

RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO NA ESTAÇÃO SECA E A COBERTURA ARBÓREA PARA A AMÉRICA DO SUL TROPICAL

Marina H. Magalhães¹, Marcos D. Oyama² & Carlos Nobre¹

RESUMO

O modelo teórico de Sternberg (2001) sugere que apenas o clima (neste caso, a precipitação) é capaz de determinar a distribuição de biomas na região tropical. Este trabalho procura mostrar o papel da forçante climática para a região de transição floresta-savana na América do Sul tropical, utilizando dados observacionais obtidos de satélites (precipitação e cobertura arbórea). Através da comparação do modelo teórico e dos dados observacionais, observa-se que, embora o clima seja uma forçante relevante para essa região, outros fatores, como o fogo natural e o solo, também devem ser considerados na dinâmica da transição floresta-savana e conseqüentemente no tipo de vegetação predominante.

ABSTRACT

The conceptual model proposed by Sternberg (2001) suggests that only climate is able to determine the tropical biome distribution. This work aims to show the role of such climatic forcing on the forest-savanna transition in tropical South America, using observational satellite data (precipitation and tree covering). Comparing the conceptual model and the observational data, we note that, although climate is a relevant forcing to this region, another factors, such as natural fire and soil, also play an important role in the forest-savanna transition dynamics and then in the dominant vegetation type.

Palavras-chave: precipitação na estação seca, transição floresta-savana, América do Sul tropical

INTRODUÇÃO

Florestas tropicais e savanas são biomas que podem ser diferenciados, basicamente, através da densidade de vegetação arbórea (V), definida como a fração de área coberta por árvores. Na América do Sul tropical, o gradiente de V é bastante acentuado (Figuras 1b e 1c). Essa distribuição de V se deve a fatores variados, tais como clima, solo, geologia e ocorrência de fogo natural. Considerando o fator climático (p.ex., precipitação), uma hipótese é que a precipitação teria uma relação bidirecional com a cobertura vegetal. Assim, quando o fator climático e a cobertura vegetal estiverem em equilíbrio, ocorre o que se denomina um equilíbrio bioma-clima.

Nesse contexto, estudos da dinâmica nas fronteiras entre dois tipos de biomas distintos (floresta tropical, savana, deserto, etc) vêm sendo desenvolvidos, através da análise de resiliência, do possível fenômeno de histerese e de mudanças abruptas ou saltos (Scheffer & Carpenter, 2003). Isso porque essas fronteiras são regiões em que potencialmente as mudanças entre equilíbrios estáveis são disparadas.

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: marinah@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.

Na região da América do Sul tropical, existem diferentes zonas de contato (entre diferentes tipos de bioma). Dentre essas zonas de contato, este trabalho aborda a que se localiza entre a floresta tropical Amazônica e o cerrado, uma vez que ambos ecossistemas têm sofrido séria degradação ambiental de causa antrópica e podem ser potenciais contribuintes para as mudanças climáticas regionais. Sternberg (2001) (daqui a diante, S01) sugere que a precipitação na estação seca poderia distinguir esses dois tipos de vegetação e assim quantificou a forçante climática através de um limiar teórico dessa variável, retirado de um modelo conceitual. Quando esse limiar é atingido, as condições de precipitação levam a uma realimentação positiva de tal forma que a área florestada gera precipitação suficiente para suportar uma expansão dessa região.

Este trabalho é um esforço inicial para analisar qual o papel da forçante climática para a transição floresta-cerrado na América do Sul tropical. Assim, utilizando o modelo teórico de S01, utiliza-se dados observacionais de precipitação na estação seca e V para verificar se a representação e os liminares sugeridos pelo autor estariam corretos para a América do Sul tropical.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo foi definida para a América do Sul tropical, conforme mostrado nas Figuras 1a e 1b, entre as longitudes 75°W e 35°W e latitudes 20°S e 5°N, com resolução 1° x 1°. Os dados de precipitação (Rudolf *et al.*, 1994; Rudolf *et al.*, 1997) e cobertura arbórea (DeFries *et al.*, 1999; DeFries *et al.*, 2000) utilizados foram retirados do *International Satellite Land-Surface Climatology Project, Initiative II* (ISLSCP2). As Figuras 1a e 1b, mostram, respectivamente, a média da precipitação na estação seca entre 1986 e 1995 e a média da cobertura vegetal por árvores entre 1992 e 1993.

O modelo teórico de S01 considera, como fator predominante para a diferenciação entre floresta e savana, a soma da precipitação dos três meses mais secos do ano. Essa idéia considera o limiar ecológico definido por Nix (1983), em que a manutenção e o estabelecimento de floresta são favorecidos quando a precipitação da estação seca supera 50 mm (Figura 2b).

Neste trabalho, a estação seca foi definida para cada ponto de grade como sendo, dentre as 4 estações do ano (*DJF*, *MAM*, *JJA*, *SON*), a que apresentava o menor valor do somatório trimestral de precipitações, isto é, para cada ponto de grade:

$$P_s = \min\left\{\sum P(D, J, F), \sum P(M, A, M), \sum P(J, J, A), \sum P(S, O, N)\right\} \quad (1)$$

com P_s a precipitação na estação seca e $P(I, J, K)$ a precipitação média no trimestre *IJK*.

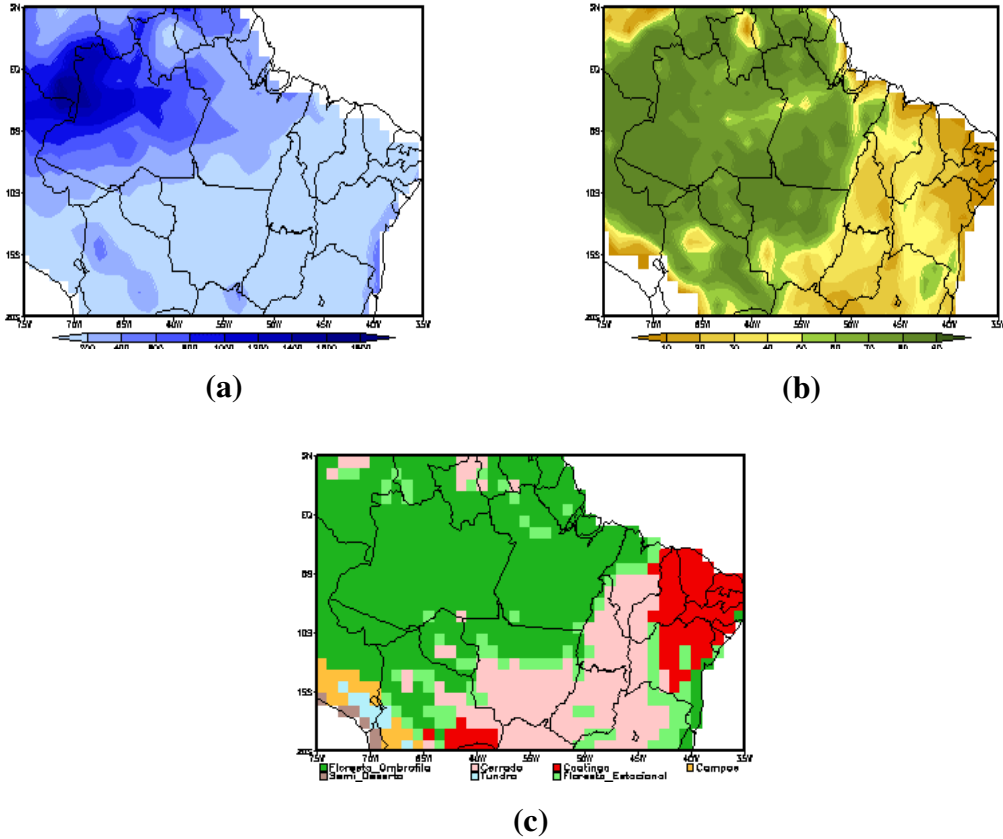


Figura 1 – (a) precipitação da estação seca; (b) cobertura vegetal arbórea e (c) vegetação natural (Lapola *et al.*, 2006) na região tropical da América do Sul, entre as longitudes 75°W e 35°W e latitudes 20°S e 5°N.

Realmente, observa-se nas Figuras 1a-c que o gradiente zonal de precipitação na estação seca acompanha a diminuição/aumento da vegetação arbórea. Por exemplo, na Amazônia (Nordeste brasileiro), encontram-se os maiores (menores) valores de precipitação e cobertura arbórea. Para obter uma relação entre cobertura arbórea e precipitação na estação seca, S01 parte de uma função de densidade de probabilidade $f(P_s)$ definida, por hipótese, como gaussiana e após integrar numericamente $f(P_s)$, obtém uma curva sigmoidal $A = F(P_s)$ (Figura 2b) que estatisticamente representa a função de probabilidade acumulada de P_s em relação à área de cobertura arbórea A .

O caminho utilizado, a partir dos dados observacionais, é o seguinte:

1 - divide-se uniformemente o intervalo entre a mínima e a máxima P_s em $k = 30$ subintervalos:

$$P_s^k = k \cdot \frac{P_{s_{\max}} - P_{s_{\min}}}{30}, k = 1, 2, \dots, 30 \quad (2)$$

2 - para cada k , toma-se todos os pontos de grade (i, j) que verifiquem:

$$P_s^{k-1} < P_s(i, j) < P_s^k \quad (3)$$

3 - calcula-se a média aritmética dos pontos de cobertura arbórea $A(i,j)$ correspondentes aos $n(k)$ valores que verificam (3), atribuindo o valor dessa média para $F(P_s^k)$, isto é,

$$F(P_s^k) = \frac{\sum_{P_s^{k-1} < P_s(i,j) < P_s^k} A(i,j)}{n(k)} \quad (4)$$

Assim, para cada intervalo (P_s^{k-1}, P_s^k) haverá um valor $F(P_s^k)$ que representa a área de vegetação arbórea média correspondente. A seguir, os resultados obtidos são analisados e discutidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após aplicar a metodologia descrita acima, obtém-se a curva mostrada na Figura 2a, com o ajuste logarítmico dado por:

$$A = F(P_s) = 0,12 \ln\left(\frac{P_s}{0,13}\right) - 0,32 \quad (5)$$

A constante 0,13 serve para que o logaritmo seja calculado de um número adimensional.

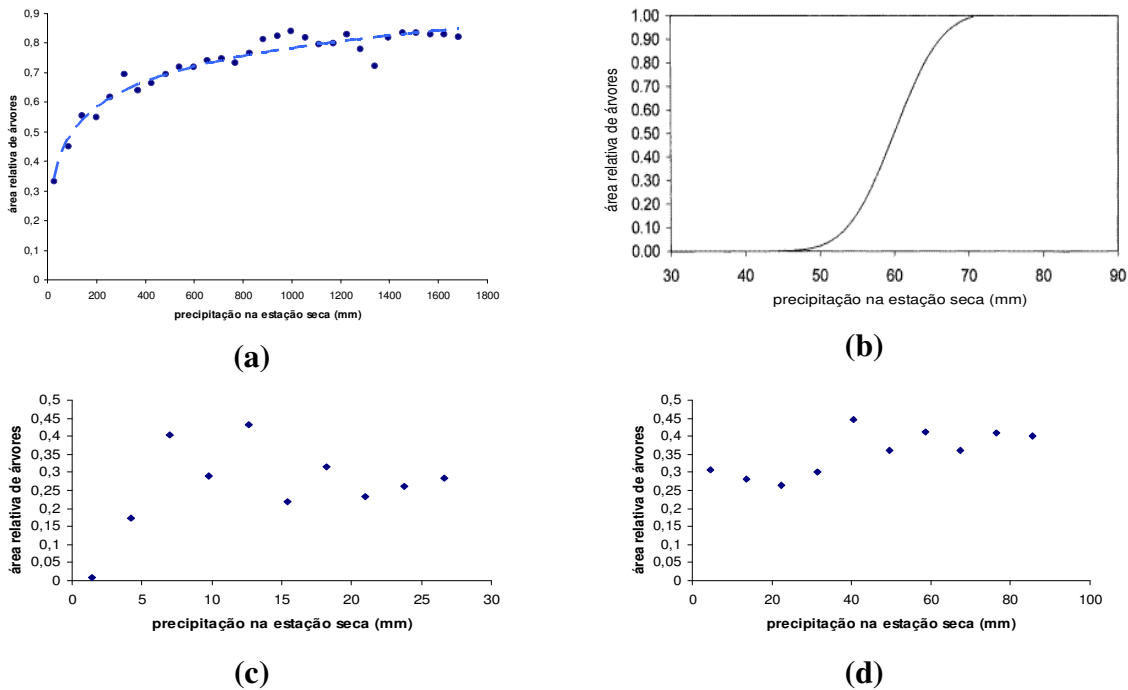


Figura 2 – (a) curva representando a relação entre precipitação na estação seca e a cobertura arbórea. Os círculos representam um ponto $(P_s^k, F(P_s^k))$ e a curva tracejada mostra o ajuste de uma função logarítmica aos pontos, dada pela equação (5); (b) curva proposta por S01; (c) idem (a) considerando o intervalo de P_s entre 0 e 28,5 mm, com $k=10$ subintervalos; (d) idem (c) para o intervalo entre 0 e 90 mm.

A Figura 2a mostra que a curva obtida não tem a forma sigmoidal (Figura 2b) sugerida por S01, a qual permite a existência de um salto entre estados de equilíbrio estáveis (Figura 5 de S01). Pelo

contrário, a curva logarítmica obtida sugere que a região considerada tem um equilíbrio estável de zero a um V de aproximadamente 0,8-0,9 (80% - 90%), ou seja, é improvável que ocorra histerese nessa área, mesmo que haja perturbações, como o desmatamento antrópico, que elimina uma parte da vegetação de árvores e diminuindo a contribuição da precipitação para a manutenção do bioma floresta. Vale notar que, diferente do que a curva sigmoidal proposta por S01, a curva logarítmica obtida não tende ao valor 1, mas sim ao valor 0,8. Isso porque, como pode ser visto na Figura 1b, o máximo valor de cobertura arbórea registrado no banco de dados utilizado é em torno de 0,9.

Segundo a Figura 2b (S01), V é praticamente zero quando $P_s < 50$ mm. Ao contrário, através dos resultados mostrados na Figura 2c, V diminui abruptamente de 0,3 a zero para $0 < P_s < 10$ mm. Logo, a idéia de que haveria $V \sim 0$ para $P_s < 50$ mm deveria ser revista. Para $10 < P_s < 90$ mm (Figura 2d), V se mantém em aproximadamente 0,3 (30%). Considerando as Figuras 2a e 2d, pode-se considerar um comportamento sigmoidal: concavidade positiva (negativa) entre 10 e 90 mm (acima de 90 mm). Logo, a hipótese sigmoidal sugerida por S01 seria válida para $P_s > 10$ mm e $0,3 < V < 0,9$ (30% - 90%). Essas proposições, entretanto, devem ser mais bem investigadas, num trabalho futuro, devido ao pequeno número de subintervalos ($k = 10$) considerado.

Para tentar explicar a não ocorrência de histerese, S01 equaciona linearmente o papel da forçante externa ao sistema, nesse caso, de P_s em relação à área vegetal arbórea A :

$$P_s = G(A) = (P_{imp} + \phi_s) + A(\phi_F - \phi_s) \quad (6)$$

com P_{imp} representando uma precipitação importada para dentro do sistema, e ϕ_F e ϕ_s são constantes que representam a contribuição da evapotranspiração, respectivamente, por floresta e savana.

S01 mostra 2 casos possíveis (o 2 e o 4 na Figura 5 de S01) para a bifurcação, os quais levam ao fenômeno de histerese. Matematicamente, para que essa bifurcação ocorra, deve-se obedecer:

$$F'(P_s) = f(P_s) = \frac{1}{G'(A)} \quad (7)$$

Assim, a condição matemática para que haja histerese consiste no caso em que a inclinação gerada por $G(A)$ é maior que a taxa de variação máxima da curva $F(P_s)$, isto é:

$$\frac{1}{G'(A)} < F'_{\max}(P_s) = f_{\max}(P_s) \quad (8)$$

Calculando pela equação (5):

$$F'(P_s) = f(P_s) = \frac{0,12}{P_s} \quad (9)$$

A equação (9) é uma hipérbole e portanto possui um ponto de máximo global na forma de tendência como $(P_s, f_{\max}(P_s)) \rightarrow (0, \infty)$.

Logo, substituindo (6) e (9) em (8), a condição para haver histerese é:

$$\frac{1}{\phi_F - \phi_S} < f_{\max}(P_s) \Rightarrow \phi_F - \phi_S > \infty \quad (10)$$

o que é uma inconsistência matemática, uma vez que segundo S01, $\phi_F - \phi_S = 26,5$ mm.

Assim, observa-se que provavelmente a histerese não ocorra e apenas um estado de equilíbrio estável seja identificado na região tropical considerada. Trata-se de um resultado que vai de encontro a outros estudos que indicam um possível estado de equilíbrio estável mais seco para a Amazônia. Assim, mesmo que a precipitação seja um fator relevante na distribuição da vegetação (vide Figuras 1a-c), existem outras forças que devem ser consideradas para a transição floresta-savana na América do Sul tropical, como por exemplo, o fogo.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento deste projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DeFries, R.S.; Townchend, T.R.G.; Hansen, M.C. (1999) Continuous fields of vegetation characteristics at the global scale at 1 km resolution. *Journal of Geophysical Research*, **104**(16): 911-925. URL: http://islsdp2.sesda.com/ISLSCP2_1/html_pages/islsdp2_home.html.
- DeFries, R.S.; Hansen, M.C.; Townchend, J.R.G.; Janetos, A.C.; Loveland, T.R. (2000) A new global 1-km dataset of percentage tree cover derived from remote sensing. *Global Change Biology*, **6**: 247-254.
- Lapola, D.M.; Oyama, M.D.; Nobre, C.A. (2006) A new world natural vegetation map for global change studies. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* (submetido). URL: <http://br.geocities.com/dmlapola/>.
- Nix, H.A. (1983) Climate of tropical savannas. In: Bouliere, F. (ed.). *Ecosystems of the world, tropical savannas*, vol. 13. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing, pp. 37-61.
- Rudolf, B.; Hauschild, H.; Rueth, W.; Schneider, U. (1994) Terrestrial precipitation analysis: operational method and required density of point measurements. In: Desbois M. e Desalmand, F. (eds.). *Global Precipitation and Climate Change*, NATO ASI Series, vol. 1, n. 26. New York: Springer-Verlag, pp. 173-186.
- Rudolf, B.; Fuchs, T.; Rueth, W.; Schneider, U. (1997) Precipitation data for verification of NWP model re-analyses: the accuracy of observational Results. In: *Proceedings WCRP International Conference on Reanalyses*, Washington D.C., pp. 27-31, WMO/TD-No. 876, WCRP-104, pp. 215-218.
- Scheffer, M.; Carpenter, S.R. (2003) Catastrophic regime shifts in ecosystems: linking theory to observation. *TRENDS in Ecology and Evolution*, **18**(12): 648-656.
- Sternberg, L.S.L. (2001) Savanna-forest hysteresis in the tropics. *Global Ecology & Biogeography*, **10**: 369-378.