

## VARIABILIDADE CLIMÁTICA DOS CAMPOS DE UMIDADE DO SOLO NA AMÉRICA DO SUL

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
(PIBIC/CNPq/INPE)

Renata Auxiliadora dos Santos (FATEC, Bolsista PIBIC/CNPq)  
E-mail: renata.santos@inpe.br

Daniel Andrés Rodriguez (CCST/INPE, Orientador)  
E-mail: daniel.andres@inpe.br

COLABORADOR

José Lázaro de Siqueira Júnior (CCST/INPE)  
E-mail: jose.lazaro@.inpe.br

Julho de 2015

## **DADOS DE IDENTIFICAÇÃO**

Nome: **Renata Auxiliadora dos Santos**

Local de Trabalho: **CPTEC / INPE**

Título do projeto: **Variabilidade Climática dos Campos de Umidade do Solo na América do Sul.**

Tipo de bolsa: **Bolsa PIBIC-IC**

Período: **Agosto/2014 – Agosto/ 2015**

## RESUMO

O Modelo Simples de Água no Solo (MSAS) foi desenvolvido no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, com o intuito de determinar condições iniciais de umidade do solo para uso em simulações atmosféricas em todo o Brasil. O mesmo utiliza as informações disponíveis de precipitação e de evapotranspiração potencial (ETP), calculadas a partir de variáveis meteorológicas, e uma classificação e parametrização do solo desenvolvida com base em informações de perfis de solos. Nesse contexto, o objetivo do trabalho é descrever a variabilidade climática e espacial da umidade do solo simulada sobre o Brasil, e apresentar informações de umidade do solo factíveis de serem utilizadas em modelos atmosféricos como condições iniciais. Durante este período, foram coletadas as informações do banco de dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, utilizados para obter os campos interpolados de precipitação e evapotranspiração. Estes dados foram submetidos a um controle de qualidade das variáveis de referência através da análise estatística dos campos interpolados, logo, foram utilizados como entradas nas integrações do modelo MSAS. Os resultados das simulações com o modelo MSAS foram comparados com as observações de umidade do solo de sítios experimentais do projeto LBA (Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazônia). Verificaram-se diferenças entre os valores simulados e os observados em campo. Em geral, as diferenças entre a umidade do solo observada nos sítios experimentais e a simulada pelo MSAS, estão associadas com erros nos campos de precipitação observada, utilizada para alimentar o modelo.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estações que contém dados de nebulosidade no período 1997 - 2013. ....	4
Figura 2 - Estações que contém dados de radiação por satélite no período 1978 - 1982. ....	4
Figura 3 - Mapa das regiões onde foram feitas as climatologias.....	7
Figura 4 - Média mensal em [mm/mês] no período 1997-2013 para a regiões do Brasil. ....	8
Figura 5 - Gráficos de Comparação da umidade do solo do sítio Santarém K77 com o Modelo.....	11
Figura 6 - Gráficos de Comparação da umidade do solo do sítio Santarém K83 com o Modelo.....	11
Figura 7 - Gráficos de Comparação da umidade do solo do sítio Bananal com o Modelo. ....	12
Figura 8 - Gráficos de Comparação da umidade do solo do sítio Fazenda Nossa Senhora com o Modelo. ....	12
Figura 9 - Gráficos de Comparação da umidade do solo do sítio da Reserva Jarú com o Modelo.....	13
Figura 10 - Média climatológica da insolação para os meses de janeiro a dezembro no período de 1970-2013. ....	14
Figura 11 - Normais climatológicas de insolação para os meses de janeiro a dezembro no período de 1961-1990. ....	15
Figura 12 - Média climatológica da evapotranspiração potencial para os meses de janeiro a dezembro no período de 1970-2013.....	17

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrições dos sítios experimentais do LBA. ....	6
---	---

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	2
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	2
3.1. Dados Meteorológicos.....	2
3.1.1. Precipitação.....	2
3.1.2. Evapotranspiração.....	3
3.2. Modelo Simples de Água no Solo .....	5
3.3. Sítios Experimentais do LBA.....	6
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	7
4.1. Climatologia .....	7
4.2. Comparação dos dados de umidade do solo do LBA e MSAS .....	9
4.3. Homogeneização do cálculo de ETP .....	13
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	18
<b>6. REFERÊNCIAS</b> .....	19

## 1. INTRODUÇÃO

A umidade do solo é uma das principais forçantes, junto com a vegetação, que controlam a partição de energia em superfície entre calor sensível e calor latente, afetando os balanços de água e energia (Dirmeyer et al, 1999, 2000). Esta partição de energia na superfície impacta os processos na atmosfera em diferentes escalas temporais e espaciais (Entekhabi et al, 1996) e a estrutura da camada limite (Reen et al, 2006). Por isso, a representação temporal e espacial da umidade do solo em modelos atmosféricos constitui um material de grande importância no prognóstico numérico de tempo e clima.

Nas últimas décadas, numerosos trabalhos têm mostrado a sensibilidade dos prognósticos de tempo e clima à inicialização dos campos de umidade no solo, e portanto, a importância de contar com informações confiáveis destes campos (Doyle et al, 2013; Dirmeyer, 2000; Zhang et al, 1999). Muitos modelos atmosféricos utilizam conjuntos de dados globais de umidade e classificação de solos, o que compromete o desempenho dos prognósticos a nível regional. A utilização de uma classificação de solos baseada em características hidrológicas, junto com dados mais realísticos de umidade do solo como condição inicial, favorecem a obtenção de melhores prognósticos (Doyle et al, 2013).

Existem diferentes metodologias para a medição desta variável em superfície, mas a obtenção de dados observados em grandes superfícies, para todo o Brasil, por exemplo, requer recursos diversos, além da alta complexidade inerente no processo. Ainda, a obtenção de informações de umidade do solo através de dados de sensores em plataformas de satélites tem experimentado grandes avanços durante as últimas décadas, mas sua confiabilidade ainda é restrita a regiões de pouca cobertura vegetal e em uma profundidade pequena do solo (Seneviratne et al, 2010). Existem, no entanto, métodos de estimativa de umidade do solo através de modelos de balanço, que utilizam dados meteorológicos na determinação das variáveis de entrada-saída e observações das características hidrológicas do solo.

## **2. OBJETIVOS**

Os objetivos do trabalho são:

- Descrever a variabilidade climática e espacial da umidade do solo simulada sobre a América do Sul.
- Desenvolver informações de umidade do solo factíveis de serem utilizadas em modelos atmosféricos como condições iniciais.

## **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1. Dados Meteorológicos**

Foi realizada uma pesquisa na base de dados meteorológicos do banco de dados do INMET a fim de identificar estações que continham informações disponíveis sobre nebulosidade, radiação e insolação. Para cada estação que correspondiam a este critério, os dados utilizados foram: Código da estação, longitude, latitude, nebulosidade e/ou radiação e insolação para o período de 1970 até 2013.

#### **3.1.1. Precipitação**

A série de precipitação utilizada foi obtida a partir da base de dados da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) e do INMET, a mesma foi submetida a um controle de qualidade através da análise estatística dos campos interpolados mensais e anuais. Esses campos diários de precipitação foram utilizados para alimentar o Modelo Simples de Água no Solo (MSAS).

### 3.1.2. Evapotranspiração

O cálculo da evapotranspiração potencial de referência diária foi realizado a partir dos dados das estações meteorológicas existentes no INPE. Os dados utilizados foram: temperatura ambiente, temperatura no ponto de orvalho, velocidade do vento e nebulosidade.

A evapotranspiração potencial foi calculada conforme o método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998). A fórmula da equação é a seguinte:

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + p_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} \quad (1)$$

Onde:  $R_n$  é a radiação líquida,  $G$  é o fluxo de calor no solo,  $e_s - e_a$  representa o déficit de pressão de vapor do ar,  $p_a$  é a densidade média do ar em uma pressão constante,  $c_p$  é o calor específico do ar,  $\Delta$  representa o declive da relação de temperatura e pressão de vapor de saturação,  $\gamma$  é a constante psicométrica, e  $r_s$  e  $r_a$  são o (volume) da superfície e resistências aerodinâmicas (Allen et al., 1998).

Os dados existentes nas bases de dados consultadas fornecem informações de radiação ou nebulosidade, dependendo da estação e do período consultado. Por este motivo, o cálculo da evapotranspiração foi dividido em duas metodologias, aplicando os diferentes dados. As estações com informações de nebulosidade se concentram no período de 1997 e 2013, enquanto aquelas que fornecem dados de radiação se concentram entre 1978 e 1982. Esta diferença dificulta a obtenção de uma série histórica de dados de evapotranspiração desde a década de 70 até a atualidade.

Devido a esta diferença, utilizamos somente os dados de nebulosidade para o cálculo de evapotranspiração, que conforme a figura 1 apresenta os dados para maior parte das regiões, já os dados de radiação estão em falta, como é mostrado na figura 2.

Analisando os resultados foi averiguado que a estimativa da distribuição espacial da evaporação potencial não atingiu aos resultados esperados. Com isso foi aplicada uma nova metodologia utilizando dados de insolação para o cálculo da evapotranspiração, a fim de obter uma melhoria nos resultados. Assim como os dados diários de precipitação, os valores de evapotranspiração contribuíram para alimentar o MSAS.

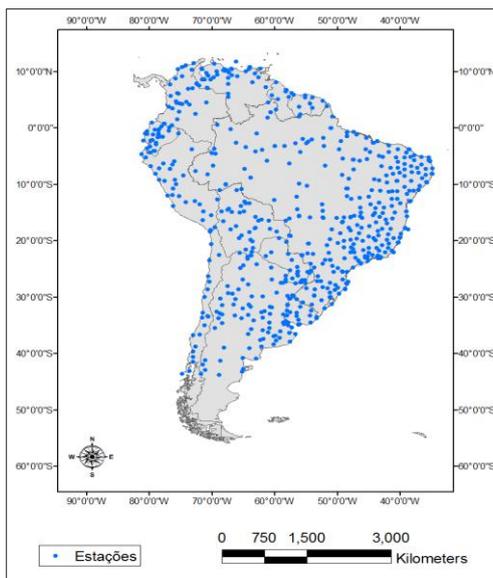


Figura 1 - Estações que contém dados de nebulosidade no período 1997 - 2013.

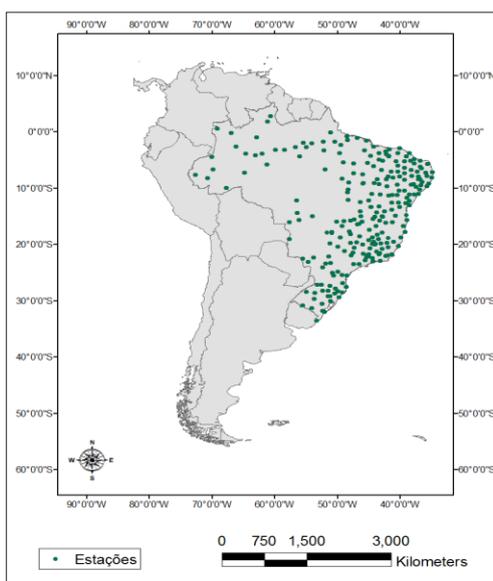


Figura 2 - Estações que contém dados de radiação por satélite no período 1978 - 1982.

### **3.2. Modelo Simples de Água no Solo**

O Modelo Simples de Água no Solo, desenvolvido para determinar os campos de umidade do solo de todo Brasil, é utilizado operacionalmente no Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE), foi utilizado em estudos científicos e no monitoramento de umidade do solo voltado para a agricultura e processos associados à seca (Rossato et al, 2002; Rodriguez e Tomasella, 2004).

O Modelo Simples de Água no Solo utiliza como entradas a precipitação e a evapotranspiração potencial em campos interpolados. A evapotranspiração real (ETR) é calculada de forma linear a partir da evapotranspiração potencial (ETP) utilizando o conteúdo de umidade atual no solo (S) e o conteúdo de umidade crítico (AFD - Água Facilmente Disponível) (Rodriguez e Tomasella, 2004). Também é feito no modelo o cálculo da drenagem profunda, onde é calculada a variação do armazenamento correspondente, obtendo a dinâmica de verificação do solo.

Para sua aplicação no Modelo Simples de Água no Solo, a determinação dos parâmetros do solo é feita utilizando-se de uma base de dados com as características texturais obtidas de perfis de solos espalhados por todo o Brasil. Esses parâmetros são obtidos com a aplicação de funções de pedo-transferência (Tomasella et al., 2005). Com base nesses parâmetros, Doyle et al (2013) desenvolveram uma classificação de solos para todo o Brasil, que foi incorporada num modelo atmosférico regional. A utilização dessa classificação, junto com as condições iniciais de umidade do solo obtidas com o MSAS produziram melhorias no prognóstico de volume de precipitação de um evento na região sul-sudeste da América do Sul (Doyle et al, 2013).

No desenvolvimento deste trabalho foram coletadas as informações do banco de dados meteorológicos do INMET. Os dados coletados, juntamente com a base de dados existentes no INPE, foram utilizados para obter os campos interpolados de precipitação e evapotranspiração, que foram utilizados como entradas nas integrações do modelo MSAS. O modelo MSAS foi integrado desde

1997 até 2013, considerando um domínio que cobre todo o Brasil, com uma resolução de 0.25 km<sup>2</sup>.

### 3.3. Sítios Experimentais do LBA

Os sítios experimentais do projeto LBA (Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazônia) foram obtidos a partir do portal do projeto LBA-DMIP ([www.climatemodeling.org/lba-mip/](http://www.climatemodeling.org/lba-mip/)). A compilação dos dados de umidade do solo observados foi feita em cinco sítios experimentais, localizados na Amazônia. As abreviações e o nome de cada sítio, juntamente com a localização geográfica, o período e a altura do dossel é mostrada na tabela 1.

Tabela 1 - Descrições dos sítios experimentais do LBA.

Sítio	Latitude	Longitude	Tipo de Bioma	Anos	Dossel (alt.)
K77 - Santarém km 77	-03.01°	-54.54	Pasto/Agricultura	2001-2005	0 to 0,6m
K83 - Santarém km 83	-03.05°	-54.93	Floresta Tropical	2001-2003	35m
BAN - Ilha de Bananal	-9.95°	50.6°	Floresta Tropical	2004-2006	16m
FNS - Fazenda Nossa Senhora	-10.76°	-62.36°	Pasto/Agricultura	1999-2002	0,2 to 0,5m
RJA - Reserva de Jarú	-10.08°	-61.93°	Floresta Tropical	1999-2002	30m

Os dois primeiros sítios têm sua localidade em Santarém. O K77 possui uma cobertura de vegetação de pasto/agricultura. Já o K83, situado no km 83 da autoestrada supracitada, possui a vegetação de floresta tropical. No estado de Tocantins, sem encontra o sítio experimental na Ilha do Bananal em 9.95°S, 50.2°O, considerado uma floresta tropical. O sítio Fazenda Nossa Senhora (FNS) tem sua área coberta com pasto e está localizado a 293 metros de altitude acima do nível do mar. (SILVEIRA, 2012)

O sítio da Reserva do Rio Jarú (RJA), localizado em uma área de floresta tropical úmida, está situado a leste da Rondônia e se encontra em uma região preservada a 145 metros de altura acima do nível do mar. (AGUIAR et al., 2006)

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Climatologia

A climatologia de umidade do solo foi gerada mensalmente e dividida por regiões, entre os períodos de 1997 a 2013. As análises permitiram identificar o comportamento climatológico do armazenamento de água no solo e sua relação com as variáveis climáticas. As regiões escolhidas foram: Norte da Amazônia, Sul da Amazônia, Leste da Amazônia, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul, totalizando sete regiões como mostra a figura 2.

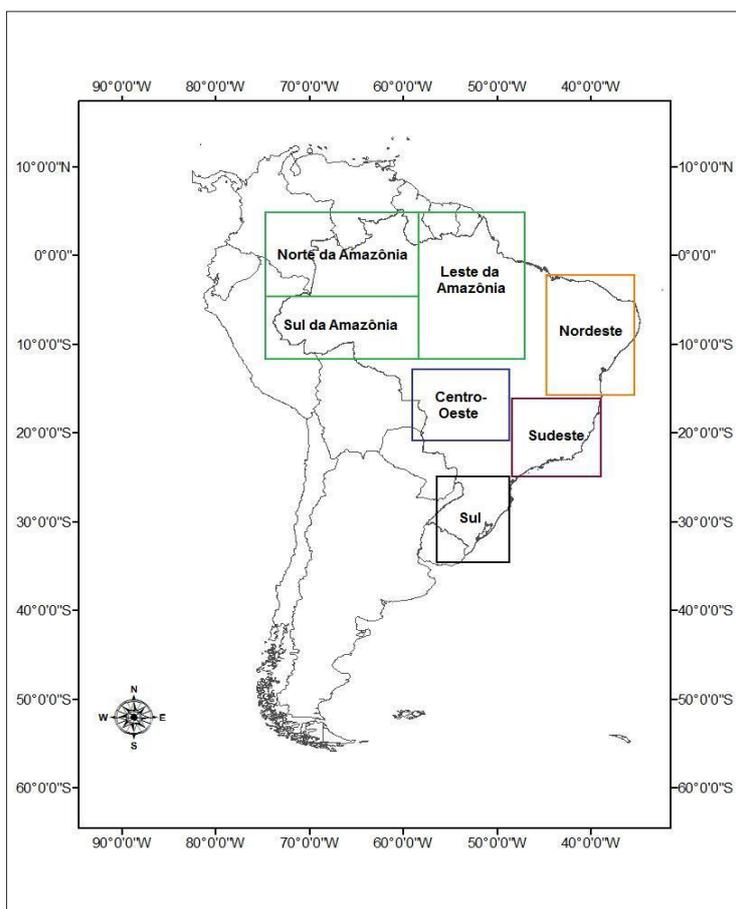


Figura 3 - Mapa das regiões onde foram feitas as climatologias.

A partir da climatologia foi calculada a média espacial para as variáveis: precipitação, evapotranspiração e o armazenamento de água no solo. Para uma melhor análise, foi elaborado um gráfico para cada região com a média mensal das variáveis no período de 1997 a 2013.

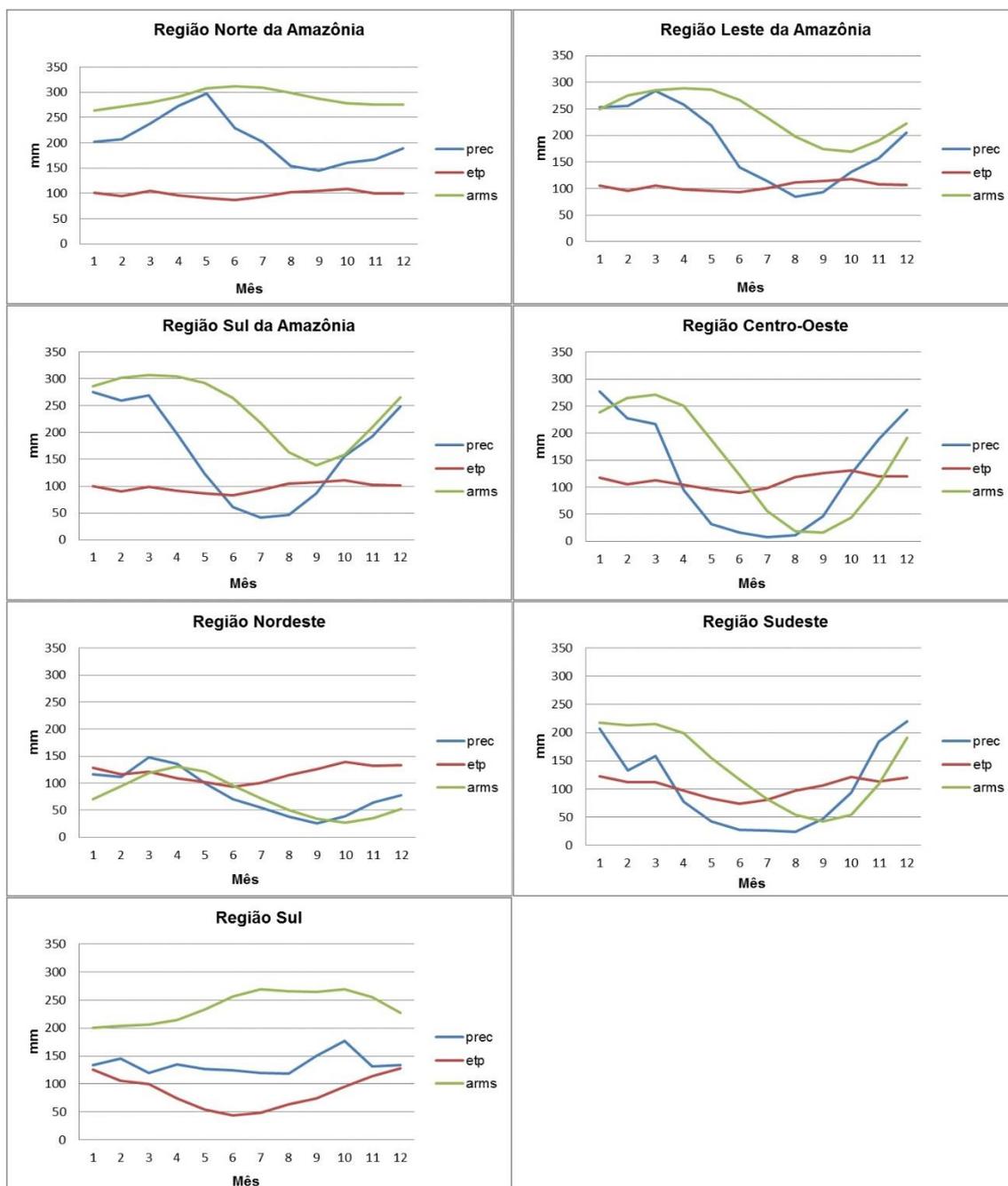


Figura 4 - Média mensal em [mm/mês] no período 1997-2013 para a regiões do Brasil.

Na região Norte da Amazônia a quantidade de água no solo apresenta um pequeno ciclo sazonal, associado principalmente à variação da precipitação (Figura 4). Na região Leste da Amazônia, a maior variação sazonal da precipitação resulta em uma maior variação da umidade do solo, com máximos no mês de Abril e mínimos no mês de Outubro. Também na região Sul da Amazônia pode ser observado este comportamento. As altas precipitações durante o período úmido garantem a manutenção da umidade do solo durante os meses mais secos.

Na região Centro-Oeste, os ciclos sazonais são mais marcados que na Amazônia. Altos conteúdos de água no solo seguem ao período chuvoso, apresentando máximos em Março. O incremento da evapotranspiração no final da época seca desloca os mínimos valores de umidade do solo para Setembro

Na região Nordeste, o conteúdo de água no solo são baixos, devido ao clima seco da região e no mês de Outubro chegam ao mínimo, com o aumento da evapotranspiração. Na região Sudeste nota-se um ciclo sazonal na quantidade de água no solo, relacionada à variação da precipitação. Na região Sul, o mês de Janeiro é composto por mínimos conteúdos de água no solo, devido ao incremento da evapotranspiração no início do ano, que logo no mês de Junho tem um declínio, com isso, a quantidade de água no solo aumenta e chega ao máximo em Outubro.

#### **4.2. Comparação dos dados de umidade do solo do LBA e MSAS**

Os resultados das simulações do modelo MSAS foram comparados com observações de umidade do solo obtidos de sítios experimentais do projeto LBA (Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazônia).

As figuras 5, 6 e 7 apresentam a comparação entre a simulação e observação da umidade do solo no sítio Santarém Km 77, Santarém Km 83 e Bananal, respectivamente. Em geral, a variabilidade diária e sazonal da umidade do solo representa-se nas simulações, seguindo a variação das precipitações.

Não obstante, existem importantes diferenças entre os valores simulados e os observados em campo.

No sítio Santarém Km 77 (STM\_K77), o modelo MSAS representa bem a sazonalidade, mas o valor de saturação é menor do que o correspondido no sítio. Na variação da umidade do solo, o sítio não coincide com os resultados da chuva (prec), ao contrário do modelo MSAS que foi alimentado pelos dados da chuva.

No sítio Santarém Km 83 (STM\_K83), a sazonalidade está bem representada. No entanto, em relação a variação da umidade do solo, o sítio não corresponde à chuva observada.

No sítio Bananal (TOC\_BAN) o valor da saturação do modelo MSAS é ainda menor com relação ao sítio Bananal e os resultados deste sítio também não seguem os resultados da chuva, como nos sítios anteriores.

Na Fazenda Nossa Senhora e no Reserva Jarú, o modelo MSAS traz uma diminuição rápida nas secas, e a variabilidade diária dos sítios não seguem a variação da chuva para o mesmo período.

Na Fazenda Nossa Senhora (FNS) pode-se ver que o modelo está de acordo com a chuva, e a sazonalidade está bem representada, com mínimos em setembro de 1999 e máximos em novembro de 1999.

No Reserva Jarú (RJA), o valor de saturação se aproxima mais do sítio RJA, mas a faixa de valores ainda mostra-se abaixo do mesmo, obtendo mínimos em outubro de 1999 e máximos em dezembro de 1999.

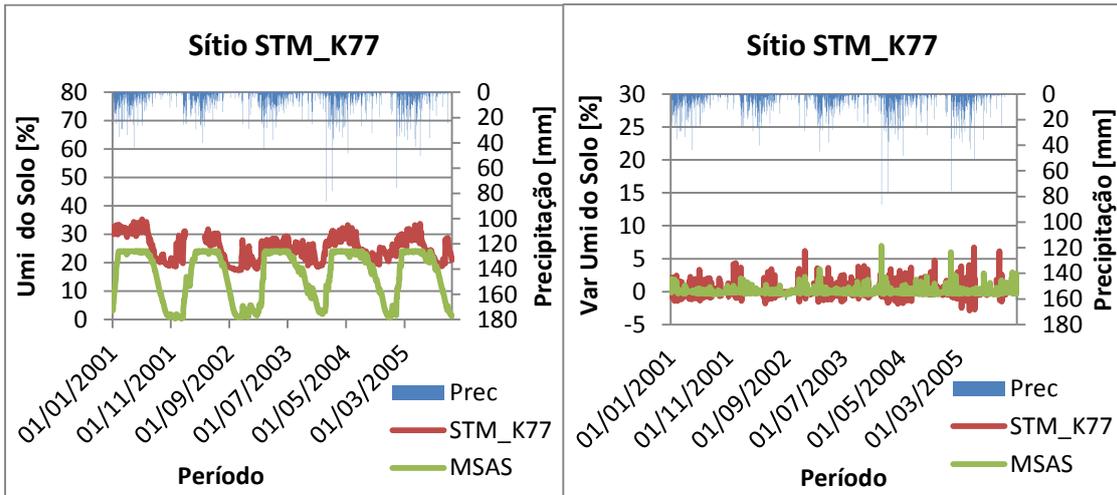


Figura 5 - Gráficos de Comparação da umidade do solo do sítio Santarém K77 com o Modelo.

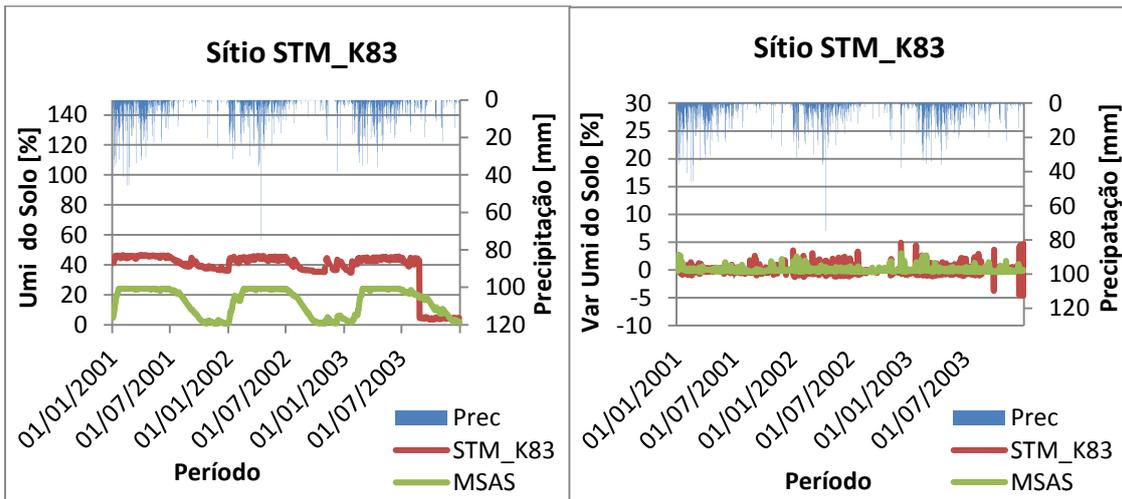


Figura 6 - Gráficos de Comparação da umidade do solo do sítio Santarém K83 com o Modelo.

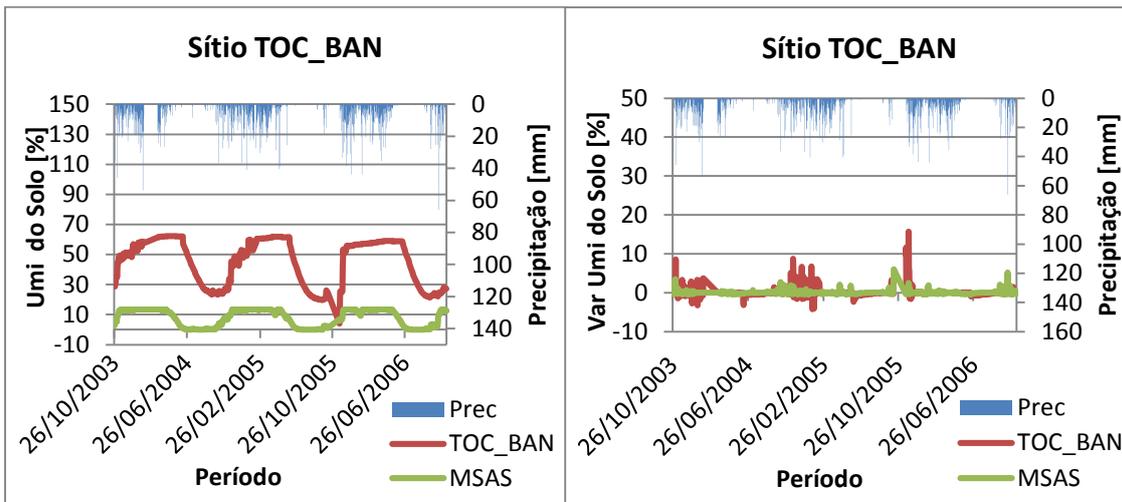


Figura 7 - Gráficos de Comparação da umidade do solo do sítio Bananal com o Modelo.

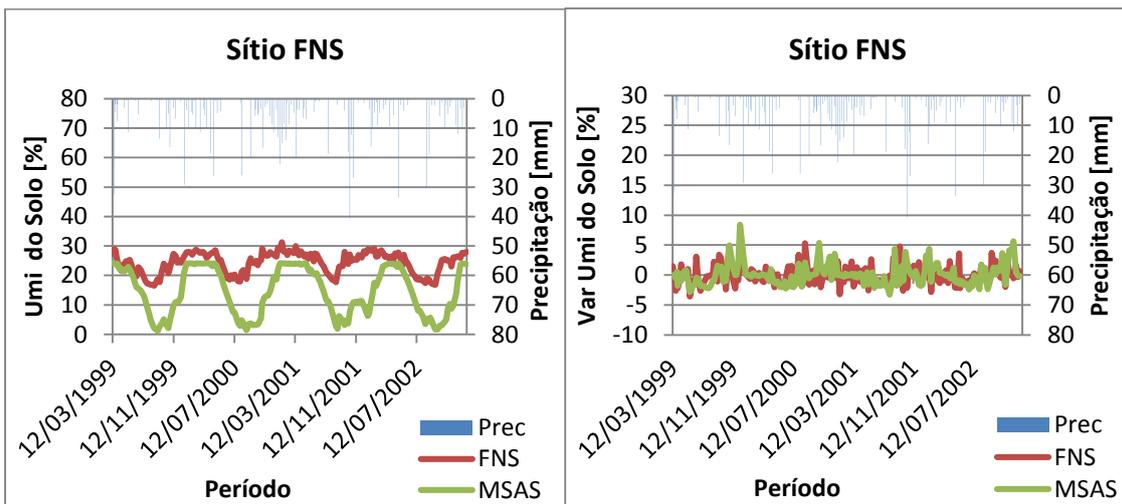


Figura 8 - Gráficos de Comparação da umidade do solo do sítio Fazenda Nossa Senhora com o Modelo.

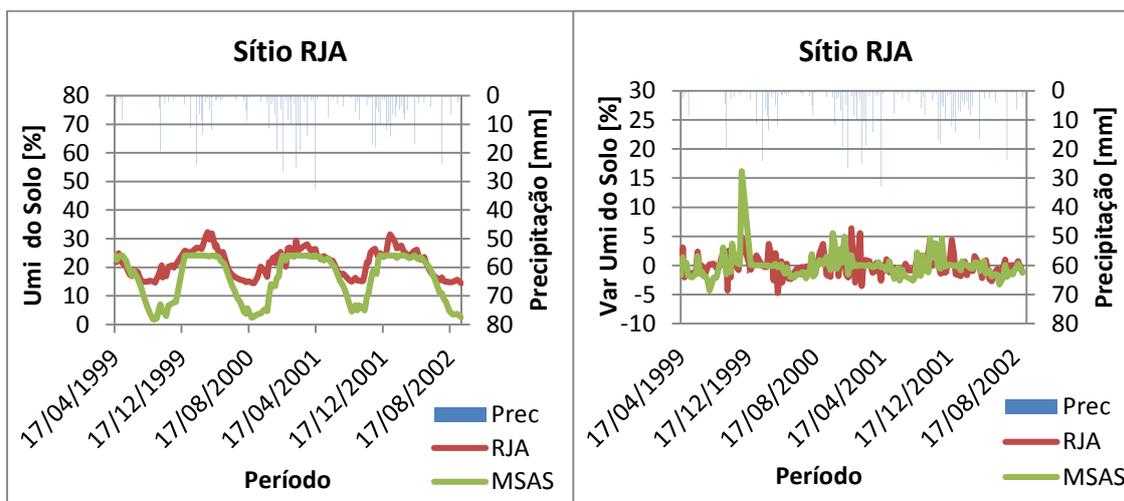


Figura 9 - Gráficos de Comparação da umidade do solo do sítio da Reserva Jarú com o Modelo.

### 4.3. Homogeneização do cálculo de ETP

Nas bases de dados utilizadas para o cálculo de ETP, diferentes estações em diferentes períodos de tempo, possuem diferenças no tipo de variáveis reportadas, principalmente entre radiação, nebulosidade e insolação. Com o intuito de homogeneizar o cálculo de ETP, determinou-se o uso de uma parametrização utilizando as informações de insolação. Para isso foi preciso interpolar os dados de insolação reportados pelas estações. A partir das informações diárias, foram interpolados campos diários de insolação, os que foram acumulados em médias climatológicas mensais. Estes campos climatológicos foram contrastados com as normais climatológicas de insolação disponibilizadas pelo INMET, com o intuito de verificar sua adequação.

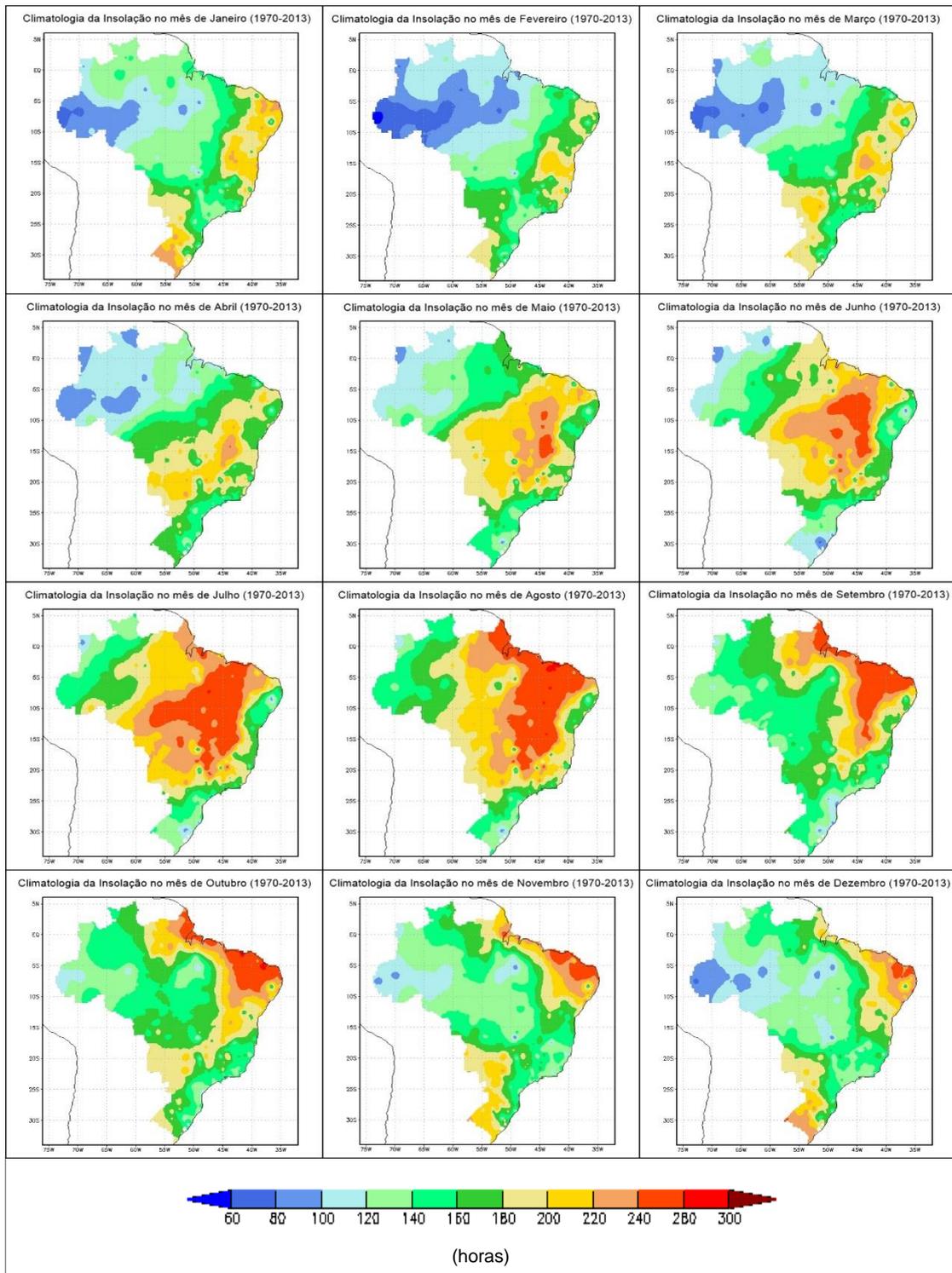


Figura 10 - Média climatológica da insolação para os meses de janeiro a dezembro no período de 1970-2013.

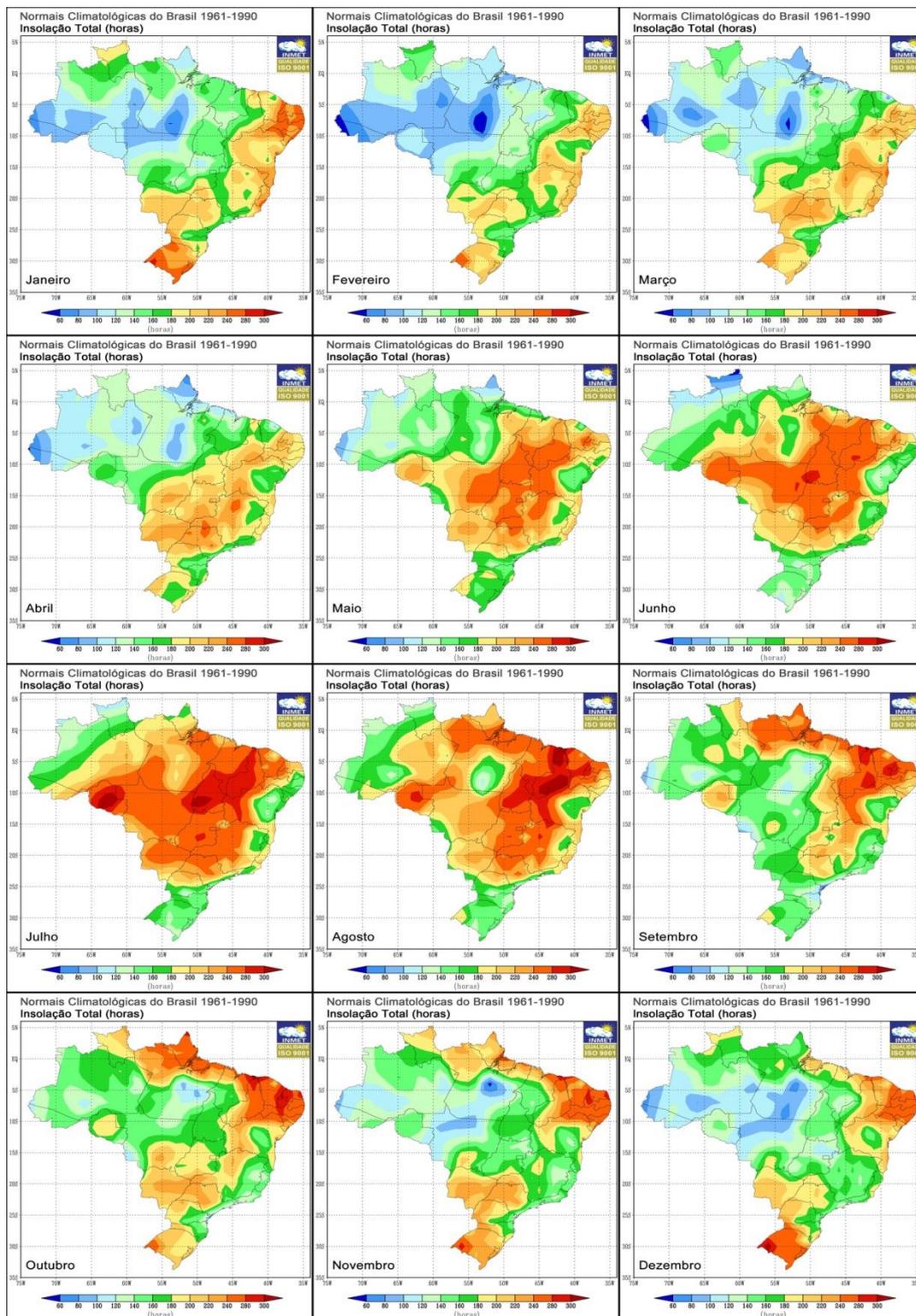


Figura 11 - Normais climatológicas de insolação para os meses de janeiro a dezembro no período de 1961-1990.

Fonte - INMET

Em geral, os resultados obtidos mostram que as médias climatológicas de insolação (Figura 10) estão representando adequadamente a sazonalidade no decorrer do ano, com as estações do período úmido (Janeiro, Fevereiro e Março) e seco (Julho, Agosto e Setembro) bem definidas, coincidindo com as normais climatológicas (INMET 2009). No entanto, para o período úmido, observa-se que os campos interpolados de insolação são subestimados em todas as regiões do Brasil. No mês de Fevereiro, por exemplo, os campos interpolados apresentam uma faixa entre 100 a 120 horas de insolação, enquanto que as normais climatológicas apresentam uma faixa de 140 a 160 horas.

Para a estação seca, que compreende os meses de Julho, Agosto e Setembro, as médias climatológicas de insolação, em geral, também apresentaram uma subestimativa em relação às normais climatológicas. No mês de Junho, por exemplo, na região Norte, a insolação tem um acumulado menor nas médias climatológicas que varia entre 140 a 180 horas, enquanto que as normais climatológicas ficam na faixa entre 240 a 280 horas de insolação.

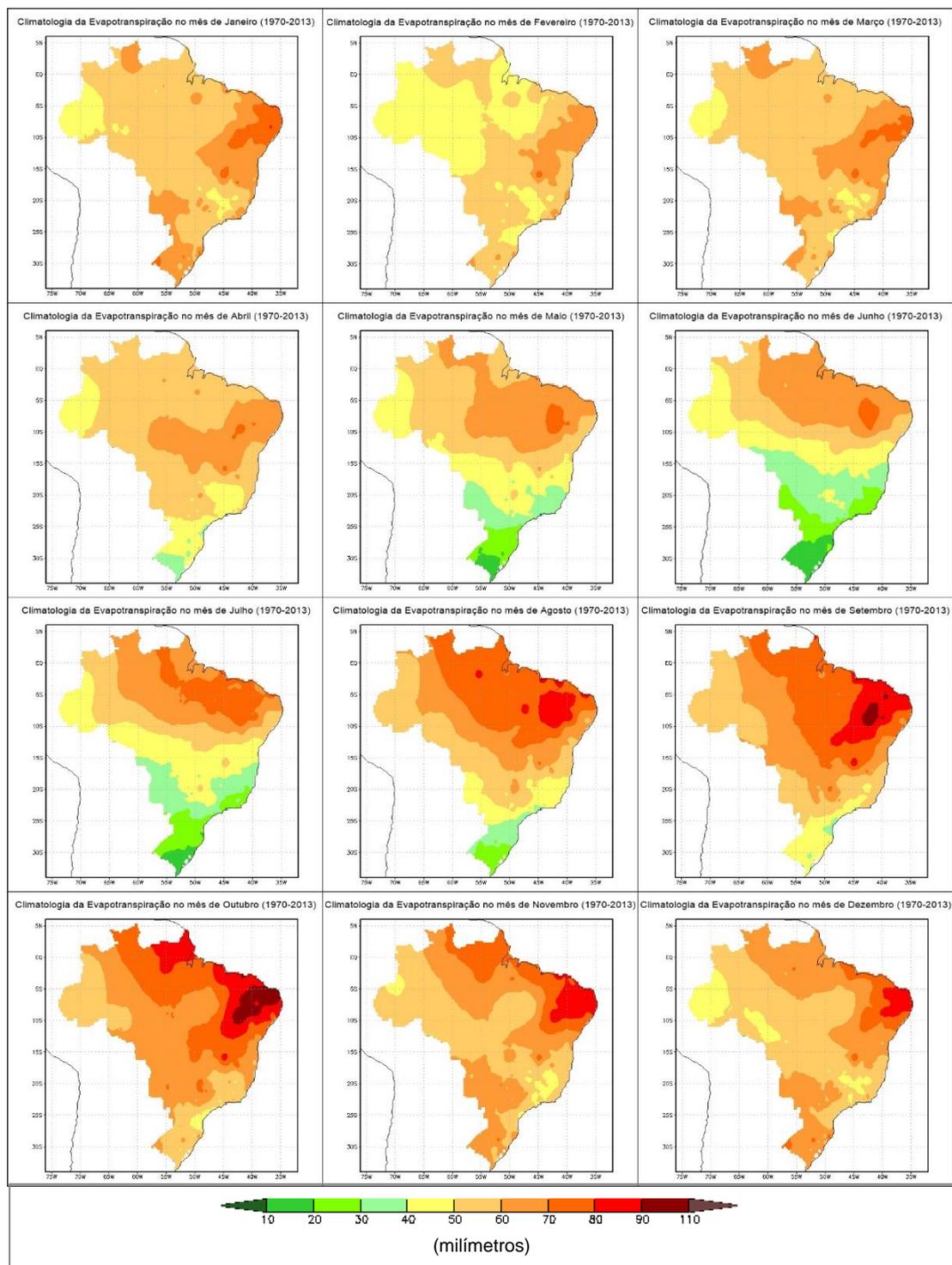


Figura 12 - Média climatológica da evapotranspiração potencial para os meses de janeiro a dezembro no período de 1970-2013.

A análise dos mapas da figura 12 mostram que a média climatológica de evapotranspiração potencial está representando bem a sazonalidade. Como a evapotranspiração potencial reflete a capacidade evaporativa da atmosfera, sua variação sazonal acompanha àquela da insolação. Nas regiões Norte e Nordeste os máximos são registrados em Setembro e Outubro, quando também acontecem os máximos de insolação. No Sudeste e Sul os máximos acontecem durante o verão.

## **5. CONCLUSÃO**

Com o intuito de determinar condições iniciais de umidade do solo para uso em simulações atmosféricas em todo o Brasil, desenvolveu-se o Modelo Simples de Água no Solo (MSAS), que utiliza como entradas, os dados de precipitação e evapotranspiração.

Nesse contexto, o objetivo do trabalho buscou descrever a variabilidade climática e espacial da umidade do solo simulada sobre o Brasil, e apresentar informações de umidade do solo factíveis de serem utilizadas em modelos atmosféricos como condições iniciais, aplicando uma metodologia que tem como base a utilização de dados de insolação, a fim de obter melhores resultados nos valores de evapotranspiração.

A análise dos resultados dos dados de insolação mostrou-se satisfatória em relação aos objetivos propostos, pois apresentaram uma sazonalidade próxima às normais climatológicas fornecidas pelo INMET. No entanto, as estimativas de evapotranspiração calculadas requerem ainda uma análise mais acurada para a validação de sua representatividade.

## 6. REFERÊNCIAS

Aguiar, R. G.; Von Randow, C.; Filho, N. P.; Manzi, A. O.; Aguiar, L. J. G.; Cardoso, F. L. (2006), Fluxos de Massa e Energia em uma Floresta Tropical do Sudoeste da Amazônia. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.21, n.3b, 248-257, 2006.

Allen, R. G.; Pereira, D. R.; Smith, M. (1998), *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water*. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations – Roma.

Dirmeyer PA, Dolman AJ, Sato N (1999), The pilot phase of the global soil wetness project. *Bull Amer Meteor Soc* 80: 851–878.

Dirmeyer PA, Zeng FJ, Ducharne A, Morrill JC, Koster RD (2000) The sensitivity of surface fluxes to soil water content in three land surface schemes. *J Hydrometeorol* 1: 121–134.

Doyle, M., Tomasella, J., et al. (2013). "Experiments using new initial soil moisture conditions and soil map in the Eta model over La Plata Basin." *Meteorology and Atmospheric Physics*: 1-18.

Entekhabi D, Rodriguez-Iturbe I, Castelli F (1996) Mutual interaction of soil moisture state and atmospheric processes. *J Hydrology* 184: 3-18.

FAO (2007) Digital Soil Map of the World <http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show?id=14116>

LBA-Data Model Intercomparison Project (LBA-DMIP), <http://www.climatemodeling.org/lba-mip/>

Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990 – Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 2009, <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>

Reen BP, Stauffer DR, Davis KJ, Desai AR (2006) A case study on the effects of heterogeneous soil moisture on mesoscale boundary-layer structure in the Southern Great Plains, U.S.A. Part II: mesoscale modelling. *Bound Layer Meteor* 120: 275-314.

Rodriguez, D. A. ; Tomasella, J. . Uma melhora física no modelo de balanço hídrico operacional do CPTEC/INPE. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2004, Fortaleza. XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia - Fortaleza, 2004.

Rossato, L., Alvalá, R.C. and Tomasella, J., 2002 . Climatologia da umidade do solo no Brasil- XII Congresso Brasileiro de Meteorología – Foz do Iguaçu.

Seneviratne, S. I., Corti, T., et al. (2010). "Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: A review." *Earth-Science Reviews* 99(3–4): 125-161.

Silveira, M. C. (2013), Variabilidade na produção primária líquida em modelos de superfície para sítios Sul-Americanos. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, 13-15, 2013.

Tomasella J, Hodnett MG (2005) Pedotransfer Functions for tropical soils. In: Pachepsky Y.; Rawls, W.J.. (Org.). *Developments in Soil Science: Pedotransfer Functions in Hydrology*. Amsterdam: Elsevier 30: 415-435.

Zhang, C., Dazlich, D.A. and Randall, D.A., 1999. Simulations of Soil moisture and surface water balance using Simple Biosphere Model 2. *Journal of the Meteorological Society of Japan* v. 77, No 1B, pp. 217-234.