

# CONSEQÜÊNCIAS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS BIOMAS DA AMÉRICA DO SUL

Luis Salazar<sup>1</sup>, Carlos Nobre<sup>1</sup>, e Marcos D. Oyama<sup>2</sup>

*Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Cachoeira Paulista, SP, Brasil*

*Centro Técnico Aeroespacial, Instituto de Aeronáutica e Espaço, Divisão de Ciências Atmosféricas, São José dos Campos, SP, Brasil*

## RESUMO

Se estudam as conseqüências da mudança climática na redistribuição de biomas na América do Sul forçando um modelo de vegetação potencial (CPTEC-PVM. Oyama e Nobre, 2004) com cenários de mudança climática (A2 e B1) proveniente de 9 modelos climáticos do Panel Intergovernamental sobre mudança climática – Quarto Relatório de avaliação (IPCC/AR4). Para América do Sul, os resultados indicam aumento de temperatura com diferencias na magnitude da anomalia entre os diferentes modelos. Para a precipitação, os modelos apresentam divergência no valor e sinal da anomalia para a América do Sul tropical. A análise mostra que para o leste da Amazônia a maioria dos modelos coincidem em condições climáticas futuras propicias para a substituição da floresta por savana no cenário A2. Para o cenário B1, os modelos não chegam a um resultado em comum. Estes resultados têm fortes implicações na agricultura e nos recursos hídricos.

## 1. INTRODUÇÃO

A distribuição geográfica das comunidades da vegetação e sua relação com o clima tem sido examinada com modelos biogeográficos ou modelos de biomas. Estes modelos usam como paradigma central a suposição de que o clima exerce o controle dominante sobre a distribuição da vegetação. Os modelos biogeográficos podem simular a vegetação potencial (sem o efeito do uso da terra) baseado em alguns parâmetros climáticos como a temperatura e a precipitação. Devido à simplicidade destes modelos e à existência de regras empíricas globais entre a vegetação natural e o clima, tem-se utilizado estes modelos para a estimação dos impactos da mudança climática na cobertura vegetal (King e Neilson, 1992; Claussen e Esch, 1994; Nobre et al., 2004; Nobre et al., 2006). Oyama e Nobre (2004) desenvolveram um modelo de vegetação potencial CPTEC-PVM que consegue representar a distribuição global dos diferentes biomas, e em escala regional, os biomas da América do Sul, onde outros modelos extensamente utilizados como o BIOME (Prentice et al., 1992) e o BIOME3 (Haxeltine e Prentice, 1996) tinham algumas deficiências.

Observações de campo (Gash e Nobre, 1997) e estudos numéricos (p.e. Nobre et al., 1991), mostraram que o desmatamento de grande escala na Amazônia pode alterar o clima regional significativamente. O efeito poderia levar à savanização de porções da floresta tropical. Entretanto, poucos estudos abordam o impacto da mudança climática sobre os biomas da América do Sul (entre eles Cox et al., 2000; Nobre et al., 2004). Se examinará, então, o impacto da mudança climática global na distribuição de biomas na América do Sul, com alguns cenários climáticos para o Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas – Quarto reporte de avaliação

(Intergovernmental Panel on Climate Change – Fourth Assessment report, IPCC/AR4), e o modelo de vegetação potencial CPTEC-PVM (Oyama e Nobre, 2004).

## **2. DADOS E METODOLOGIA**

Este estudo utiliza as saídas de nove modelos acoplados Oceano-Atmosfera (CNRM-CM3, INM-CM3.0, ECHO-G, ECHAM5/MPI-OM, GFDL-CM2.0, GFDL-CM2.1, GISS-ER, IPSL-CM4.0 e UKMO-HadCM3) para o IPCC AR4, que têm resoluções entre 2° a 3° de lat/long. Todos esses modelos são forçados com um conjunto de condições de fronteira determinadas por cenários de emissões antropogênicas de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) e outros gases radiativamente ativos. Utilizar-se-á os cenários de mudança climática A2 e B1 que representam uma faixa de desenvolvimento sócio-econômico e as emissões associadas. As condições iniciais dos cenários são de simulações que começam no final do século 20 (Cenário 20CM3), que por sua vez é inicializado na época pré-industrial (1860). O cenário 20CM3 representa o clima atual em cada modelo, com uma mudança temporal da taxa de CO<sub>2</sub> atmosférico de 350 ppm para 370 ppm desde 1990 até 2000. No cenário A2 (B1) a concentração de CO<sub>2</sub> atinge o valor de 850 ppm (550 ppm) em 2100 depois do qual a concentração de CO<sub>2</sub> é mantida constante para o cenário B1.

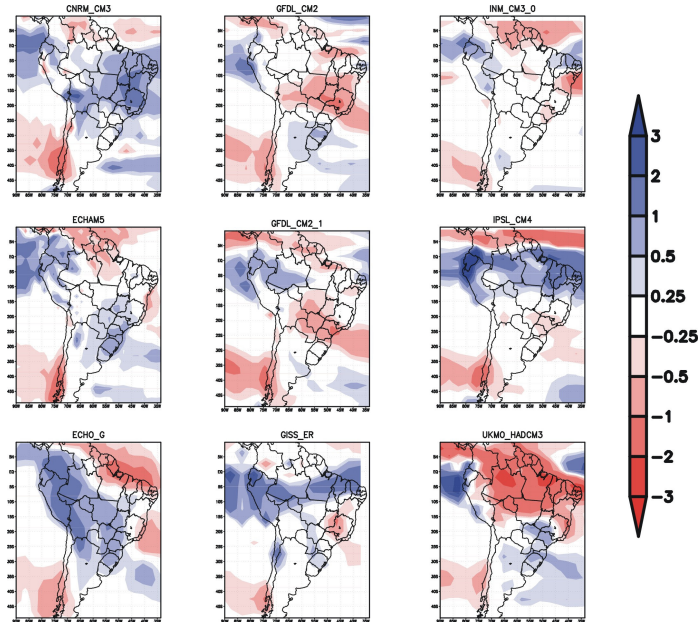
O modelo de vegetação potencial utilizado é o CPTEC-PVM (Oyama e Nobre, 2004). O modelo utiliza como variáveis de entrada o tempo térmico, a temperatura do mês mais frio, um índice hídrico (que permite diferenciar entre climas úmidos e secos) e um índice de seca (D, que representa a sazonalidade da umidade do solo). Estas variáveis são obtidas mediante um modelo de balanço hídrico. Como saída, o modelo gera um bioma que pertence à classificação de Dorman e Sellers (1989).

As anomalias de precipitação e temperatura, calculadas subtraindo os cenários de mudança climática de 2070-2099 à climatologia dos modelos de 1961-1990 (cenário 20C3M), são adicionados à climatologia observada e, utilizando essa nova climatologia como entrada, integra-se o CPTEC-PVM. Este procedimento é feito para eliminar as erros sistemáticos dos modelos na subestimação da precipitação na Amazônia, já que como discutido em Oyama e Nobre (2004), as diferenças entre a simulação (cenário futuro) e o controle (clima atual dos modelos), ou seja, as anomalias, independem da climatologia obtida no controle. Sob essa hipótese, os erros sistemáticos serão filtrados ao subtrair o simulação do controle.

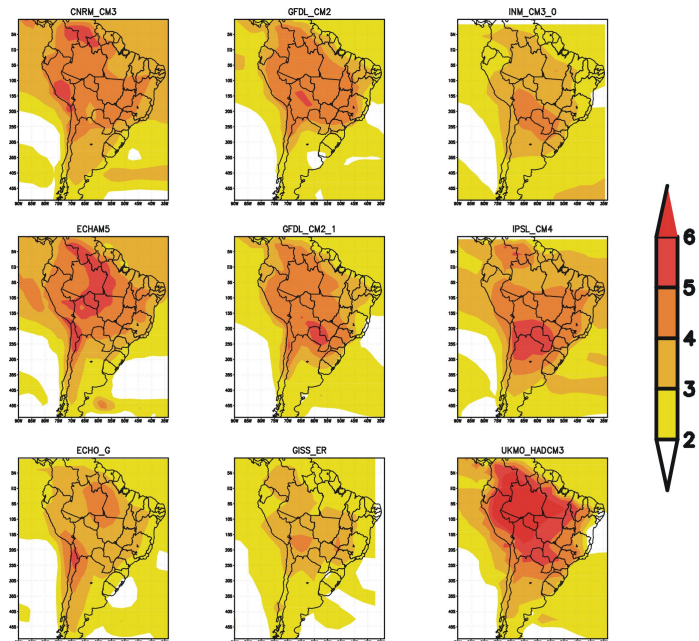
## **3. RESULTADOS**

As figuras 1 e 2 apresentam as anomalias de precipitação e temperatura, respectivamente, para o período 2070 – 2099, com referência no cenário A2. É possível observar que existem grandes diferenças entre os diferentes modelos. Para a precipitação, existem divergências no valor e sinal da anomalia de precipitação (Figura 1). Enquanto os modelos CNRM\_CM3, IPSL\_CM4, ECHO\_G, GISS\_ER apresentam em média uma anomalia positiva sobre América do Sul tropical, outros modelos apresentam diminuição (UKMO\_HADCM3) ou poucas alterações. Para a temperatura existem divergências no valor da anomalia positiva da temperatura, com valores entre 2° a 4°C para o cenário B1 (não mostrado) e de 2°C a 6°C para o cenário A2 (Figura 2). Estas diferenças entre os modelos aumentam as incertezas

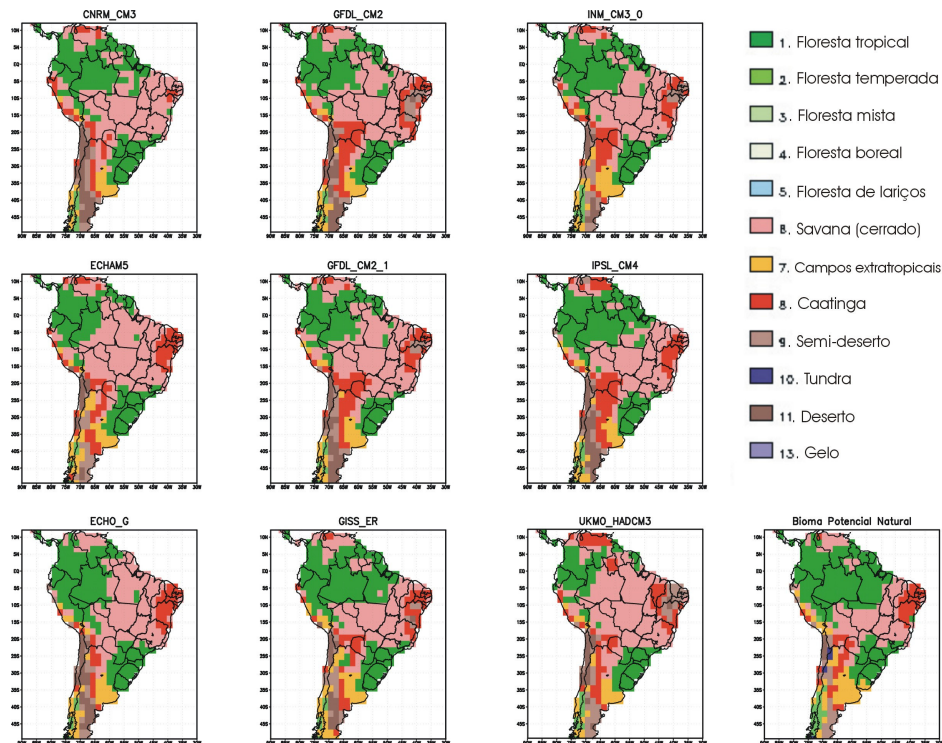
respeito às mudanças no ciclo hidrológico em escalas regionais. A figura 3 apresenta a vegetação potencial atual e a redistribuição de biomas projetadas com o modelo de vegetação potencial CPTec-PVM para América do sul no cenário A2. Em 6 dos 9 modelos, se observa uma tendência importante de redução da área de floresta tropical substituída por savana. Para a América do Sul extratropical, as mudanças são menores.



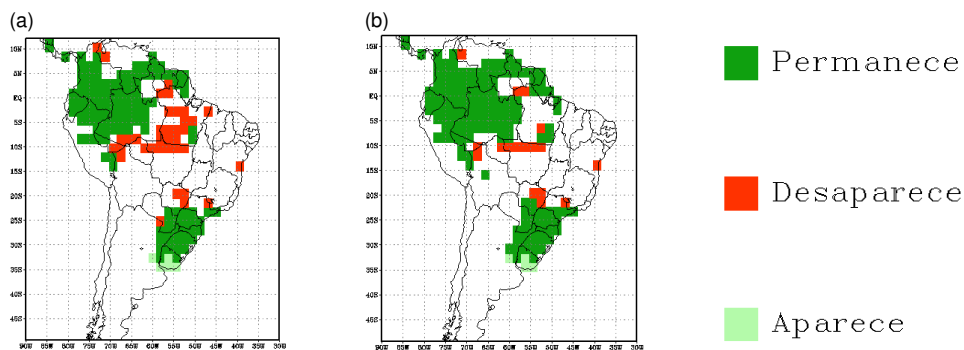
**Figura 1.** Projeções de anomalias de precipitação (mm/dia) para América do Sul para o período de 2070-2099 (Cenário A2) com referência ao período base de 1961-1990.



**Figura 2.** Projeções de anomalias de temperatura (°C) para América do Sul para o período de 2070-2099 (Cenário A2) com referência ao período base de 1961-1990.



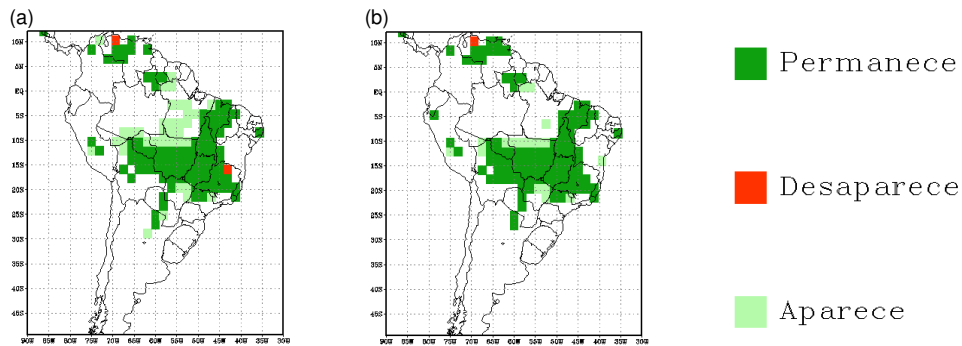
**Figura 3.** Biomas potenciais para o período 2070-2099 do cenário A2 de todos os modelos analisados e bioma potencial natural (inferior Direita).



**Figura 4.** Condição da floresta no período 2070-2099 para mais de 75% dos modelos nos cenários (a) A2 e (b) B1, respeito à vegetação potencial natural atual.

As figuras 4 e 5 apresentam os pontos de grade onde mais do 75% dos modelos coincidem na condição futura (permanência, desaparecimento ou aparecimento) da floresta e da savana, respectivamente (a análise é feita para o “time-slice” de “2080” dos cenários A2 e B1). Os resultados indicam que no cenário A2, mais do 75% dos modelos apresentam regiões de perda da floresta (figura 3a) que são substituídas por savana (figura 4a). Ainda para o cenário B1, entre 50 a 75% dos modelos indicam uma área apreciável de perda de floresta que seria substituída por savana (figuras não mostrada). Desta análise do cenário B1 para a floresta, pode-se concluir também que existe uma área (leste da Amazônia), onde mais do 75% dos modelos não apresentam nem permanência, nem desaparecimento, o que indica

que não existe um consenso definitivo (>75%) do que aconteceria com o bioma nessa região (Figuras 5a e 5b).



**Figura 5.** Condição da savana no período 2070-2099 para mais de 75% dos modelos nos cenários (a) A2 e (b) B1, respeito à vegetação potencial natural atual.

## CONCLUSÕES

Os modelos climáticos globais do IPCC/AR4 e os modelos regionais de mudança climática apontam para cenários climáticos futuros de aumento da temperatura superficial de 2 a 4°C na América do Sul. No entanto, quanto à precipitação, ainda não há consenso em relação ao sinal das anomalias para a Amazônia e o Nordeste brasileiro (Figura 1). Evidentemente, essas mudanças climáticas têm um impacto nos ecossistemas naturais e especificamente na distribuição de biomas, o que por vez têm impactos na biodiversidade, agricultura, nos recursos hídricos, etc. O futuro da distribuição de biomas na América do Sul poderá ser afetada pela combinação dos impactos da mudança climática e da mudança no uso da terra, que podem levar o sistema à savanização de partes da Amazônia e desertificação do Nordeste Brasileiro (outro estado de equilíbrio encontrado por Oyama e Nobre, 2003). A combinação de aquecimento e mudanças na precipitação indica menos água disponível, o que tem um forte impacto na agricultura e nos recursos hídricos.

Na escala regional, não só o clima determina a distribuição da vegetação, mas também outros processos como o tipo de solo, a topografia, a ocorrência de queimadas, entre outros, leva a que existam diferenças entre a vegetação potencial e natural (vegetação nativa, sem perturbações pelo uso do terra), caso que não acontece na grande escala, onde existe uma razoável correspondência entre a vegetação potencial e natural. Portanto, o modelo de vegetação potencial está sendo adaptado para ser utilizado na escala regional. Os cenários climáticos regionais que serão produto do projeto GOF-UK (Marengo, 2004; Marengo e Ambrizzi, 2006), servirão para estudar com o modelo de vegetação potencial regional as conseqüências da mudança climática na América do Sul e permitirá a comparação com os resultados encontrados na grande escala.

## Agradecimentos

*We acknowledge the international modeling groups for providing their data for analysis, the Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison (PCMDI) for collecting and archiving the model data, the JSC/CLIVAR Working Group on Coupled Modelling (WGCM) and their Coupled Model Intercomparison Project (CMIP) and Climate Simulation Panel for organizing the model data analysis activity, and the IPCC WG1 TSU for technical support. The IPCC Data Archive at Lawrence Livermore National Laboratory is supported by the Office of Science, U.S. Department of Energy.*

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Claussen, M., and M. Esch, 1994: Biomes computed from simulated climatologies. *Climate Dynamics*, **9**, 235-243.

Cox, P. M., R. A. Betts, C. D. Jones, S. A. Spall, and I. J. Totterdell, 2000: Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature*, **408**, 184-187.

Dorman, J. L., and P.J. Sellers, 1989: A global climatology of albedo, roughness length and stomatal resistance for atmospheric general circulation models as represented by the Simple Biosphere model (SiB). *Journal of Applied Meteorology*, **28**, 833-855.

Gash, J.H.C. and C.A. Nobre, 1997: Climatic effects of Amazonian deforestation: some results from ABRACOS. *Bulletim of the American Meteorological Society*, **78** (5): 823-830.

Haxeltine, A., and I.C. Prentice, 1996: BIOME3: An equilibrium terrestrial biosphere model based on ecophysiological constraints, resource availability, and competition among plant functional types. *Global Biogeochemical Cycles*, v.**10**, n.4, p.693-709.

King, G.A, and R.P. Neilson, 1992: The transient response of vegetation to climate change: a potential source of CO<sub>2</sub> to the atmosphere. *Water, Air and Soil Pollution*, **64**, 365-383.

Marengo, J., 2004: Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade-Characterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI: CREAS (Cenários REGIONALIZADOS de Clima para América do Sul). Encontro dos coordenadores dos subprojetos apoiados pelo PROBIO, Brasília, DF, 27 a 29 de Outubro.

Marengo, J.A., and T. Ambrizzi, 2006: Use of regional climate models in impacts assessments and adaptations studies from continental to regional and local scales. Proceedings of 8 ICSHMO, Foz do Iguaçu, Brasil, Abril 24-28, INPE. p. 291 – 296.

Nobre, C.A., P.J. Sellers, and J. Shukla, 1991: Amazonian deforestation and regional climate change. *Journal of Climate*, **4**, 10, 957-988.

Nobre, C.A., M.D. Oyama, G.S. Oliveira, J.A. Marengo, E. Salati, 2004: Impacts of climate change scenarios for 2091-2100 on the biomes of South America. First CLIVAR International Conference, Baltimore, USA, 21-25 June.

Nobre, C.A., G.S Oliveira, and L. Salazar, 2006: Climate and Land use changes in Amazonia: Impacts on the hydrological cycle and biome distribution. Em Water and the Environment. Pontifical Academy of Science, Roma. No prelo.

Oyama, M. D., and C.A. Nobre, 2003: A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South América. *Geophysical Research Letters*, v.**30**, n. 23, 2199. doi: 10.1029/2003GL018600.

Oyama, M.D. and C.A. Nobre, 2004. 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.

Prentice, L. C., W. Cramer, S. P Harrison, R. Leemans, R. A. Monserud. and A. M. Solomon, 1992: A global bio'me model based on plant physiology and dominance, soil properties, and climate. *Journal of Biogeography*, **19**, 117-134.