

**Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**

---

## Controle de qualidade e visualização de dados de radares meteorológicos

Renan Henrique Luz Seluzniak<sup>1</sup>

Programa de Pós Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, UFPR, Curitiba, PR

Tiago Martinuzzi Buriol<sup>2</sup>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná, IFPR, Curitiba, PR

Cesar Beneti<sup>3</sup>

Instituto Tecnológico SIMEPAR, Curitiba, PR

Sergio Scheer<sup>4</sup>

Universidade Federal do Paraná, UFPR, Curitiba, PR

**Resumo.** Análises e estudos meteorológicos permitem realizar previsões sobre o clima e antever eventos severos como enchentes, tempestades e tornados. Muitas dessas análises baseiam-se em dados gerados por modelos numéricos ou obtido por sensores em satélites e radares meteorológicos, além de pluviômetros, distômetros e outros. Radares meteorológicos têm a característica de possibilitar a previsão de eventos severos à curto prazo, ou seja, por meio dos dados obtidos por esses equipamentos é possível identificar e monitorar tempestades severas, ocorrência de granizo. Nesse contexto, sistemas de processamento e visualização interativa são de grande importância pois auxiliam a análise e consequente tomada de decisão com base na observação desses dados. No entanto, considerando o desenvolvimento da tecnologia de radares ocorrida nos últimos anos, processar e visualizar grandes quantidades de dados tem se tornado um desafio. Radares de dupla polarização, por exemplo, geram cerca de dez vezes mais informações que radares de polarização simples, mas também geram mais ruídos e informações que precisam ser filtradas. Este trabalho relata o desenvolvimento de um sistema interativo para processamento e visualização de dados de radares meteorológico, bem como a implementação de um algoritmo para o controle da qualidade dos dados. O algoritmo desenvolvido consiste em adaptações realizadas a partir de algoritmos encontrados na literatura, mas com uma preocupação maior em relação ao desempenho. A ideia tem sido buscar um equilíbrio entre o tempo de processamento e a acurácia do resultado para que o filtro desenvolvido possa ser integrado a um sistema de visualização interativo. Os resultados obtidos são apresentados e discutidos.

**Palavras-chave.** Radar Meteorológico, Controle de Qualidade, Visualização Interativa

---

<sup>1</sup>renan.seluz@gmail.com

<sup>2</sup>tiago.buriol@ifpr.edu.br

<sup>3</sup>beneti@simepar.br

<sup>4</sup>scheer@ufpr.br

## 1 Introdução

A tecnologia de radares meteorológicos tem se desenvolvido e evoluindo consideravelmente nos últimos anos, tornando-se cada vez mais acessível e gerando um volume de dados cada vez maior [1]. A partir de radares que realizam coleta de dados com alta precisão, novas informações surgem sem haver, ainda, um conhecimento completo sobre o que podem representar para um meteorologista. Assim obter informações úteis, de forma fácil e rápida, a partir desses dados, tornou-se um desafio [2]. Em geral, os sistemas de visualização de dados de radar tradicionais não possuem a capacidade de analisar todas estas novas informações. Por essa razão, a comunidade internacional tem incentivado o desenvolvimento colaborativo de ferramentas *open source* possam auxiliar os interessados a acessar, processar e visualizar esses dados.

Os modernos radares de dupla polarização geram informações que podem ser de grande valor como elementos a serem avaliados em algoritmos computacionais para eliminar dados afetados por ruídos e outras interferências [3]. Assim, o desafio inicial passa a ser desenvolver ferramentas que permitam analisar *a priori* estas novas informações e entender melhor como elas podem ser úteis para identificar dados "ruins" e auxiliar no controle de qualidade dos dados. Uma vez que se tenha conhecimento de como utilizar essas novas informações disponíveis, o desafio passa a ser desenvolver algoritmos eficientes e eficazes que possam realizar um efetivo controle de qualidade nos dados e, ainda, serem integrados a um sistema de visualização interativa.

Este trabalho é um desdobramento de esforços que vêm sendo realizados, no instituto tecnológico SIMEPAR, visando o desenvolvimento de novas ferramentas interativas de visualização de dados de radares meteorológicos [4]. Busca-se um sistema para visualização interativa, que possa prover ao analista controles gráficos interativos e ferramentas para a exploração visual e processamento dos dados, incluindo filtros para controle de qualidade.

Os objetivos deste trabalho incluem, contribuir no desenvolvimento do software de visualização, usando-o como plataforma de testes para o desenvolvimento de algoritmos para controle de qualidade dos dados. Neste trabalho é apresentado o sistema de visualização RadEx e o desenvolvimento de um algoritmo para o controle de qualidade dos dados. Mais especificamente foi desenvolvido um filtro para eliminação de dados "ruins" e foi feita a comparação com outros algoritmos para a sua validação.

## 2 Coleta de dados e controle de qualidade

Radares meteorológicos geram dados de precipitação a partir da emissão de feixes de ondas eletromagnéticas emitidos horizontalmente (varredura azimutal) a cada  $1^\circ$ , completando os  $360^\circ$  e em diferentes elevações da antena, ou seja, diferentes inclinações verticais. Um volume de dados típico de um dos radares operado pelo SIMEPAR corresponde a uma sequência de 360 varreduras azimutais com 14 diferentes elevações da antena e 800 pontos igualmente espaçados ao longo de um feixe de 200 km. Por fim, tem-se uma grade em coordenadas polares com resolução de  $360 \times 14 \times 800$ , completando 4.032.000 pontos. Cada um destes pontos podem conter dezenas de variáveis associadas a ele. A cada 10 minutos é gerado um volume de dados.

A partir desses dados são obtido “produtos”, que são imagens 2D representado uma ou mais variáveis (momentos), seja como uma projeção de uma das elevações ou um corte no volume. Dentre as dezenas de variáveis que um radar pode medir, destaca-se a refletividade ( $Z$ ) que é um fator entre a irradiância emitida pelo radar e a recebida por ele depois de retroespalhadas pelos hidrometeoros (gotas de chuva) presentes na atmosfera. A unidade utilizada é o dBZ, que é uma escala logarítmica da refletividade. Os valores variam entre -24 dBZ zero e 72 dBZ e quanto maiores forem esses valores, maiores serão os diâmetros das gotas presentes no volume medido e, conseqüentemente, maior será a intensidade de precipitação.

A qualidade dos dados adquiridos a partir de radares meteorológicos é comumente afetada por “ruídos” indesejados, ocasionados pela presença de insetos, pássaros, partículas suspensas no ar, propagações anômalas de sinal e acidentes de topografia. Essas interferências resultam em ecos (sinais) que não correspondem à precipitação, o que pode comprometer a análise do meteorologista na observação de eventos severos e previsão a curto prazo, limitando a sua capacidade avaliação (Figura 1). Por essa razão, é importante a realização do controle de qualidade.

Existe uma grande quantidade de dados “não meteorológicos” que são captados pelo radar, podendo ocorrer devido a diversos fatores, como por exemplo, fatores mecânicos (da antena), climáticos, biológicos e topológicos. Alguns tipos de dados que não representam elementos meteorológicos são chamados de *Clutters*, os quais podem ser classificados como: propagações anômalas (AP), ecos de terreno (GC) e ecos de mar (SC).



Figura 1: Exemplo de dados contendo apenas ecos que não representam precipitação (esquerda), e de dados contendo dados ruins misturados com dados de chuva (direita)

Propagações anômalas são tipos de interferências que podem levar a uma significativa contaminação nos dados de radar por elementos topográficos, normalmente não detectados pelo radar. São causadas pela mudança na direção de propagação da energia emitida pelo radar devido a variações nas condições atmosféricas. Com isso, o raio de propagação pode atingir a superfície da terra, mar e rios (causando ecos de terreno e de ecos de mar) e retornar sinais que se confundem com sinais de precipitação, principalmente quando esses sinais ocorrem em regiões contendo chuva (Figura 1).

A seguir é apresentado o desenvolvimento de um filtro, ou algoritmo, para a remoção de dados ruins visando o controle de qualidade dos dados de radares meteorológicos. O algoritmo desenvolvido foi adaptado a partir de outros algoritmos disponíveis na literatura. Uma característica do filtro desenvolvido é a de utilizar momentos polarimétricos para tomar a decisão sobre o dado representar precipitação ou não. Além disso, o desen-

volvimento focou no equilíbrio entre acurácia e desempenho computacional, considerando que o algoritmo será integrado a um sistema de visualização interativa. Por fim, os resultados foram comparados com os resultados do algoritmo de classificação de hidrometeoros, disponível nos modernos radares de dupla polarização.

### 3 Um algoritmo para o controle de qualidade

O filtro desenvolvido utiliza três momentos (variáveis) polarimétricos, ou seja, obtido a partir de radares de dupla polarização, além da refletividade e de o produto chamado *Clutter Corretion* (CC). O radar polarimétrico possui uma maior capacidade de identificação de ecos, o que é útil para o desenvolvimento de algoritmos para o controle de qualidade dos dados visando a redução de dados ruins [5,6]. Os momentos utilizados são o Refletividade Diferencial (*ZDR*), Correlação Co-polar ( $\rho_{HV}$ ) e Diferencial de Fase Específica (*KDP*). Além desses momentos, foi utilizado o produto chamado de *Clutter Corretion* (CC) [7]. A ideia do CC é revelar a região de *Clutter* por meio de cálculos baseados com o retorno da intensidade do sinal, esses cálculos são realizados no próprio *hardware* do radar e está disponível dentre os dados coletados.

O primeiro cálculo realizado no filtro é com relação ao CC, como ele identifica-se possíveis regiões de *Clutter*, a realização da operação de subtração entre refletividade e CC, vai resultar no valor corrigido da refletividade, sem os *Clutters* [7], a equação para a refletividade corrigida é descrita como:

$$Z_{corr} = Z - CC \quad (1)$$

Na próxima etapa é utilizado o momento *KDP* para identificar sinais fracos ou incertos, os quais são considerados como *Fill Value* (valor de preenchimento). Removendo os possíveis *Clutters*, é realizado um *threshold* no intervalo de  $-2^\circ/\text{km}$  e  $3^\circ/\text{km}$ , o intervalo inferior foi definido a partir de análise empírica *KPOL* de chuva leve sob condições normais de funcionamento e o intervalo superior foi determinado a partir da análise empírica de chuva mais pesada na região de Kwajalein (*Z* perto de 52 dBZ), em que *KDP* valores não excedam  $2.4^\circ/\text{km}$  determinado a partir de análise tanto do radar e dados disdrômetro [8]. Então, após essa etapa, é realizada a comparação entre as matrizes de *Z* e *KDP*, caso o valor de *KDP* esteja fora do intervalo, o valor da matriz de *Z* é eliminado. De forma similar, é aplicado um *threshold* no momento *ZDR* onde os valores, em valor absoluto, maiores que 2.3 dB são eliminados [6].

Então, é feito um *threshold* no momento  $\rho_{HV}$  onde valores abaixo de 0.95, são removidos, porém a remoção destes valores pode ocasionar a remoção de granizo em certos casos [9], e por essa razão, é realizado um teste para recuperar possíveis áreas de granizo removidas. Esse teste necessita de informações do  $\rho_{HV}$  e de *Z*, para  $\rho_{HV}$  é necessário que o valor do dado seja abaixo de 0.95 e para *Z* são necessários dois teste, a primeira é verificar se o valores de ECHOtop (valor no topo da nuvem) de pelos menos 18 dBZ estão acima de 8 km e o segundo é verificar o seu valor na primeira elevação é maior que 45 dBZ (representando granizo) [9]. Para a realização do cálculo ECHOtop e verificar se o valor de pelo menos 18 dBZ esta acima de 8 km, é preciso fazer o cálculo da altitude para cada ponto a matriz de dados. O cálculo da altitude é dado por [10]:

$$h = \sqrt{d^2 + R^2 + 2dR \sin(\phi)} - R + a \quad (2)$$

Onde  $h$  é a altitude do dado,  $d$  é a distância até o radar,  $R$  é o raio da terra,  $\phi$  é o ângulo de elevação da antena do radar e  $a$  é a altitude da antena do radar com relação ao solo. Com o cálculo da altitude, é possível determinar o ECHOtop para 18 dBZ e assim recuperar dados que foram removidos e não deviam ter sido retirados. Por fim, o último *threshold* a ser aplicado é em relação ao próprio  $Z$ , todos os valores abaixo de 5 dBZ que permaneceram depois de todos os testes, serão removidos, pois valores baixos de  $Z$  são comumente afetados, portanto devem ser desconsiderados [8].

Para finalizar, é realizado um procedimento baseado em texturas no momento  $Z$ , esta procedimento é feita para eliminar os pixels que numa certa área eles não possuem vizinhos, e portanto são representados como *Clutters*. Em [11] a filtro de textura é realizado utilizando o desvio padrão da matriz de  $Z$  para uma certa distância. Para acelerar o processamento computacional, este procedimento foi feito utilizando a mediana (*scipy.ndimage.filters.median*) da biblioteca SciPy.

A seguir é apresentado o fluxograma do filtro desenvolvido:

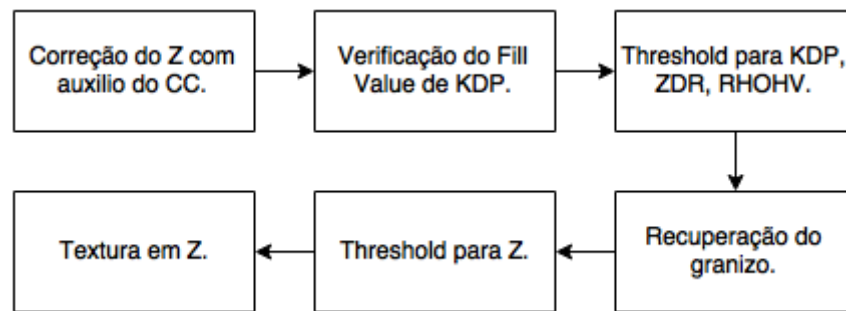


Figura 2: Fluxograma descrevendo o algoritmo desenvolvido

## 4 Resultados

O resultado da aplicação do filtro desenvolvido para três diferentes datas é representado na figura 4, em que é mostrada a diferença dos dados coletado pelo radar em seu formato original e o dado corrigido.

Para a validação do filtro apresentado, foi feita a comparação dos resultados obtidos com os resultados do produto chamado Classificação de Hidrometeoros (HMC). O produto HMC encontra-se disponível entre os dados gerados pelos modernos radares de dupla polarização. Trata-se de um algoritmo baseado em lógica Fuzzy para identificação de hidrometeoros e classificação em dados bons ou dados ruins.

Como resultados da comparação do filtro desenvolvido com o algoritmo HMC, obteve-se que para o dia 09/01/2016, 04h08 UTC ( Fig. 4 A e D) a porcentagem de dados bons corretamente identificados foi de 92.75%, a porcentagem de dados ruins corretamente identificados foi de 85.48%. Para o dia 26/01/2016, hora 21h30 UTC ( Fig. 4 B e E) a

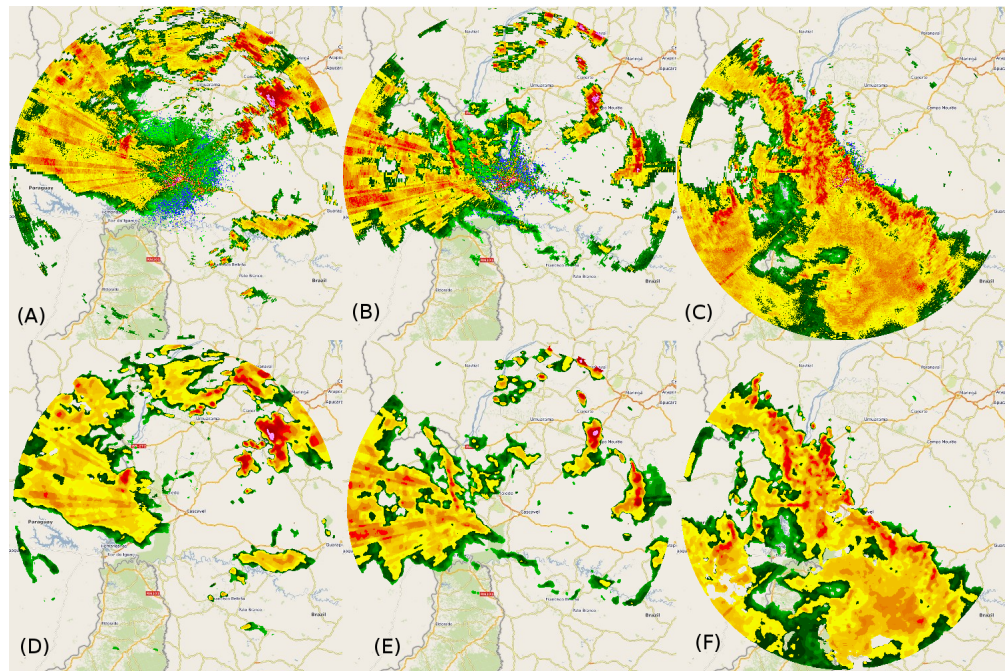


Figura 3: Dados originais (A, B e C) e dados filtrados (D, E e F)

porcentagem de dados bons corretamente identificados foi de 95.35%, a porcentagem de dados ruins corretamente identificados foi de 78.20%. Para o dia 19/12/2015, hora 12h00 UTC ( Fig. 4 C e F) a porcentagem de dados bons corretamente identificados foi de 92.67%, a porcentagem de dados ruins corretamente identificados foi de 44.21%.

## 5 Conclusão

Nesse trabalho, foi implementado um algoritmo para controle de dados de radares meteorológicos em que foram utilizadas três variáveis polarimétricas, além da refletividade e um produto pré-processado. O foco foi realizar uma adaptação a partir de algoritmos disponíveis na literatura de modo a realizar simplificações, buscando obter-se um equilíbrio entre acurácia e desempenho computacional, para que ser integrado ao sistema de visualização interativa. Os resultados obtidos pela aplicação desse algoritmo foram comparados aos resultados do algoritmo de classificação de hidrometeoros, disponíveis dentre os dados gerados pelo radar polarimétrico.

## Referências

- [1] C. Beneti, T. M. Buriol, C. Oliveira, and A. Gama. Experiencing new ways to visually explore polarimetric radar data using numpy and pygame. In *94th AMS Annual Meeting*, Atlanta, 2014.

- [2] M. Heistermann, S. Collis, M. J. Dixon, S. Giangrande, J. J. Helmus, B. Kelley, J. Koistinen, D. B. Michelson, M. Peura, T. Pfaff, and D. B. Wolff. The emergence of open-source software for the weather radar community. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(1):117–128, 2015.
- [3] V. Lakshmanan, J. Krause C. Karstens, K. Elmore, A. Ryzhkov, and S. Berkseth. Which polarimetric variables are important for weather/no-weather discrimination? *Journal Of Atmospheric And Oceanic Technology*, 32:1209–1223, Jun 2015.
- [4] T. M. Buriol, R. Henrique L. Seluzniak, C. Beneti, and S. Scheer. Radex - um sistema para visualização interativa e análise de dados de radares meteorológicos. In *XXXVI CILAMCE*, 2015.
- [5] V. Chanthavong, J. Holmes, R. Keränen, D. Paris, J. Selzler, A. Siggia, and T. Stordell. Mitigation of sea clutter and other non-stationary echoes based on general purpose polarimetric echo identification. In *ERAD 2010 - The Sixth European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology*, 2010.
- [6] V. Lakshmanan, C. Karstens, J. Krause, and L. Tang. Quality control of weather radar data using polarimetric variables. *Journal Of Atmospheric And Oceanic Technology*, 31:1234–1249, Jun 2009.
- [7] J. E. E. Selmann. Quantitative aspects of clutter highpass filtering as used by dwd. In *30th International Conference on Radar Meteorology*, 2001.
- [8] D. A. Marks, D. B. Wolff, L. D. Carey, and A. Tokay. Quality control and calibration of the dual-polarization radar at kwajalein, rmi. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 28:181–196, Aug 2011.
- [9] L. Tang, J. Zhang, C. Langston, J. Krause, K. Howard, and V. Lakshmanan. A physically based precipitation-nonprecipitation radar echo classifier using polarimetric and environmental data in a real-time national system. *Weather and Forecasting*, 29:1106–1119, Oct 2014.
- [10] J. Zhang, K. Howard, and J. J. Gourley. Constructing three-dimensional multiple-radar reflectivity mosaics: Examples of convective storms and stratiform rain echoes. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 22:30–42, 1 2005.
- [11] M. Dixon and A. Seed. Developments in echo tracking - enhancing titan. *8th European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology*, pages 1–14, 2014.