



Estudo Observacional de Duas Linhas de Instabilidade Utilizando Proxies de Refletividade Observational Study of Two Squall Lines Using Reflectivity Proxies

William Ferreira Coelho¹; Leonardo Calvetti¹; Cesar Beneti² & Paulo Alexandre Mello²

¹Universidade Federal de Pelotas, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia.

Av. Ildelfonso Simões Lopes 2751, 96060-290, Pelotas-Rio Grande do Sul, RS, Brasil

²Sistema Meteorológico do Paraná, Av. Francisco H. dos Santos 210, 81530-900, Curitiba, PR, Brasil

E-mails: williamufpel@gmail.com; lcalvetti@gmail.com; cesar.beneti@simepar.br; palexandremello@gmail.com

Recebido em: 01/06/2019 Aprovado em: 28/10/2019

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2020_1_71_84

Resumo

Neste estudo duas linhas de Instabilidade (LIs) foram analisadas, sendo a primeira decorrente da amplificação de um cavado que se estendeu sobre o sul do Brasil, e a segunda devido a propagação de um sistema frontal. Os campos de refletividade do Pulserad, que são gerados a partir de dados de Descargas Elétricas Atmosféricas (DEA) foram comparados com a refletividade do radar de Cascavel-PR. No primeiro caso o sistema não foi caracterizado pelo Pulserad durante todo o seu desenvolvimento, enquanto que a segunda LI foi bem representada durante o intervalo de análise. Também foi observado que as regiões melhor representadas foram aquelas que apresentaram alta refletividade ao longo de maior profundidade vertical, assim como grande conteúdo de água e hidrometeoros congelados. A convecção rasa não foi bem identificada pelo Pulserad, possivelmente devido a menor formação de gelo no interior da nuvem, que consequentemente não favorece a ocorrência de DEA. Contudo, de forma geral o Pulserad representou bem os sistemas, caracterizando as regiões com maior refletividade observada no radar e reproduzindo o formato de LI. Portanto a utilização de *proxies* de refletividade gerados a partir de DEA pode ser uma ferramenta importante no monitoramento do tempo, seja pela ausência ou até mesmo como complemento à rede de radares.

Palavras-chave: Radar; Descargas elétricas; Variáveis Polarimétricas

Abstract

In this study two squall lines were analysed, being the first one due to the amplification of a trough which stretched about the south of Brazil, and the second squall lines due to propagation of a frontal system. The reflectivity fields from Pulserad, produced by lightning data were compared with the reflectivity of Cascavel-PR radar. In the first case the system was not characterized by Pulserad throughout its development, while the second squall line was well represented. It was also observed that the regions better represented were those that presented high reflectivity over bigger vertical depth, as well as high water content and frozen hydrometeors. The shallow convection was not well represented by Pulserad, possibly due to less ice formation inside the clouds, not favoring the lightning occurrence. Nevertheless, in general the Pulserad represented well the systems, characterizing the regions with greater reflectivity observed on radar and reproducing the shape of squall lines. Therefore, the use of reflectivities proxies generated from lightning data can be an important tool in the weather monitoring, either by the absence or even as a complement to the radar network.

keywords: Radar; Lightning; Polarimetric Variables

1 Introdução

O Sul do Brasil é constantemente atingido por tempestades e eventos extremos como granizo, vendavais, e chuvas torrenciais, dentre outros eventos (Brooks *et al.*, 2003; Cavalcanti, 2012), tornando o monitoramento e a previsão do tempo uma tarefa desafiadora para os meteorologistas. Uma das práticas mais importantes atualmente é o *nowcasting*, que consiste na previsão do tempo para curtos períodos de tempo, menores do que duas horas, utilizando principalmente imagens de radar e técnicas de extrapolação (Wilson *et al.*, 1998). Assim, a presença de radares é imprescindível no sentido de fornecer informações para o monitoramento e *nowcasting* de eventos extremos. Contudo, a rede de radares no Brasil ainda possui diversas lacunas em sua cobertura, além de que muitas vezes esses equipamentos podem estar em manutenção durante a ocorrência de tempestades, dificultando o monitoramento do tempo e o *nowcasting* em diversas regiões do país. Uma vez que o custo para ampliação e manutenção da rede de radares é alto, torna-se necessário o uso de técnicas complementares para garantir a operacionalidade do sistema.

Uma proposta recente é o uso de dados de Descargas Elétricas Atmosféricas (DEA) para a geração de *proxies* de refletividade (Liu *et al.*, 2013). Esse produto consiste na conversão da taxa logarítmica de descargas (dBR) para a refletividade (Z), por meio de uma função de transferência (Equação 1).

$$z=a+b(dBR) \quad (1)$$

onde z é a refletividade, “a” e “b” são coeficientes obtidos de acordo com a região e estação do ano, e dBR, a taxa logarítmica de descargas, que inclui tanto descargas Nuvem-Solo quanto às descargas Intra-Nuvem. Esses dados compreendem uma ampla área de cobertura (Figura 1) e, além disso, não são suscetíveis à interferências de obstáculos como montanhas e grandes corpos de água. Esse produto, conhecido como Pulserad, foi desenvolvido pela empresa americana Earth Networks (Earth Networks, 2017a). Outros autores também têm dedicado esforços para utilização de métodos alternativos para dados de radares, sejam em trabalhos voltados à estimativa de chuva ou ao monitoramento de tempo severo.

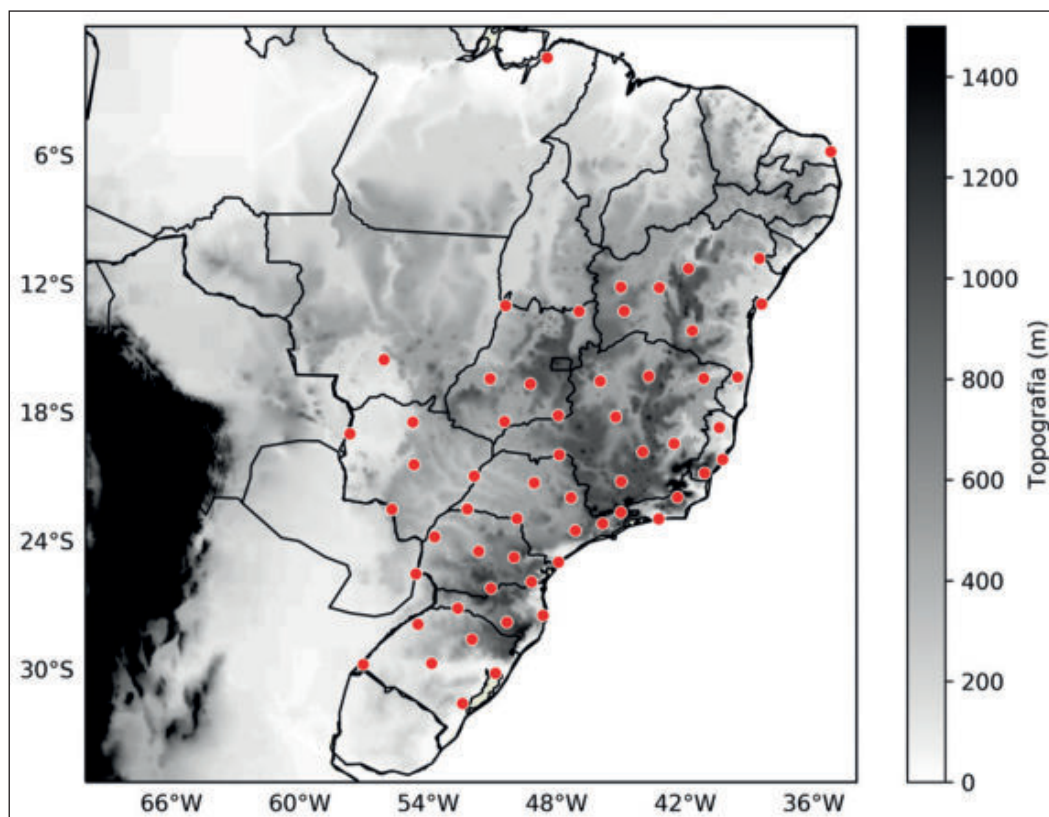


Figura 1 Distribuição dos sensores Earth Networks Lightning Sensor (ENLS) no Brasil.

Neste estudo, duas Linhas de Instabilidade (LIs) foram analisadas, primeiramente com uma breve descrição sinótica e, posteriormente, foram comparados os campos de refletividade estimados a partir de DEA com os dados do radar de Cascavel-PR. O objetivo do trabalho consistiu em avaliar a capacidade de identificação da convecção dos *proxies* de refletividade, assim como as características de microfísica associadas às regiões de ocorrências das células convectivas.

2 Dados e Metodologia

Os eventos analisados ocorreram no oeste do estado do Paraná (PR), dentro da área de cobertura do radar de Cascavel - PR, instalado a 720 m de altitude, pelo Sistema Meteorológico do Paraná (Simepar) (Figura 2A). O radar de Cascavel é do tipo Banda-S, Doppler, de dupla polarização, com frequência de 2,8 GHz e comprimento de onda de 10 cm. Utiliza-se uma estratégia de varredura volumétrica com alcance de 240 km e 10 elevações (Figura 2B), e dados coletados a cada cinco minutos.

Para as comparações com o Pulserad foram gerados CAPPI (*Constant Altitude Plan Position Indicator*) de refletividade para 3 km de altitude, utilizando os dados do radar de Cascavel interpolados para uma resolução horizontal de 1 km. A refletivi-

dade diferencial (Zdr) e a diferencial específica de fase (Kdp) também foram utilizadas para análise da microfísica e melhor entendimento da relação entre os campos comparados.

O Zdr foi obtido a partir do logaritmo da razão entre a refletividade polarizada na horizontal e na vertical, e tem como principal característica evidenciar a forma dos hidrometeoros interceptados (Fukau & Hamazu, 2014; Rauber & Nesbitt, 2018). Quanto maior a diferença entre os eixos, maior será a magnitude de Zdr.

Outra variável bastante utilizada é o Kdp, que pode ser obtido a partir das mudanças na fase diferencial por unidade de distância, e essa quantidade expressa o gradiente da fase diferencial, muito útil para medir o conteúdo de água no interior das nuvens (Bringi & Chandrasekar, 2004; Fukau & Hamazu, 2014).

Os dados do Pulserad foram disponibilizados com a variável refletividade já calculada para uma grade regularmente espaçada, com resolução horizontal aproximadamente uniforme de 1 km, e resolução temporal de 5 minutos. Os sensores de descargas utilizados pela ENTL detectam as descargas Nuvem-Solo e Intra-Nuvem, com acurácia na posição < 250 metros, eficiência de detecção >95% para descargas Nuvem-Solo e > 85% para descargas in-

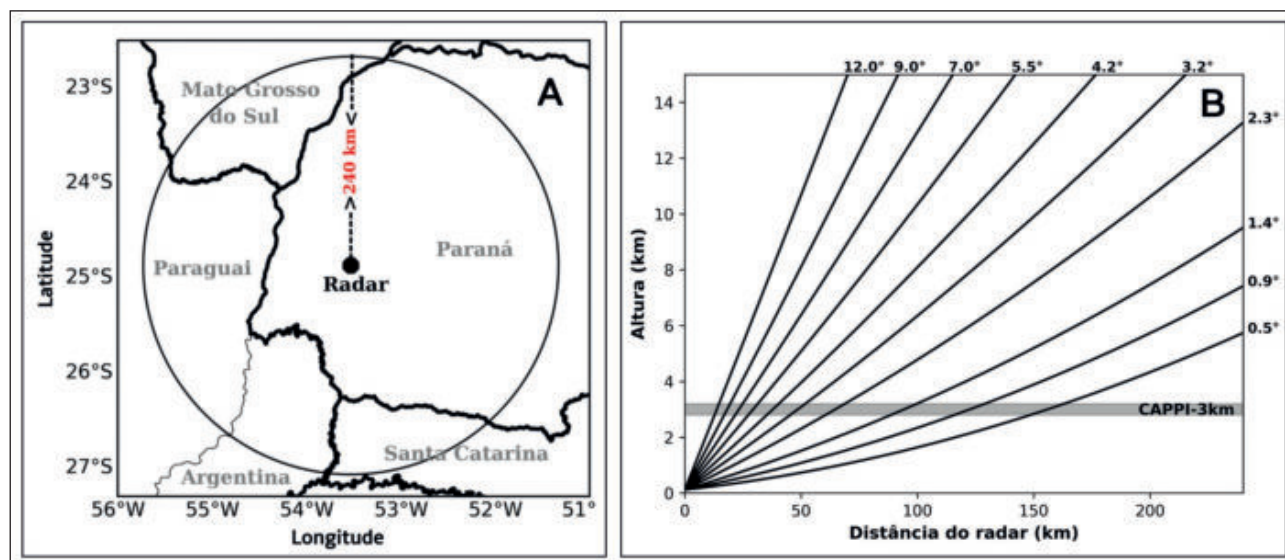


Figura 2 A. Representação da cobertura do radar de Cascavel no modo quantitativo e B. estratégia de varredura com indicação do CAPPI de 3 km.

tra-nuvens, com acurácia na sincronização temporal < 15 nanosegundos (Earth Networks, 2017).

As comparações foram realizadas de forma observacional, verificando se as características dos sistemas representados pelo Pulserad estão de acordo com os do radar, levando em consideração aspectos como formato, deslocamento e intensidade dos valores de refletividade. As características não representadas ou diferenças observadas entre o Pulserad e a refletividade do radar foram examinadas utilizando as variáveis Zdr e Kdp, além de seções verticais da refletividade do radar de Cascavel. A análise foi realizada para o período em que a convecção foi mais intensa na área de cobertura do radar, sendo das 0400 até às 0700 UTC para ambos os casos ocorridos em 13 de outubro e 02 de novembro de 2016.

Também foi apresentada uma breve descrição das condições sinóticas que proporcionaram a ocorrência dos eventos. Para isso foram utilizados dados do modelo *Global Forecast System* (GFS) com resolução espacial de 0,25° de latitude por 0,25° de longitude. Foram analisados os campos de Pressão ao Nível Médio do Mar (PNMM), Altura Geopotencial, Temperatura Potencial Equivalente (θ_e), Cisalhamento Vertical do Vento (CVV), Velocidade Vertical (VV) e vento em 250, 850 e 700 hPa. Os campos foram analisados para os horários mais próximos da ocorrência dos sistemas.

3 Resultados e Discussões

3.1 Caracterização Sinótica dos Casos

No primeiro caso, um cavado invertido estendeu-se a partir do centro de baixa pressão localizado no norte da Argentina e Paraguai com direção ao Rio Grande do Sul (RS) (Figura 3A), assim como uma massa de ar frio posicionada mais ao sul (Figura 3B). O vento em 850 hPa convergia sobre o oeste do PR e Santa Catarina (SC) (Figura 3B), contribuindo para um aumento do gradiente de θ_e no norte do RS e oeste de SC. Essa configuração promove instabilidade entre o norte do RS e sudoeste do PR, onde observa-se a presença de CVV e movimentos verticais ascendentes (Figura 3C). O CVV é um dos ingredientes mais importantes para a formação de tempestades, visto que sua atuação tende a au-

mentar a perturbação dinâmica do ambiente, que associada a outros elementos como a presença de gradiente de θ_e , torna-se um forte indicador de ocorrência de tempestades.

No segundo caso, observa-se a entrada de uma massa de ar frio vinda de sudoeste, associada a um intenso cavado em médios e altos níveis, além da presença do Jato Subtropical em 250 hPa que teoricamente pode contribuir para a intensificação do ciclone posicionado ao sul do RS (Figura 4A). Essa condição é coerente com a configuração de avanço de um sistema frontal que avança de sudoeste, e promove a intensificação do gradiente de θ_e e convergência do vento em 850 hPa, que por sua vez canalizaram o transporte de ar mais quente e úmido vindo de noroeste, especialmente na camada em torno de 850 hPa (Figura 4B). Assim como no caso anterior, tais condições dão suporte a presença de CVV e movimentos ascendentes entre o PR e o RS (Figura 4C), promovendo uma ampla área de instabilidade sobre essa região.

3.2 Comparações dos Campos de Refletividade

A primeira LI analisada desenvolveu-se no Paraguai e se propagou no sentido sudoeste-nordeste passando pela região oeste do Paraná (Figura 5). Na comparação com os dados de radar, o Pulserad subestimou consideravelmente os valores de refletividade, especialmente às 0500 e 0600 UTC (Figura 5F e 5G), onde a estrutura da LI não teve seu formato caracterizado como nas imagens do radar (Figura 5A a 5D). As regiões estratiformes que se formaram na retaguarda da LI não foram identificadas pelo Pulserad, pelo fato de que essas regiões produziram pouca ou nenhuma ocorrência de DEA, como tipicamente ocorre. Também é possível notar que o Pulserad representou a LI nos momentos iniciais, onde praticamente toda a região convectiva (valores de refletividade >40 dBZ) foi caracterizada (Figura 5E), assim como a partir das 0600 UTC onde o formato de linha voltou a ser reproduzido (Figura 5G).

Analisando a variável Zdr nos instantes seguintes às 0400 UTC, no qual o Pulserad representou bem o sistema, é possível notar que os valores de Zdr aumentaram com o passar do tempo (Figura 6).

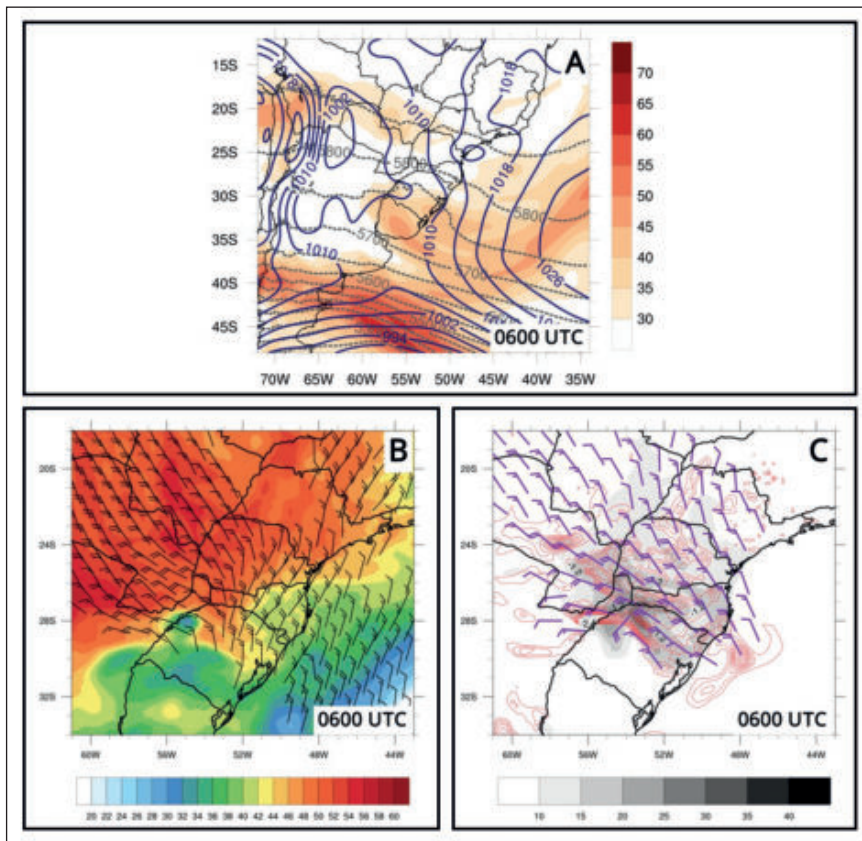


Figura 3 A. Altura geopotencial em 500 hPa (contorno pontilhado a cada 50 mgp), pressão ao nível médio do mar (contorno em azul a cada 4 hPa) e magnitude do vento em 250 hPa em m/s (sombreado). B. Campo de vento em 850 hPa para valores > 12 m/s (barbelas) e temperatura potencial equivalente em °C (sombreado). C. Cisalhamento vertical do vento entre 1000 e 600 hPa em m/s (sombreado), campo de velocidade vertical apenas com valores negativos de ômega em Pa/s (contorno) e vento em 700 hPa para valores > 12 m/s (barbelas). Campos referentes ao dia 13/10/2016.

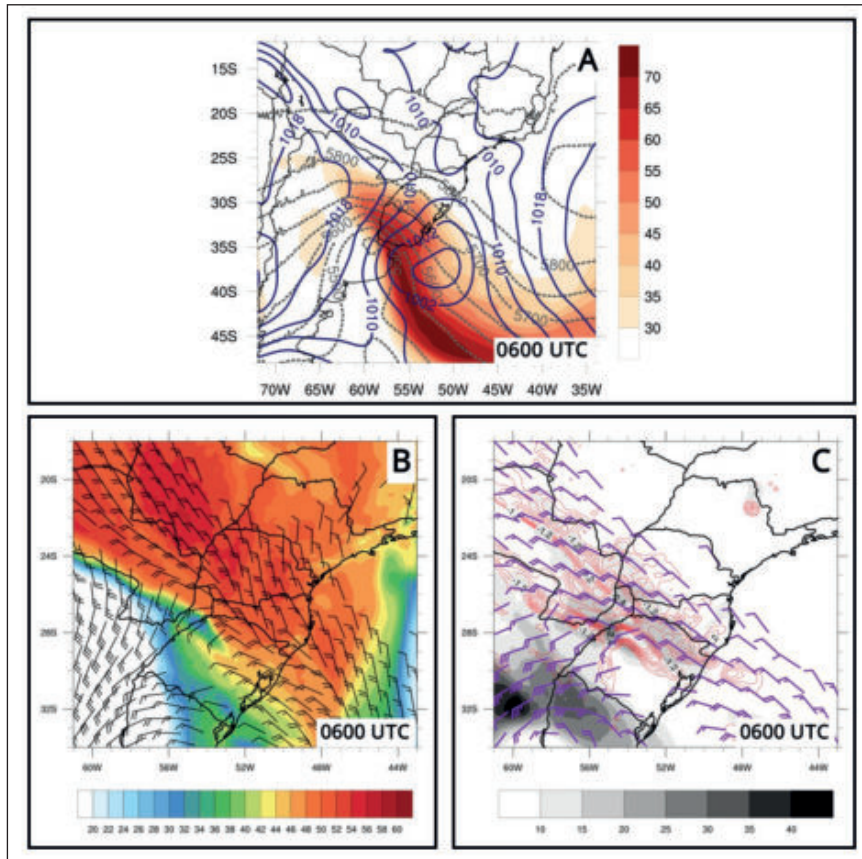


Figura 4 Ídem Figura 3, exceto para o dia 02/11/2016.

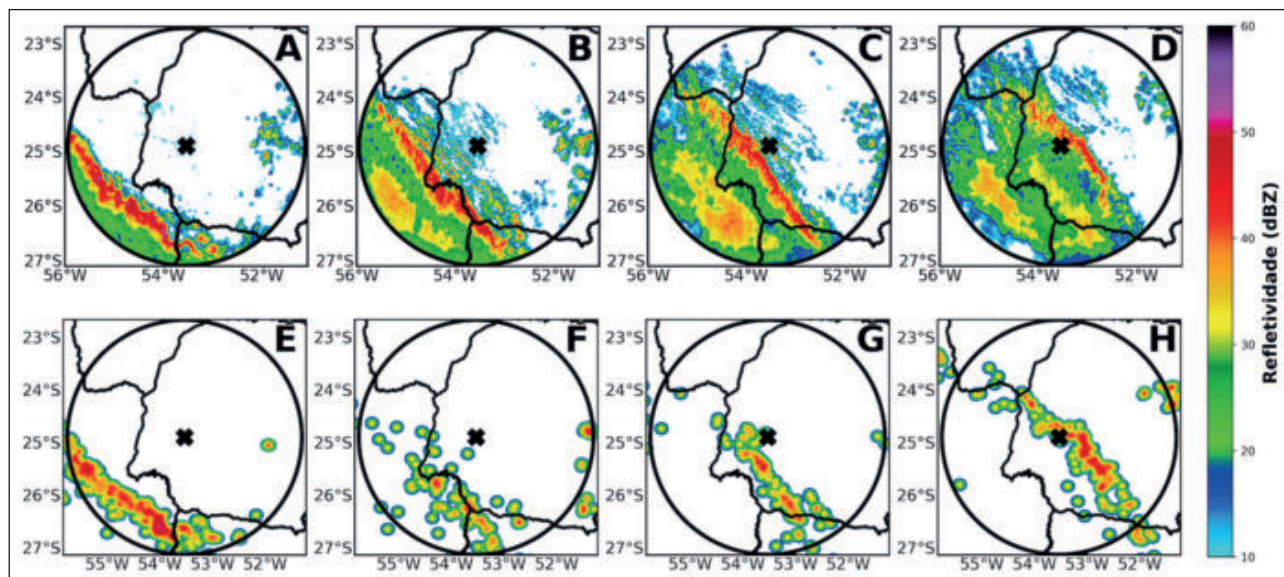


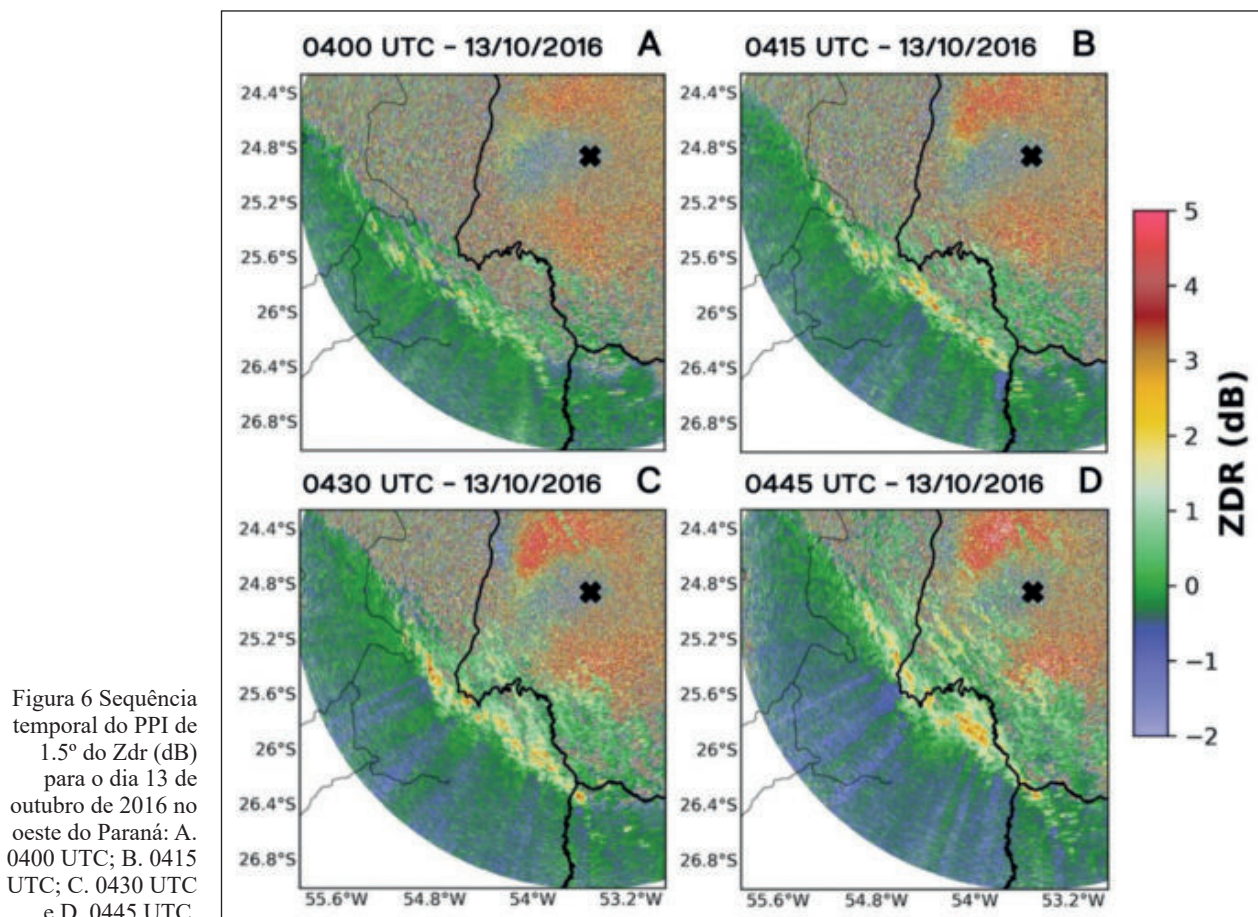
Figura 5 Evolução temporal com CAPPI (3km) da refletividade (dBZ) do radar de Cascavel e refletividade (dBZ) do Pulserad para o dia 13 de outubro de 2016. A. 0400 UTC radar; B. 0500 UTC radar; C. 0600 UTC radar; D. 0700 UTC radar; E. 0400 UTC Pulserad; F. 0500 UTC Pulserad; G. 0600 UTC Pulserad; H. 0700 UTC Pulserad.

Às 0400 UTC poucas regiões apresentaram valores próximos de 2 dB, sendo a maior parte entre 1 e 2 dB (Figura 6A) e, nos instantes posteriores, alguns pontos da LI alcançaram 3 dB (Figura 6D). Maiores valores de Zdr indicam um aumento no tamanho das gotas, enquanto que valores de Zdr próximos de zero somados à alta refletividade podem estar associados à presença de granizo nas nuvens. O aumento dos valores de Zdr possivelmente está relacionado com intensa precipitação, visto que a refletividade se manteve relativamente alta e com aumento no tamanho das gotas. Com o aumento do Zdr, a atividade elétrica foi reduzida, e algumas regiões não foram caracterizadas pelo Pulserad. Apenas com o *Plan Position Indicator* (PPI) do Zdr não é possível afirmar a existência de granizo nos instantes próximos de 0400 UTC, pois os valores para gotas pequenas e granizo podem ser semelhantes devido a suas características geométricas. Para fazer essa distinção a refletividade também foi verificada, visto que em casos de granizo normalmente os valores excedem os 55 dBZ. Contudo, o aumento nos valores de Zdr a partir de 0400 UTC (Figura 6) são coerentes com a redução da convecção observada no Pulserad (Figura 5).

Na seção vertical para o momento em que a LI foi representada pelo PulseRad (0400 UTC), ob-

serva-se que as regiões convectivas estenderam-se até aproximadamente 8 km de altura (Figura 7B e 7C). Altos valores de refletividade que se estendem até altos níveis, podem estar relacionados com intensos movimentos ascendentes, causados pela convergência na vanguarda da LI. Esse processo favorece a formação de hidrometeoros em diferentes fases, pois uma vez que o mecanismo de levantamento do ar é eficaz, as gotículas de água em ascensão colidem com cristais de gelo e promovem o processo de eletrificação e separação das cargas no interior das nuvens (Houze, 2014; Rakov, 2016). Portanto, é esperado que regiões com núcleos de alta refletividade ao longo de uma maior extensão vertical, estejam associadas à ocorrência de DEA, e consequentemente sejam melhor representadas pelo Pulserad.

As regiões onde encontram-se os núcleos com altos valores de refletividade (Figura 7B e 7C), coincidem com a presença de um núcleo com maiores valores de Zdr (Figura 7D e 7E), que indicam a presença de gotas grandes, com formato oblato ($Zdr > 0$ dB). Logo acima desses núcleos, também é possível observar valores de Zdr muito próximos de zero, porém não estão associados à presença de granizo, visto que os valores de refletividade são menores nessa camada. Porém, para o corte no azi-



mute de 193°, no segundo feixe, nota-se um pequeno núcleo com valores de Zdr próximos de 1,5 dB (Figura 7E), Kdp em torno de 0,5 a 1°/km (Figura 7G) e refletividade na faixa de 45 a 55 dBZ (Figura 7C), onde possivelmente existem cristais de gelo e granizo em derretimento. Os maiores valores de Kdp coincidem com a região de maior refletividade, a qual é interceptada pelo primeiro feixe em ambas as seções feitas (Figura 7), e estão relacionados com a grande concentração de gotas de chuva, e não com a presença de granizo.

A partir das 0500 UTC o Pulserad não caracterizou a estrutura da LI observada na refletividade do radar, especialmente a parte mais à oeste da LI (Figura 8A). Apenas alguns aglomerados convectivos são representados (como a célula com refletividade acima de 40 dBZ destacada na Figura 8), no entanto, sem configurar o aspecto de linha (Figura 8B). A estrutura vertical de uma das células

que foram identificadas nos campos de refletividade do Pulserad foi analisada em comparação com uma região da LI não caracterizada.

Na seção vertical feita sobre a região não caracterizada pelo Pulserad às 0500 UTC (Figura 9B), foi possível verificar que o núcleo mais intenso está relativamente baixo, ou seja, trata-se de uma convecção mais rasa do que nos instantes anteriores. Enquanto isso, na seção vertical feita através da célula que foi identificada pelo Pulserad nesse mesmo horário, a convecção atinge maior extensão vertical, superando os 10 km de altura (Figura 9C). É importante verificar a existência de alta refletividade em maiores altitudes (acima da isoterma de 0°C), pois normalmente essa condição está associada a presença de gelo nas nuvens.

Para a região não caracterizada pelo Pulserad, os valores de Zdr (em torno de 1,5 dB) são condizentes com a presença de gotas de chuva e até mesmo

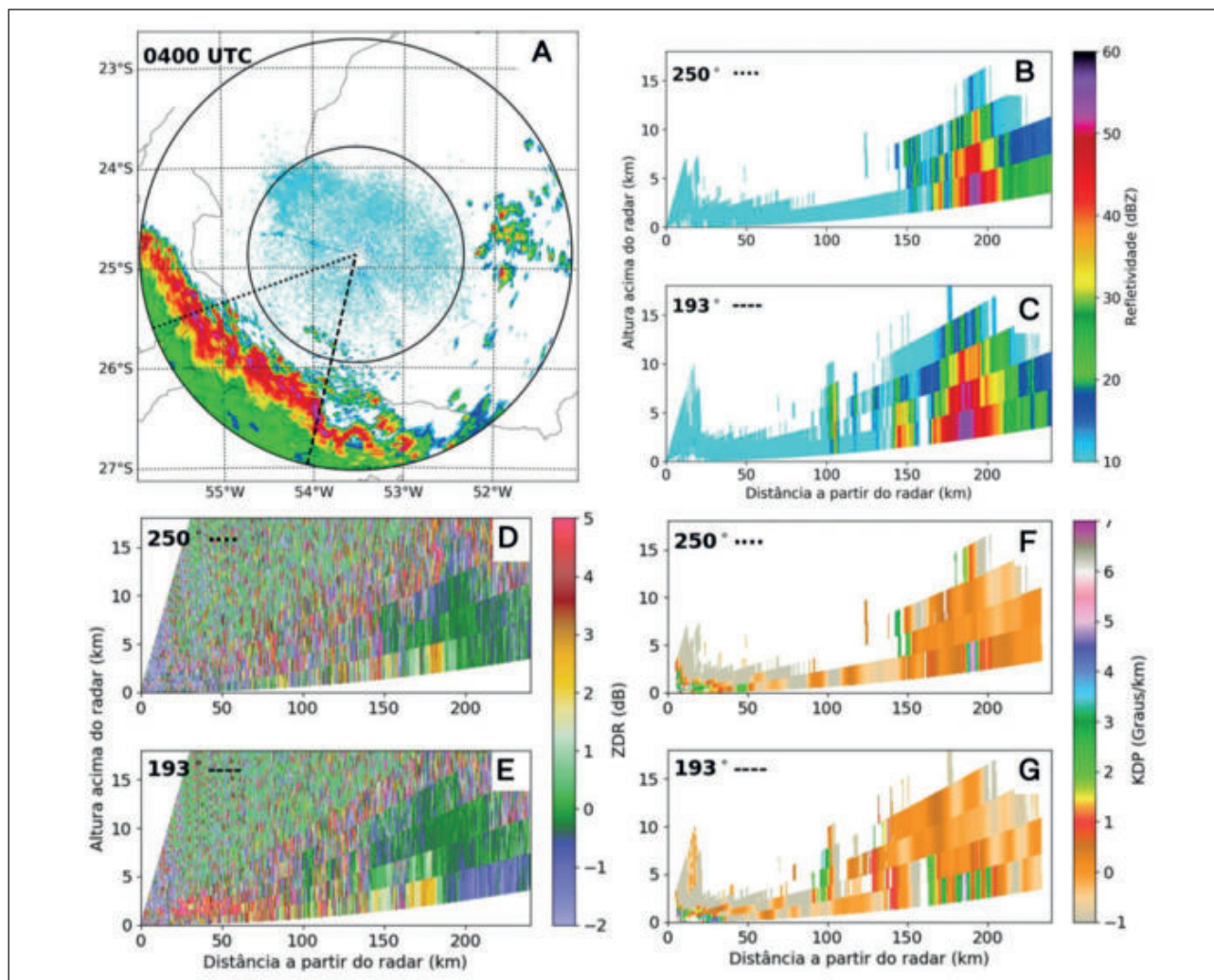


Figura 7 A. PPI da refletividade (dBZ) para a elevação de 0.5° com as retas tracejadas e pontilhadas em preto indicando as seções verticais para os ângulos azimutes de 250° e 193° , respectivamente. Seções verticais da B. Refletividade (dBZ) para 250° ; C. Refletividade (dBZ) para 193° ; D. Zdr (dB) para 250° ; E. Zdr (dB) para 193° ; F. Kdp ($^\circ/\text{km}$) para 250° e G. Kdp ($^\circ/\text{km}$) para 193° . Imagens referentes ao dia 13 de outubro de 2016 às 0400 UTC.

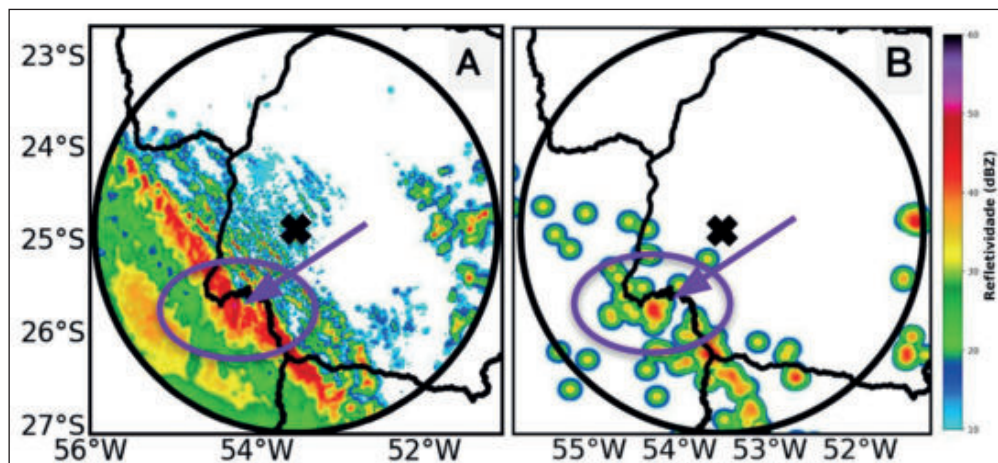


Figura 8 A. CAPPI de 3 km da refletividade (dBZ) do radar de Cascavel para o dia 13 de outubro de 2016 às 0500 UTC. B. Refletividade (dBZ) do Pulserad para o mesmo instante de tempo. A região destacada pelo círculo e a seta indicam uma célula que foi caracterizada pelo Pulserad.

hidrometeoros congelados em processo de derretimento. Na camada logo acima, os valores reduzem para próximo de 0 dB, e o Kdp varia de 0,5 até 1°/km (Figura 9F) e poderiam ser associados à presença de gelo na nuvem, porém a refletividade não ultrapassa os 50 dBZ, o que reduz essa possibilidade. A célula que foi representada pelo Pulserad possui valores de Zdr acima de 2 dB na região com maior refletividade (Figura 9B e 9E), assim como Kdp elevado (Figura 9G), indicando concentração de gotas grandes.

A partir das 0600 UTC, quando o Pulserad volta a reproduzir o formato da LI, observa-se um decréscimo nos valores de Zdr, indicando uma redução do tamanho das gotas e possível

aumento na formação de granizo (Figura 10). Comparando os campos de Zdr das 0500 UTC onde o Pulserad subestima consideravelmente os valores de refletividade do radar (Figura 10A), e 0630 UTC, momento em que o Pulserad volta a representar o sistema (Figura 10D), nota-se a redução dos valores de Zdr com o passar do tempo.

Os campos do Kdp são condizentes com a análise do Zdr, pois seus valores aumentam de acordo com a redução do Zdr. Nos instantes iniciais em que o Pulserad não representa a LI (0500 UTC), altos valores de Kdp (acima de 4°/km) são observados apenas em pontos isolados (Figura

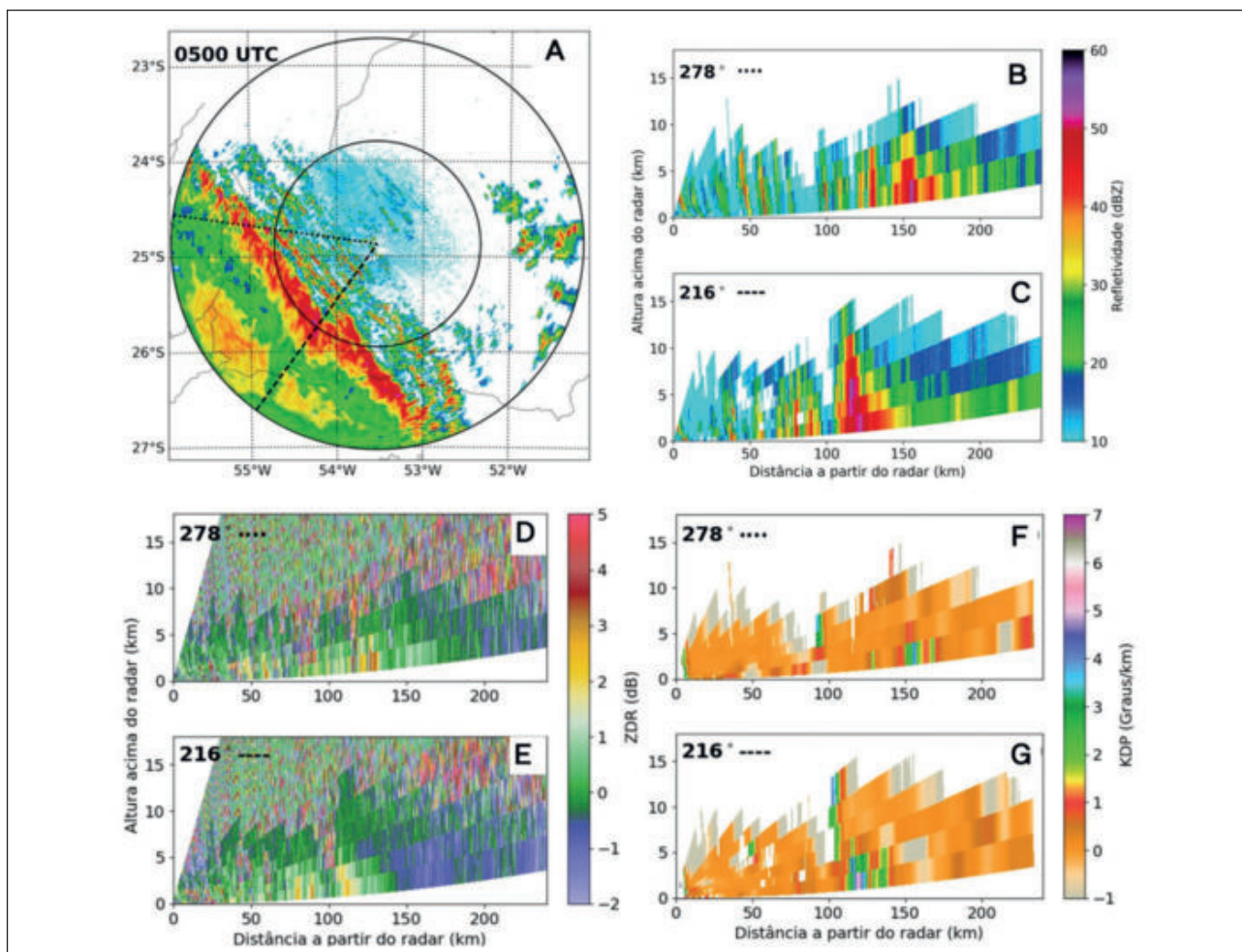


Figura 9 A. PPI da refletividade (dBZ) para a elevação de 0.5° com as retas tracejadas e pontilhadas em preto indicando as seções verticais para os ângulos azimutes de 278° e 216°, respectivamente. Seções verticais da B. Refletividade (dBZ) para 278°; C. Refletividade (dBZ) para 216°; D. Zdr (dB) para 278°; E. Zdr (dB) para 216°; F. Kdp (°/km) para 278° e G. Kdp (°/km) para 216°. Imagens referentes ao dia 13 de outubro de 2016 às 0500 UTC.

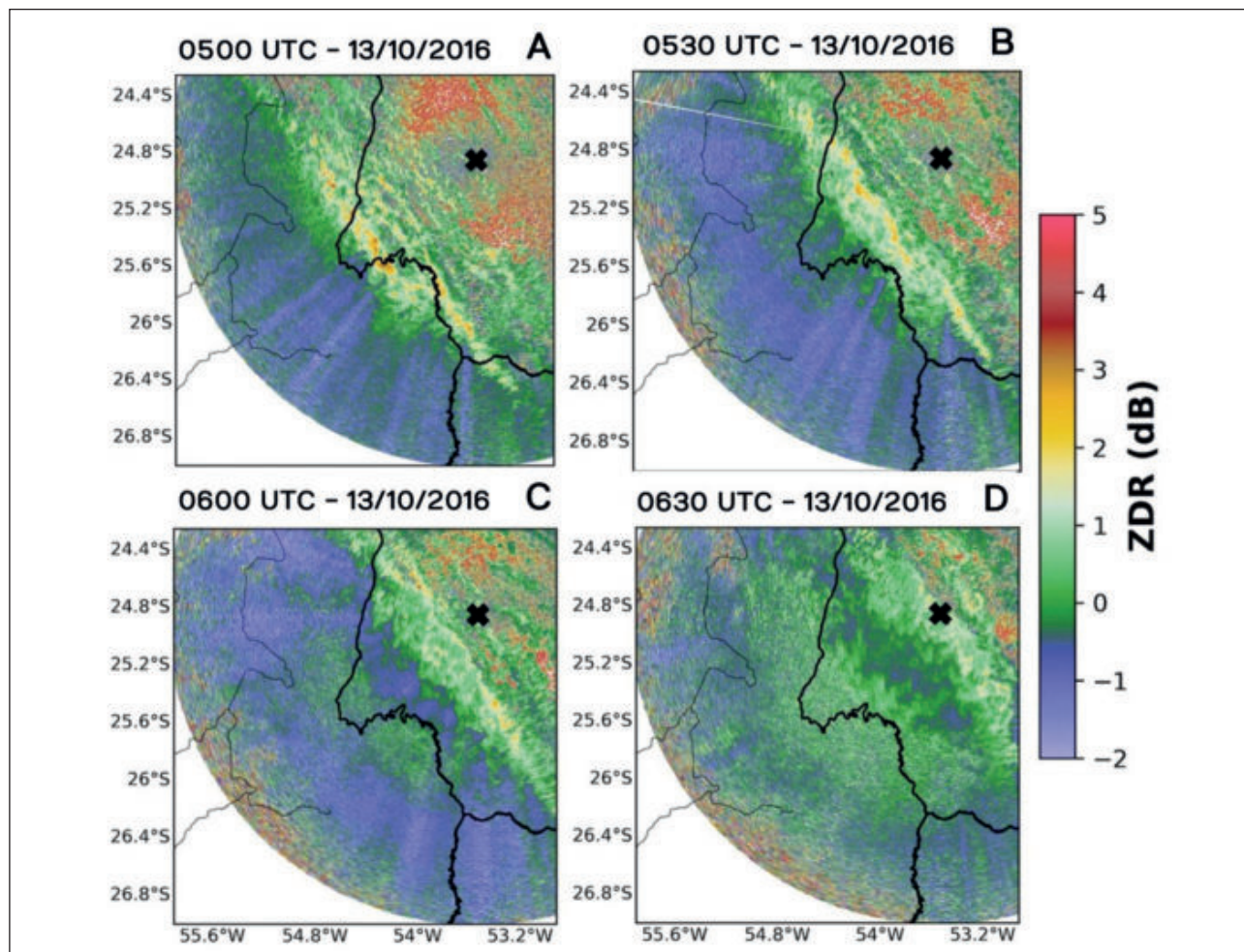


Figura 10 Ídem Figura 6, exceto para os horários A. 0500 UTC; B. 0530 UTC; C. 0600 UTC e D. 0630 UTC.

11A). As regiões com maiores valores aumentam com o passar do tempo (Figura 11B a 11D), indicando uma possível presença de granizo.

A segunda LI apresentou deslocamento semelhante ao primeiro caso, com trajetória de sudoeste para nordeste e valores superiores a 50 dBZ ao longo da região convectiva (Figura 12A a 12D). Nota-se que o Pulserad representou bem os núcleos convectivos e a assinatura de mesoescala, além da magnitude da refletividade ser próxima da observada no radar (Figura 12A a 12D). A exceção novamente é a ampla região estratiforme na retaguarda da LI, que não é representada pelo Pulserad.

As áreas convectivas por sua vez aparecem com aspecto mais amplo no Pulserad, enquanto que nas imagens de radar essa faixa tem aspecto mais

estrito. Essa questão pode ser importante quando deseja-se utilizar estimativas de precipitação de maneira localizada, podendo acarretar em erros no posicionamento da estimativa da chuva. Isso é observado especialmente nas células de convecção posicionadas a frente da LI, onde o Pulserad tende claramente a superestimar a dimensão das células (Figura 12G e 12H), enquanto que nas imagens de radar as células correspondem a uma área menor (Figura 12C e 12D). No entanto, ao se comparar com a LI analisada anteriormente, esse caso foi melhor representado pelo Pulserad, visto que não foi observada segmentação da LI, que manteve a estrutura coerente com a do radar durante todo o período analisado. Além disso a magnitude dos valores de refletividade também foi mais próxima daquelas vistas pelo radar.

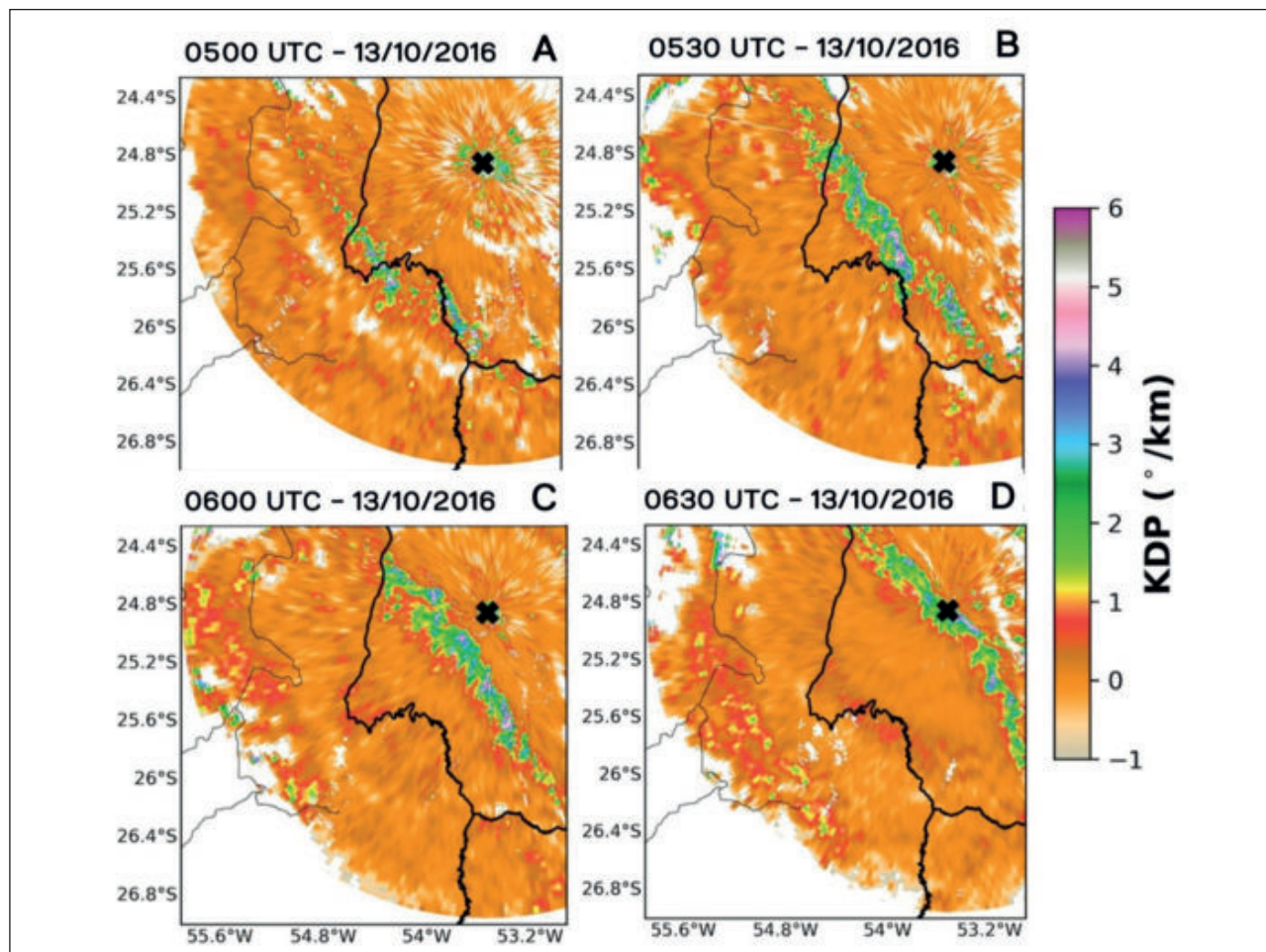


Figura 11 Sequência temporal do PPI de 1.5° do Kdp (°/km) para o dia 13 de outubro de 2016 no oeste do Paraná. A. 0500 UTC; B. 0530 UTC; C. 0600 UTC e D. 0630 UTC.

As seções verticais realizadas para regiões em que o Pulserad caracterizou os sistemas, mais uma vez indicam significativo desenvolvimento vertical da convecção (Figura 13B e 13C), com refletividade superior a 55 dBZ em alguns pontos. Na seção vertical feita sobre a célula isolada que se formou à nordeste do radar (azimute de 102°), é possível notar altos valores de Zdr desde a base da nuvem até a cerca de 5 km de altura (Figura 13D). Esses valores indicam a presença de gotas grandes, que possivelmente estão associadas à chuva intensa. Logo acima da camada com Zdr elevado, alguns valores próximos de 0 dB podem ser notados, e podem estar associados à formação de granizo nessa região, visto que o Kdp atinge 5,5°/km (Figura 13B), e a refletividade tem valores de aproximadamente 55 dBZ nessa mesma região (Figura 13B). Na seção feita sobre a LI foi observado Kdp em torno de 7 °/km (Figura

13G), Zdr próximo de 0 dB (Figura 13E) e refletividade em torno de 55 dBZ (Figura 13C), que também são um forte indicativo da presença de granizo.

Um outro ponto importante é que de acordo com a sondagem das 0000 UTC em Foz do Iguaçu (figura não apresentada), a isoterma de zero grau encontrava-se em torno de 5000 metros de altura, ou seja, a camada abaixo estava com temperaturas elevadas, tornando o processo de derretimento do gelo mais efetivo, explicando em parte a presença de gotas grandes próximas da superfície (altos valores de Zdr) e elevado conteúdo de água observado nos valores de Kdp. O fato de que o Pulserad apresentou valores próximos dos observados no radar, provavelmente está associado à ocorrência de hidrometeoros em diferentes fases no interior das nuvens.

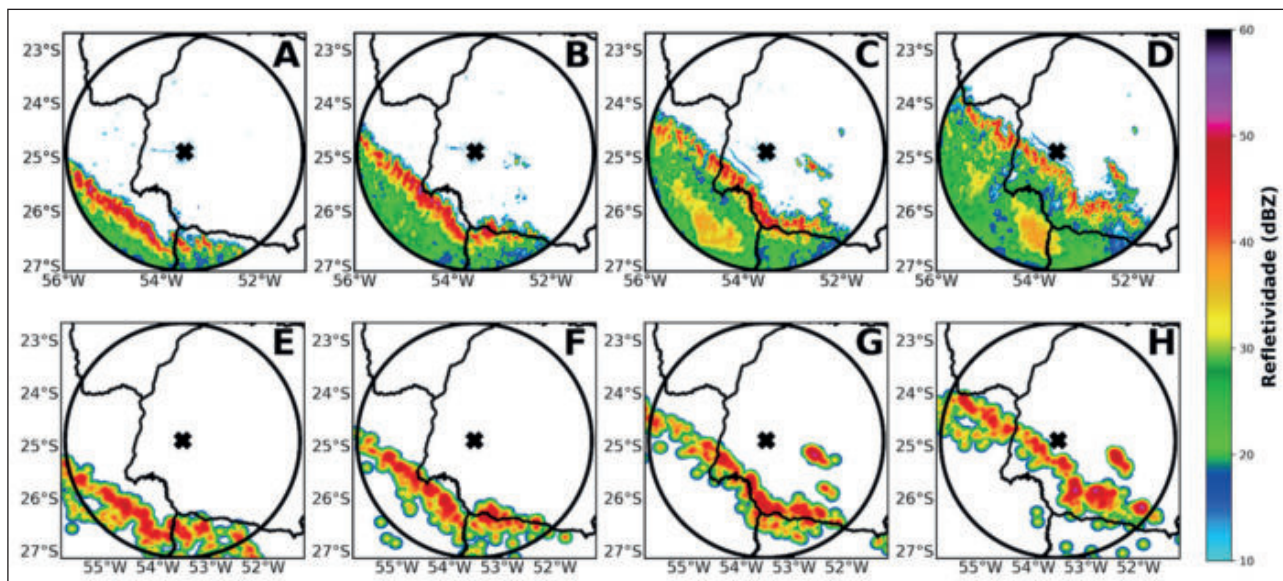


Figura 12 Idem Figura 5, exceto para o dia 02 de novembro de 2016. A. 0400 UTC radar; B. 0500 UTC radar; C. 0600 UTC radar; D. 0700 UTC radar. E. 0400 UTC Pulserad; F. 0500 UTC Pulserad; G. 0600 UTC Pulserad; H. 0700 UTC Pulserad.

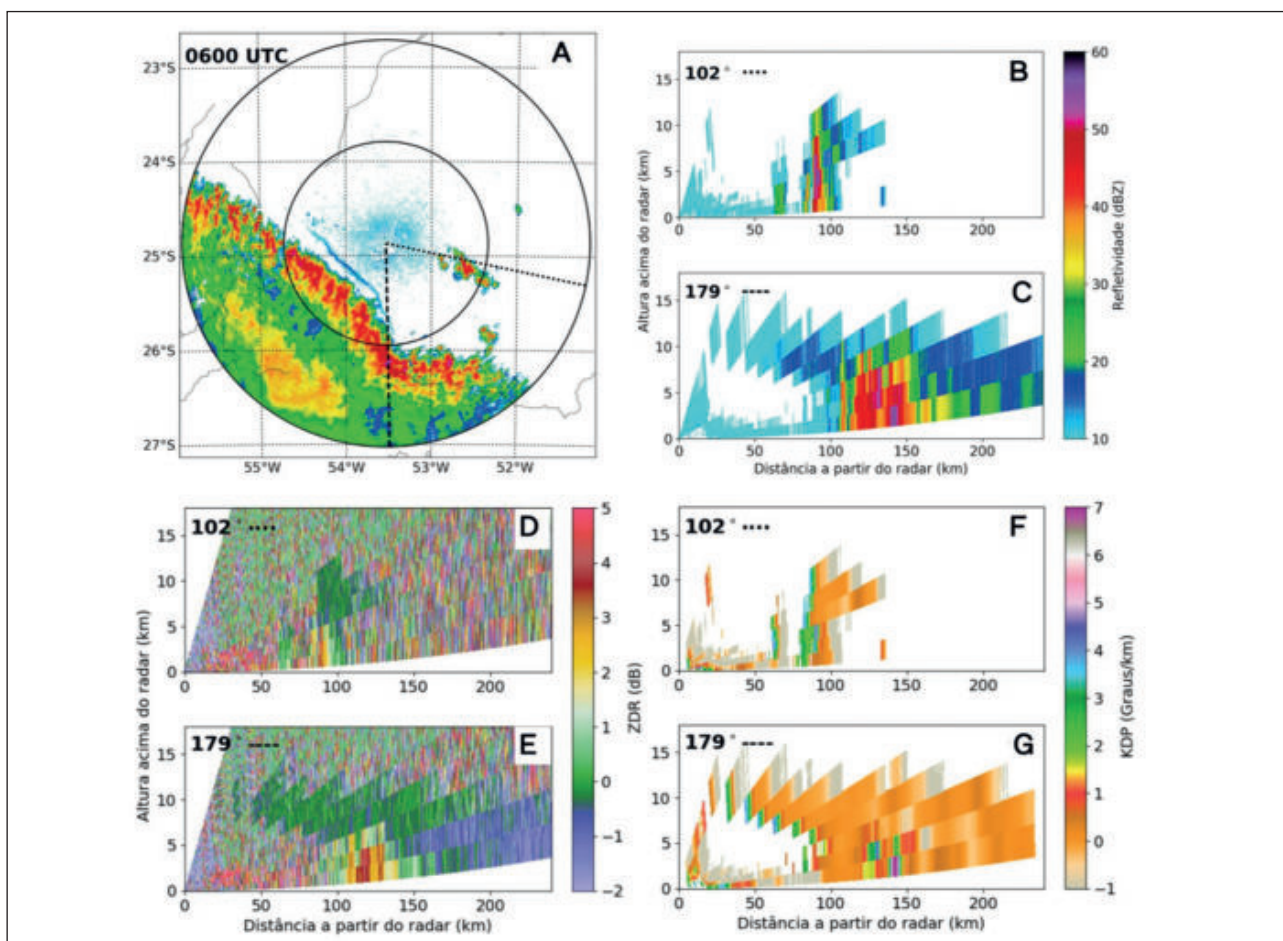


Figura 13 A. PPI da refletividade (dBZ) para a elevação de 0.5° com as retas tracejadas e pontilhadas em preto indicando as seções verticais para os ângulos azimute de 179° e 102° , respectivamente. Seções verticais da B. Refletividade (dBZ) para 102° ; C. Refletividade (dBZ) para 179° ; D. Zdr (dB) para 102° ; E. Zdr (dB) para 179° ; F. Kdp ($^\circ/\text{km}$) para 102° e G. Kdp ($^\circ/\text{km}$) para 179° . Imagens referentes ao dia 02 de novembro de 2016 às 0600 UTC.

Nas seções verticais feitas às 0500 UTC sobre duas regiões com forte convecção nota-se que a convecção estende-se até aproximadamente 10 km de altura, sendo que os maiores valores de refletividade estão nos dois primeiros feixes (Figura 14B e 14C). Os pontos com maior refletividade (em torno de 55 até 60 dBZ) coincidem com $Z_{dr} < 0$ (Figura 14D e 14E), ou seja, podem ser representativos da presença de granizo. O K_{dp} também é bastante variável nessa região, porém possui valores altos em diversos pontos, que pode estar relacionado com a presença de granizo assim como a grande concentração das gotas (Figura 14F e 14G). Mais uma vez a presença de hidrometeoros em diferentes fases, assim como a convecção profunda e presença de gotas grandes

(possivelmente associadas à intensa precipitação) estiveram associadas à regiões bem caracterizadas pelo Pulserad.

4 Conclusões

De forma geral o Pulserad foi capaz de caracterizar a maior parte das regiões convectivas observadas na refletividade do radar, contudo em alguns momentos, especialmente no primeiro caso analisado, o Pulserad subestimou os valores. As regiões estratiformes, como era de se esperar, não foram identificadas, e isso se deve ao fato de que essas regiões tipicamente produzem baixa ou nenhuma atividade elétrica. Foram observadas diferenças no formato

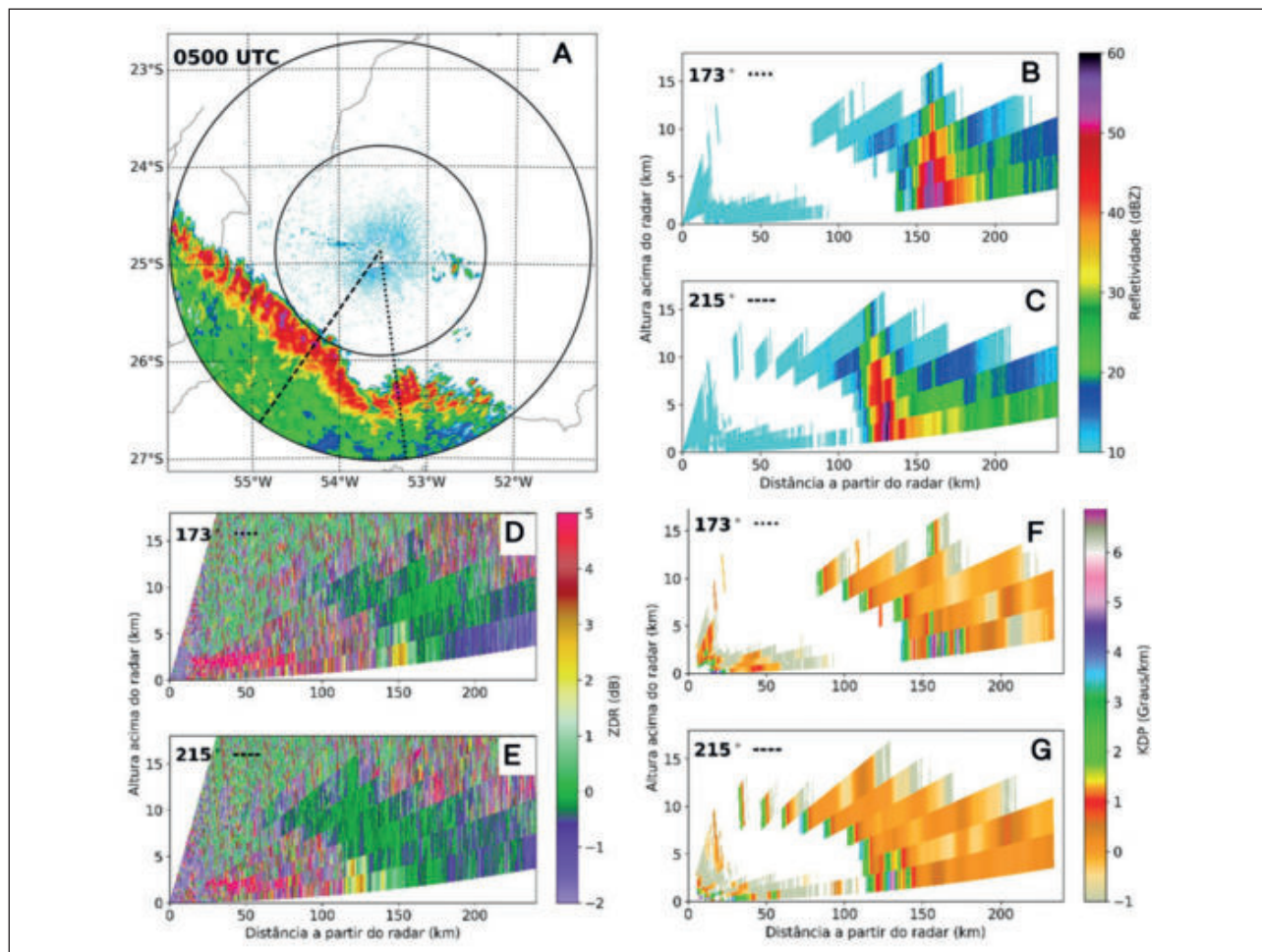


Figura 14 A. PPI da refletividade (dBZ) para a elevação de 0.5° com as retas tracejadas e pontilhadas em preto indicando as seções verticais para os ângulos azimute de 215° e 173° , respectivamente. Seções verticais; B. Refletividade (dBZ) para 173° ; C. Refletividade (dBZ) para 215° ; D. Z_{dr} (dB) para 173° ; E. Z_{dr} (dB) para 215° ; F. K_{dp} ($^\circ/\text{km}$) para 173° e G. K_{dp} ($^\circ/\text{km}$) para 215° . Imagens referentes ao dia 02 de novembro de 2016 às 0500 UTC.

e na área da convecção, que podem ser significativas quando deseja-se utilizar esses dados para fornecer estimativas de precipitação. Porém o formato da LI foi bem caracterizado na maior parte período analisado.

Quanto às regiões identificadas pelo Pulserad, notou-se uma característica de maior profundidade vertical da convecção, bem como em algumas seções verticais foi observada a presença de grande conteúdo de água e hidrometeoros em forma de gelo, que por sua vez possuem importante papel na eletrificação das nuvens. Enquanto que as regiões não identificadas pelo Pulserad, apresentaram menor estrutura vertical e convecção restrita às camadas mais baixas, assim como menores indicativos de presença de gelo no interior das nuvens. Contudo, mesmo se tratando de um estudo de caso, esses resultados indicam que produtos como o Pulserad, que utilizam dados de DEA para descrever a convecção, podem ser muito úteis na caracterização de áreas convectivas e detecção de tempestades, servindo de suporte para regiões sem a presença de radares meteorológicos ou até mesmo serem utilizados como informação complementar aos radares.

5 Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia (PPGMET), por disponibilizar a estrutura necessária para a realização deste trabalho, assim como a Coordenação de Aper-

feiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de mestrado vinculada a esta pesquisa. Os autores também agradecem ao Simepar e a Earth Networks por disponibilizarem e permitirem o uso dos dados apresentados neste estudo.

6 Referências

- Bringi, V.N. & Chandrasekar, V. 2004. *Polarimetric Doppler Weather Radar - Principles and Applications*. Cambridge, Cambridge University Press, 636p.
- Brooks, H.E.; Lee, J.W. & Craven, J.P. 2003. The spatial distribution of severe thunderstorm and tornado environments from global reanalysis data. *Atmospheric Research*, 67: 73-94.
- Cavalcanti, I.F.A. 2012. Large scale and synoptic features associated with extreme precipitation over South America: A review and case studies for the first decade of the 21st century. *Atmospheric Research*, 118: 27-40.
- Earth Networks. 2017a. Pulserad solution: Overview. Disponível em: <https://www.earthnetworks.com/wp-content/uploads/2017/01/PS_PulseRad_EarthNetworks.pdf>. Acesso em: 5 Jun. 2018.
- Earth Networks. 2017b. Earth Networks Lightning Sensor - Electrical, mechanical and environmental specifications. Disponível em: <https://www.earthnetworks.com/wp-content/uploads/2017/06/Lightning_Sensor_Techspecs_DataSheet.pdf>. Acesso em: 16 Ago. 2018.
- Fukau, S. & Hamazu, K. 2014. *Radar For Meteorological and Atmospheric Observations*. Tokyo, Springer, 537p.
- Liu, C.; Marshall, R.S.; Novakovskaia, E. & Sloop, C.D. 2013. Using Lightning Data to Generate Proxy Reflectivity Data. Disponível em: <<https://patentimages.storage.googleapis.com/70/54/a7/0c967b1c9c9007/WO2013109601A1.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2019.
- Rauber, R.M. & Nesbitt, S. 2018. *A Radar Meteorology: A First Course*. New Jersey, John Wiley & Sons, 461p.
- Wilson, J.W.; Crook, A.N.; Mueller, C.K.; Sun, J. & Dixon, M. 1998. Nowcasting thunderstorms: A status report. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79 (10): 2079-2100.