

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE TRIMESTRAL E DECADAL OCASIONADAS PELA  
ALTERAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS DA SUPERFÍCIE\***

**ANÁLISIS TRIMESTRAL DE LA VARIABILIDAD Y DECADAL OCASIONADOS POR  
MODIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS DE LA SUPERFICIE**

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE TRIMESTRAL E DECADAL OCASIONADAS PELA  
ALTERAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS DA SUPERFÍCIE**

**Gabriel Pereira**

Universidade Federal de São João del Rei - UFSJ  
Departamento de Geociências - DEGEO  
gabrielpereira@usp.br

**Maria Elisa Siqueira Silva**

Universidade de São Paulo – USP  
Departamento de Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas - FFLCH  
elisasiq@usp.br

**Elisabete Caria Moraes**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE  
Divisão de Sensoriamento Remoto – DSR  
gabriel@dsr.inpe.br; bete@dsr.inpe.br.

**Resumo:** As mudanças de uso e cobertura da terra ocasionam alterações no balanço de energia, na temperatura do ar, na precipitação, na umidade do ar e na circulação regional e global. Consequentemente, mapas de uso e cobertura da terra e suas respectivas características físico-químicas e biológicas constituem-se em uma importante variável na modelagem numérica de sistemas terrestres. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo principal verificar o impacto nas simulações numéricas do RegCM4 oriundas da atualização do mapa de uso e cobertura da terra e dos parâmetros físicos da vegetação. Em relação às variáveis meteorológicas, as principais diferenças encontradas na evapotranspiração, precipitação, umidade relativa do ar e temperatura a 2 metros concentram-se na região noroeste do Estado do Mato Grosso, nas divisas dos Estados de Mato Grosso do Sul e Mato Grosso com a Bolívia (áreas alagadas do Pantanal brasileiro), região noroeste do Paraguai e para a região da Bacia do Rio da Prata na Argentina, Região Nordeste do Brasil entre outras, devido principalmente à alteração da classe Floresta Ombrófila Densa para áreas de pastagem e agricultura, substituição de áreas de agricultura por áreas de gramíneas, pastagem, vegetação arbustiva e Floresta Estacional Decidual. Além disso, os valores de precipitação simulados pelo modelo RegCM4 encontram-se superestimados para a maior parte da América do Sul, ocasionando um excesso hídrico que deve ser compensado pela evapotranspiração.

**Palavras-chave:** Modelagem numérica, sensoriamento remoto, parâmetros físicos, RegCM4.

**Resumen:** Los cambios en la cubierta y el uso terrestre provocan mudanzas en el balance de energía, en la temperatura del aire, en la precipitación, humedad y en la circulación regional y global. Por lo tanto, mapas de la cobertura y uso de la tierra y sus propiedades físico-químicas y biológicas constituyen una variable importante en el modelado numérico de sistemas terrestres. Así, el presente trabajo tiene como principal

---

\* Este artigo é parte dos resultados da Tese em Geografia Física do primeiro autor. Agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio (2010/07083-0).

objetivo verificar el impacto en simulaciones numéricas de lo RegCM4, derivadas de la actualización en lo mapa de uso y cobertura del suelo y los parámetros físicos de la vegetación. En relación a las variables meteorológicas, las principales diferencias en la evapotranspiración, la precipitación, la humedad relativa y la temperatura a 2 metros se concentran en la región noroeste del Estado de Mato Grosso, en las bordes de los Estados de Mato Grosso y Mato Grosso do Sul con Bolivia (Brasil Pantanal), el noroeste de Paraguay y la región de la cuenca del río de la Plata en Argentina, al noreste de Brasil, entre otros, debido principalmente al cambio en la clase floresta para pastos y agricultura; y en sustitución de de las zonas agrícolas por zonas de herbáceo, pasto, matorral y bosque caducifolio estacional. Además, los valores de precipitación simulada em RegCM4 están sobreestimadas en la mayor parte de América del Sur, provocando un exceso de lluvia que debe ser compensada por la evaporación.

**Palabras clave:** Modelación numérica, percepción remota, parámetros físicos, RegCM4.

**Abstract:** Land use and land cover changes modify the energy balance, air temperature, precipitation, air humidity and regional and global air circulation. Consequently, land use and land cover maps and its physical-chemical and biological properties are an important variable in numerical modeling of earth systems. In this context, this information constitutes an important variable for numerical modeling of earth systems. Therefore, this work has as main objective is to investigate the impact of land use and land cover and in physical-chemical and biological properties of vegetation in numerical simulations of RegCM4 model. Thus, the main differences in evapotranspiration, precipitation, relative humidity and temperature at two meters simulations concentrated in the northwest of Mato Grosso, in Mato Grosso do Sul, Mato Grosso and Bolivia (the Brazilian Pantanal wetlands) border, northwestern of Paraguay, River Plate basin in Argentina, northeastern Brazil, mainly due to the substitution of tropical rain forest by croplands, grassland, scrubland vegetation and deciduous forest. Furthermore, the simulated rainfall values of RegCM4 are overestimated for most of South America, causing an excess of water that must be compensated by evaporation.

**Keywords:** Numerical modeling, remote sensing, physical parameters, RegCM4.

## 1. Introdução

Na década de 70 diversos estudos constatavam que as mudanças no albedo derivadas das alterações das características físico-químicas e biológicas da superfície possuíam implicações no balanço de energia e, conseqüentemente, no clima regional (OTTERMAN, 1974; SAGAN et al., 1979). Na década de 80 estudos sobre os ecossistemas terrestres como sumidouros de Carbono (C) já examinavam os impactos das mudanças do uso e cobertura da terra no clima a partir do seu papel no ciclo do C (LANLY, 1982; HOUGHTON et al., 1985). Conseqüentemente, o uso e cobertura da terra deve ser considerado como um fator fundamental na modelagem numérica do tempo e clima, pois cada alvo que compõe a superfície terrestre interage com a radiação eletromagnética (REM), produz trocas de energia entre a biosfera-atmosfera, além de interagir com a circulação local. Atualmente, ações antropogênicas provocam mudanças nas características da superfície em escala regional, entre as mais importantes pode-se citar a desertificação, o desflorestamento, a regeneração de áreas degradadas e a urbanização, as quais podem influenciar o clima global. O surgimento de regiões áridas e semiáridas deve-se principalmente ao uso intenso da terra para a agricultura e pastoreio (KASSAS, 1995; ALLINGTON e VALONE, 2010). Nestas regiões, a remoção da vegetação e a exposição dos solos ocasionam a redução da capacidade de retenção de água no solo e o aumento do escoamento superficial e do albedo (HENDERSON-SELLERS, 1996;

VERSTRAETE ET al., 2008). Esta mudança nas características físico-químicas e biológicas da superfície reduz o fluxo de calor latente e aumenta a temperatura da superfície (WANG et al., 2007).

Atualmente, aproximadamente 30% da superfície terrestre é composta por formações florestais. Entretanto, as áreas de florestas em todo o globo estão diminuindo rapidamente, principalmente nos trópicos, enquanto que em médias latitudes pode-se constatar uma regeneração de florestas temperadas (ASSELIN et al., 2001; GRADOWSKI et al., 2010). No Brasil, segundo o Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia (PRODES), estima-se que aproximadamente 135 mil km<sup>2</sup> da Floresta Amazônica tenha sofrido algum processo de desmatamento desde 1988. Este desmatamento ocasionou grandes modificações nas características da superfície (MCGUFFIE e HENDERSON-SELLERS, 2001), e dentre os principais impactos destaca-se as alterações no balanço hídrico, uma vez que a evapotranspiração proveniente das formações florestais é bem maior que em áreas agrícolas ou de pastagem. A alteração do albedo da superfície e da evapotranspiração modificam significativamente a precipitação nestas regiões, influenciando o balanço hídrico regional (NOBRE et al., 1991; LATIFOVIC e POULIOT, 2007). Além disto, estes impactos podem ocasionar o empobrecimento do solo e a redução da biodiversidade das áreas desmatadas (FUJISAKA et al., 1998; D'OLIVEIRA et al., 2011).

Dadas às circunstâncias acima descritas, mapas de uso e cobertura da terra e suas respectivas características físico-químicas e biológicas constituem-se em uma importante variável para a modelagem numérica de sistemas terrestres. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo principal verificar o impacto na evapotranspiração, umidade relativa, precipitação e temperatura do ar derivadas da atualização das classes de uso e cobertura da terra e dos parâmetros físico-químicos e biológicos utilizados pelo *Biosphere Atmosphere Transfer Scheme* (BATS) implementado no modelo numérico RegCM4.

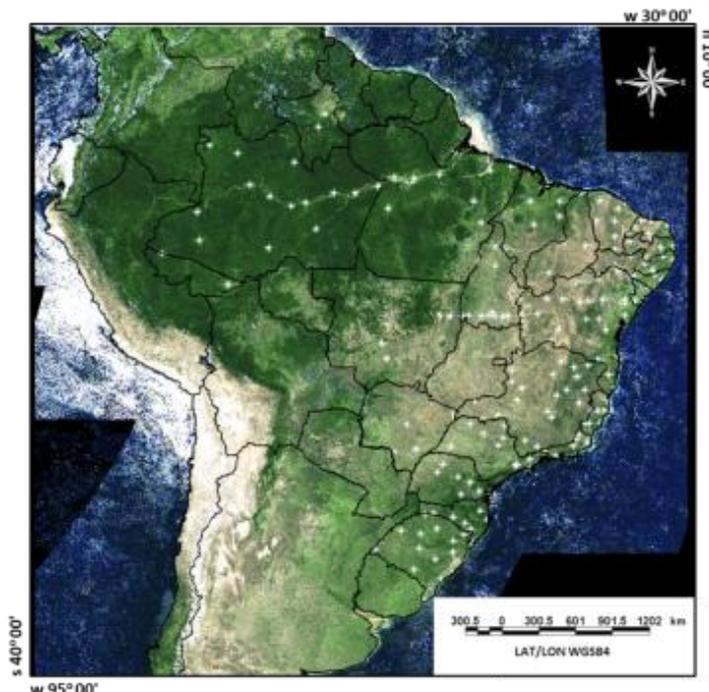
## 2. Materiais e Métodos

### 2.1 Área de estudo e as simulações no RegCM4

A área de estudo (**Figura 1**) compreende a parte central da América do Sul, localizada entre as coordenadas geográficas com latitudes entre N 10°00' e S 40°00', longitudes entre W 95°00' e W 30°00', e representa um recorte do domínio espacial utilizado nas simulações com o modelo RegCM. O RegCM4 pode ser considerado como um modelo numérico de área limitada, caracterizado pela boa consistência na representação dos fenômenos meteorológicos. A primeira versão do modelo climático regional RegCM foi desenvolvida por Dickinson et al. (1989) e Giorgi (1989) no final da década de 80 com base no modelo numérico Mesoscale Model versão 4 (MM4) e

engloba vários esquemas de convecção cúmulos, umidade, condições iniciais e de contorno lateral, fluxos oceânicos e gradiente de pressão. Para as interações entre a atmosfera e a biosfera pode-se utilizar o modelo de superfície denominado BATS, que simula a influência da vegetação e umidade do solo no balanço de energia.

**Figura 1. Mosaico de imagens do sensor MODIS/TERRA, composição cor-verdadeira (3B4G1R); estações meteorológicas (em branco) utilizadas pelo Grupo de Previsão Climática do INPE para a Krigeagem dos dados de precipitação e temperatura.**



Neste trabalho, definiram-se como configurações do modelo as seguintes variáveis: I) início da simulação dia 01 de janeiro de 2007 e final da simulação dia 01 de janeiro de 2008 (análise da variabilidade trimestral) e 01 de janeiro de 2000 a 01 de janeiro de 2010 (análise decadal); II) 160 pontos na coordenada x (longitude); III) 160 pontos na coordenada y (latitude); IV) 18 pontos em z (altitude); V) resolução espacial de 50 km<sup>2</sup> com início da grade em S 22° 00' e O 60° 00'. Para as condições iniciais e de contorno lateral, assim como, os dados de temperatura da superfície do mar (TSM) foram utilizados os dados provenientes do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF). Ainda, adotou-se a técnica de relaxamento exponencial, o esquema de condições iniciais proposto por Holtslag et al. (1990), o esquema de fechamento cúmulos desenvolvido por Fritsch e Chappell (1980), o esquema de fluxo oceânico proposto por Zeng et al. (1998), o esquema de gradiente de pressão que emprega a dedução hidrostática com perturbação da temperatura e a parametrização cúmulos de Emmanuel (1991).

## **2.2 Atualização do uso e cobertura da terra e dos parâmetros físicos da vegetação no modelo RegCM4**

Para atualizar o uso e cobertura da terra e os parâmetros físicos da vegetação utilizaram-se os produtos provenientes do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS). O sensor MODIS das plataformas Terra/Aqua possuem órbita polar, ângulo de imageamento de aproximadamente 55°, altitude de 700 km e faixa imageada de 2330 km. O horário de passagem varia sobre um dado ponto da superfície de acordo com a plataforma: enquanto a plataforma Terra, cujos produtos originados destas recebem a sigla MOD, cruza o Equador em sua órbita descendente às 10h30min e 22h30min; a plataforma Aqua, onde os produtos são denominados de MYD, em sua órbita ascendente, cruza o Equador às 13h30min e 01h30min. Ainda, os produtos originados de informações de ambas as plataformas recebem a sigla MCD.

Neste trabalho utilizaram-se os produtos MCD12Q1 (uso e cobertura da terra para a América do Sul, resolução espacial de 500x500m, anual), MCD12C1 (uso e cobertura da terra, resolução espacial de 5600x5600m, global e anual), MOD13C2 (índice de vegetação, resolução espacial de 5600x5600m, global e mensal), MCD15A2 (índice de área foliar - IAF, resolução espacial de 1000x1000m, por regiões e a cada 8 dias), MOD16A3 (evapotranspiração, resolução espacial de 1000x1000m, global e anual) e MCD43C3 (albedo, resolução espacial de 5600x5600m, global e a cada 16 dias). Além dos produtos MODIS, utilizaram-se os dados do programa Mapeamento da Cana via Imagens de Satélite de Observação da Terra (CANASAT) e do CAFESAT (MOREIRA et al., 2004; RUDORFF et al., 2010), os dados de intensidade de luzes originados pelo OLS/DMSF (CROFT, 1978) e os dados do PRODES.

## **2.3 Dados complementares**

Os dados do TRMM foram utilizados neste trabalho para analisar a distribuição espacial da precipitação sobre a América do Sul e verificar a consistência dos resultados de precipitação obtidos com o RegCM4. De um modo geral, o lançamento do satélite TRMM em novembro de 1997 permitiu a obtenção de informações sobre as características da precipitação em lugares que possuem uma baixa densidade de redes de estações meteorológicas como, por exemplo, nos Estados do Acre, Amapá, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Pará, Rondônia, Roraima, entre outros. Os dados utilizados neste trabalho foram extraídos do produto 3B43 V6, com uma resolução temporal mensal, cobertura geográfica correspondente a 50°S a 50°N e resolução espacial de 0,25° x 0,25°.

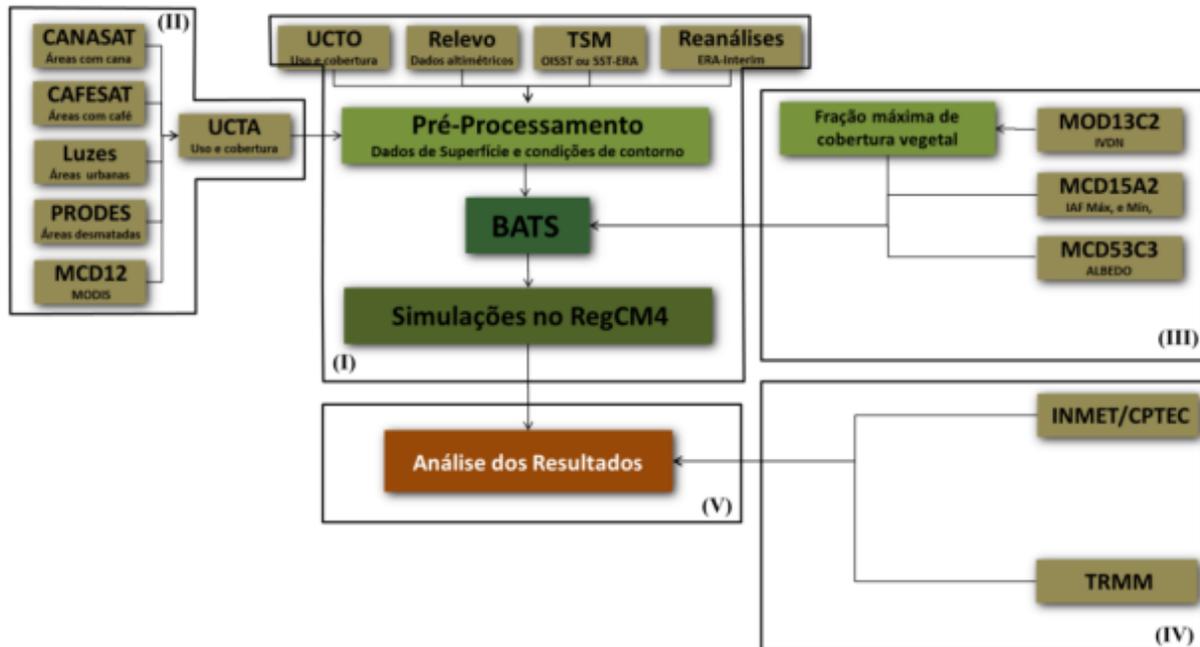
Para avaliar as simulações realizadas no RegCM4 utilizaram-se as séries históricas de precipitação (mm), temperatura média (°C) e umidade relativa do ar (%) disponibilizadas pelo CPTEC. Estes dados correspondem às informações derivadas do *Surface Synoptic Observations*

(SYNOP/INMET), das plataformas de coleta de dados (PCDs) do Centro de Missão de Coleta de Dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CMCD/INPE) e parceiros do Programa de Monitoramento de Tempo, Clima e Recursos Hídricos (PMTCRH/INPE). Os dados meteorológicos, disponibilizados pelo Grupo de Previsão Climática do INPE com resolução espacial de 0,25° (aproximadamente 28x28km), foram originados a partir da interpolação por Krigagem dos dados das estações meteorológicas. Como visualizado na **Figura 1**, as estações meteorológicas utilizadas no processo de Krigagem estão concentradas principalmente no litoral brasileiro ou próximas à rede hidrográfica, sendo que no total foram utilizadas 183 estações meteorológicas, na qual 64 estão localizadas na região Nordeste, 39 no Norte, 8 no Centro-Oeste, 27 no Sul e 45 no Sudeste.

## **2.4 Metodologia**

A **Figura 2** exibe o fluxograma da metodologia, dividido em 5 etapas principais. A primeira (I) refere-se à simulação para o período compreendido entre 01 de janeiro de 2007 e 01 de janeiro de 2008; e 01 de janeiro de 2000 a 01 de janeiro de 2010, utilizando os dados de entrada (relevo, uso e cobertura da terra, condições iniciais e de contorno lateral) originais do modelo RegCM4. A segunda etapa (II) consistiu na alteração do mapa de uso e cobertura da terra utilizado pelo modelo de superfície BATS para calcular os processos entre a atmosfera-biosfera. Nesta etapa, utilizaram-se os dados orbitais (MODIS) e produtos oficiais (CANASAT, CAFESAT, PRODES) para atualizar o mapa de uso e cobertura da terra para o ano de 2007. Nas etapas I e II realiza-se a modelagem numérica das principais variáveis meteorológicas. De um modo geral, pode-se subdividir estas etapas em 3 módulos principais: (a) Pré-processamento, onde as informações de altimetria, uso e cobertura da terra, TSM e as variáveis meteorológicas são interpoladas e reprojadas de acordo com a área de estudo; (b) RegCM, módulo responsável pela execução do modelo; e (c) Pós-processamento, onde são realizadas operações de média (diária, mensal, anual), interpolação e conversão de variáveis.

Figura 2. Fluxograma da metodologia dividido em 5 etapas principais.



A terceira etapa (III) representa a extração dos principais atributos utilizados pelo BATS (fração máxima de cobertura vegetal, índice de área foliar, reflectância no visível e no infravermelho) e na alteração destes parâmetros para cada classe de uso e cobertura da terra (**Tabela 1**) utilizados pelo RegCM4. Para a avaliação dos resultados (V), utilizaram-se os dados provenientes do TRMM (precipitação) e os dados do INMET/CPTEC (temperatura média e umidade relativa do ar), descritos como a etapa IV.

**Tabela 1 - Classes de uso e cobertura da Terra do GLCC utilizadas pelo BATS.**

1	Predominância Agrícola	11	Semideserto
2	Gramíneas	12	Gelo / Glaciar
3	Floresta de coníferas	13	Região Pantanosa / Alagada
4	Floresta de coníferas decidual	14	Água interior
5	Floresta Estacional Decidual	15	Oceano
6	Floresta Ombrófila Densa	16	Vegetação arbustiva perene
7	Vegetação Herbácea	17	Vegetação arbustiva decidual
8	Deserto	18	Mosaico de Floresta e pastagem
9	Tundra	19	Mosaico de pastagem e floresta
10	Agricultura irrigada	20	Combinação de água e terra

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Estimativa dos parâmetros físicos utilizados pelo modelo de superfície BATS

A estimativa da fração máxima de cobertura vegetal (FCV) para a área de estudo foi originada a partir da análise temporal dos valores máximos de NDVI para o período compreendido entre 2000 e 2010, provenientes do produto MOD13C2 com resolução espacial de 5600x5600m e escala temporal mensal. Para estimar a FCV referente ao ano de 2007, foram utilizados valores de NDVI para as componentes solo e vegetação correspondentes a 0,05 e 0,94, respectivamente. A partir do mapa de FCV, extraíram-se, para cada classe de uso e cobertura da terra, os valores médios desta variável. A **Tabela 2** mostra os valores adotados pelo modelo de superfície BATS e os novos valores encontrados para a área de estudo. Entre as principais diferenças decorrentes da atualização dos valores de FCV pode-se citar a classe de uso e cobertura da terra referente às gramíneas, ao semideserto, à vegetação arbustiva decidual e ao mosaico de floresta e pastagem com variações de -41%, -51%, -60% e 13%, respectivamente. Percebe-se ainda, que algumas classes permaneceram próximas aos antigos valores e outras tiveram um pequeno aumento/diminuição, como, por exemplo, a Floresta Ombrófila Densa que passou de 90% para 94%.

**Tabela 2 - Valores da FCV para cada classe de uso e cobertura da terra utilizados pelo modelo de superfície BATS e os novos valores extraídos a partir dos dados de NDVI.**

Classe	Nome	FCV Antiga (%)	FCV Nova (%)	Diferença (%)
1	Predominância Agrícola	85,0	80,0	<b>-6,0</b>
2	Gramíneas	80,0	47,0	<b>-41,0</b>
3	Floresta de coníferas	80,0	84,0	<b>5,0</b>
4	Floresta de coníferas decidual	80,0	83,0	<b>4,0</b>
5	Floresta Estacional Decidual	80,0	79,0	<b>-1,0</b>
6	Floresta Ombrófila Densa	90,0	94,0	<b>4,0</b>
7	Vegetação Herbácea	80,0	75,0	<b>-6,0</b>
8	Deserto	-	-	-
9	Tundra	60,0	69,0	<b>15,0</b>
10	Agricultura irrigada	80,0	82,0	<b>2,0</b>
11	Semideserto	35,0	17,0	<b>-51,0</b>
12	Gelo / Glaciar	-	-	-
13	Região Pantanosa / Alagada	80,0	71,0	<b>-11,0</b>
14	Água interior	-	-	-
15	Oceano	-	-	-
16	Vegetação arbustiva perene	80,0	79,0	<b>-1,0</b>
17	Vegetação arbustiva decidual	80,0	32,0	<b>-60,0</b>
18	Mosaico de Floresta e pastagem	80,0	90,0	<b>13,0</b>
19	Mosaico de pastagem e floresta	80,0	84,0	<b>5,0</b>
20	Combinação de água e terra	80,0	80,0	-

A **Tabela 3** exibe os valores adotados pelo modelo de superfície BATS e os valores que foram alterados na tabela de atributos de cada classe de uso e cobertura da terra. Diferentemente dos dados de NDVI que representam uma composição mensal dos dados, os valores de reflectância no visível e no infravermelho próximo e médio (RVIVPM) derivados do produto MCD43C3, possuem resolução temporal de 16 dias, sendo comum encontrar pixels com valores contaminados com nuvem. Desta forma, para evitar contabilizar estes pixels na extração dos valores para cada classe de uso e cobertura da terra, os valores referentes à RVIVPM foram determinados a partir da maior frequência em cada classe (moda). Entre as principais diferenças decorrentes da atualização dos valores de RVIVPM podem-se citar áreas com predominância agrícola, região pantanosa / alagada, água interior, oceano, vegetação arbustiva perene, entre outras.

**Tabela 3 - Valores da RVIVPM para cada classe de uso e cobertura da terra.**

Classe	Nome	RVIVPM antiga	RVIVPM Nova	Diferença (%)
1	Predominância Agrícola	0,10 / 0,30	0,06 / 0,26	-40 / -13
2	Gramíneas	0,10 / 0,30	0,10 / 0,27	0 / -10
3	Floresta de coníferas	0,04 / 0,20	0,04 / 0,19	0 / -5
4	Floresta de coníferas decidual	0,04 / 0,20	0,04 / 0,21	0 / 5
5	Floresta Estacional Decidual	0,06 / 0,26	0,05 / 0,22	-16 / -15
6	Floresta Ombrófila Densa	0,04 / 0,20	0,04 / 0,22	0 / 10
7	Vegetação Herbácea	0,08 / 0,30	0,07 / 0,24	-13 / -20
8	Deserto	0,20 / 0,40	0,22 / 0,38	10 / -5
9	Tundra	0,10 / 0,30	0,70 / 0,50	700 / 67
10	Agricultura irrigada	0,08 / 0,28	0,07 / 0,24	-13 / -14
11	Semideserto	0,17 / 0,34	0,14 / 0,28	-18 / -18
12	Gelo / Glaciar	0,80 / 0,60	0,92 / 0,61	15 / 2
13	Região Pantanosa / Alagada	0,06 / 0,18	0,04 / 0,20	-33 / 11
14	Água interior	0,07 / 0,20	0,08 / 0,01	14 / -95
15	Oceano	0,07 / 0,20	0,07 / 0,01	0 / -95
16	Vegetação arbustiva perene	0,05 / 0,23	0,10 / 0,27	100 / 17
17	Vegetação arbustiva decidual	0,08 / 0,28	0,06 / 0,22	-25 / -21
18	Mosaico de Floresta e pastagem	0,05 / 0,23	0,04 / 0,22	-20 / -4
19	Mosaico de pastagem e floresta	0,06 / 0,18	0,05 / 0,24	-17 / 33
20	Combinação de água e terra	0,06 / 0,18	0,05 / 0,24	-17 / 33

Assim como no produto MCD43C3 (Reflectância no visível e infravermelho próximo e médio), os dados de IAF, extraídos do produto MCD15A2, com resolução temporal de 8 dias, possui a influência de nuvens no decorrer de 8 dias. Os produtos MODIS representam um mosaico temporal de sucessivas imagens, sendo que o pixel resultante do processamento é constituído de um ou mais pixels sem nuvem. Porém, em muitos casos, principalmente em regiões tropicais, é comum que nos 8 ou 16 dias (dependendo do produto MODIS) haja sempre a interferência de nuvem no pixel. O resultado desta interferência pode ser visualizado sobre a região amazônica na **Figura 3**, na

qual valores em verde claro em plena área de floresta, que contrastam com o verde escuro de áreas vizinhas, indicam a presença de nuvens em todos os dias de passagem do sensor.

**Figura 3. IAF para a região noroeste da Floresta Amazônica, demonstrando a interferência das nuvens no produto MCD15A2.**



Dada as circunstâncias acima mencionadas, para a extração dos valores de IAF utilizados para atualização da tabela presente no modelo de superfície BATS, optou-se por analisar pontualmente a série anual de 2007, adquirindo-se os valores máximos e mínimos mais frequentes. A **Tabela 4** exhibe os valores adotados pelo modelo de superfície BATS e os novos valores encontrados para a área de estudo. Entre as principais diferenças decorrentes da atualização dos valores de IAF podem-se destacar áreas pantanosas / alagadas, regiões de Floresta Estacional Decidual, de vegetação arbustiva e áreas compreendendo o mosaico de pastagem e floresta.

Tabela 4 - Valores de IAF para cada classe de uso e cobertura da terra presente no BATS.

Classe	Nome	IAF máximo e mínimo antigo	IAF máximo e mínimo novo	Diferença (%)
1	Predominância Agrícola	4 / 0,5	4 / 0,1	0 / -80
2	Gramíneas	2 / 0,5	2,5 / 0,5	25 / 0
3	Floresta de coníferas	6 / 5	6,5 / 4,5	8 / -10
4	Floresta de coníferas decidual	6 / 1	6,5 / 1	8 / 0
5	Floresta Estacional Decidual	6 / 1	6,5 / 2	0 / 100
6	Floresta Ombrófila Densa	6 / 5	7 / 6,5	17 / 30
7	Vegetação Herbácea	6 / 0,5	2 / 0,5	-67 / 0
8	Deserto	0 / 0	0 / 0	0 / 0
9	Tundra	6 / 0,5	5 / 0,5	-17 / 0
10	Agricultura irrigada	6 / 0,5	4 / 0,1	-33 / -80
11	Semideserto	6 / 0,5	0,7 / 0,1	-88 / -80
12	Gelo / Glaciar	0 / 0	0 / 0	0 / 0
13	Região Pantanosa / Alagada	6 / 0,5	4 / 4	-33 / 700
14	Água interior	0 / 0	0 / 0	0 / 0
15	Oceano	0 / 0	0 / 0	0 / 0
16	Vegetação arbustiva perene	6 / 5	2 / 1	-67 / -80
17	Vegetação arbustiva decidual	6 / 1	2 / 0,5	-67 / -50
18	Mosaico de Floresta e pastagem	6 / 3	6 / 3	0 / 0
19	Mosaico de pastagem e floresta	6 / 0,5	5 / 3	-17 / 500
20	Combinação de água e terra	0,5 / 0,5	0,5 / 3	0 / 0

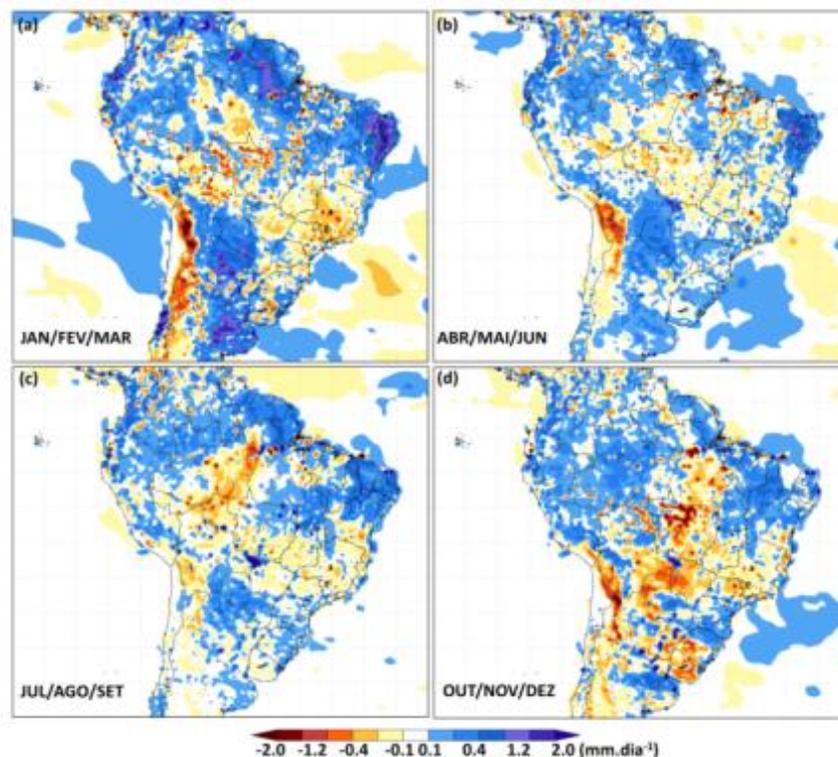
### 3.2 Análise da variabilidade trimestral e decadal das simulações no RegCM4

A **Figura 4** mostra a diferença trimestral para o ano de 2007 dos valores de evapotranspiração ( $\text{mm.dia}^{-1}$ ) obtidos a partir da simulação da dinâmica da vegetação (variação dos principais parâmetros físicos utilizados pelo BATS) e a simulação de controle (modelo sem alterações nos parâmetros físicos). A evapotranspiração proporciona um indicativo da perda de água pela superfície a partir da evaporação e/ou da perda de água da planta no processo de transpiração. Esta variável meteorológica é a principal responsável pelo retorno da precipitação para a atmosfera, desta forma, ao considerar uma área de 1 ha, contendo uma lâmina de 1 mm de água, a evapotranspiração potencial para um determinado dia será de  $10 \text{ m}^3$  de água por hectare. Entre as principais diferenças encontradas, pode-se destacar: I) o aumento da evapotranspiração na região Nordeste do Brasil, com valores acima de  $2 \text{ mm.dia}^{-1}$  nos trimestres JAN/FEV/MAR, ABR/MAI/JUN; II) a diminuição da evapotranspiração na região noroeste do Estado do Mato Grosso, com valores superiores a  $-2 \text{ mm.dia}^{-1}$  nos trimestres JAN/FEV/MAR, OUT/NOV/DEZ; III) o aumento da evapotranspiração nas divisas dos Estados de Mato Grosso do Sul e Mato Grosso com a Bolívia (áreas alagadas do Pantanal brasileiro), com valores superiores a  $-2 \text{ mm.dia}^{-1}$ ; IV)

diminuição da evapotranspiração na região central do Brasil, com valores superiores a  $-1 \text{ mm.dia}^{-1}$ ; e V) aumento da variabilidade anual na região da Argentina, Paraguai e Bolívia.

Ressalta-se que as principais causas da redução/aumento nos valores da evapotranspiração estão relacionadas com a modificação da temperatura de superfície, do calor específico, da alteração do regime de ventos devido à circulação local e com a substituição de determinados usos por rios ou lagos (como, por exemplo, o aumento da hidrografia no Pantanal devido à atualização do uso e cobertura da terra). Podem-se citar como exemplos as alterações na temperatura devido ao albedo e propriedades caloríficas da água (que aquece mais lentamente em comparação aos solos), a alteração do regime de ventos, que ocasiona a modificações na velocidade do vento e, conseqüentemente, reduz as interações e transportes de umidade de camadas de ar saturadas próximas aos corpos d'água, entre outros.

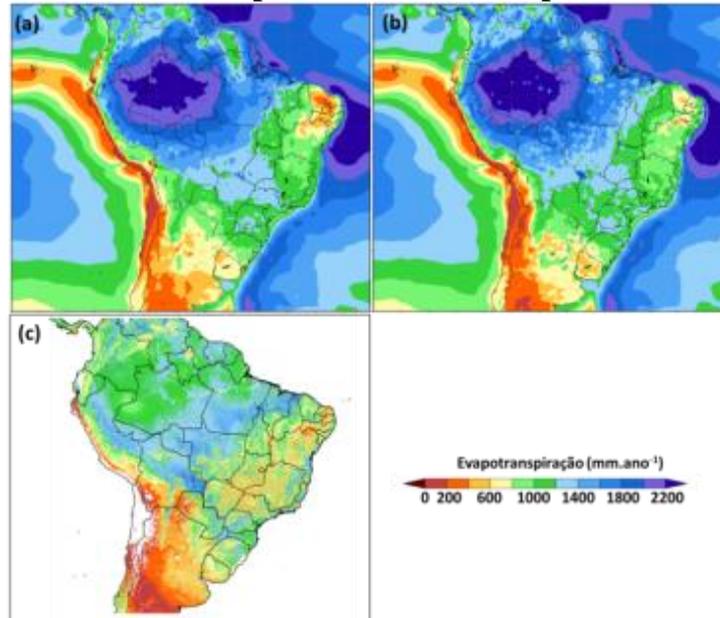
**Figura 4. Diferença entre a evapotranspiração trimestral média ( $\text{mm.dia}^{-1}$ ) estimada a partir da simulação da variação dos parâmetros físicos (FCV, IAF, REF) e as condições originais do modelo de superfície BATS.**



A **Figura 5** mostra a evapotranspiração total para o ano de 2007 simulada a partir o RegCM4 para 2 casos: I) modelo sem alterações nos parâmetros físicos, **Figura 5a**; II) modelo com a variação trimestral dos principais parâmetros físicos utilizados pelo BATS, **Figura 5b**; e os valores estimados pelo produto MOD16 proveniente do sensor MODIS/TERRA (**Figura 5c**). O produto global de evapotranspiração MOD16, derivado de informações do sensor MODIS/TERRA, utiliza dados de uso e cobertura da terra, radiação fotosinteticamente ativa, índice de área foliar,

albedo e da reanálise de dados meteorológicos provenientes de reanálises disponibilizados pela NASA, para estimar a evapotranspiração diária (MU et al., 2011).

**Figura 5. (a) Evapotranspiração anual total para 2007 simulado no RegCM4; (b) Evapotranspiração anual total para 2007 estimada a partir da alteração dos parâmetros físicos a cada 3 meses utilizado pelo modelo de superfície BATS; (c) Evapotranspiração anual total para 2007 estimada pelo sensor MODIS (produto MOD16A3).**



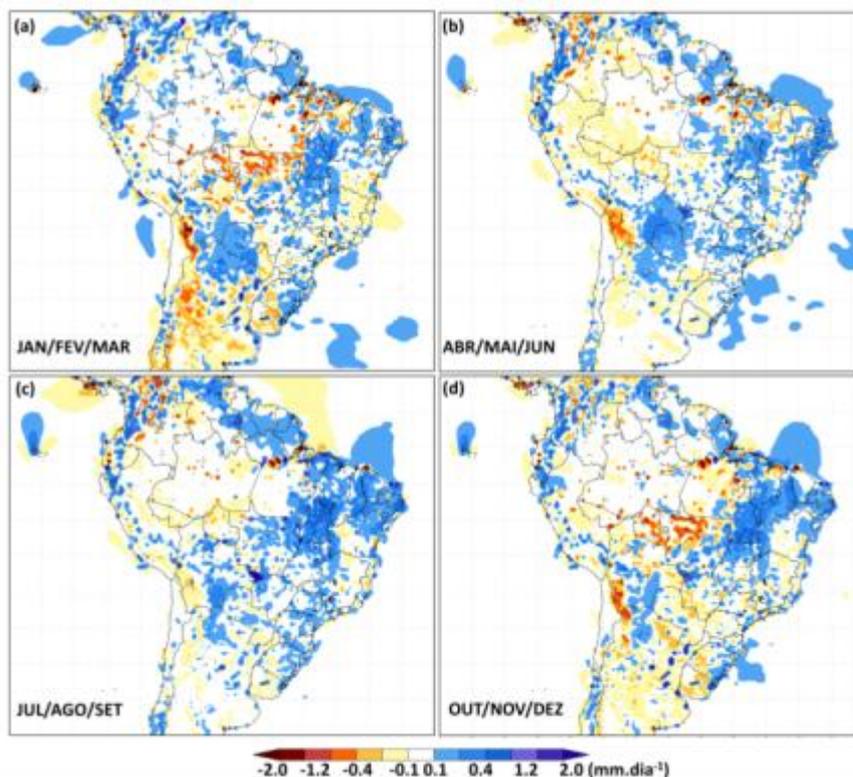
Desta forma, regiões que apresentam uma grande incidência de nuvens como as Florestas Tropicais, influenciam nas estimativas dos parâmetros físicos necessários ao cálculo da evapotranspiração. Esta característica pode ser visualizada na **Figura 5c**, principalmente na região amazônica, onde os valores de evapotranspiração sofrem uma redução considerável em relação à borda da floresta. Pode-se citar como exemplo os valores encontrados na divisa entre os Estados do Mato Grosso e Amazonas, que variam entre 1400 a 1800 mm.ano<sup>-1</sup>, teoricamente. À medida que se avança para o interior da Floresta Amazônica, estes valores deveriam se manter constantes ou mesmo aumentar, porém, o que se pode constatar é a diminuição da evapotranspiração para 800 mm.ano<sup>-1</sup> (áreas em verde). Embora se perceba uma descontinuidade dos dados para a Floresta Amazônica, é possível verificar que nas áreas em que a incidência de nuvens é menor (geralmente nas bordas da Floresta), os valores estimados pelo modelo RegCM4 e os estimados pelo produto MOD16 estão coerentes, o que não ocorre na região norte do Estado do Amazonas.

Para outras regiões da América do Sul, percebe-se uma coerência nas estimativas da evapotranspiração, principalmente na região da Patagônia Argentina/Chilena, na bacia do Rio da Prata, Bolívia e região Nordeste e Sul do Brasil. As principais diferenças anuais nos valores de evapotranspiração entre os dados simulados pelo RegCM4 e os estimados pelo produto MOD16 estão localizadas na região que abrange os estados da Bahia, Tocantins, Minas Gerais, Mato Grosso

do Sul e região sudeste do Estado do Mato Grosso. Nestas regiões, os valores estimados pela modelagem numérica variam entre 1000 e 1800 mm.ano<sup>-1</sup>, entretanto, os valores estimados pelo MOD16 encontram-se entre 400 e 1200 mm.ano<sup>-1</sup>. Esta discrepância está relacionada com a precipitação estimada pelo modelo RegCM4, que em muitos casos pode superestimar a precipitação em até 1000 mm nestas áreas.

Com o intuito de verificar o papel das mudanças de uso e cobertura da terra nas alterações das principais variáveis meteorológicas, realizaram-se duas simulações de 10 anos para a América do Sul. A **Figura 6** exibe a diferença trimestral na evapotranspiração para as simulações de 10 anos realizadas no RegCM4. Na figura abaixo, é possível verificar que em média, a diferença de uso e cobertura da terra ocasiona variações entre -0,4 e 0,4 mm.dia<sup>-1</sup>, porém, em alguns casos, principalmente nos meses mais quentes, é possível constatar uma variação de até 2 mm.dia<sup>-1</sup>. Entre as principais diferenças, destacam-se a redução da evapotranspiração na porção norte do Estado do Mato Grosso e do Pará, na região da cordilheira dos Andes (divisa com a Bolívia, Argentina e Chile) e o aumento da evapotranspiração na região do Pantanal brasileiro.

**Figura 6. Diferença entre a evapotranspiração trimestral média (mm.dia<sup>-1</sup>) estimada a partir da simulação da variação dos parâmetros físicos (FCV, IAF, REF) e as condições originais do modelo de superfície BATS para o período de 10 anos (2000 a 2009).**

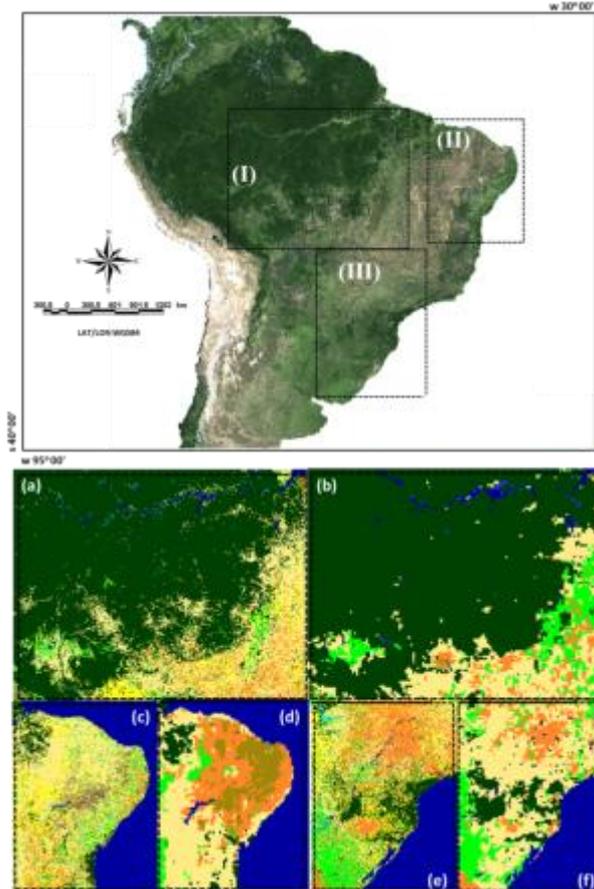


De um modo geral, percebe-se que a diferença trimestral da evapotranspiração entre as simulações de 10 anos (2000 a 2009), apresenta o mesmo padrão espacial encontrado nas

simulações para o ano de 2007, com uma suavização nos valores absolutos. A **Figura 7** exibe as alterações realizadas no uso e cobertura da terra entre as simulações, indicando as áreas que apresentaram uma grande variabilidade entre as simulações. Como descrito anteriormente, as áreas que apresentaram mudanças negativas, ou seja, diminuição dos valores de evapotranspiração, estão localizadas principalmente na borda da Floresta Amazônica (Região I) e no extremo oeste do Rio Grande do Sul e Uruguai (Região III).

As **Figuras 7a e 7b** exibem a diferença entre os usos e coberturas da terra para a Região I, utilizados como dados de entrada para o modelo de superfície BATS e empregados nas simulações do RegCM4. A Região I compreende a borda da Floresta Amazônica, área que no decorrer das últimas décadas apresentou uma elevada taxa de desmatamento. Desta forma, a principal variável responsável pelas alterações na evapotranspiração refere-se à substituição de áreas de Floresta Ombrófila Densa por pastagem e áreas agrícolas. Para a área descrita acima, a modificação do uso e cobertura original (vegetação) ocasiona uma redução de aproximadamente 600 mm ao ano no valor da evapotranspiração. As **Figuras 7c e 7d** mostram o uso e cobertura da terra para a Região Nordeste do Brasil. Nesta área, percebe-se um aumento na evapotranspiração na simulação de 10 anos, ressaltando-se que este aumento ocorreu devido à correção das informações de áreas agrícolas, classificadas erroneamente pelo produto do GLCC e substituídas por áreas de vegetação arbustiva decidual e gramíneas/savanas. Esta mesma característica pode ser observada no estado do Piauí e Tocantins, onde áreas agrícolas foram substituídas por regiões de savana e mosaico entre pastagem e vegetação arbórea.

**Figura 7.** Mapa atualizado do uso e cobertura da terra (a), (c), e (e); mapa de uso e cobertura da terra de 1992 do GLCC utilizado como padrão para o modelo de superfície BATS (b), (d) e (f) para a borda da Floresta Amazônica (I), Região Nordeste (II) e Região Sul e Sudeste (III), respectivamente.

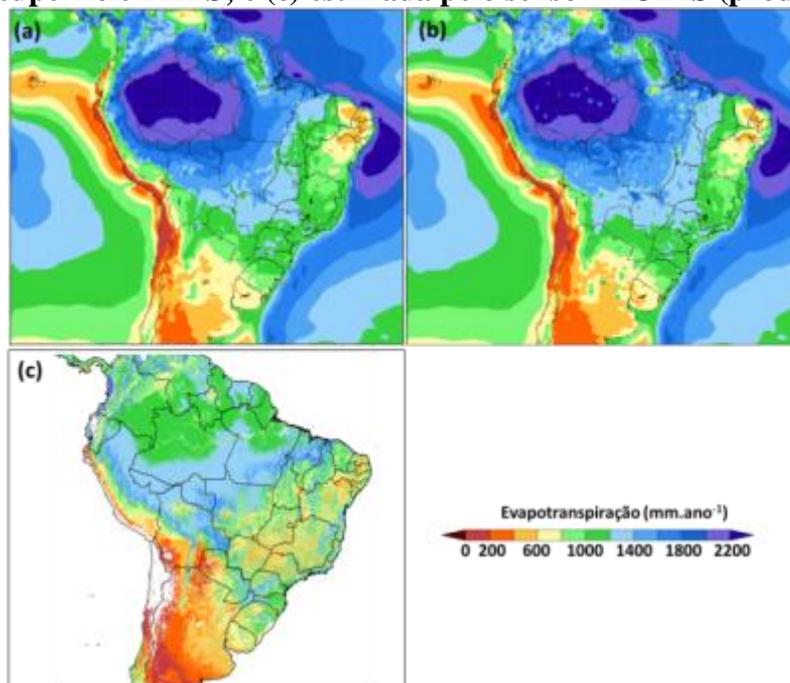


As **Figuras 7e** e **7f** exemplificam a substituição de áreas de Floresta Ombrófila Densa e áreas de pastagem para a agricultura (principalmente a cana-de-açúcar e citros no Estado de São Paulo). Nestas áreas, pode-se constatar que a alteração no uso da terra ocasiona um aumento na evapotranspiração na estação seca (abril a setembro), como visualizado nas **Figuras 6b** e **6c**. Na região do Pantanal, a inclusão de áreas de lagos e regiões pantanosas proporcionaram um aumento da disponibilidade hídrica e, conseqüentemente, o aumento da evapotranspiração nos meses com temperaturas elevadas. Ressalta-se que o aumento da evapotranspiração no Paraguai deve-se a substituição de áreas de pastagem e mosaico de floresta/pastagem pela Floresta Estacional Decidual existente na região.

A **Figura 8a**, **8b** e **8c** exibem a média anual da evapotranspiração para 10 anos (2000 a 2009) originadas das simulações no RegCM4, utilizando as configurações originais, alterando os parâmetros físicos utilizados pelo modelo de superfície BATS; e a partir da média anual estimada pelo sensor MODIS (produto MOD16A3), respectivamente. Assim como verificado na comparação

da evapotranspiração para o ano de 2007, percebe-se uma grande influência das nuvens nas estimativas de evapotranspiração a partir de dados orbitais. Porém, é possível constatar uma boa concordância para a Região Sul do Brasil, para a Argentina, Chile e Paraguai. Porém, observa-se que a simulação de 10 anos superestima os valores de evapotranspiração para grande parte do Brasil, principalmente para a região centro-leste. Entre as principais causas das superestimativas de evapotranspiração pelo modelo RegCM4 está nas altas taxas de precipitação para esta região, como será visto no próximo tópico.

**Figura 8. Média da evapotranspiração anual entre 2000 a 2009 para: (a) simulação realizada no RegCM4; (b) simulação no RegCM4 a partir da alteração dos parâmetros físicos utilizados pelo modelo de superfície BATS; e (c) estimada pelo sensor MODIS (produto MOD16A3).**



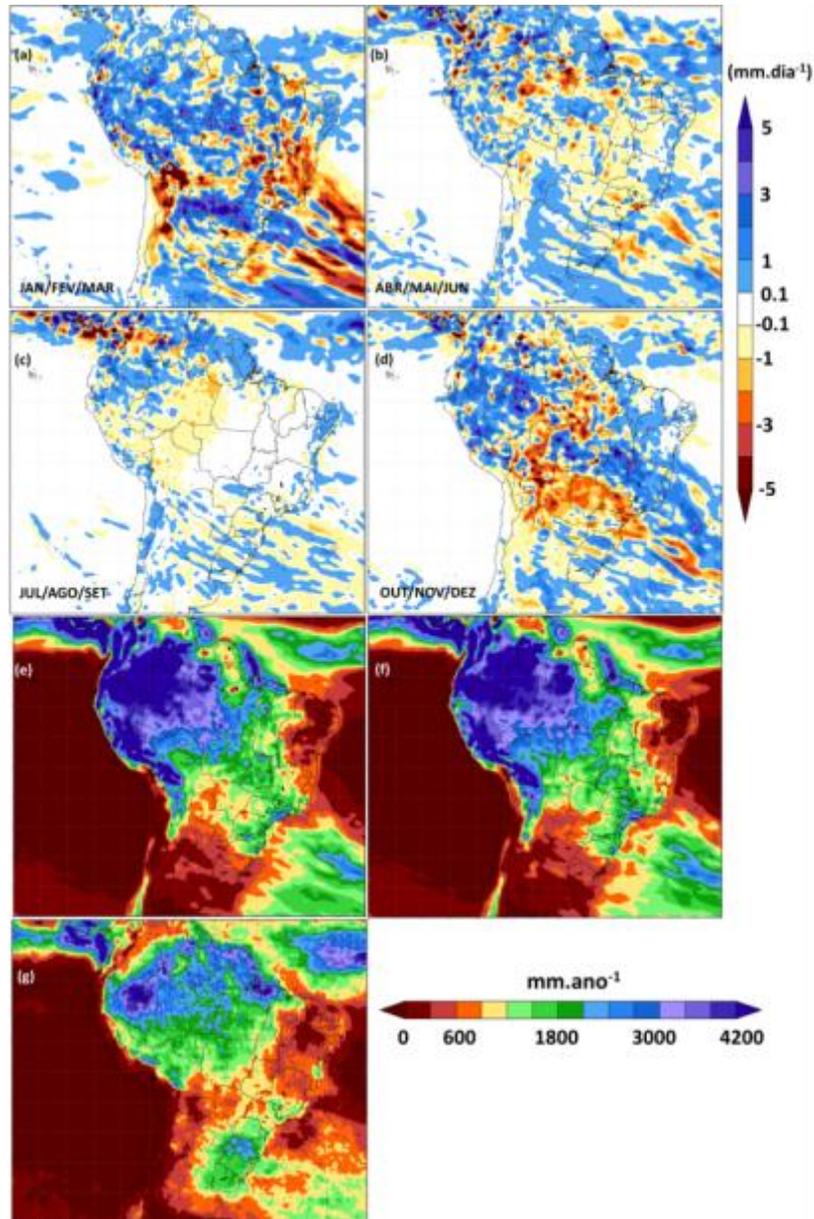
A **Figura 9** exibe as diferenças trimestrais (JAN/FEV/MAR, ABR/MAI/JUN, JUL/AGO/SET, OUT/NOV/DEZ) da precipitação (mm.dia<sup>-1</sup>) estimada a partir da alteração dos parâmetros físicos e com condições originais do modelo de superfície BATS. Consequentemente, valores positivos (em azul) indicam que ao alterar trimestralmente os parâmetros físicos do BATS, obteve-se um aumento nos valores de precipitação estimados pelo modelo RegCM4. Consequentemente, valores negativos (em tons de amarelo/vermelho) indicam que as alterações nos parâmetros físicos diminuiram a precipitação nestas áreas. Ainda, as **Figuras 9e, 9f e 9g** exibem a precipitação anual para 2007 estimadas pelo modelo com alterações nos parâmetros físicos, em seu estado original e a partir do TRMM, respectivamente.

De um modo geral, os trimestres que apresentaram as maiores diferenças nos valores estimados de precipitação são aqueles em que há uma elevada taxa de precipitação (estação chuvosa na região Centro-Oeste e Norte do Brasil). No trimestre referente aos meses de JAN/FEV/MAR, pode-se destacar a redução significativa dos valores de precipitação para os Estados de Minas Gerais, Bahia, Espírito Santo, Rio Grande

do Sul, na região central do Estado de Goiás e em regiões próximas à cordilheira dos Andes. Ainda, nota-se uma redução na região norte do Estado do Mato Grosso devido principalmente à alteração da classe Floresta Ombrófila Densa para áreas de pastagem e agricultura. Do mesmo modo, percebe-se um aumento da precipitação nos Estados de Santa Catarina, Paraná e em várias regiões da Floresta Amazônica.

Nos meses de ABR/MAI/JUN, que correspondem à transição da estação chuvosa para a estação seca em grande parte do Brasil, percebe-se que as alterações realizadas no modelo de superfície BATS ocasionaram uma redução significativa nos valores de precipitação para a região do Brasil Central e para diversas áreas na Floresta Amazônica, quando comparadas com a simulação com as condições originais. Entretanto, para os meses de JUL/AGO/SET, estação seca na região central do Brasil, os valores de precipitação obtidos a partir da alteração dos parâmetros físicos a cada 3 meses e a partir das condições padrão do modelo resultaram em valores similares, ocasionando pouca ou nenhuma variação nas estimativas deste parâmetro meteorológico. Nos meses de OUT/NOV/DEZ as principais diferenças na precipitação encontram-se em São Paulo, Mato Grosso, Pará e na Bolívia e Paraguai (anomalias negativas) e em Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Amazonas (anomalias positivas).

Figura 9. Diferença nas estimativas trimestrais de precipitação entre as simulações no RegCM4 com as alterações na parametrização física do BATS e utilizando as condições padrão (a), (b), (c) e (d), respectivamente; e precipitação anual de 2007 a partir das simulações no RegCM4 e estimada pelo TRMM, (e), (f) e (g), respectivamente.

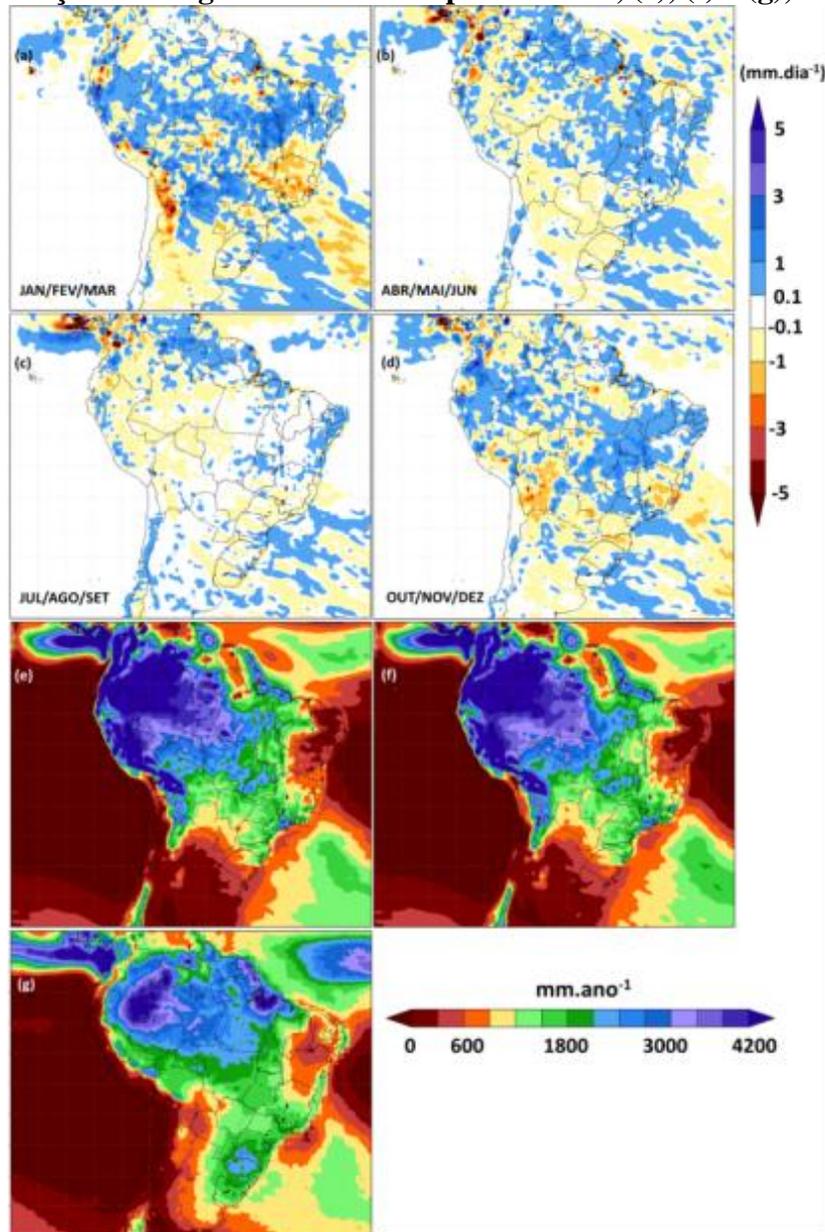


Embora se perceba uma diferença considerável entre as simulações, ressalta-se que os valores de precipitação para algumas regiões da América do Sul encontram-se superestimados, ocasionando um excesso hídrico que deve ser compensado pela evapotranspiração. Entre os principais erros da superestimativa da precipitação, destacam-se as áreas do interior do Brasil, compreendidas pelos Estados do Piauí, Goiás e Mato Grosso do Sul, as regiões que são influenciadas pela ZCAS (São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro) e áreas de grande atividade

convectiva (Floresta Amazônica). Além disto, o modelo RegCM4 não consegue estimar com eficácia o volume de precipitação proveniente de frentes frias, que atuam principalmente em Santa Catarina e Rio Grande do Sul, subestimando esses valores.

Assim como descrito na figura acima, a **Figura 10** mostra a variação trimestral da precipitação derivadas das alterações realizadas no modelo de superfície BATS (**Figuras 10a, 10b, 10c e 10d**) e a média anual para os 10 anos originadas das simulações com a alteração dos parâmetros físicos, com as condições originais do modelo e estimada pelo TRMM (**Figuras 10e, 10f e 10g**, respectivamente). Entre as principais diferenças encontradas entre as simulações destacam-se: I) a diminuição da precipitação em áreas desmatadas na região norte do Mato Grosso; II) a redução da precipitação na Região Sudeste, principalmente em Minas Gerais, devido ao aumento de áreas agrícolas e da classe referente ao mosaico de floresta e pastagem; III) aumento da precipitação no Estado do Tocantins devido à substituição da classe gramíneas por mosaico de pastagem e floresta e áreas agrícolas; e IV) aumento da precipitação nos meses de verão para o Pantanal Brasileiro e Paraguai.

Figura 10. Diferença nas estimativas trimestrais de precipitação entre as simulações de 10 anos realizadas no RegCM4 com as alterações na parametrização física do BATS e utilizando as condições padrão (a), (b), (c) e (d), respectivamente; e média anual da precipitação de 2000 a 2009 das simulações no RegCM4 e estimado pelo TRMM, (e), (f) e (g), respectivamente.



Para o Brasil, as maiores diferenças nos valores de precipitação ocorrem nos meses de JAN/FEV/MAR devido à grande atividade convectiva. Porém, à medida que os processos de convecção perdem força na região central do Brasil, a diferença entre as simulações vai diminuindo gradativamente. Nos meses de JUL/AGO/SET é possível verificar que as diferenças entre os valores de precipitação simulados no RegCM4 variam entre  $-0,3$  a  $0,3$  mm.day<sup>-1</sup>, indicando que as alterações tornam-se mais sensíveis nos meses com maior atividade convectiva. Ainda, é possível verificar que as alterações realizadas não alteram a característica do modelo em subestimar a precipitação proveniente das frentes frias que atuam principalmente na Região Sul.

Estas características influenciam significativamente na distribuição da precipitação para o período compreendido entre 2000 a 2009 simulada pelo RegCM4. Desta forma, ao se comparar o resultado das simulações de 10 anos com os valores médios estimados pelo TRMM para o mesmo período (**Figuras 10e, 10f e 10g**, respectivamente), constata-se que os principais erros concentram-se na Região Sul do Brasil, litoral da Região Nordeste e Uruguai (com subestimativas de até 1000 mm em determinadas áreas), na Região do Sertão Nordestino (com valores de até 400 mm abaixo do estimado) e em grande parte da região Amazônica e dos Estados de Goiás e leste de São Paulo (com superestimativas de até 1000 mm). Entretanto, em algumas áreas é possível verificar uma boa concordância entre os valores simulados e estimados como, por exemplo, os estados do Mato Grosso do Sul, Piauí, Maranhão, Minas Gerais, Patagônia Argentina e Chilena, deserto do Atacama, extremo oeste da Amazônia, entre outras.

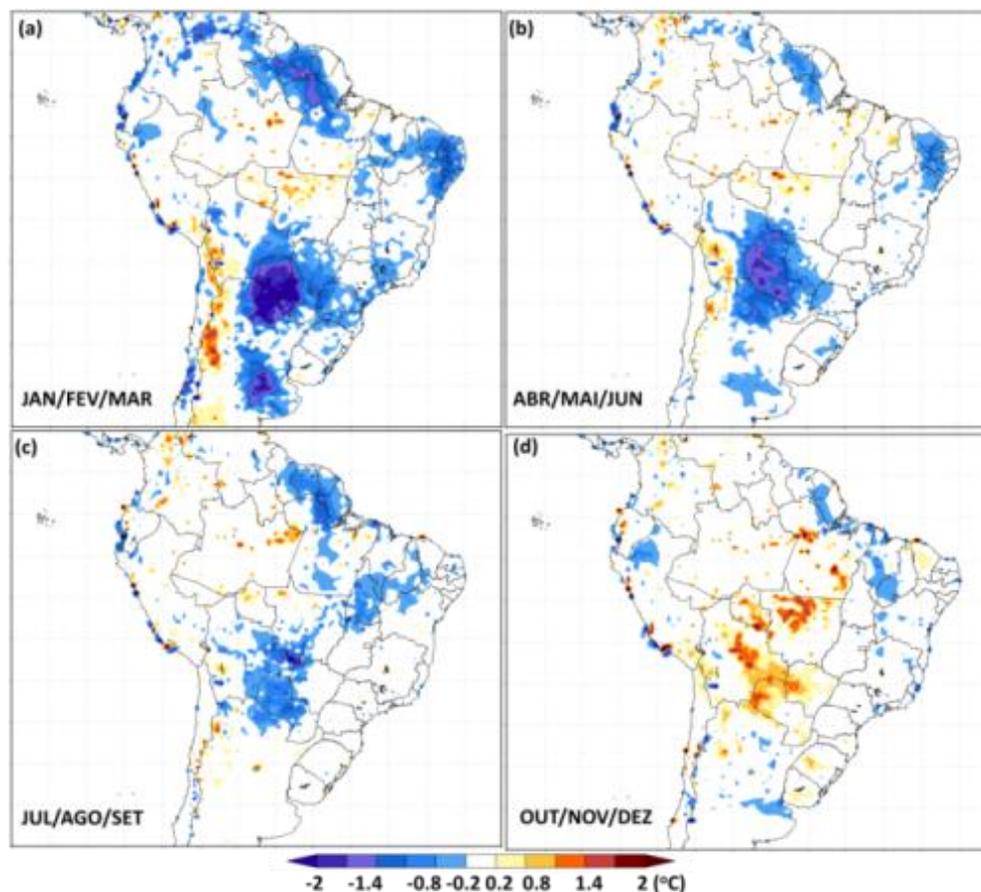
A temperatura pode ser definida como o grau de agitação dos átomos que constituem um corpo ou massa gasosa. A temperatura está estritamente relacionada com o balanço de energia, ou seja, associada com o processo de aquecimento da superfície terrestre e da atmosfera a partir da interação dos elementos com a energia eletromagnética emitida pelo Sol. Entre os principais efeitos da modificação do uso e cobertura da terra, podem-se citar as alterações nas propriedades de absorver, refletir e transmitir a radiação eletromagnética. Conseqüentemente, o albedo da superfície está diretamente relacionado com o balanço radiativo, ocasionando variações na temperatura e mudanças nos fluxos de calor latente e sensível, acarretando em modificações no clima local e regional. As diferenças trimestrais nos valores de temperatura do ar a 2 metros para o ano de 2007 provenientes das simulações realizadas no RegCM4 podem ser visualizadas na **Figura 11**. Nesta, os valores em tons de vermelho indicam um aumento na temperatura média ocasionado pela alteração do uso e cobertura da terra no modelo, assim como, pelas alterações realizadas nos parâmetros físicos trimestrais utilizados pelo modelo de superfície BATS. Do mesmo modo, valores em tons de azul referem-se a áreas onde as alterações realizadas no modelo ocasionaram uma redução nos valores médios trimestrais da temperatura do ar a 2 metros.

Com as modificações realizadas no modelo de superfície BATS, percebe-se uma variação considerável na temperatura do ar para os trimestres de 2007. Para o trimestre de JAN/FEV/MAR (**Figura 11a**), é possível verificar uma redução de até 2°C para a região noroeste do Paraguai e para a região da Bacia do Rio da Prata na Argentina. Entre as principais causas desta redução, pode-se destacar a substituição de áreas de pastagem e mosaico de floresta/pastagem pela Floresta Estacional Decidual e a substituição de áreas de Floresta por áreas agrícolas, respectivamente. Igualmente, a substituição de áreas de agricultura por áreas de gramíneas, pastagem e vegetação arbustiva ocasionaram a redução de aproximadamente 1°C na Região Nordeste. Entre as

discrepâncias encontradas, pode-se citar a redução da temperatura no Estado do Pará e no Suriname, Guiana e Guiana Francesa, sendo que nesta região, a temperatura do ar a 2 metros foi aproximadamente 1°C menor, porém, o uso e cobertura da terra permaneceram inalterados.

Entre as principais anomalias positivas de temperatura, podem-se citar as áreas desmatadas no Arco do desmatamento, compostas pela porção norte do Estado do Mato Grosso, sul do Pará e áreas em Rondônia, Acre e Amazonas. Nestas regiões desmatadas, a substituição de Florestas por áreas agrícolas e de pastagem alteraram o albedo, proporcionando uma elevação de até 2°C na temperatura do ar. O padrão encontrado para o primeiro trimestre pode ser encontrado para os trimestres referentes à ABR/MAI/JUN (**Figura 11b**) e JUL/AGO/SET (**Figura 11c**), porém, com uma redução gradativa das diferenças. Diferentemente dos demais trimestres, nos meses de OUT/NOV/DEZ (**Figura 11d**) é possível verificar que as diferenças na temperatura do ar a 2 metros apresentam uma diferença positiva, principalmente nas áreas desmatadas. Esta característica está relacionada com a maior incidência de radiação eletromagnética nestes meses, contribuindo para a elevação da temperatura da superfície e, conseqüentemente, para o aumento da temperatura do ar. Ainda, é possível notar um aumento de temperatura para a borda da Floresta Estacional Decidual no Paraguai, referente à substituição de áreas com mosaico de pastagem/floresta e Floresta Ombrófila Densa por áreas agrícolas e de pastagem.

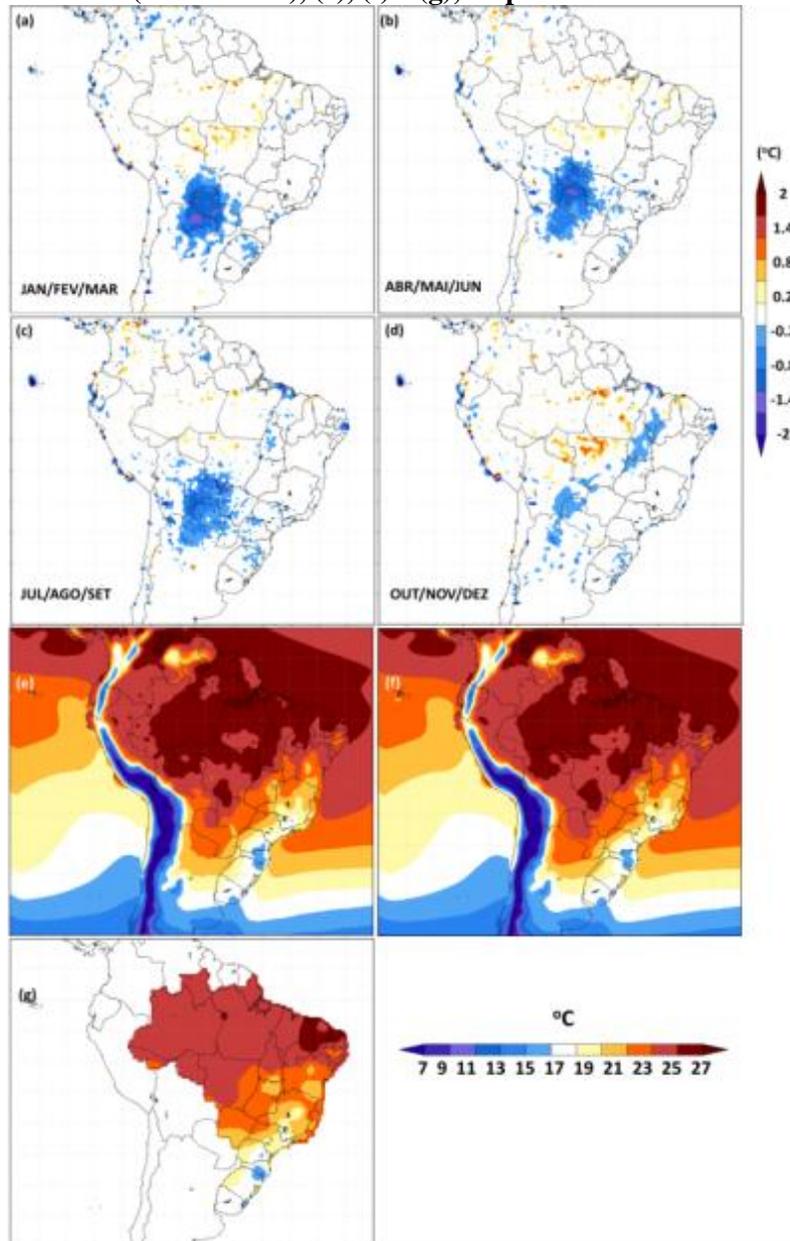
**Figura 11. Diferença nas estimativas trimestrais da temperatura do ar a 2 metros resultantes das simulações realizadas no RegCM4, para: a) JAN/FEV/MAR; b) ABR/MAI/JUN; c) JUL/AGO/SET; e d) OUT/NOV/DEZ.**



A **Figura 12** exibe as alterações trimestrais ocorridas na temperatura do ar a 2 metros para 10 anos (2000 a 2009) de simulações realizadas no RegCM4. Igualmente às variáveis anteriores, percebe-se que a diferença entre as simulações exibe as mesmas características trimestrais referentes ao ano de 2007. Comumente, percebe-se que o desmatamento da Floresta Amazônica ocasiona um aumento da temperatura do ar entre  $1^{\circ}\text{C}$  a  $1,4^{\circ}\text{C}$  nos meses de verão (**Figuras 12a** e **12d**), do mesmo modo, a substituição de áreas de pastagem e áreas agrícolas por áreas de Floresta Estacional Decidual proporcionam uma redução de até  $-1,4^{\circ}\text{C}$  na temperatura do ar. Ainda, as **Figuras 12e**, **12f** e **12g** exibem a média anual da temperatura do ar a 2 metros (2000-2009) simulada pelo RegCM4 (com as alterações do uso e cobertura da terra e com as condições padrão) e a climatologia estimada pelos dados do INMET/CPTEC (1961 a 2001). Pela análise climatológica, percebe-se que as maiores médias da temperatura do ar a 2 metros estão concentradas no extremo norte do Brasil, entre os Estados do Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte, com valores entre  $25-27^{\circ}\text{C}$ . Do mesmo modo, as menores médias desta variável estão localizadas nos Estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Paraná com valores entre  $15-17^{\circ}\text{C}$ .

Embora os dados do INMET/CPTEC representem a climatologia da temperatura do ar a 2 metros para o período compreendido entre 1961 a 2001, percebe-se uma boa concordância entre as simulações de 10 anos utilizando o modelo RegCM4 e os dados interpolados pelo Grupo de Previsão Climática do INPE a partir dos dados do SYNOP/INMET, PCDs e dos parceiros do Programa de Monitoramento de Tempo, Clima e Recursos Hídricos (PMTCRH/INPE). Desta forma, constata-se que as principais diferenças concentram-se na Região Amazônica e na Região Centro-Oeste, com valores de temperatura do ar superiores a 1°C. Ainda, em algumas áreas é possível verificar uma boa concordância entre os valores simulados e estimados como, por exemplo, as Regiões Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil. Além disso, o impacto do aumento de áreas desmatadas pode ser visualizado nas **Figuras 12e** e **12f**, principalmente a partir do aumento da temperatura do ar para o Estado do Mato Grosso e Rondônia.

**Figura 12. Diferença nas estimativas trimestrais da temperatura do ar a 2 metros (2000-2009) para: a) JAN/FEV/MAR; b) ABR/MAI/JUN; c) JUL/AGO/SET; e d) OUT/NOV/DEZ; média anual da temperatura do ar a 2 metros (2000-2009) e climatologia estimada pelos dados do INMET/CPTEC (1961 a 2001), (e), (f) e (g), respectivamente.**



#### 4. Considerações Finais

Os modelos regionais de previsão do tempo e clima são ferramentas importantes para o entendimento das interações entre a biosfera e atmosfera, porém, sua acurácia depende de parametrizações realísticas dos processos que envolvem estas variáveis. Na maioria dos modelos regionais, o mapa de uso e cobertura da terra não é atualizado com frequência e encontra-se defasado, influenciando, desta forma, nos resultados obtidos a partir das simulações. Em relação às variáveis meteorológicas, as principais diferenças encontradas na evapotranspiração, precipitação,

umidade relativa do ar e temperatura a 2 metros concentram-se na região noroeste do Estado do Mato Grosso, nas divisas dos Estados de Mato Grosso do Sul e Mato Grosso com a Bolívia (áreas alagadas do Pantanal brasileiro), região noroeste do Paraguai e para a região da Bacia do Rio da Prata na Argentina, Região Nordeste do Brasil entre outras, devido principalmente à alteração da classe Floresta Ombrófila Densa para áreas de pastagem e agricultura, substituição de áreas de agricultura por áreas de gramíneas, pastagem, vegetação arbustiva e Floresta Estacional Decidual. Ainda, os valores climatológicos de umidade relativa do ar e de temperatura do ar a 2 metros simulados pelo RegCM4 apresentaram uma boa concordância com os dados provenientes das estações meteorológicas.

Além disso, os valores de precipitação do modelo encontram-se superestimados para a maior parte da América do Sul, ocasionando um excesso hídrico que deve ser compensado pela evapotranspiração. Entre os principais erros de superestimativa da precipitação, destacam-se as áreas do interior do Brasil e na Floresta Amazônica; entre as áreas com subestimativas pode-se citar a Região Sul do Brasil. Conseqüentemente, ao se comparar a evapotranspiração estimada pelo RegCM4 e a estimada pelo sensor MODIS observa-se uma superestimativa dos valores para grande parte do Brasil, principalmente para a região centro-leste.

### **Referências Bibliográficas**

- ALLINGTON, G.R.H.; VALONE, T.J. Reversal of desertification: The role of physical and chemical soil properties. **Journal of Arid Environments**, v. 74, n. 8, p. 973-977, 2010.
- ASSELIN, H.; FORTIN, M.J.; BERGERON, Y. Spatial distribution of late-successional coniferous species regeneration following disturbance in southwestern Quebec boreal forest. **Forest Ecology and Management**, v. 140, n. 1, p. 29-37, 2001.
- CROFT, T.A. Nighttime images of the earth from space. **Scientific America**, v. 239, p. 86-98, 1978.
- DICKINSON, R. E.; ERRICO, R. M.; GIORGI, F.; BATES, G.T. A regional climate model for the western United States. **Climatic Change**, n. 15, p. 383-422, 1989.
- D'OLIVEIRA, M.V.N.; ALVARADO, E.C.; SANTOS, J.C.; CARVALHO JR., J.A. Forest natural regeneration and biomass production after slash and burn in a seasonally dry forest in the Southern Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 261, n. 9, p. 1490-1498, 2011.
- EMANUEL, K.A. A scheme for representing cumulus convection in large-scale models. **Journal of the Atmospheric Sciences**, n. 48, p. 2313-2335, 1991.
- FRITSCH, J.M.; CHAPPELL, C.F. Numerical prediction of convectively driven mesoscale pressure systems. part i: Convective parameterization. **J. Atmos. Sci.**, n. 37, p. 1722-1733, 1980.
- FUJISAKA, S.; CASTILLA, C.; ESCOBAR, G.; RODRIGUES, V.; VENEKLAAS, E.J.; THOMAS, R.; FISHER, M. The effects of forest conversion on annual crops and pastures: Estimates of carbon emissions and plant species loss in a Brazilian Amazon colony. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 69, n. 1, p. 17-26, 1998.

- GIORGI, F. Two-dimensional simulations of possible mesoscale effects of nuclear war fires. **J. Geophys. Res.**, n. 94, p. 1127–1144, 1989.
- HENDERSON-SELLERS A. Special issue—soil moisture simulation—selected papers from the rice and PILPS moisture workshop held at Macquarie University, Sydney, Australia in November 1994. **Global and Planetary Change**, n. 13, p. 1–2, 1996.
- HOLTSLAG, A.A.M.; DE BRUIJN, E.I.F.; PAN, H.-L. A high resolution air mass transformation model for short-range weather forecasting. **Mon. Wea. Rev.**, n. 118, p. 1561–1575, 1990.
- HOUGHTON, R.A.; BOONE, R.D.; MELILLO, J.M.; PALM, C.A.; WOODWELL, G.M.; MYERS, N.; MOORE, B.; SKOLE, D.L. Net flux of carbon dioxide from tropical forests in 1980. **Nature**, n. 316, p. 617–620, 1985.
- KASSAS, M. Desertification: a general review. **Journal of Arid Environments**, v. 30, n. 2, p. 115–128, 1995.
- LANLY, J.-P. **Tropical Forest Resources**, FAO Forestry Pap. 30, FAO, Rome, 1982.
- LATIFOVIC, R.; POULIOT, D. Analysis of climate change impacts on lake ice phenology in Canada using the historical satellite data record. **Remote Sensing of Environment**, 106, p. 492–507, 2007.
- MCGUFFIE, K.; HENDERSON-SELLERS, A. Forty years of numerical climate modelling. **International Journal of Climatology**, v. 21, n. 9, p. 1067–1109, 2001.
- MOREIRA, M. A.; ADAMI, M.; RUDORFF, B. F. T. Análise espectral e temporal da cultura do café em imagens Landsat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 3, p. 223–231, 2004.
- MU, Q.; ZHAO, M.; RUNNING, S.W. Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 8, 2011.
- NOBRE, C. A.; SELLERS, P. J.; SHUKLA, J. Amazonian deforestation and regional climate change. **J. Clim.**, 4, p. 957–988, 1991.
- OTTERMAN, J. Baring high-albedo soils by overgrazing: a hypothesized desertification mechanism. **Science**, v. 186, p. 531–533, 1974.
- RUDORFF, B. F. T.; AGUIAR, D. A.; SILVA, W. F.; SUGAWARA, L. M.; ADAMI, M.; MOREIRA, M. A. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. **Remote Sensing**, v. 2, n. 4, p. 1057–1076, 2010.
- SAGAN, C.; TOON, O.B.; POLLACK, J.B. Anthropogenic albedo changes and the Earth's climate. **Science**, v. 206, p. 1363–1368, 1979.
- VERSTRAETE, M.M.; BRINK, A.B.; SCHOLE, R.J.; BENISTON, M.; SMITH, M.S. Climate change and desertification: Where do we stand, where should we go?. **Global and Planetary Change**, v. 64, n. 3–4, p. 105–110, 2008.
- WANG, S.; DAVIDSON, A. Impact of climate variations on surface albedo of a temperate grassland. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 142, n. 2–4, p. 133–142, 2007.
- ZENG, X.; ZHAO, M.; DICKINSON, R.E. Intercomparison of bulk aerodynamic algorithms for the computation of sea surface fluxes using toga coare and tao data. **J. Climate**, v. 11, p. 2628–2644, 1998.

Recebido em: novembro de 2011.

Aceito para publicação em: janeiro de 2012.