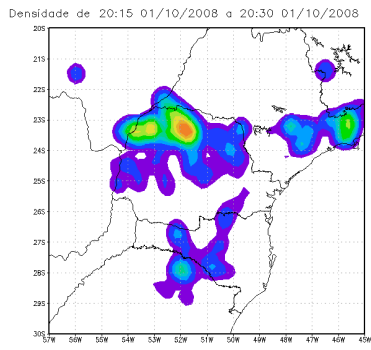


(b)

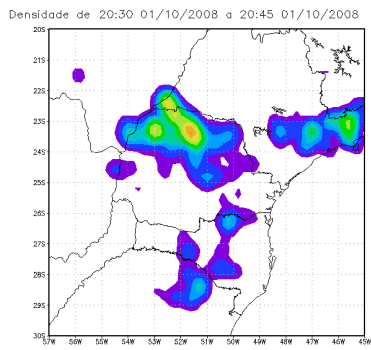




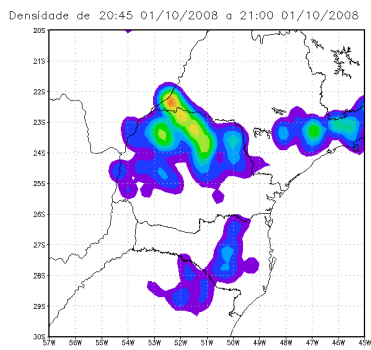
(a)



(b)

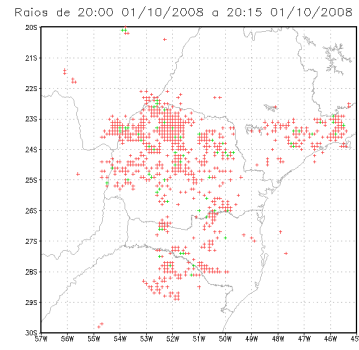


(c)



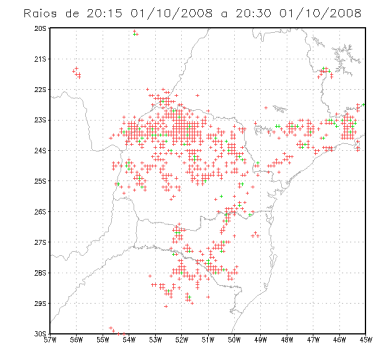
(d)

Figura 3: Campos de densidade de ocorrência de descargas elétricas.



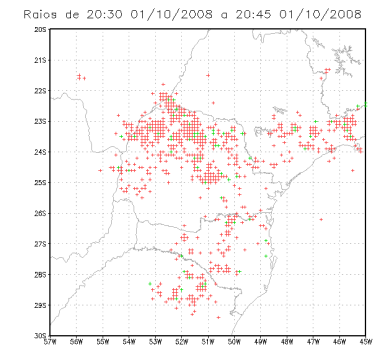
Total de raios = 2764 + Somente um raio registrado + Mais de um raio registrado

(a)



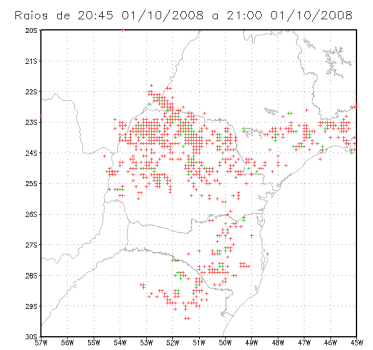
Total de raios = 2796 + Somente um raio registrado + Mais de um raio registrado

(b)



Total de raios = 2331 + Somente um raio registrado + Mais de um raio registrado

(c)

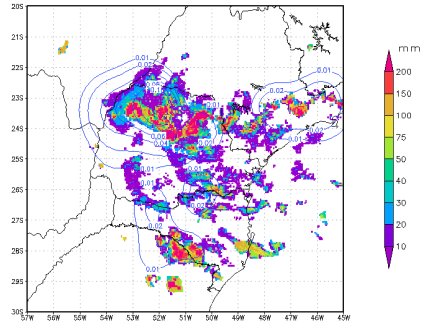


Total de raios = 2249 + Somente um raio registrado + Mais de um raio registrado

(d)

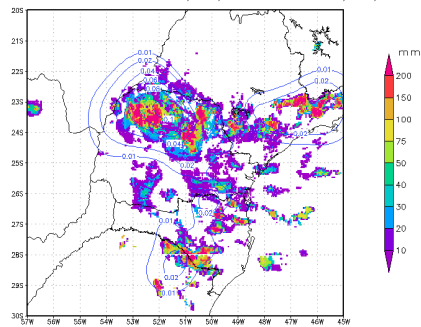
Figura 4: Representação das descargas elétricas usando o esquema de paintbal.

Precipitação e densidade de 20:00Z 01/OCT/2008 a 20:15Z 01/OCT/2008



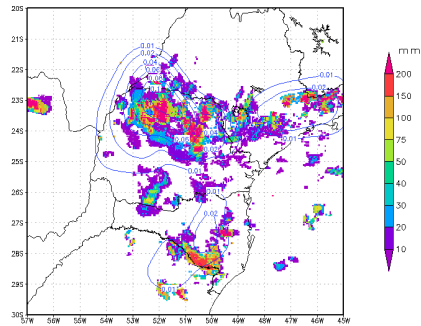
(a)

Precipitação e densidade de 20:30Z 01/OCT/2008 a 20:45Z 01/OCT/2008



(b)

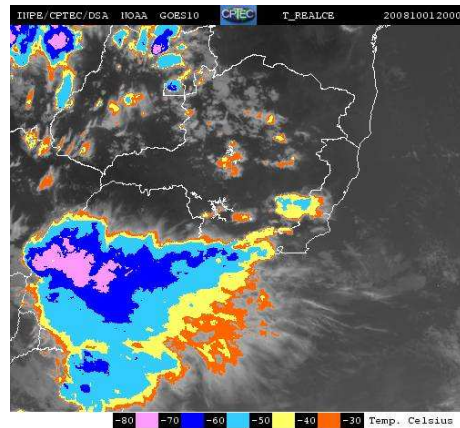
Precipitação e densidade de 20:45Z 01/OCT/2008 a 21:00Z 01/OCT/2008



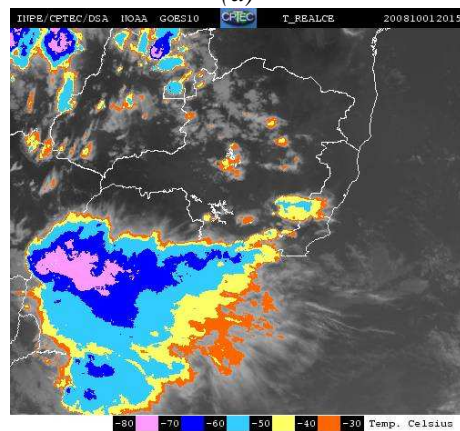
(c)

Figura 5: Composição de curvas de néves de caes e dados do hidroestimador

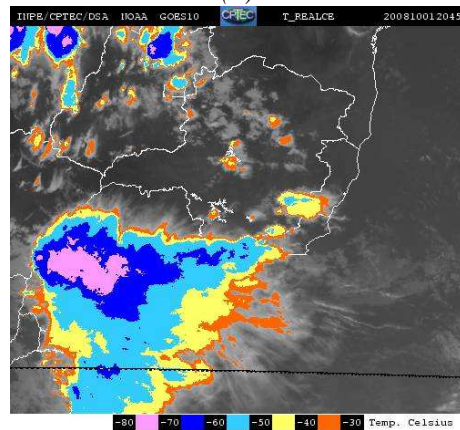
Finalmente, a sequencia de imagens do satélite GOES-10 mostrada na Figura 6 (itens a, b e c) permite observar uma correspondência significativa entre os CAEs mencionados e as áreas com temperaturas de topo de nuvens mais frias correspondentes a nuvens com grande desenvolvimento vertical, as quais normalmente são associadas a eventos de chuva intensa.



(a)



(b)



(c)

Figura 6: Sequencia de Imagens do Satélite GOES-10

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os CAE's identificados nos campos de densidade de ocorrência de descargas elétricas apresentam um bom potencial na identificação de atividade convectiva severa. Existe uma correspondência significativa entre os CAE's e os topos de nuvens mais frios ou com áreas com maior estimativa de precipitação.

Assim sendo, pode-se considerar que a ferramenta que gera estes campos de densidade pode ser útil nos diagnósticos de condições de tempo severo. Espera-se implementar uma nova versão para visualização em tempo real dos campos de densidade de forma a permitir, num futuro próximo, o monitoramento em tempo real de tais condições.

O próximo passo seria realizar uma análise quantitativa da comparação dos CAE's com imagens de satélite e radares, de forma a comprovar estatisticamente a acurácia da metodologia proposta no auxílio ao monitoramento de condições de tempo severo, bem como para *nowcasting*.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte recebido da FINEP por meio do projeto "ADAPT – Tempestades: desenvolvimento de um sistema dinamicamente adaptativo para produção de alertas para a região Sul/Sudeste", mais especificamente sua Meta 2 – "Mineração de dados para identificação de condições favoráveis à gênese e evolução de tempestades". Agradecem também o suporte recebido do CNPq por meio do projeto do Edital Universal denominado "Mineração de Dados Associados a Sistemas Convectivos" ("*Cb-Mining*", processo 479510/2006-7).

REFERENCIAS

MACGORMAN, D. R. e NIELSEN, K. E.. **Cloud-to ground lightning in a**

tornadic storm on 8 May 1986. Mon. Wea. Rev., 119, 1557-1574. 1991.

MENCONI, V. E., CAETANO, M., STEPHANY, S., FERREIRA, N. J., DOMINGUES, M. O. e MENDES JR., O. **A Tool for the Monitoring of Electrically Active Convective Activity.** 2009. Submetida à Weather and Forecasting.

NACCARATO, K. P. e PINTO JR., O. **The Third Generation Relative Detection Efficiency Model For The Brazilian Lightning Detection Network (Brasildat).** 20th International Lightning Detection Conference and 2nd International Lightning Meteorology Conference 24-25. Tucson - USA, 2008

POLITI, J., STEPHANY, S., DOMINGUES, M. O., MENDES JR., O. **Mineração de dados meteorológicos associados à atividade convectiva empregando dados de descargas elétricas atmosféricas.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.21, n.2, 232-244, 2006.

POLITI, J. **Implementação de um Ambiente para Mineração de Dados Aplicada ao Estudo de Núcleos Convectivos.** 2005. 137 p. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005.

SCOTT, D. W. **Multivariate Density Estimation: Theory, Practice, and Visualization.** JohnWiley, 1992.

SILVERMAN, B. W. **Density Estimation for Statistics and Data Analysis** (Monographs on Statistics and Applied Probability 26). London: Chapman and Hall, 1990.

VICENTE, G. A., SCOFIELD, R. A. e MENZEL W. P., 1998: **The operational GOES infrared rainfall estimation technique.** Bull. Amer. Meteor. Soc., 79, 1883-1998.