A IMPORTÂNCIA DE INCÊNDIOS NATURAIS NA OCORRÊNCIA DE SAVANAS E FLORESTAS: UM ESTUDO DE MODELAGEM COM O CPTEC PVM

David M. Lapola[1], *Marcos D. Oyama*[2], *Manoel F. Cardoso*[1] & *Carlos Afonso Nobre*[1]

RESUMO
Neste estudo de modelagem, demonstramos a importância de descargas elétricas e, portanto, de incêndios naturais, na distribuição de savana e floresta tropical estacional, particularmente na Índia e Sudeste Asiático. Nos locais climaticamente favoráveis à ocorrência de savana e floresta tropical estacional, mostramos que existe uma relação entre a quantidade de raios nuvem-solo e vento zonal em 850 hPa na transição entre a estação seca e a chuvosa, o que justifica utilizar o vento zonal em 850 hPa como um indicador de fogo natural no Modelo de Vegetação Potencial do CPTEC (CPTEC PVM). O uso dessa parametrização corrige o erro que o CPTEC PVM cometia na região da Índia e do Sudeste asiático, onde savana era alocada em áreas onde deveria haver floresta tropical estacional.

ABSTRACT
This modeling study shows the importance of electric discharges and, therefore, of natural fires, on the distribution of savanna and tropical seasonal forest, particularly in India and Southeast Asia. In the areas climatically favorable to the occurrence of savanna and tropical seasonal forest, we show that there is a relation between cloud to ground lightning activity and 850 hPa zonal wind in the dry to wet season transition; this supports the use of 850 hPa zonal wind as a proxy for natural fires in the CPTEC Potential Vegetation Model (CPTEC PVM). The use of this parameterization corrects the CPTEC PVM error in India and Southeast Asia, where savanna was placed instead of tropical seasonal forest.

Palavras-chave: savana, floresta tropical estacional, incêndios naturais

INTRODUÇÃO

O fogo natural é um distúrbio importante, senão fundamental, para a ocorrência de savanas, sendo que uma reincidência média de 2-5 anos de incêndios já é suficiente para manter uma fitofisionomia aberta, típica de savanas, mesmo em áreas climaticamente compatíveis com florestas tropicais estacionais (Miranda et al., 2002). A freqüência de incêndios naturais é controlada diretamente por três fatores: disponibilidade e flamabilidade do combustível, e um fator de ignição (Whelan, 1995). A disponibilidade do combustível se verifica pela quantidade de serapilheira disponível; a flamabilidade, pela umidade na serapilheira (umidade relativa do ar ou duração da estação seca podem ser bons *proxis*); e o fator de ignição, pela ocorrência de descargas elétricas do tipo nuvem-solo (raios-cg) (Bowman, 2005). O período no qual estes três fatores mais contribuem para a ocorrência de incêndios naturais nos trópicos é durante a transição da estação seca para a chuvosa, quando há

[1] Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Rod. Presidente Dutra km 40 SP-RJ 12630-970 Cachoeira Paulista SP, Brasil. Fone: (12) 3186-8400 (ramal 8816), e-mail: dmlapola@cptec.inpe.br
[2] Instituto de Aeronáutica e Espaço, Divisão de Ciências Atmosféricas, Praça Marechal Eduardo Gomes, 50, 12228-040 São José dos Campos SP, Brasil.

bastante combustível inflamável (folhas mortas secas) e grande quantidade de raios (eventos de precipitação convectiva que indicam o início da estação chuvosa).

Modelos que diagnosticam o bioma em equilíbrio com um dado clima, chamados de modelos de vegetação potencial (MVPot), conseguem reproduzir satisfatoriamente a distribuição global dos principais biomas. No entanto, MVPots como, por exemplo, o CPTEC PVM (Oyama e Nobre, 2004), cometem um erro sistemático na Índia e no Sudeste Asiático ao alocar savana onde na verdade a vegetação nativa é de floresta tropical estacional. Embora haja outras hipóteses (*e.g.* Oyama e Nobre, 2004), a existência de florestas na Índia e no Sudeste Asiático pode ser devido a uma menor freqüência de incêndios naturais em comparação com a América do Sul e África.

Na transição da estação seca para a chuvosa há menor quantidade de descargas elétricas nos regimes de monções da Índia e do Sudeste Asiático (Figura 1). Nestas regiões o vento em baixos níveis é predominantemente de oeste (Figura 2) e a vegetação natural é de floresta tropical estacional (Figura 3a). Por outro lado, há maior atividade de raios na transição da estação seca para a chuvosa nas regiões de savana da América do Sul e África (Figuras 1 e 3a) e o vento em baixos níveis predominante é de leste (Figura 2). Preliminarmente, Cardoso et al. (2006) mostraram que incluir o vento zonal em 850 hPa (U-wind) como indicador de fogo natural no CPTEC PVM corrige o erro que a versão original do modelo (Oyama e Nobre, 2004) cometia na Índia e no Sudeste Asiático. Aqui, o nosso intuito é justificar e explorar de forma mais detalhada essa parametrização, tendo em mente que a relação entre U-wind e raios-cg ainda não foi comprovada diretamente. Desse modo, os objetivos deste estudo são: (i) verificar a relação entre U-wind e raios-cg, ambos na transição da estação seca para a chuvosa, com uso do CPTEC PVM; e (ii) identificar o limiar de U-wind abaixo (a partir) do qual há ocorrência de savana (floresta estacional), utilizando para isso dados de raios-cg diretamente no CPTEC PVM.

MATERIAIS E MÉTODOS

O CPTEC PVM (Oyama e Nobre, 2004) utiliza como entrada climatologias mensais (1961-1990) de precipitação e temperatura do ar à superfície. A partir do cálculo de um conjunto de variáveis ambientais, o modelo diagnostica o bioma em equilíbrio com o dado clima. As saídas do modelo compõem um mapa de vegetação potencial, o qual deve ser comparado a um mapa de vegetação natural referencial (*e.g.* Lapola et al., 2006). A estatística kappa (κ) (Monserud e Leemans, 1992) mede o grau de similaridade entre os dois mapas, sendo que κ varia de 0 (total discordância) a 1 (total concordância).

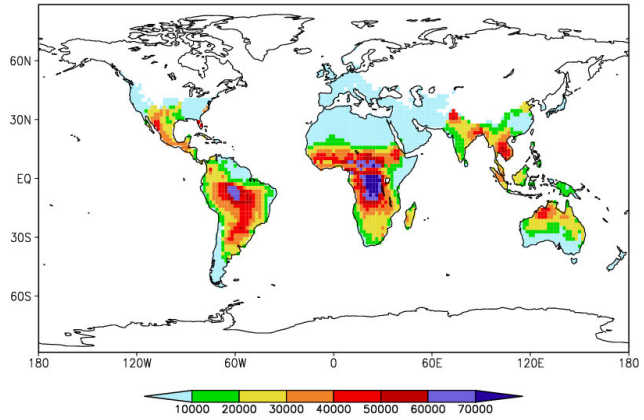

Figura 1: Descargas elétricas nuvem-solo no mês seguinte ao da transição da estação seca para a chuvosa (dados do GHRC/NASA).

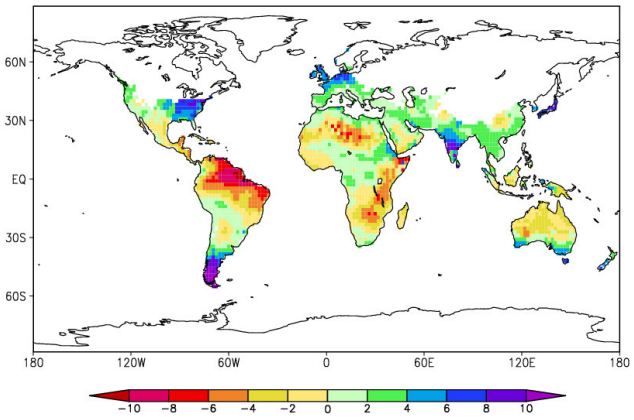

Figura 2: Vento zonal em 850 hPa no mês seguinte ao da transição da estação seca para a chuvosa (dados da Reanálise do NCEP/NCAR).

Os dados de vento zonal em 850 hPa são climatologias mensais provenientes da Reanálise do NCEP/NCAR (http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis). Os dados de raios totais (nuvem-nuvem e nuvem-solo) provêm do Global Hidrology Resource Center – NASA (http://thunder.nsstc.nasa.gov/), sendo uma climatologia mensal de 8 anos (1995-2003) combinada entre dois sensores (LIS/OTD). Os raios-cg foram obtidos ao se multiplicar os dados de raios totais pelo fator 0,22, que representa a média de raios-cg em relação ao raios totais nos trópicos (Price e Rind, 1994a).

Tabela 1: Método usado para verificar a correspondência entre os resultados do CPTEC PVM quando parametrizando fogo natural com dados de raios ou dados de ventos.

	r ≥ r _lim	**r < r_lim**
U ≥ U _lim	n1 / N^+	n2 / N^-
U < U_lim	n3 / N^+	n4 / N^-
Total pontos	$N^+ = 287$	$N^- = 139$

Tabela 2: Estatística kappa (κ) para os biomas tropicais do CPTEC PVM (vide figura 3) sem a parametrização de fogo natural (off) e com a parametrização utilizando dados de raios nuvem-solo (r_lim = 28000 descargas) ou dados de vento zonal em 850 hPa (U_lim = 1,5 m s^{-1}). Atentar para os biomas 6 (savana) e 13 (floresta tropical estacional), envolvidos na parametrização.

Bioma	**parametrização de fogo**		
	off	**on**	
		r_lim = 28000	**U_lim = 1,5**
1	0.76	0.76	0.76
6	0.44	0.40	0.49
8	0.26	0.26	0.26
13	0.14	0.31	0.36
global	0.53	0.53	0.54

Para determinarmos a relação entre U-wind e raios-cg, e também o limiar de U-wind (U_lim) a partir do qual se considera que há um nível relativamente baixo de raios-cg e, portanto, uma fitofisionomia florestal, primeiramente integramos o CPTEC PVM com os dados de raios-cg. Verificamos que o valor de 28 mil raios no mês seguinte ao da transição da estação seca para a chuvosa é o que produz o melhor desempenho regional no modelo (Figura 3c, Tabela 2). A partir disso, sendo o limiar de raios-cg (r_lim) igual a 28 mil, obteve-se o valor de U_lim (também no mês seguinte ao da transição da estação seca para a chuvosa) seguinte o procedimento explicado a seguir.

Seja ni (i = 1, ..., 4) o número de pontos de grade conforme mostrado na Tabela 1 (p.ex., n1 corresponde aos pontos onde U ≥ U_lim e r ≥ r_lim). Obviamente que $n1 + n3 = N^+$, $n2 + n4 = N^-$, e que $N^+ + N^- = 426$, este último representando o número total de pontos de grade nos quais a parametrização de fogo (seja ela com dados de ventos ou de raios) é utilizada. Considerando $f1 = n1 / N^+$, $f2 = n2 / N^-$, $f3 = n3 / N^+$, $f4 = n4 / N^-$, o ideal seria que f2 e f3 tivessem ambos um valor igual a 1. Para cada U_lim, seja F = min(f2, f3), ou seja, o mínimo entre f2 e f3. Procuramos então o intervalo de U_lim que maximiza F. Então, dentro desse intervalo, busca-se o U_lim que gera a melhor distribuição regional de biomas no CPTEC PVM.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A relação entre U_lim e F pode ser vista na Figura 4. Considerando que F é maximizado quando F > 0,30, o intervalo de U_lim que maximiza F é de –1,7 a 2,0 m s^{-1}. O valor de U_lim que gera os melhores resultados no CPTEC PVM é U_lim = 1,5 m s^{-1}, quando F tem um valor de 0,33 e a distribuição dos biomas envolvidos na parametrização (savana e floresta tropical estacional) é bastante parecida com a do mapa referencial (Figura 3d, Tabela 2). Nesse caso há satisfatória correção do erro que o modelo cometia na Índia e no Sudeste Asiático, ao mesmo tempo em que se mantém o bom desempenho nas outras regiões envolvidas na parametrização (América do Sul e África). Comparando entre si os mapas gerados ao se utilizar dados de raios e o com dados de ventos obtemos um grau de concordância muito bom entre os biomas envolvidos [$\kappa = 0.74$ para o tipo 6 (savana) e $\kappa = 0.70$ para o tipo (13)], o que demonstra a similaridade de resultados obtidos tanto com raios-cg como com U-wind. F assume o valor máximo de 0.39 quando U_lim é igual a -1,2 m s^{-1}; entretanto, com este valor de U_lim o CPTEC PVM não apresenta bom desempenho regional na representação de biomas (principalmente na América do Sul).

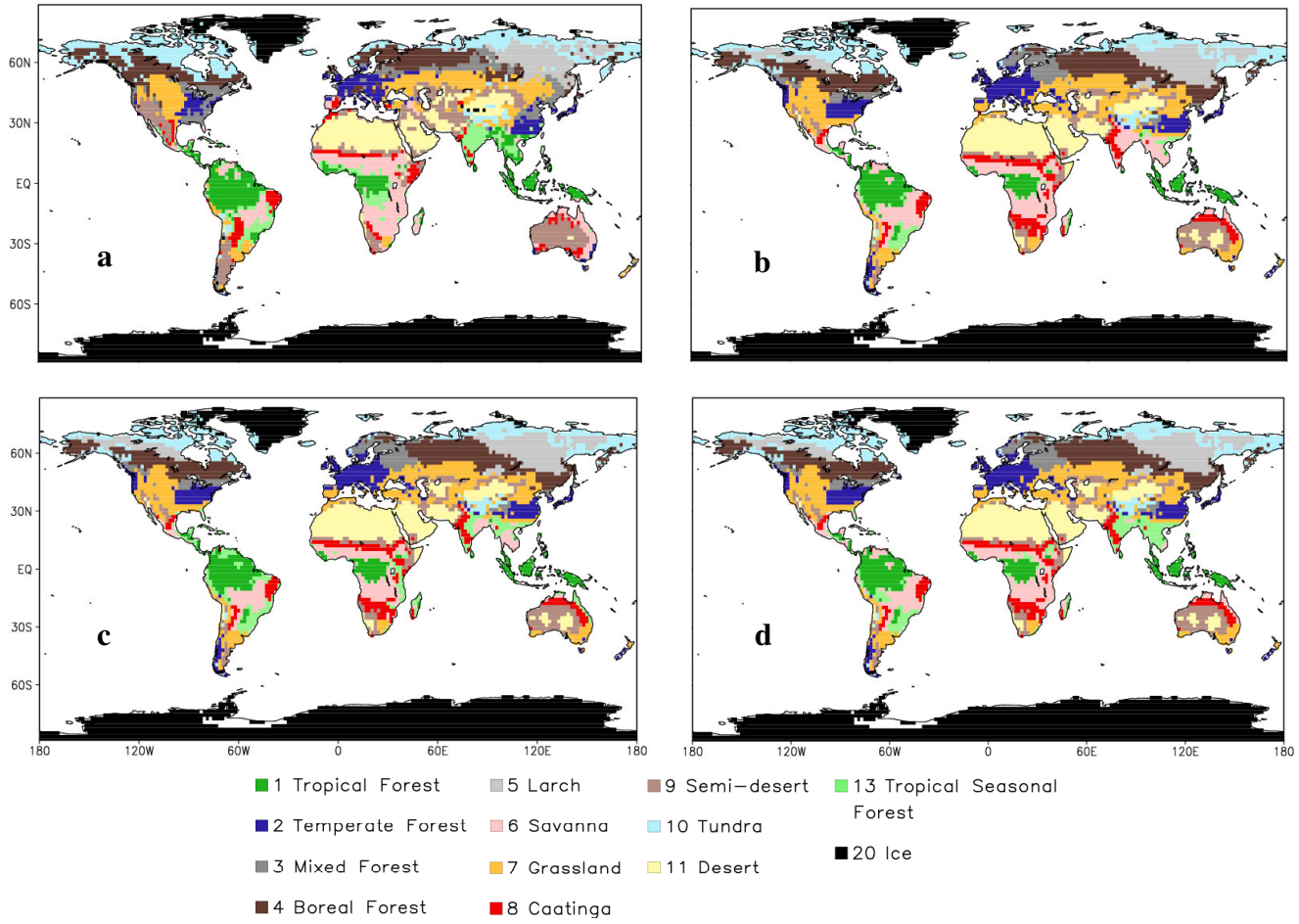

Figura 3: **(a)** vegetação natural de referência (Lapola et al., 2006); **(b)** vegetação potencial (saída do CPTEC PVM) sem considerar a parametrização de fogo natural; **(c)** vegetação potencial considerando a parametrização de fogo através de dados de raios nuvem-solo; e **(d)** através de dados de vento zonal em 850 hPa.

Nossos resultados comprovam que o menor nível de descargas elétricas, e por conseguinte de focos de incêndios, na região da Índia e do Sudeste Asiático é de fato importante (mas provavelmente não o único determinante) para a ocorrência de floresta tropical estacional, mesmo sendo a região climaticamente compatível com uma vegetação de savana (Figura 3b). Também podemos inferir que raios-cg e U-wind apresentam uma relação considerável, uma vez que originam resultados semelhantes ao serem usados no CPTEC PVM. Desse modo, incêndios naturais podem ser confiavelmente parametrizados no CPTEC PVM utilizando-se U-wind como um *proxy* para raios-cg. Além de trazer um refinamento considerável e desejável ao modelo, essa parametrização com vento zonal permitirá a aplicação do CPTEC PVM a cenários de mudanças climáticas. Em um clima 2 x CO_2 pode-se esperar um aumento significativo no número de incêndios causados por raios devido a mudanças no balanço hídrico (estações secas mais pronunciadas) e nos sistemas convectivos (maior freqüência de raios) (Price e Rind, 1994b). Estudos já publicados podem ajudar a explicar os mecanismos por trás dessa relação entre raios e U-wind, uma vez que ligações entre a direção dos ventos, convecção e atividade

elétrica já foram encontradas também, por exemplo, na Amazônia: ventos de leste favorecem a formação e propagação de células de chuva e complexos convectivos de meso-escala, enquanto em regimes de oeste a propagação desses sistemas convectivos é mais desorganizada e há menos atividade elétrica (Laurent et al., 2002).

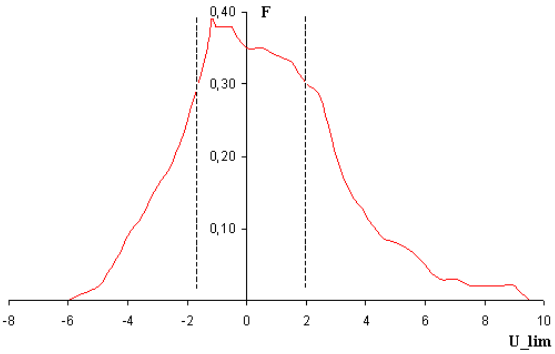

Figura 4: Relação entre F e U_lim. A região pontilhada destaca o intervalo de U_lim que maximiza F (F > 0,30).

AGRADECIMENTOS

A Paulo Kubota (CPTEC) pelo tratamento dos dados de raios e à FAPESP pelo financiamento (Proc. n° 04/12235-3).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bowman, D. Understanding a flammable planet – climate, fire and global vegetation patterns. **New Phytologist**, v. 165, n. 2, p. 341-345, 2005.

Cardoso, M.; Nobre, C. A.; Oyama, M. D.; Sampaio, G. Improving potential biomes allocation by considering natural fires in savannas. In: 8th ICSHMO. **Anais**. Foz do Iguaçu: INPE, 2006. p. 513-515.

Lapola, D. M.; Oyama, M. D.; Nobre, C. A. A new world natural vegetation map for global change studies. Em preparação para **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 2006.

Laurent, H.; Machado, L. A. T.; Morales, C. A.; Durieux, L. Characteristics of the Amazonian mesoscale convective systems observed from satellite and radar during the WETAMC/LBA experiment. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, n. D20, art. n. 8054, 2002.

Miranda, H. S.; Bustamante, M. M. C.; Miranda, A. C. The fire factor. In: Oliveira, P. S.; Marquis, R. J. (eds.). **The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a Neotropical Savanna**. Columbia: Columbia University Press, 2002. cap. 4, p.51-68.

Monserud, R. A.; Leemans, R. Comparing global vegetation maps with the Kappa statistic. **Ecological Modelling**, v. 62, n. 4, p. 275-293, 1992.

Oyama, M. D.; Nobre, C. A. A simple potential vegetation model for coupling with the Simple Biosphere Model (SiB). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 2, p. 203-216, 2004.

Price, C.; Rind, D. Modeling global lightning distributions in a general circulation model. **Monthly Weather Review**, v. 122, n. 8, p. 1930-1939, 1994a.

Price, C.; Rind, D. The impact of a 2 x CO_2 climate on lightning-caused fires. **Journal of Climate**, v. 7, n. 10, p. 1484-1494, 1994b.

Whelan, R. J. **The Ecology of Fire**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 346p.