Monitoramento dos Traços de Cinzas do Vulcão Chileno Puyehue -Cordón Caulle

[1]Simone Sievert da Costa, Wagner Flauber, Saulo de Freitas,
Juan Ceballos e Jurandir Ventura
CPTEC/INPE- Cachoeira Paulista – São Paulo – [1]simone.sievert@cptec.inpe.br

RESUMO – O vulcão chileno Puyehue entrou em erupção várias vezes no mês de Junho de 2011 e lançou elevadas concentrações de gases e aerossóis na atmosfera. Este fenômeno afetou seriamente o setor aéreo da América do Sul e da Oceania. Este artigo descreve o monitoramento realizado em tempo real no CPTEC, dos traços das cinzas do Puyehue através de dados de satélite e do modelo de transporte químico CATT-BRAMS. Resultados preliminares mostram que informações de satélites e de modelagem numérica são ferramentas essências e complementares para monitorar a posição da pluma e prever as possíveis áreas de risco.

ABSTRACT - The Chilean volcano Puyehue erupted several times during June 2011 and released high gases and aerosols concentrations. This event has seriously affected the airline industry and civil activities in South America. This article aims to describe the volcanic ash traces monitoring using satellite image and chemical transport model CATT-BRAMS. Preliminary results show that information from satellites and numerical modeling are complementary tools to monitor the plume position and predict the possible risk areas.

1 – INTRODUÇÃO - O complexo vulcânico Puyehue-Cordon Caulle, situado cerca de 950 km ao sul de Santiago, é formado por mais de 2000 vulcões que se estendem ao longo de 15 km do lado chileno da Cordilheira dos Andes. Destes, 125 são considerados geologicamente ativos, e aproximadamente 60 entraram em atividade nos últimos 450 anos. O último episódio ocorreu no em Junho de 2011, quando o vulcão Puyehue-Cordón de Caulle entrou em erupção no dia 04 e manteve intensa atividade até o final do mês. Durante o período, lançou quantidades significativas de gases e aerossóis na atmosfera, afetando o setor de transporte aéreo da América do Sul, as atividades civis, tais: como a agropecuária, turismo, distribuição de água e alimentos. O monitoramento das cinzas vulcânicas pelos grupos de pesquisa do CPTEC foi fundamental durante o evento, e este artigo visa descrever a metodologia adotada.

MATERIAIS E MÉTODOS - O CPTEC fez o acompanhamento das plumas vulcânicas do Puheyue em duas frentes de pesquisas aplicando ferramentas que são atualmente usadas no próprio centro: modelagem numérica da qualidade do ar e sensoriamento remoto. No âmbito da modelagem, previsões da trajetória da pluma vulcânica foram realizadas, pelo *Grupo de Modelagem* da *Atmosfera e Interfaces*, com base no modelo de transporte CATT-BRAMS (Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System, Freitas et al., 2007). As emissões de cinzas e SO_2 foram inseridas no modelo, que então simulou o transporte destes materiais para curto período de tempo (~ 1-6 horas) e também para alguns dias (72 horas). Com relação à área de satélite, foram empregadas três analise multicanal com intuito de inferir a presença da pluma vulcânica.

O primeiro método combina os canais do sensor *Imageador*/GOES12 : i) canal 2 (3,9 μm) - apresenta pequena absorção do vapor d'água e é sensível a fontes de calor (foco de queimadas, cinzas vulcânicas), ii) canal 4 (10,7 μm) - geralmente transparente, porém opaco na presença da cinza vulcânica. O segundo método combina os canais 1 (0,65 μm, radiação solar visível refletida) e 2 (3,9 μm, radiação emitida/refletida) do GOES12. Neste método, a superfície terrestre e o mar (quentes e pouco brilhantes) aparecem em tons marrons ou azuis escuros, nuvens baixas ("quentes" e brilhantes) em tons avermelhados, nuvens elevadas ("frias") em tons azulados. E a pluma vulcânica aparece mais brilhante (por reflexão de luz solar no visível), e mais "quente" (por reflexão de luz solar no canal 2) do que os demais alvos. A vantagem deste método é a fácil identificação da pluma na imagem, porém limita-se na presença da luz solar. O terceiro método consiste em representar a diferença das temperaturas de brilho dos canais 10.8 μm (IR10) e 12.0 μm (IR12) do SEVIRI *(Spinning Enhance Visible and Ingrared Imager)* do satélite Meteosat Segunda Geração (MSG). Estes canais, localizados na região espectral da janela atmosférica, são transparentes à radiação IR emitida pela superfície. O IR12 (conhecida como "dirty window") é menos transparente do que IR10, devido pequena absorção do vapor d'água próximo à superfície. Sendo assim, a diferença entre IR10 e IR12 é geralmente positiva sob condições de céu claro, e nula na presença de nuvens opacas. No entanto, esta configuração de sinal inverte na presença de cinzas vulcânicas, pois a absorção destas é maior em IR10 do que IR12. Conseqüentemente, a temperatura de brilho observada no IR10 é menor, e a diferença com o IR12 é geralmente negativa. Watson et al. (2004) apresenta material interessante sobre o comportamento espectral de canais no IR do sensor MODIS na presença de material vulcânico.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES - Figura 1 registra a nebulosidade e os traços de cinza vulcânica utilizando combinação multicanal do Imager/GOES. A combinação dos canais 2 e 4 (Fig. 1a) expressa a *temperatura aparente* observada, em que tons coloridos correspondem a temperaturas no canal 4 inferiores a -13°C. Interessante observar que o realce em azul da pluma próximo ao vulcão indica temperaturas mais baixas do que aquelas em verde associadas às regiões remotas ("calda" da pluma). Durante intensa atividade vulcânica, concentrações significativas do material vulcânico expelido à forte pressão atingem níveis altos da atmosfera. Parte do material, principalmente metais pesados e aerossóis, sofre deposição seca próximo ao local de erupção, e matérias menos densos e com maior tempo de residência são levados a longas distâncias pela circulação atmosférica. Figs. 1b e c mostram imagens composta dos canais 1 e 2 do Imager/GOES. Nestas composições, a pluma aparece bem delineada com geometria característica diferente das nuvens, e dois comportamentos do fluxo são evidenciados: o deslocamento progressivo da pluma paralela à Cordilheira dos Andes (região A), e a fumaça mais antiga alinhada com a circulação zonal (B). A Fig 1a sugere difusão da pluma para leste, enquanto que as Figs. b e c sugerem a presença de plumas difusas numa região

mais ampla. Observa-se a descontinuidade entre as porções diurna e noturna da imagem (Fig. 1c), quando os canais 1 e 2 são combinados. Fig. 2 mostra o canal IR10 em tom de cinza e a diferença entre IR10 e IR12 em realce. Nesta imagem observa-se nitidamente os traços de cinzas propagando-se sobre a América do Sul e Oceano Atlântico. Observa-se que a presença de nuvens frias no Pacífico Sul e na Patagônia mascaram a eventual difusão das plumas como sugerida na Fig. 1.

Figura 3 apresenta: i) a previsão da trajetória de SO_2 e do vento simulados através do modelo de transporte CATT-BRAMS, e ii) e a inferência dos traços da cinza vulcânica via imagens do sensor SEVIRI/MSG. As previsões, com 24 horas de antecedência, geradas pelo modelo CATT-BRAMS, utilizando dados meteorológicos analisados pelo próprio CPTEC, apresentou bons resultados quando comparados às imagens de satélite. O modelo eficientemente previu a dispersão e deslocamento do SO_2 associado à pluma vulcânica. A boa performance da previsão dos campos de vento foi essencial na previsão do deslocamento da pluma.

O vulcão entrou em erupção no dia 04 Junho de 2011 por volta das 2015UTC. Segunda dados do satélite CALIPSO, as cinzas atingiram 12 km de altura, acima dos níveis das nuvens que estavam presentes. Inicialmente, as plumas apresentavam deslocamento zonal, avançando sobre a Argentina em direção ao Oceano Atlântico (Fig. 3a), onde adquiriu uma componente de sudoeste e deslocou-se para leste. No dia 06, a pluma começou a apresentar uma componente meridional alinhada à Cordilheira dos Andes (Fig 3b), atingindo, o Paraguai e o Uruguai no dia 07. Ainda neste dia, a pluma avançou sobre o sobre o Brasil, sendo detectada sobre as regiões do Sul do país e Sul de SP, deslocando em direção ao Oceano Atlântico no dia 08 de Junho (Fig.3 c e d). Nos dias 09 (Fig 3e) e 13 (Fig 4) de Junho, observou-se a presença de cinza sobre o RGS que continuo impulsionada pelos ventos em direção ao país. No entanto, a passagem de um ciclone, mudou a direção dos ventos e conseqüentemente da pluma. No dia 15 de Junho, o Serviço Nacional Chileno de Geologia e Minerologia registrou a maior instabilidade, uma média de 6 abalos sísmicos por hora. Imagens de satélite mostram uma grande quantidade de material vulcânico sendo expelido (Fig. 4), porém devido ao escoamento zonal, estas plumas não atingiram o Brasil. Na segunda quinzena do mês de Junho, houve diminuição considerável das atividades vulcânicas, mas as autoridades chilenas mantinham o estado de atenção. Com relação ao produto de satélite, detectou-se a presença das cinzas vulcânicas até o final do mês, mas não da forma persistente como se observou nas primeiras duas semanas.

4 – CONCLUSÕES - Erupções vulcânicas lançam na atmosfera camadas espessas, genericamente chamadas por cinzas ou plumas vulcânicas, contendo, gases como vapor d' água, SO_2, CO_2 e aerossóis. Satélites podem observar a radiação térmica emitida e/ou solar refletida pelas plumas vulcânicas. Neste contexto, foram aplicados três métodos de detecção da pluma

empregando analise multicanal nas imagens dos satélites geoestacionários GOES e MSG. Os três métodos mostraram fundamentais no realce associado à pluma, sendo que a classificação mono-canal poderia ser ineficiente. O terceiro método destaca-se no potencial de monitorar as plumas vulcânicas durante todo o período (dia e noite) e na fácil interpretação - diferenciando nuvens e plumas vulcânicas. As previsões geradas pelo modelo de qualidade do ar CATT-BRAMS apresentou bons resultados quando comparados às imagens de satélite. O modelo previu com 24 horas de antecedência o deslocamento do SO_2 sobre a America do Sul e Oceano Atlântico. Os resultados deste estudo indicam que um sistema operacional baseado em informações de satélite geoestacionário e modelagem numérica tem o potencial de ser uma valiosa ferramenta de resposta emergencial para monitorar e prever a posição da pluma e as possíveis áreas de risco.

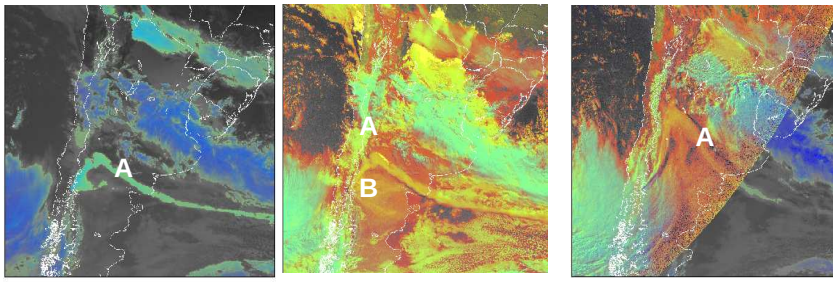


Figura 1 Composição multicanal dia 06/06/2011 - 1400 UTC [a) canais 2 e 4 (3,9 μm e 10,7 μm), b) canais 1 e 2 (0,65 μm e 3,9 μm)] e 2030 UTC [canais 1 e 2].

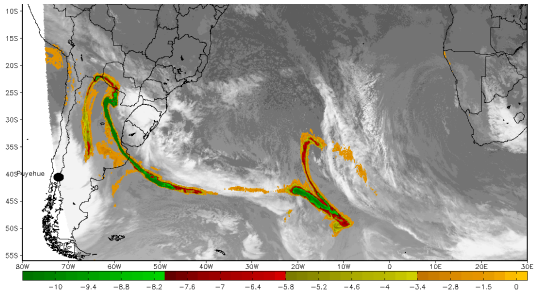
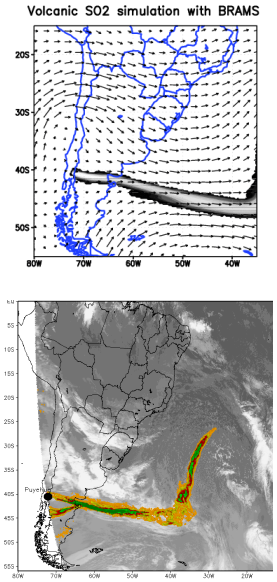
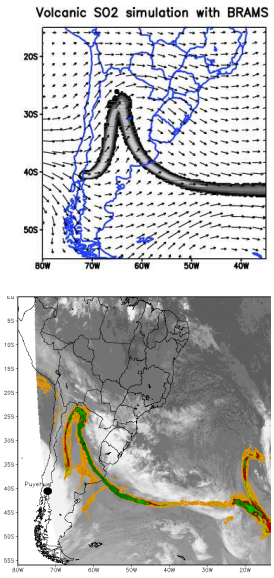


Figura 2 - Composição de imagens do canal IR10 (tom cinza), e a diferença entre IR10 e IR12 (em realce) do satélite METEOSAT para o dia 07/06/2011 às 0630UTC.

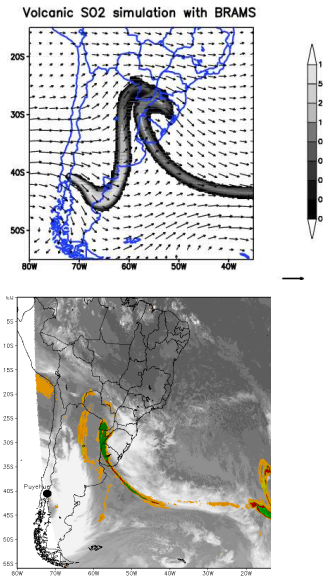
a) 06/06/11 – 0600UTC



b) 07/06/11 – 0400UTC



c) 07/06/11 – 1200Z



continuação

d) 08/06/11 – 0200UTC **e) 09/06/11 – 0200UTC**

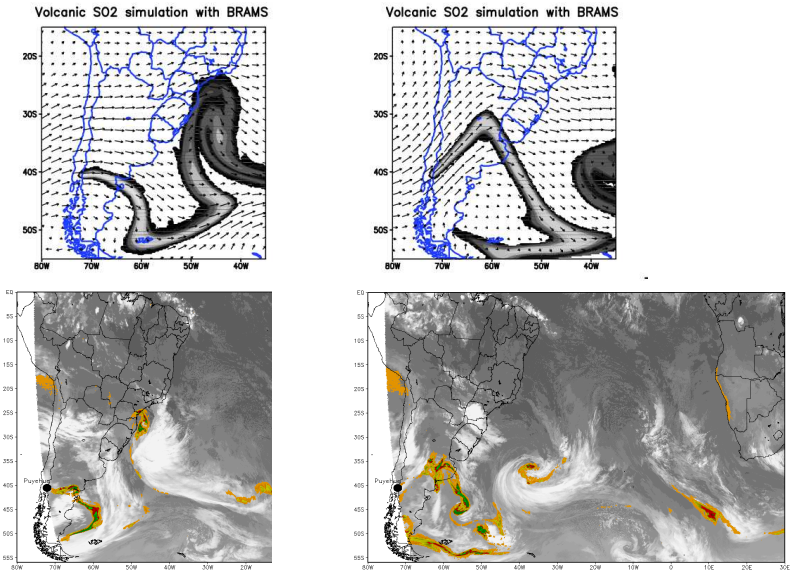


Figura 3 – Previsão do deslocamento de SO2 e do vento simulados através do modelo CATT-BRAMS [painel superior e terceira linha]. Imagens compostas do satélite SEVIRI/MSG: canal IR10 (tom cinza) e a diferença entre IR10 e IR12 (em realce) indicando os traços de cinzas vulcânicas [segunda linha e painel inferior] para o mesmo horário da simulação. Imagem de satélite do dia 09/06 estendida até 30^{o}E indica o alcance das plumas vulcânicas.

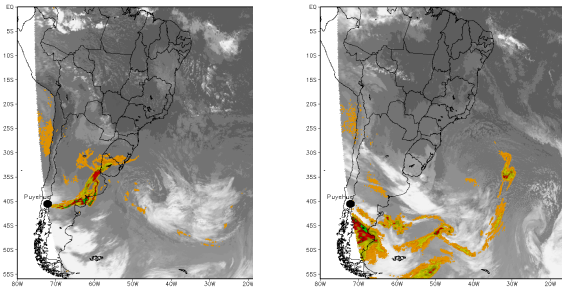


Figura 4 – Composição de imagens do canal IR10 (tom cinza), e a diferença entre IR10 e IR12 (em realce) do satélite METEOSAT para os dias: 13/06/2011 às 1830UTC e 15/06/2011 às 1200UTC.

5 – AGRADECIMENTOS - Os autores agradecem as equipes operacionais da DSA e DMD do CPTEC por trabalharem no desenvolvimento dos produtos e na página web, para que o sistema de monitoramento via satélite estivesse online em menos de 24 horas.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Watson, I.M., Realmuto, V.J., Rose, W.I., Prata, A.J., Bluth, G.J.S., Gu, Y., Yu, T., Thermal infrared remote sensing of volcanic emissions using the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), 2004, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol. 135, pp 75-89.

Freitas, S. R., K. Longo, M. Dias, R. Chatfield, P. Dias, P. Artaxo, M. Andreae, G. Grell, L. Rodrigues, A. Fazenda and J. Panetta.: The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS). Part 1: Model description and evaluation. Atmos. Chem. Phys. Discuss., 7., 8525-8569, 2007.