

## **IMPACTO DA MUDANÇA DE COBERTURA VEGETAL NA SIMULAÇÃO DE EVENTO METEOROLÓGICO EXTREMO SOBRE LINHAS DE TRANSMISSÃO NO MATO GROSSO DO SUL**

**THE IMPACT OF LAND COVER CHANGE ON EXTREME METEOROLOGICAL EVENT SIMULATION OVER TRANSMISSION LINES IN THE STATE OF MATO GROSSO DO SUL**

### ***Mônica Carneiro Alves Senna***

Doutora em Meteorologia Agrícola. Departamento de Análise Geoambiental, Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, RJ. monicasenna@id.uff.br

### ***Gutemberg Borges França***

Doutor em Sensoriamento Remoto da Atmosfera. Departamento de Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ. gutemberg@lma.ufrj.br

### ***Renato Gonçalves dos Santos***

Meteorologista. Centro de Operações da Prefeitura do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ. renato@lma.ufrj.br

### ***Célia Maria Paiva***

Doutora em Ciências Atmosféricas em Engenharia. Departamento de Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ. celia@lma.ufrj.br

### ***Audálio Rebelo Torres Jr***

Doutor em Engenharia Oceânica. Departamento de Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ. audalio@lamma.ufrj.br

### ***Igor Balteiro Pereira de Campos***

Graduando em Meteorologia. Departamento de Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ.

igor@lma.ufrj.br

## **RESUMO**

Neste trabalho são investigadas as condições atmosféricas no entorno de linhas de transmissão através de simulações de um evento meteorológico extremo, considerando diferentes cenários de cobertura vegetal. Foi utilizado o modelo atmosférico de mesoescala MM5. A simulação controle conseguiu capturar o sistema convectivo com uma boa precisão espaço-temporal, mas subestimou a magnitude do vento. A simulação que substituiu o cerrado por agricultura não-irrigada e pastagem não capturou o sistema convectivo devido às retroalimentações do albedo e da disponibilidade hídrica na circulação atmosférica. Já na simulação que substituiu o mosaico de agricultura e arbustos por agricultura não-irrigada e pastagem, a circulação atmosférica simulada foi alterada devido às retroalimentações da rugosidade do solo, aumentando a velocidade do deslocamento do sistema convectivo sobre a região. O sucesso da previsão de eventos extremos depende da contínua melhoria na previsão em mesoescala e da rede meteorológica observacional, além da utilização de uma cobertura vegetal realística.

**Palavras-Chave:** modelagem atmosférica; eventos extremos; linhas de transmissão; interação atmosfera-biosfera

## **ABSTRACT**

This paper evaluates the atmospheric conditions over transmission lines in simulations of an extreme meteorological event, considering different land cover scenarios. We used the mesoscale atmospheric model MM5. Although control simulation captured the convective system with a good spatio-temporal precision, it underestimated wind magnitude. The simulation that replaced cerrado for non-irrigated agriculture and pasture did not capture the system due to albedo and moisture availability feedbacks in the atmospheric circulation. In the simulation that replaced the mosaic of agriculture and shrubs for non-irrigated agriculture and pasture, the atmospheric circulation was altered due to soil roughness feedback, which increases the speed of the convective system propagation over the region. The success of extreme events forecast depends on constant improvements in the mesoscale forecast and in the meteorological observation density, as well the use of a realistic vegetation cover.

**Keywords:** atmospheric modeling; extreme events; transmission lines; atmosphere-biosphere interaction

## INTRODUÇÃO

O ambiente competitivo atual do setor elétrico brasileiro tem resultado na preocupação cada vez maior com o desempenho eletromecânico e com a segurança das Linhas de Transmissão (LTs). Para a instalação, controle e manutenção das LTs é essencial o conhecimento das condições ambientais, particularmente das condições atmosféricas e das condições da superfície, como a topografia e a cobertura vegetal.

Eventos meteorológicos extremos como rajadas de vento, granizos e até mesmo tornados são relativamente raros em comparação com outros sistemas meteorológicos (como chuvas frontais, por exemplo), entretanto, representam uma ameaça potencial para a transmissão e distribuição de energia elétrica, com diversos registros de quedas de torres de LTs (Soares et al., 2007). Portanto, mesmo sendo relativamente raros é importante o estudo desses fenômenos para que seja possível identificar, com antecedência de várias horas, condições favoráveis à formação dos mesmos. Esse tipo de alerta anteciparia a adoção de estratégias de manutenção preventiva e corretiva, para eliminar ou minimizar o impacto negativo desses fenômenos meteorológicos (Nascimento, 2005).

O estado do Mato Grosso do Sul é afetado pela maioria dos sistemas sinóticos que atingem o sul do país, tais como frentes frias que durante o inverno causam o declínio da temperatura à superfície e a ocorrência de precipitação (Climanálise, 1986). Linhas de instabilidade pré-frontais, geradas a partir da associação de fatores dinâmicos de grande escala e características de mesoescala, também são responsáveis por eventos extremos (Cavalcanti, 1982). Durante o verão, a alta da Bolívia – extensa faixa de circulação anticiclônica na alta troposfera da parte central da América do Sul – gerada a partir do forte aquecimento convectivo (liberação de calor latente) da atmosfera, é considerada como um sistema típico semi-estacionário da região (Virgi, 1981). Ainda nessa época do ano, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é um dos principais fenômenos que influenciam no regime de chuvas no estado (Nobre, 1988).

Além disso, a atmosfera responde a trocas de energia, água e momentum com a superfície terrestre. Qualquer mudança nesses fluxos de superfície pode afetar fortemente a termodinâmica e a circulação atmosférica. Modificações na cobertura vegetal afetam os fluxos de superfície de diferentes formas. Primeiramente, ocorrem mudanças no albedo da superfície; em seguida, há mudanças no balanço de energia e na temperatura superficial. Isso afeta a forma como a superfície se resfria, pois, altera o balanço entre a perda de calor sensível (resfriamento de uma superfície aquecida através do vento) e a perda de calor latente (resfriamento através da evapotranspiração). Finalmente, a altura e a densidade da vegetação afetam a rugosidade da superfície, que por sua vez altera a mistura do ar (turbulência) próximo ao chão. Mudanças no albedo, rugosidade da superfície e na razão entre calor sensível e latente afetam os fluxos superficiais e, conseqüentemente, podem modificar a circulação atmosférica (Foley et al., 2003; Senna et al., 2009).

Uma importante ferramenta para o estudo das complexidades da superfície sobre o escoamento atmosférico são os modelos meteorológicos de mesoescala, que possuem resoluções espaciais maiores que os modelos globais e parametrizações físicas avançadas. A aplicação dos modelos de mesoescala, principalmente por meio de estudos de casos ou testes de sensibilidade, proporcionam importantes informações físicas sobre eventos meteorológicos extremos (Costa, 2006; Bustamente e Chou, 2006; Selucchi et al., 2011). Pesquisas sobre o impacto das variáveis ambientais sobre o desempenho e segurança de LTs mostram que a magnitude do vento é a variável de maior importância, e sua modelagem possibilita comprovar se os projetos de LTs aéreas estão adequados para as condições ambientais para as quais foram concebidos (Nascimento et al., 2005; Moreira et al., 2006). Nascimento et al. (2005) utilizaram um modelo de turbulência, pertencente à classe de modelo de mesoescala, para analisar a distribuição da velocidade do vento em regiões vizinhas a uma LT em Minas Gerais, e esse modelo foi capaz de reproduzir os valores experimentais dos campos de velocidade do vento com incertezas relativamente baixas, mas com um elevado custo computacional. Moreira et al. (2006) utilizaram o mesmo modelo para uma topografia de Belo Horizonte próximo à uma LT, e obtiveram um erro de 11,76% na simulação da magnitude do vento em um ponto específico, resultado considerado aceitável pelos autores.

Dentro deste contexto, considerando a importância da modelagem de variáveis ambientais no entorno de LTs, a finalidade deste artigo é investigar o impacto das mudanças de cobertura vegetal na simulação atmosférica em alta resolução espacial da temperatura do ar, precipitação e magnitude do vento de um evento extremo ocorrido no dia 07 de agosto de 2008 no Mato Grosso do Sul. Esse evento causou quedas e avarias de alguns trechos das duas LTs de 230 kV da Porto Primavera Transmissora de Energia (PTE) (PTE, comunicação pessoal, agosto de 2008).

## MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa aborda a área referente às LTs Porto Primavera - Dourados (com extensão de 216 km) e Porto Primavera - Imbirussú (com extensão de 290 km), que engloba os municípios de Dourados, Fátima do Sul, Glória dos Dourados, Ivinhema, Taquarussu, Batayporã, Campo Grande, Nova Alvorada do Sul e Nova Andradina, localizados no estado do Mato Grosso do Sul, como ilustra a Figura 1. Devido à sua localização latitudinal, o Mato Grosso do Sul caracteriza-se por ser uma região de transição entre os

climas quentes de latitudes baixas e os climas mesotérmicos de tipo temperado das latitudes médias. A vegetação de cerrado (savana) recobre 65% do estado, e a região no entorno das LTs encontra-se principalmente sobre esse tipo de vegetação. Em áreas de planície aluvial ocorre o chamado complexo Pantanal, formado por uma combinação de cerrados, campos e florestas decíduas. Já ao sul do estado encontram-se florestas semidecíduas (Nogueira, 2007).

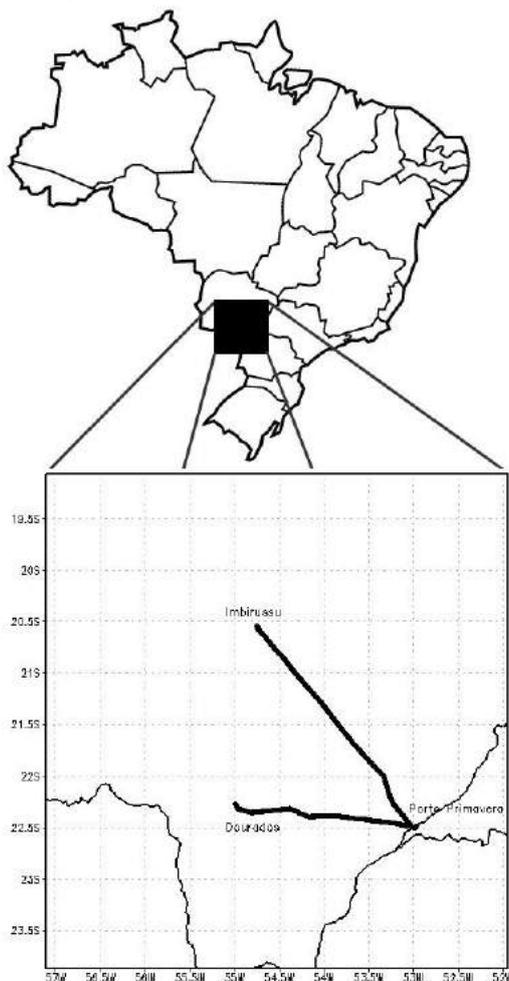


Figura 1- Localização das linhas de transmissão Porto Primavera – Dourados e Porto Primavera – Imbirussú (linhas cheias).

Para investigar o fenômeno atmosférico responsável pelo evento extremo ocorrido no dia 07/08/2008 e o papel que diferentes coberturas vegetais teriam nesse evento, foram realizadas simulações numéricas da atmosfera com o modelo de mesoescala MM5. Este modelo foi desenvolvido pela *Pennsylvania State University* em conjunto com o *National Center for Atmospheric Research (NCAR)* (Anthes e Warner, 1978). Foram definidas quatro grades aninhadas com os seguintes domínios: a) Grade 1 totalizando 23 pontos

longitudinais e 23 pontos latitudinais, com uma resolução espacial de 81 km; b) Grade 2 totalizando 36 pontos longitudinais e 36 pontos latitudinais, com uma resolução espacial de 27 km; c) Grade 3 totalizando 75 pontos longitudinais e 75 pontos latitudinais, com uma resolução espacial de 9 km; e d) Grade 4 totalizando 192 pontos longitudinais e 192 pontos latitudinais, com uma resolução espacial de 3 km. Uma representação do domínio dessas grades é ilustrada na Figura 2.

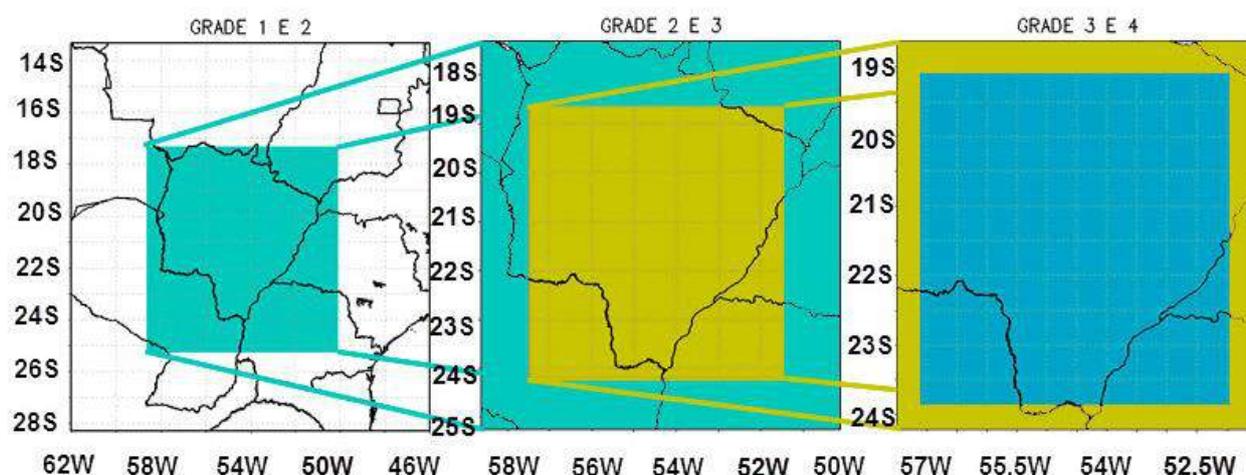


Figura 2 – Domínio das grades aninhadas definidas no MM5

Em todos os domínios foram utilizados dados de topografia e uso do solo do *United States Geological Survey (USGS)*. Para a inicialização do modelo foram obtidos dados meteorológicos de análise, oriundos do modelo global AVN, também conhecido como GFS – *Global Forecast System Model* do *National Centers for Environment Prediction (NCEP)*, com uma resolução espacial de 1°, resolução temporal de 6 horas, e para o período de 6 a 8 de agosto de 2008. O GFS é inicializado através de uma base de dados composta por observações de superfície e altitude recolhidas globalmente.

Diversos processos físicos, cruciais para o realismo da previsão, não podem ser explicitamente modelados. Isso ocorre por que alguns processos físicos não são suficientemente conhecidos, ou por não se dispor de dados

Após a escolha do conjunto ideal de parametrizações, foram realizadas três simulações para o evento extremo do dia 07/08/2008 considerando diferentes cenários de cobertura do solo. A primeira simulação (**controle**) considerou o uso do solo padrão do MM5, oriundo do USGS, que pode ser visto na Figura 3. A segunda simulação (**veg1**) substituiu o cerrado por agricultura não-irrigada e pastagem, e a terceira simulação (**veg2**) substituiu o mosaico de agricultura e arbustos por agricultura não-irrigada e pastagem,

apropriados, ou ainda, por falta de computadores suficientemente poderosos. Como alternativa, adota-se a emulação dos efeitos desses processos (parametrização), incluindo a física nos modelos de forma implícita, ou seja, os esquemas de parametrização inferem os efeitos dos processos que ocorrem na escala subgrade (processos de superfície, camada limite, convecção, microfísica de nuvens e radiação), com informações disponíveis somente na escala da grade. O modelo MM5 incorpora várias parametrizações físicas da subescala, que representam a maneira como a atmosfera, o solo e a interação dos processos físicos de tudo o que existe entre eles será simulada. Descrições mais detalhadas das parametrizações disponíveis podem ser encontradas em Dudhia (1992), Grell et al. (1994) ou Dudhia et al. (2003).

em toda a grade considerada. Essas modificações foram feitas de modo a simular possíveis comportamentos futuros do uso do solo na região de estudo, onde ecossistemas naturais (cerrado) ou que possuem uma parte de vegetação nativa (agricultura + arbustos) são substituídos pela atividade agropecuária (agricultura + pastagem) que já ocupa boa parte da região de estudo como ilustra a Figura 3. Com as simulações veg1 e veg2 é possível investigar os mecanismos de retroalimentação entre a superfície e a atmosfera, e verificar o quanto esses mecanismos são capazes de alterar as simulações de eventos extremos.

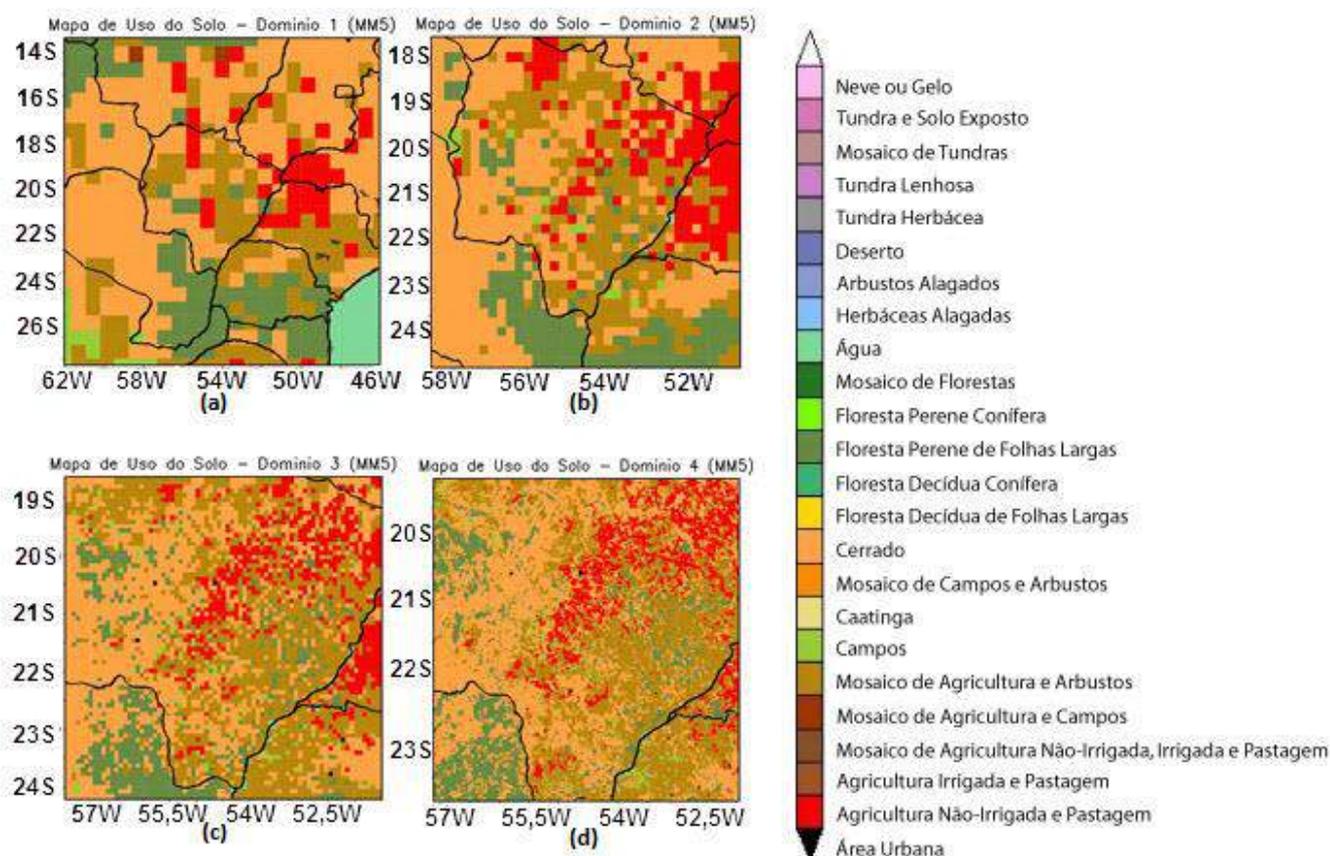


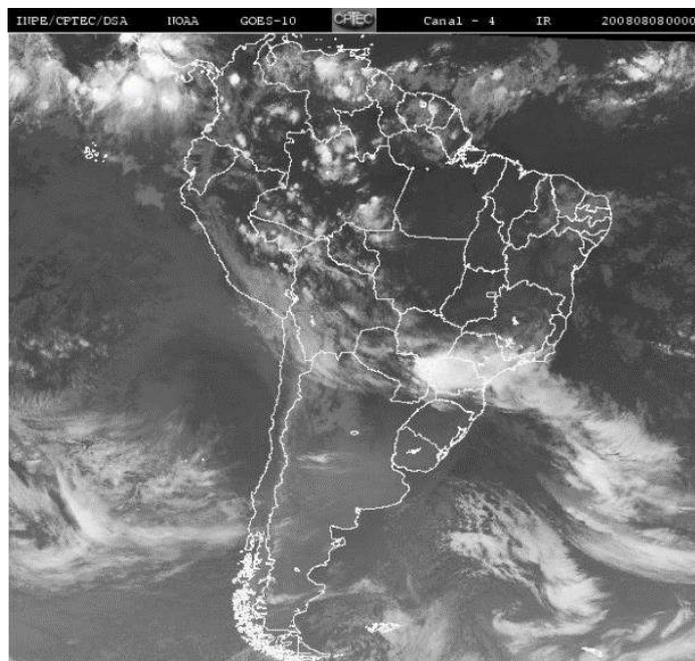
Figura 3 – Mapa de cobertura vegetal para o domínio (a) 1, (b) 2, (c) 3 e (d) 4, utilizado para a simulação controle no MM5.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

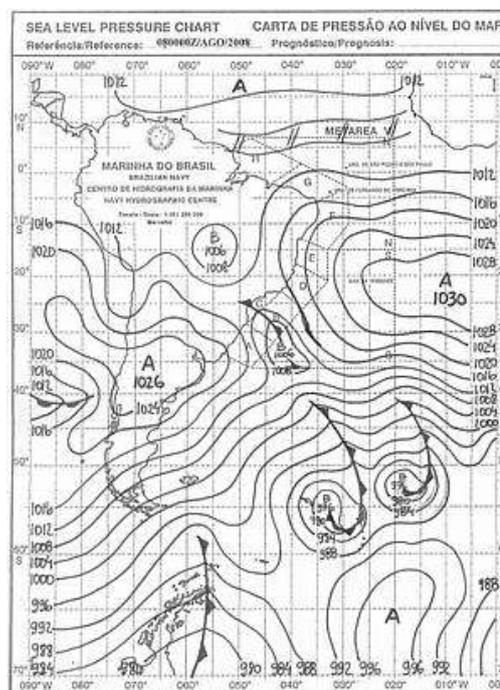
### Análise sinótica do caso selecionado

No dia 06/08/08 às 12Z, dois sistemas frontais atuavam sobre a América do Sul, um deles estava localizado próximo ao litoral paulista e o outro atuava no litoral da Argentina. No dia 07/08/08 às 00Z, a frente fria que estava mais ao norte deslocou-se para leste em direção ao Oceano Atlântico, porém mantendo um centro de baixa pressão relativa entre a região sul e sudeste. Já a segunda frente fria teve um deslocamento de nordeste aproximando-se do sul do Brasil. No mesmo dia às 12Z ocorreu um alinhamento da segunda frente fria com o centro de baixa pressão, gerando uma extensa área de instabilidade. As rajadas de vento que

acarretaram na queda de torres de LTs, no horário aproximado de 20Z, ocorreram devido a essa instabilidade gerada pelo acoplamento da frente fria com o centro de baixa pressão. No dia 08/08/08 às 00Z, o sistema frontal continuou tendo uma forte atuação na região centro-oeste, sul e sudeste do Brasil (Figura 4). A imagem de satélite e a carta sinótica foram obtidas através dos bancos de dados da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA) do INPE (DSA, 2015) e do Serviço Meteorológico Marinho (SMM) do Centro de Hidrografia da Marinha (SMM, 2015), respectivamente.



(a)



(b)

Figura 4 – (a) Imagem do satélite meteorológico GOES-10 (canal infravermelho) e (b) carta sinótica de superfície, para o horário das 00Z do dia 08/08/2008.

### Escolha do conjunto de parametrizações

Para ajustar o modelo MM5 com um conjunto de parametrizações físicas mais indicado para a simulação das condições atmosféricas na vizinhança e ao longo do traçado das LTs, foram feitas três simulações distintas (Config0, Config1 e Config2) do evento meteorológico extremo ocorrido em 07/08/08, que causou quedas e avarias às LTs da PPTE. Cada simulação teve um período de integração de 66 horas durante o mês de agosto (de 06/08/08 às 00Z até 08/08/08 às 18Z).

Os eventos meteorológicos extremos são relacionados teoricamente com todas as parametrizações presentes num modelo numérico. No entanto, foram selecionadas as parametrizações de camada limite e de *cumulus* como objeto de estudo visto que elas são muito importantes para a ocorrência de rajadas de vento. As demais parametrizações foram semelhantes para todas as simulações (e para todos os domínios), sendo: microfísica de nuvens – Simple Ice, Radiação – Cloud Radiation, e Solo – Five Layer Soil Model. As combinações de parametrizações de *cumulus* e de camada limite estão ilustradas na Tabela 1.

Tabela 1 – Parametrizações utilizadas nas simulações. D1, D2, D3 e D4 representam os domínios 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

Simulações / Domínios		Parametrizações Físicas	
		Cumulus	Camada Limite
Config0	D1	Grell	MRF PBL
	D2	Grell	MRF PBL
	D3	Nenhuma	MRF PBL
	D4	Nenhuma	MRF PBL
Config1	D1	Betts-Miller	ETA PBL
	D2	Betts-Miller	ETA PBL
	D3	Betts-Miller	ETA PBL
	D4	Grell	ETA PBL
Config2	D1	Betts-Miller	MRF PBL
	D2	Betts-Miller	MRF PBL
	D3	Betts-Miller	MRF PBL
	D4	Grell	MRF PBL

Foram analisados os resultados de temperatura do ar a 2 m, pressão atmosférica ao nível do mar e magnitude do vento a 10 m simulados sobre o Aeroporto de Campo Grande, devido à disponibilidade de dados de METAR observados a cada hora para as mesmas variáveis, possibilitando assim uma avaliação estatística. Devido ao formato do código METAR, as variáveis estudadas são obtidas apenas com valores inteiros, gerando incertezas associadas a essas medidas. Para avaliar o grau de ajuste entre os dados observados e os simulados, foram quantificados os erros através das medidas do Viés (Bias Error - BE) e da Raiz do Erro Quadrático Médio (Root Mean Squared Error - RMSE). O BE quantifica a tendência do modelo de superestimar ou subestimar uma variável. Já o RMSE mede a variação dos valores estimados ao redor dos valores medidos, avaliando apenas a ordem de grandeza dos erros. Assim, um erro grande é ressaltado em relação a erros menores. O ideal seria que os valores de BE e de RMSE fossem o mais próximo de zero (Wilks, 2006).

Na análise do BE e do RMSE das simulações para o evento considerado (Figura 5), nota-se que de uma maneira geral ocorre uma diminuição do BE e do RMSE no domínio 4, e que em ambos os domínios a simulação com os menores erros para a maioria das variáveis é a Config1. O RMSE médio da simulação Config1 é 2,49, e o RMSE das simulações Config0 e Config2 é 2,61 e 2,69, respectivamente. Portanto, a melhor configuração das parametrizações físicas na caracterização do evento foi: microfísica de nuvens – **Simple Ice** (domínios 1 a 4), Radiação – **Cloud Radiation** (domínios 1 a 4), Solo – **Five Layer Soil Model** (domínios 1 a 4), Camada Limite – **ETA PBL** (domínios 1 a 4), e Cumulus – **Betts-Miller** (domínios 1 a 3) e **Grell** (domínio 4). É importante ressaltar que para se estimar com maior realismo a magnitude do vento e outras variáveis, além de uma configuração ideal de parametrizações para a região de interesse, também é necessária uma rede maior de dados observados para serem utilizados na inicialização do modelo e na avaliação estatística, permitindo um aprimoramento contínuo das previsões numéricas (Santos et al. 2010).

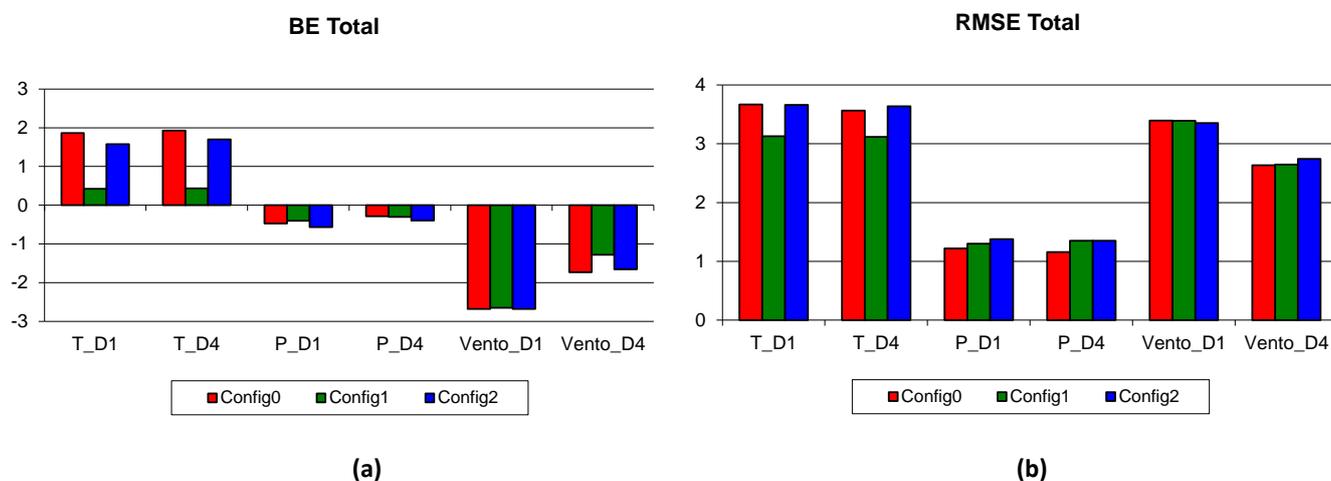


Figura 5 – BE e RMSE Total das variáveis simuladas nas grades de 81 km e de 3 km de resolução (D1 e D4, respectivamente) durante o período de simulação do evento (de 06 a 08 de agosto). T, P, Vento representam a temperatura do ar a 2m, pressão atmosférica ao nível do mar, e a magnitude do vento a 10m, respectivamente. Adaptado de Santos et al. (2010).

### Análise espacial das simulações

As Figuras 6a, 6b e 6c ilustram os campos de temperatura do ar, magnitude do vento e precipitação, respectivamente, para a simulação controle às 20Z do dia 07/08/2008. A simulação mostrou o padrão sinótico previamente esperado durante a entrada e passagem de um sistema frontal, pois simulou a queda de temperatura e a subsequente invasão da massa de ar polar que atinge a LT Porto Primavera – Dourados (Figura 6a). Na superfície frontal, o ar frio e denso força o ar quente a subir e se condensar em uma série de nuvens *cumulonimbus*, que produzem forte precipitação com rajadas de vento. Esse aumento na magnitude do vento, em  $m s^{-1}$ , pode ser verificado na Figura 6b, com núcleos de cerca de  $10 m s^{-1}$  sobre a LT. A velocidade do vento foi adequadamente simulada em relação ao seu comportamento espaço-temporal, visto que às 20Z foi o horário da queda e avaria de estruturas na LT Porto Primavera – Dourados. Entretanto, a intensidade simulada está subestimada, pois velocidades de cerca de  $10 m s^{-1}$  ( $36 km h^{-1}$ ) não seriam suficientes para gerar tais danos. O campo simulado de precipitação (Figura 6c), em  $mm h^{-1}$ , às 20Z, segue o mesmo comportamento da temperatura do ar e da magnitude do vento e está coerente espacialmente e temporalmente com o ocorrido. A maior intensidade da precipitação sobre a LT Porto Primavera – Dourados ocorre às 20Z, com núcleos acima de  $40 mm h^{-1}$ .

Os campos de temperatura do ar, magnitude do vento e precipitação para a simulação veg1 são mostrados nas Figuras 6d, 6e e 6f, respectivamente. Para a maior parte da região de estudo (cerca de 78%), o campo de temperatura do ar possui valores inferiores aos obtidos pela simulação controle (Figura 6d). Isso ocorre devido a dois mecanismos principais: o tipo de vegetação agricultura não-irrigada e pastagem que substituiu o cerrado possui um maior albedo (23% ao invés de 20% no caso de controle) e uma maior disponibilidade hídrica (60%, antes era 15%). A disponibilidade hídrica é um parâmetro que representa os efeitos da resistência estomatal, da resistência aerodinâmica e da umidade do solo para o cálculo da taxa de evaporação pelo modelo MM5 (Dudhia et al., 2003). O aumento do albedo resfria a superfície, pois reduz a quantidade de radiação solar absorvida. Isto somado a uma maior disponibilidade de umidade resfria ainda mais a superfície, pois aumenta a evapotranspiração. O aumento da evapotranspiração (fluxo de calor latente) causa uma diminuição do fluxo de calor sensível para a atmosfera, e da energia disponível para processos convectivos. Além disso, com o menor fluxo de calor sensível, ocorre um resfriamento da coluna atmosférica. Para manter o equilíbrio térmico, o resfriamento atmosférico é compensado por um aquecimento adiabático devido a um movimento subsidente, inibindo a precipitação (Charney, 1975; Eltahir,

1996). Esse comportamento provavelmente bloqueou a entrada da massa de ar polar na região de estudo. Nesta simulação, não houve um aumento da magnitude do vento simulada sobre as LTs em nenhum horário, visto que esse aumento da magnitude acompanhava o deslocamento da frente fria (na simulação controle), e a frente fria não foi simulada na simulação veg1 (Figura 6e). Pelo mesmo motivo também não foi simulada a faixa de precipitação que acompanhava a frente fria (Figura 6f). Concluindo, a frente fria, as rajadas de vento e a precipitação intensa ocorridas no dia 07/08/2008 provavelmente não ocorreriam na região de estudo se toda a extensão do cerrado fosse substituída pela agropecuária.

As Figuras 6g, 6h e 6i apresentam os campos da temperatura do ar, magnitude do vento e precipitação para a simulação veg2 às 20Z do dia 07/08/2008. As anomalias dessas variáveis são ilustradas nas Figuras 6j, 6k e 6l. A anomalia é o valor obtido pela simulação veg2 menos o valor obtido pela simulação controle. A simulação veg2 conseguiu capturar a queda de temperatura devido à entrada da frente fria e a subsequente invasão da massa de ar polar. Porém, a frente fria teve um deslocamento mais adiantado em relação à simulação controle (Figura 6g). Tal fato pode ser visto no campo de anomalia (Figura 6j), onde os valores negativos abaixo de  $-3^{\circ}\text{C}$  situam-se exatamente no local da frente fria simulada por veg2, ou seja, nesses locais as temperaturas na simulação veg2 são menores do que na simulação controle. Esse comportamento ocorre porque o tipo de vegetação agricultura não-irrigada e pastagem que substituiu o mosaico de agricultura e arbustos possui uma rugosidade superficial menor (5 cm, antes era 20 cm). Com a menor rugosidade, o processo de remoção de momento é enfraquecido, aumentando a velocidade do escoamento atmosférico e conseqüentemente o deslocamento da frente fria.

A Figura 6k corrobora a discussão anterior, pois a anomalia de magnitude do vento é positiva ao longo da frente fria, e a faixa com as maiores magnitudes atinge a LT Porto Primavera – Dourados com 1 hora de antecedência em relação à simulação controle. Entretanto, em relação à precipitação não é possível destacar um comportamento bem definido, pois existem alguns núcleos com anomalia negativa e outros com anomalia positiva (Figura 6l). E a maior intensidade da precipitação sobre a LT Porto Primavera – Dourados ocorre também às 20Z, com núcleos acima de  $40\text{ mm h}^{-1}$ .

Convém salientar que esses resultados são preliminares, pois são necessários mais estudos e medidas de campo na região para confirmar se os valores de albedo, disponibilidade hídrica e rugosidade da superfície são coerentes com os valores utilizados no modelo MM5. Apesar da sofisticação e confiabilidade dos modelos numéricos, existem alguns processos que ocorrem em escala molecular como condensação, evaporação etc., que não podem ser resolvidos explicitamente, necessitando de parametrizações. É evidente que o sucesso da previsão de eventos extremos depende da contínua melhoria na previsão em mesoescala. Isso incluiu melhorias nos códigos fontes, testes de sensibilidade das diversas parametrizações e o uso de grades mais refinadas, interferindo diretamente na capacidade computacional requerida. Cabe ainda ressaltar a necessidade em melhorar a rede observacional, pois essa possui uma importância crucial na inicialização dos modelos de previsão, além da utilização de uma cobertura vegetal realística, devido às interações entre os ecossistemas e a circulação atmosférica (Nascimento, 2005; Costa, 2006; Bustamente e Chou, 2006; Selucchi et al., 2011).

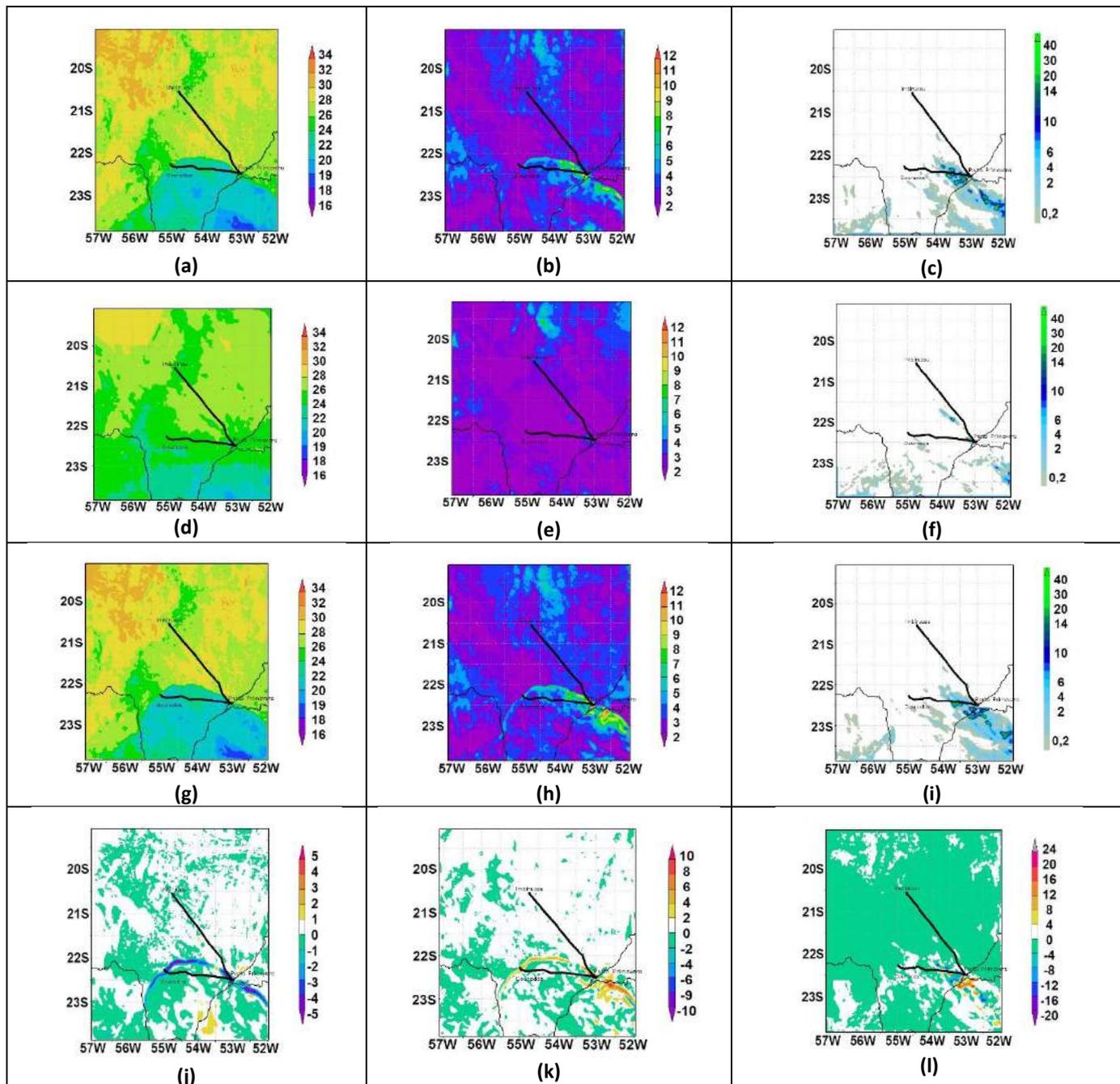


Figura 6 – (a) Temperatura do ar ( $^{\circ}C$ ), (b) magnitude do vento ( $m s^{-1}$ ) e (c) precipitação ( $mm h^{-1}$ ) da simulação controle. (d) Temperatura do ar ( $^{\circ}C$ ), (e) magnitude do vento ( $m s^{-1}$ ) e (f) precipitação ( $mm h^{-1}$ ) da simulação veg1. (g) Temperatura do ar ( $^{\circ}C$ ), (h) magnitude do vento ( $m s^{-1}$ ) e (i) precipitação ( $mm h^{-1}$ ) da simulação veg2. Anomalias da (j) Temperatura do ar ( $^{\circ}C$ ), (k) magnitude do vento ( $m s^{-1}$ ) e (l) precipitação ( $mm h^{-1}$ ) da simulação veg2. Todos os campos são referentes ao domínio 4, para o dia 07/08/2008, às 20Z.

## CONCLUSÕES

Nesta pesquisa, o desempenho do modelo de mesoescala MM5 é avaliado sob diferentes cenários de cobertura vegetal para um caso de evento meteorológico extremo que causou avarias em LTs no Mato Grosso do Sul. Este experimento considera uma cobertura vegetal padrão (simulação controle), a substituição do cerrado por agricultura não-irrigada e pastagem (simulação veg1) e a substituição do mosaico de agricultura e arbustos por agricultura não-irrigada e pastagem (simulação veg2). O evento extremo considerado (07/08/2008) foi uma forte atividade convectiva associada à passagem de uma frente fria.

A simulação controle consegue capturar o padrão sinótico da temperatura do ar e da precipitação decorrentes da passagem deste sistema convectivo, mas subestima a magnitude do vento sobre as LTs. A simulação veg1 não captura o sistema convectivo devido às retroalimentações do albedo e da disponibilidade hídrica na circulação atmosférica, pois ambas as retroalimentações agem no sentido de resfriar a superfície e conseqüentemente o ar adjacente a ela. Esse comportamento também favorece a ocorrência de um movimento de subsidência na região,

contribuindo para o bloqueio da entrada do sistema frontal. Portanto, a substituição do cerrado pela agropecuária em toda a região pode modificar as circulações atmosféricas de modo a impedir o desenvolvimento do sistema convectivo causador de avarias sobre as LTs.

Já na simulação veg2 a circulação atmosférica simulada é alterada devido às retroalimentações da rugosidade do solo, que aumentam a velocidade do deslocamento do sistema convectivo sobre a região de estudo. Portanto, a substituição do mosaico de agricultura e arbustos pela agropecuária em toda a região pode modificar a dinâmica de circulação de modo a acelerar a entrada e passagem do sistema frontal que causou quedas de LTs.

Os resultados alcançados nesta pesquisa permitem concluir que o modelo de mesoescala MM5 capta de maneira geral os padrões sinóticos associados à passagem de sistemas frontais que podem provocar eventos meteorológicos potencialmente causadores de quedas de LTs. Além disso, o modelo constitui uma ferramenta potencial para avaliar cenários futuros de mudança de cobertura vegetal e seus impactos na dinâmica da circulação atmosférica.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à empresa PLENA Transmissoras pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa e desenvolvimento tecnológico que deu origem a este artigo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTHES, R. A.; WARNER, T. T. Development of hydrodynamic models suitable for air pollution and other mesometeorological studies. **Monthly Weather Review**, 106, 1045-1078, 1978.
- BUSTAMANTE, J. F.; CHOU, S. C. Estudo da Previsibilidade de Eventos Extremos sobre a Serra do Mar utilizando Ensemble de Curto Prazo. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia. **Anais...** Florianópolis, 2006.
- CAVALCANTI, I. A. **Um estudo sobre as interações entre os sistemas de circulação de escala sinótica e circulações locais**. São José dos Campos, INPE-2494-TDL/097, 1982.
- CHARNEY, J. G. Dynamics of deserts and droughts in Sahel. **Quart. J. Roy. Meteor. Soc.**, 101, 193-202, 1975.
- CLIMANÁLISE. **Boletim de Monitoramento e análise climática. Número especial**. INPE / INMET, 1986.
- COSTA, S. R. **Avaliação do desempenho do modelo de mesoescala MM5 na simulação de eventos de precipitação extrema no Estado de Alagoas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 200p, 2006.
- DSA – Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais. **Banco de Dados de Imagens**. Disponível em: <<http://satellite.cptec.inpe.br/acervo/goes.formulario.logic>>. Acesso em: 25 de setembro de 2015.
- DUDHIA, J. A nonhydrostatic version of the Penn State/NCAR mesoscale model: Validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cloud front. **Monthly Weather Review**, 21, 1493-1513, 1992.
- DUDHIA, J.; GILL, D.; GUO, Y.; MANNING, K.; WANG, W.; CHISZAR, J. **Mesoscale Modeling System Tutorial Class Notes and User's Guide: MM5 Modeling System Version 3**, PSU/NCAR, 2003.
- ELTAHIR, E. A. B. Role of vegetation in sustaining large-scale atmospheric circulations in the tropics. **Journal of Geophysical Research**, 101, no. D2: 4255-4267, 1996.
- FOLEY, J. A.; COSTA, M. H.; DELIRE, C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P. Green surprise? How terrestrial ecosystems could affect earth's climate. **Frontier Ecological Environment**, 1 (1): 38-44, 2003.
- GRELL, G. A.; DUDHIA, J.; STAUFFER, D. R. **A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5)**. NCAR Technical Note, NCAR/TN-398+STR, 117 p, 1994.
- MOREIRA, G. A. A.; VALLE, R. M.; MARTINS, M. A.; NASCIMENTO, C. A. M. Estudo numérico do escoamento turbulento sobre terrenos complexos. In: 11<sup>th</sup> Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering. **Anais...** Curitiba, 2006.
- NASCIMENTO, C. A. M.; PINTO, S. L. S.; VALLE, R. M.; MARTINS, M. A.; ABREU, J. A.; CHAGAS, W. F. Introdução ao estudo da camada limite atmosférica em projetos de linhas aéreas de transmissão. In: XVIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. **Anais...** Curitiba, 2005.
- NASCIMENTO, E. L. Previsão de tempestades severas utilizando-se parâmetros convectivos e modelos de mesoescala: uma estratégia operacional adotável no Brasil? **Revista Brasileira de Meteorologia**, 20(1): 113-122, 2005.
- NOBRE, C. A. Ainda sobre a Zona de Convergência do Atlântico Sul: a importância do Oceano Atlântico. **Climanálise**, 3, 30-33, 1988.
- NOGUEIRA, M. A. F. S. **O armazenamento de grãos nas regiões da Grande Dourados e sul-fronteira do Mato Grosso do Sul com o Paraguai: um estudo de caso**. Dissertação (Mestrado em Agronegócios), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 156 p, 2007.

SANTOS, R. G.; SENNA, M. C. A.; FRANÇA, G. B.; TORRES JR, A. R.; PAIVA, C. M. Ajustes do modelo de mesoescala MM5 para simulação numérica do campo de vento ao longo das linhas de transmissão 230 kv da PPTTE. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia (XVI CBMET). **Anais...** Belém, 2010.

SENN, M. C. A.; COSTA, M. H.; PIRES, G. F. Vegetation-atmosphere-soil nutrient feedbacks in the Amazon for different deforestation scenarios. **Journal of Geophysical Research**, 114 (D04104), doi:10.1029/2008JD010401, 2009.

SELUCHI, M. E.; CHOU, S. C.; GRAMANI, M. A case study of a winter heavy rainfall event over the Serra do Mar in Brazil. **Geofísica Internacional**, 50 (1), 41-56, 2011.

SMM – Serviço Meteorológico Marinho. **Cartas Sinóticas**. Disponível em: <<https://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm>>. Acesso em: 25 de setembro de 2015.

SOARES, F. G.; SILVA, P. R. R. L.; MELLO, R. C.; FERREIRA, S. J.; MARCÍLIO, L. E. Acidentes na LT 138kv C. S. PCH Paraíso/Chapadão do Sul: evidência de atuação de vento de alta intensidade. In: XIX Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. **Anais...** Rio de Janeiro, 2007.

VIRGI, H. A preliminary study of summertime tropospheric circulation patterns over South America estimated from cloud wins. **Monthly Weather Review**, 109, 549-610, 1981.

WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. 2nd Ed. Academic Press., 627 p., 2006.