

ISSN 0104-1347

Avaliação da umidade do solo no Brasil durante o episódio El Niño (1982/83)¹

Soil moisture evaluation in Brazil during the El Niño (1982/83) episode

Luciana Rossato², Javier Tomasella² e Regina Célia Santos Alvalá³

Resumo - Este trabalho teve por objetivo avaliar a umidade do solo utilizando-se um modelo de balanço hídrico para todo o Brasil durante o episódio El Niño. O balanço hídrico foi calculado através de uma expressão simplificada, a qual é função do armazenamento de água no solo disponível para as plantas, da precipitação e da evapotranspiração real da cobertura vegetal. O armazenamento de água no solo foi obtido a partir da estimativa da capacidade de campo e do ponto de murcha utilizando-se funções de pedo-transferência (FPT). Estas funções permitem estimar as propriedades hidráulicas a partir de dados básicos dos solos. Para o cálculo da evapotranspiração utilizou-se o modelo de Penman-Monteith, cujos resultados foram corrigidos em função de diferentes classes de coberturas vegetais, classificados de acordo com os biomas definidos pelo modelo SSiB ("Simplified Simple Biosphere"). Outrossim, a partir da interpolação das informações pedológicas e meteorológicas, obteve-se a climatologia do armazenamento de água no solo para o período de 1971-1990, cujos resultados permitiram avaliar o armazenamento de água no solo para os episódios de El Niño em 1982-1983.

Palavras-chave: balanço hídrico, funções de pedo-transferência, evapotranspiração, variabilidade climática.

Abstract - In this work, a soil water balance for Brazil was obtained. The water balance model used a simple equation, which is a function of the water availability, rainfall and potential evapotranspiration. The maximum soil water storage was derived from the field capacity and the wilting point using a pedo-transfer function (PTF). PTF allows the estimation of soil hydraulic properties from basic soil data, such as texture, organic carbon and bulk density. The evapotranspiration was estimated using the Penman-Monteith method. Based on the vegetation parameters provided by the SSiB model, the potential evapotranspiration was calculated for the main Brazilian biomes, as defined in SSiB. The mean soil moisture for the period 1971-1990 was derived combining historical rainfall data and evapotranspiration estimates. From the soil moisture climatology, regions with higher/lower soil moisture availability during El Niño (1982-1983) episode were identified.

Key words: water balance, pedo-transfer functions, evapotranspiration, climatic variability.

Introdução

A avaliação das condições da umidade do solo, ou seja, da disponibilidade de água no sistema radicular, fornece informações importantes para diversos fins, tais como nos estudos de troca entre o

solo e a atmosfera e, principalmente, nas atividades agrícolas (como por exemplo, para a estimativa dos efeitos das secas/enchentes sobre a queda do rendimento agrícola). Considerando que a agricultura é vulnerável aos impactos decorrentes da variabilidade climática, principalmente no que se refere à precipi-

¹ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor.

² Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Rodovia Presidente Dutra km 39, CEP 12630-000 Cachoeira Paulista, SP. E-mail: rossato@cptec.inpe.br, javier@cptec.inpe.br.

³ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Av. dos Astronautas, 1758 – Jd. da Granja, CEP 12227-010 São José dos Campos, SP. E-mail: regina@cptec.inpe.br.

tação, ALVES *et al.* (1998) avaliaram o impacto dos fenômenos El Niño/La Niña pela análise da produção da agricultura de subsistência (milho e feijão) no Estado do Ceará, dando ênfase às suas características de rendimento e produção. Os resultados mostraram que, devido à diminuição das chuvas nesta região, a produção de milho e feijão foi afetada negativamente em anos de El Niño, com uma redução de 30 a 50% em relação à média. Por outro lado, nos anos de La Niña, a produção e a produtividade superaram de 15 a 20% a média geral. Para a região Sul, CUNHA (1999) verificou que a ocorrência desses fenômenos não causa exclusivamente prejuízos para a agricultura. Pois, nos anos de El Niño, por não faltar água no período de primavera-verão, em geral, as culturas de verão (soja e milho, particularmente) são beneficiadas. E, nos anos de La Niña, o exemplo típico é a cultura de trigo que é favorecida. Para a cultura do arroz irrigado no Rio Grande do Sul, CARMONA & BERLATO (2002) verificaram que os episódios de El Niño são desfavoráveis a este tipo de cultura devido à menor disponibilidade de insolação que ocorre no período de outubro a fevereiro e, para La Niña, tem-se a maior frequência de eventos favoráveis devido aos altos índices de insolação no mesmo período.

Logo, dada à importância da umidade do solo, vários métodos e/ou técnicas são utilizadas para a sua determinação, as quais podem ser feitas direta ou indiretamente utilizando-se diferentes instrumentos. No entanto, a determinação direta desta propriedade demanda tempo e trabalho. Por essa razão, existem modelos, conhecidos como balanços hídricos, que relacionam as propriedades físico-hídricas do solo com os componentes de entrada e saída de água no solo (HILLEL, 2003). O balanço hídrico consiste em avaliar a contabilidade hídrica do solo, até a profundidade explorada pelas raízes, calculando-se, sistematicamente, todos os fluxos positivos (entrada de água no solo) e negativos (saída de água do solo).

Assim sendo, este trabalho tem por objetivo elaborar um balanço hídrico para todo o Brasil, utilizando nova abordagem que incorpora características espaciais da distribuição das propriedades físicas dos solos, tais como o percentual de areia, de silte, de cascalho e de matéria orgânica e o armazenamento de água no solo, sendo este obtido a partir da estimativa da capacidade de campo e do ponto de murcha utilizando-se funções de pedo-transferência (FPT). Estas funções permitem estimar as propriedades hidráulicas a partir das propriedades básicas dos solos, como, por exemplo, textura, conteúdo de carbono e

densidade global. O balanço hídrico foi desenvolvido a partir da interpolação de informações pedológicas e meteorológicas com diferentes resoluções espaciais e temporais, o qual permitiu obter a umidade média mensal do solo no período de atuação do fenômeno El Niño em 1982-1983.

Material e Métodos

O modelo de balanço hídrico utilizado para a determinação da umidade do solo para todo o Brasil foi calculado por uma expressão simplificada dada em função do armazenamento de água no solo por:

$$S_{t+1} = S_t + PRE_t - ETR_t \quad (2.1)$$

sendo S o armazenamento de água no solo disponível para as plantas (mm), PRE a precipitação (mm), ETR a evapotranspiração real da vegetação (mm) e t o tempo.

O armazenamento S varia entre um valor mínimo, definido como ponto de murcha, e um valor máximo, definido pela porosidade (espaço vazio) do solo. Deste modo, no balanço hídrico considera-se que o armazenamento de água no solo varia entre o ponto de murcha e a capacidade de campo e que o excesso, ou seja, a quantidade de água acima da capacidade de campo do perfil de solo, resulta na drenagem profunda ou no escoamento superficial.

Assim, neste trabalho, a obtenção da capacidade efetiva de armazenamento de água no solo foi feita a partir da estimativa da capacidade de campo e do ponto de murcha permanente utilizando-se funções de pedo-transferência (TOMASELLA *et al.*, 2000), cujos resultados serviram de base para o cálculo da variação temporal do estado da água no solo. Uma função de pedo-transferência (FPT) é aquela que tem como argumento dados básicos que descrevem o solo, gerando como resultado a retenção de água no solo. Neste trabalho, a função de pedo-transferência (FPT) foi baseada na equação de retenção de van Genuchten, dada por:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (a \cdot \psi)^n]^m} \quad (2)$$

em que θ é o conteúdo volumétrico de água; θ_s é o conteúdo de água quando o solo está saturado; θ_r o conteúdo de água residual; ψ é o potencial matricial (kPa); α (kPa⁻¹), n e m são os parâmetros empíricos

da equação. Van Genuchten assumiu que $m = 1 - 1/n$ (VAN GENUCHTEN, 1980).

Os parâmetros da Equação 2 foram relacionados com dados das propriedades físicas do solo para cada perfil dos solos do Brasil, através de técnicas de regressão linear múltipla. Tais dados foram extraídos a partir de Levantamento Exploratório e de Reconhecimento dos solos do Brasil realizados pelo Projeto RADAMBRASIL e pela EMBRAPA, cujas localidades que dispõem de dados podem ser vistas na Figura 1. Portanto, cada ponto na Figura 1 corresponde a um perfil de solo, o qual inclui a descrição dos atributos de solos tais como as classes de textura (percentual de areia, de silte e de argila), a profundidade dos horizontes, a quantidade de carbono orgânico, entre outras.

Assim, com as estimativas da capacidade de campo e do ponto de murcha permanente (CASSEL & NIELSEN, 1986), obtidas a partir dos dados das propriedades físicas dos solos, foi possível calcular a capacidade armazenamento de água disponível (AWC), a qual também é função da profundidade radicular. No cálculo da capacidade de água disponível, a profundidade máxima foi limitada em função do tipo de solo, sendo calculada até a profundidade radicular máxima de 1,20 m.

Os dados diários de precipitação necessários foram extraídos a partir de séries históricas de esta-

ções operadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE), pelo Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR) e pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) durante o período de 1970-1990 de todo o território nacional, do Estado de São Paulo, do Estado do Paraná e da região Nordeste do país, respectivamente. As redes pluviométricas estão ilustradas na Figura 2.

Para a estimativa da evapotranspiração utilizaram-se informações meteorológicas oriundas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), das quais foram coletados dados climatológicos de perfis de vento e dados históricos de temperatura média mensal do ar, de umidade relativa do ar, de insolação total e de pressão atmosférica registrados nas Normais Climatológicas no período de 1961-1990 (BRASIL, 1992). Destas, foram utilizados dados climáticos de 193 estações meteorológicas distribuídas pelas cinco regiões do território brasileiro, devido à compatibilização dos dados de vento com os dados de temperatura, de umidade relativa do ar, de insolação e de pressão atmosférica.

Os dados descritos acima serviram de base para o cálculo da evapotranspiração potencial, a qual foi estimada pela equação de Penman-Monteith, conforme metodologia sugerida por ALLEN et al. (1998).

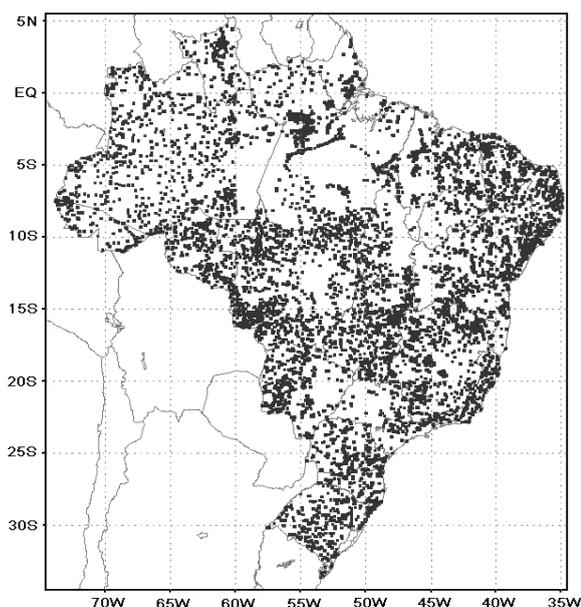


Figura 1. Localização dos dados das propriedades físicas dos solos no Brasil.

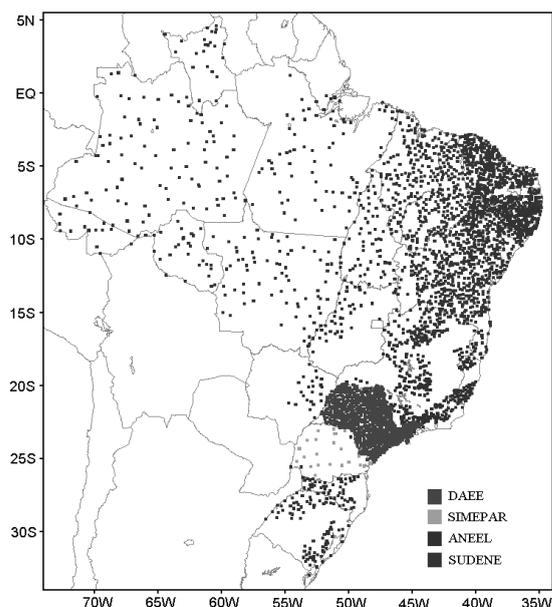


Figura 2. Localização das redes pluviométricas da ANEEL, SUDENE, DAEE e SIMEPAR.

Os dados de evapotranspiração calculados foram corrigidos em função de diferentes classes de coberturas vegetais, utilizando-se o mapa de vegetação derivado do sensor AVHRR – “Advanced Very High Resolution Radiometer” (radiômetro de alta resolução a bordo do satélite de órbita polar da série NOAA – “National Oceanic and Atmospheric Administration”), classificados segundo os biomas definidos pelo modelo SSiB, conforme ilustrado na Figura 3. Assim, para cada tipo de vegetação obteve-se os parâmetros de superfície, tais como a altura da vegetação, o comprimento de rugosidade, a resistência máxima superficial e o albedo (DORMAN & SELLERS, 1989). Outrossim, a partir dos parâmetros superficiais, estimou-se a evapotranspiração potencial média mensal através da equação de Penman-Monteith para diferentes coberturas de vegetação dadas pelo modelo SSiB.

Neste trabalho, para calcular o balanço hídrico, a evapotranspiração de referência foi transformada em evapotranspiração real conforme metodologia sugerida pela FAO (DOORENBOS & PRUITT, 1977), ou seja, considerando-se que a quantidade de água transpirada pela planta depende do armazenamento de água no solo. A FAO sugere utilizar uma função simples que leve em conta este efeito, através da definição da fração de água facilmente disponível, p , baseado em soluções como as propostas por FEDDES *et al.* (1988). Neste conceito, admite-se que até que essa fração p da capacidade de água disponível (AWC) seja utilizada, não há redução significativa na produtividade da cultura. Logo, define-se deficiência hídrica quando o armazenamento está abaixo da água disponível. No entanto, como o objetivo é evitar que as plantas sofram danos por deficiência hídrica, a condição limite para que isso não aconteça é considerar o armazenamento de água no solo até $(1-p)AWC$, assumindo que o coeficiente $(1-p)$ corresponde a um potencial de -60 kPa (FEDDES *et al.*, 1988).

O coeficiente p indica a proporção do total de água disponível que pode ser transpirada a uma taxa potencial ($ETR=ETP$). Abaixo desse armazenamento, a ETR é proporcional ao armazenamento remanescente no perfil, isto é:

$$\begin{aligned} ETR &= ETP \dots\dots\dots S > AWC(1-p) \\ ETR &= ETP \frac{S}{AWC(1-p)} \dots\dots\dots S \leq AWC(1-p) \end{aligned} \quad (3)$$

A fração p depende do tipo de solo, da sensibilidade do cultivo ao estresse hídrico e do valor de ETP .

Para períodos decendiais e mensais é necessário estimar a evapotranspiração real média levando em conta o número de dias em que $ETP = ETR$.

Assim, as equações de evapotranspiração real foram integradas nos dois casos. A seguir, apresentam-se as soluções da equação de balanço para cada caso:

a) Para $S > AWC(1-p) \Rightarrow ETR = ETP$

Neste caso, a equação do balanço hídrico é dada por:

$$\frac{dS}{dt} = PRE - ETP \quad (4)$$

Com dS variando entre S_t e S_{t+1} e dt entre t e $t + \Delta t$, tem-se que:

$$\int_{S_t}^{S_{t+1}} dS = \int_t^{t+\Delta t} (PRE - ETP) dt \quad (5)$$

A solução da equação diferencial acima é dada por:

$$S_{t+1} = S_t + (PRE - ETP) \Delta t \quad (6)$$

b) Para $S \leq AWC(1-p) \Rightarrow ETR = ETP \frac{S}{AWC(1-p)}$

Deste modo, a equação de balanço hídrico é solucionada da seguinte forma:

$$\int_{S_t}^{S_{t+1}} \frac{dS}{PRE - ETP \frac{S}{(1-p)AWC}} = \int_t^{t+\Delta t} dt \quad (7)$$

Resolvendo a equação 7, encontra-se a seguinte solução:

$$S_{t+1} = PRE \cdot COEF - [PRE \cdot COEF - S_t] \cdot e^{-\frac{\Delta t}{COEF}} \quad (8)$$

em que
$$\text{COEF} = \frac{(1 - p) \text{AWC}}{\text{ETP}} \quad (9)$$

Assim sendo, a solução do balanço hídrico resultou das soluções da equação de evapotranspiração acumulada no período, apresentada nos dois casos. Logo, através do balanço, obteve-se os valores da umidade do solo, média mensal, para todo o território nacional, considerando-se o período de 1971-1990. Para isto, utilizaram-se dados pedológicos e meteorológicos interpolados pelo método Krigging, adotando-se uma resolução de 0,25°.

Resultados e Discussão

Para avaliar a umidade do solo durante o episódio El Niño foram geradas anomalias do percentual de armazenamento de água no solo médio mensal em relação à média climatológica do período de 1971-1990, cujos episódios mais intensos ocorreram em 1982 e 1983.

As Figuras 4 (a-x) ilustram as distribuições mensais de anomalias (em percentagem) do percentual de armazenamento de água no solo para os anos de 1982 e 1983 para todo o território brasileiro.

Ressalta-se que na análise dos resultados foram consideradas apenas as regiões afetadas pelo fenômeno, uma vez que podem existir anomalias de

umidade do solo em regiões não mencionadas anteriormente e que não apresentam nenhuma relação com o El Niño.

No Brasil, os efeitos do El Niño causam prejuízos e benefícios (OLIVEIRA, 1999); no entanto, os danos causados, principalmente na agricultura, são maiores que os benefícios. Assim sendo, seus principais efeitos são: secas de moderadas a intensas no norte e leste da Amazônia; secas de diversas intensidades no norte da região Nordeste durante a estação chuvosa, que vai de fevereiro a maio; precipitações abundantes, principalmente na primavera na região Sul. No que concerne especificamente ao episódio de 1982/83, este teve início em abril e se estendeu até julho do próximo ano.

Assim, considerando que a variação da umidade do solo é o resultado da atuação conjunta do regime de precipitação e de evapotranspiração, analisando-se as Figuras 4 (a-x), verifica-se que, no primeiro ano de atuação do episódio os, maiores impactos ocorreram a partir do mês de novembro. Na região Nordeste e no norte da Amazônia encontram-se áreas com anomalias variando entre 80 e 100% abaixo da média climatológica (devido à diminuição de precipitação), enquanto na região Sul, os Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul apresentaram anomalias positivas de umidade do solo no referido mês, as quais variaram entre 20 e 40% acima da média climatológica. Este padrão de anomalia de armazenamento de água no solo para estas regiões do Sul do País também foi observado no mês de dezembro,

onde encontram-se algumas áreas com reserva hídrica acima da média climatológica. No segundo ano de atuação do El Niño, a região Nordeste do Brasil apresentou déficit de água no solo no mês de janeiro; entretanto, em fevereiro, houve uma melhoria na reserva hídrica do solo em quase toda a região Nordeste do País, exceto nos Estados do Maranhão e Piauí e em parte do Ceará. Nos meses de março e abril ainda são encontradas anomalias positivas em algumas localidades da região, principalmente no Estado da Bahia. A ocorrência destas anomalias é explicada provavelmente pela atuação da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), a qual é definida por uma estreita faixa de nuvens

MAPA DE VEGETAÇÃO DO SiB

PRINCIPAIS CLASSES

- Mar ou superfície de água
- 1- Árvores de folhas largas e ramificadas (floresta tropical)
- 2- Árvores de folhas largas e decíduas
- 3- Árvores de folhas largas e finas (floresta mista)
- 4- Árvores de folhas finas e ramificadas
- 5- Árvores de folhas finas e decíduas
- 6- Árvores de folhas largas com baixa cobertura
- 7- Somente cobertura baixa (plantas perenes)
- 8- Arbustos de folhas largas com coberturas baixas e perenes
- 9- Arbustos de folhas largas com solo nu
- 10- Árvores pequenas e arbustos com coberturas baixas
- 11- Solo sem cobertura
- 12- Áreas cultiváveis
- 13- Gelo

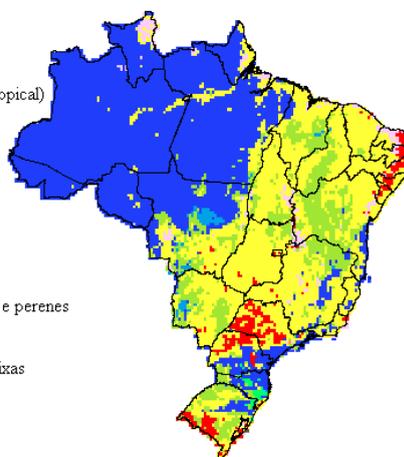
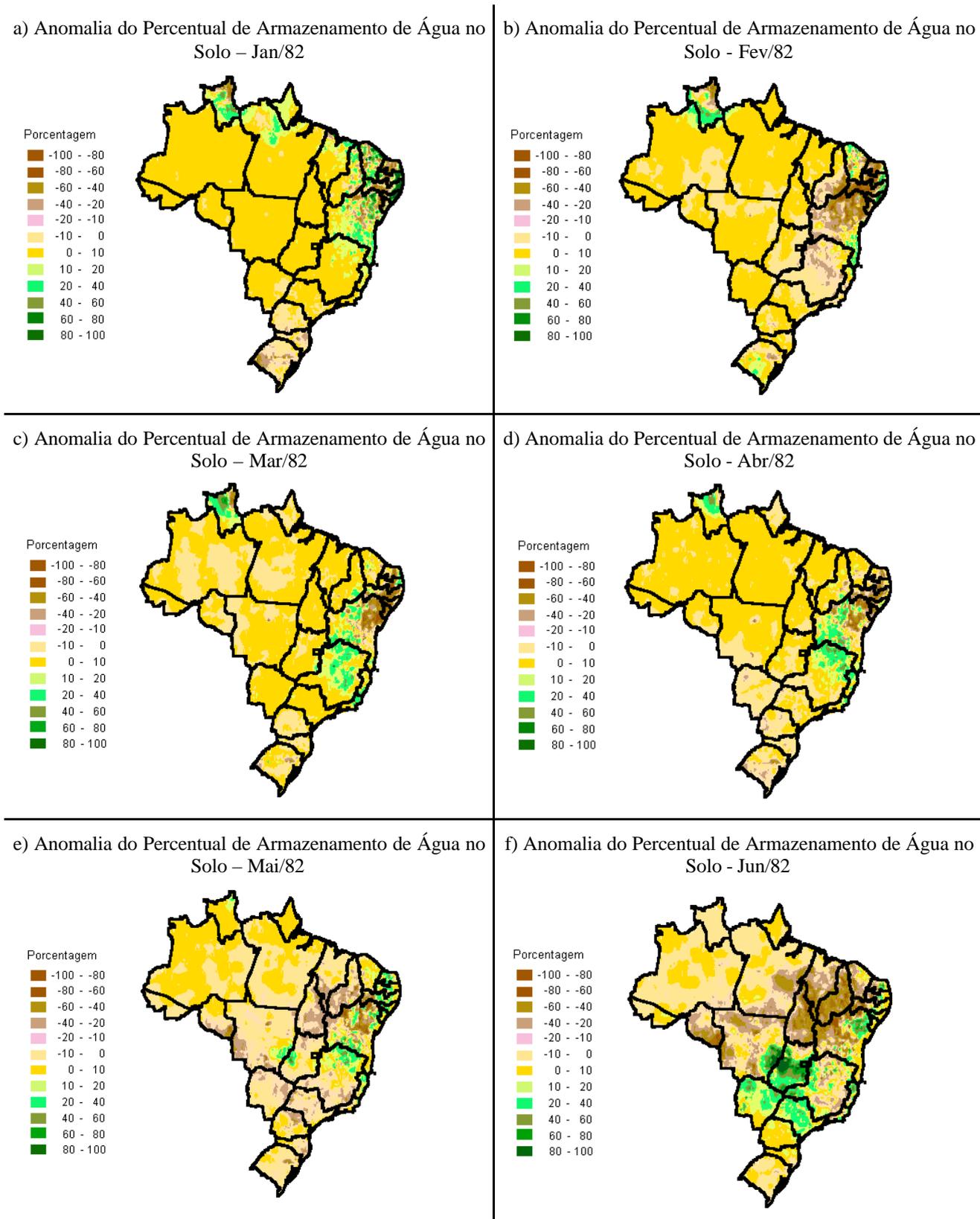


Figura 3 Mapa de distribuição das diferentes classes de vegetação do modelo SsiB, no Brasil.

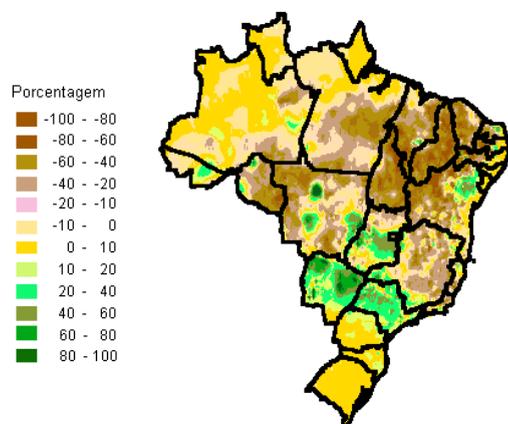


(Continua).

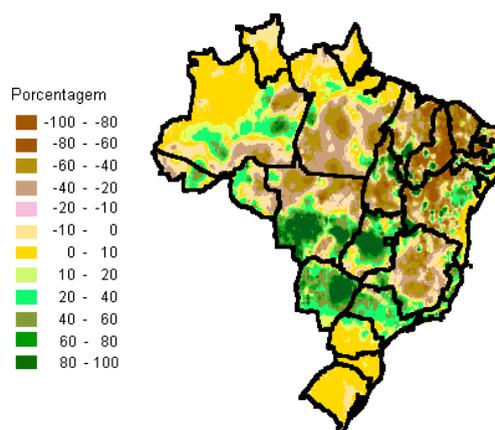
Figura 4. Anomalias do percentual de armazenamento de água no solo para os meses de janeiro/1982 a dezembro/1983.

(Continuação da Figura 4)

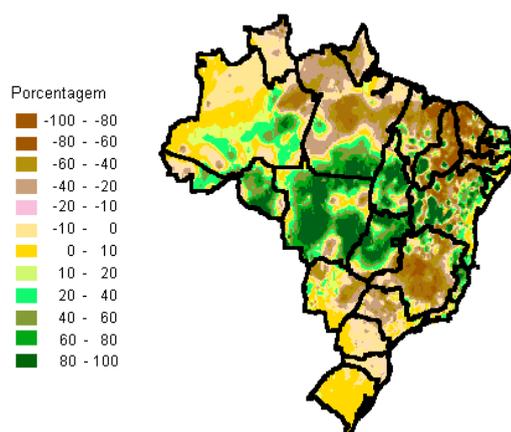
g) Anomalia do Percentual de Armazenamento de Água no Solo – Jul/82



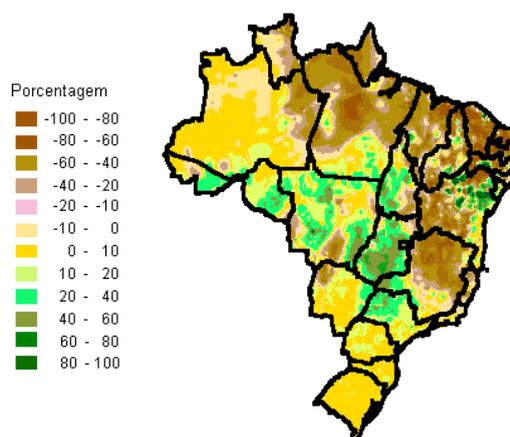
h) Anomalia do Percentual de Armazenamento de Água no Solo - Ago/82



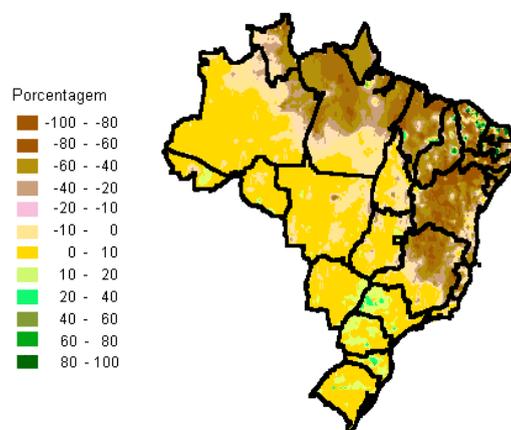
i) Anomalia do Percentual de Armazenamento de Água no Solo – Set/82



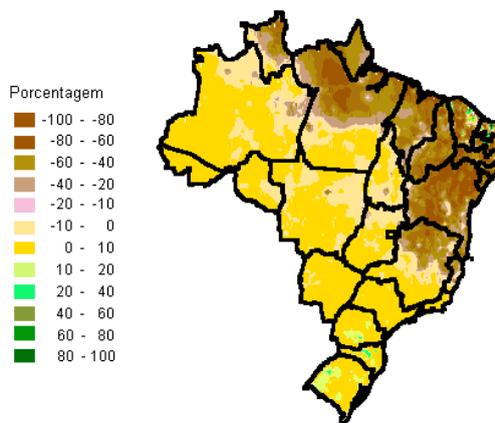
j) Anomalia do Percentual de Armazenamento de Água no Solo - Out/82



k) Anomalia do Percentual de Armazenamento de Água no Solo – Nov/82



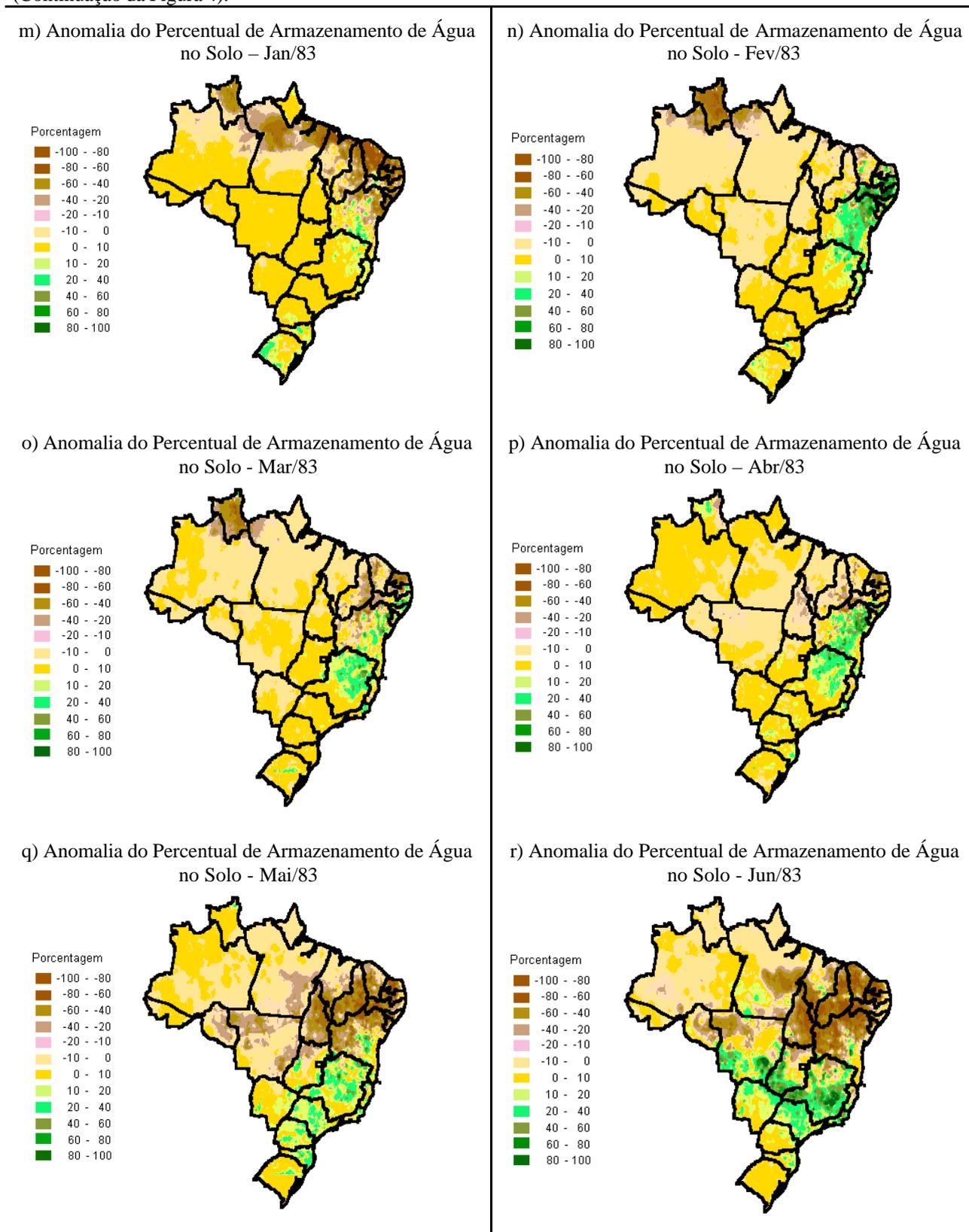
l) Anomalia do Percentual de Armazenamento de Água no Solo - Dez/82



(Continua).

Figura 4. Anomalias do percentual de armazenamento de água no solo para os meses de janeiro/1982 a dezembro/1983.

(Continuação da Figura 4).

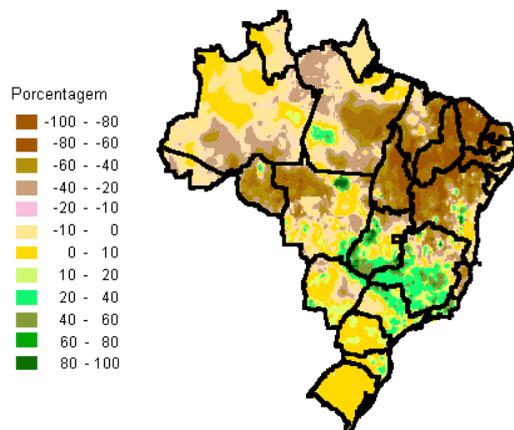


(Continua).

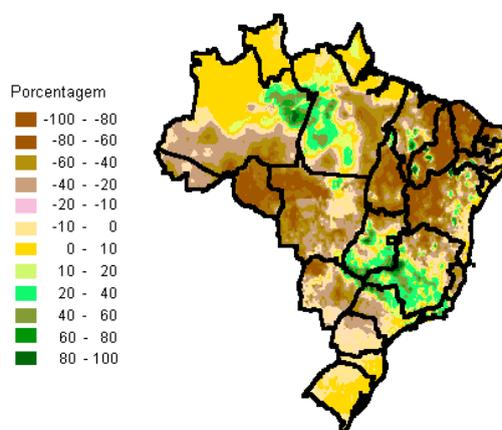
Figura 4. Anomalias do percentual de armazenamento de água no solo para os meses de janeiro/1982 a dezembro/1983.

(Continuação da Figura 4).

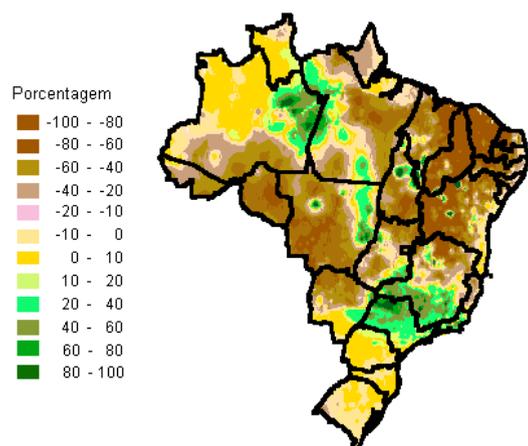
s) Anomalia do Percentual de Armazenamento de Água no Solo - Jul/83



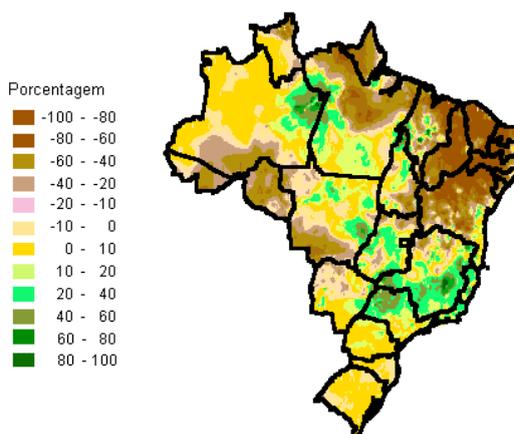
t) Anomalia do Percentual de Armazenamento de Água no Solo - Ago/83



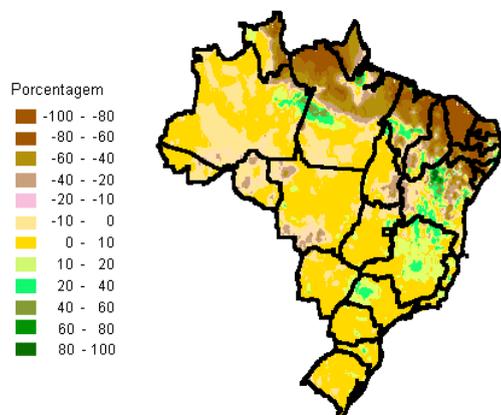
u) Anomalia do Percentual de Armazenamento de Água no Solo - Set/83



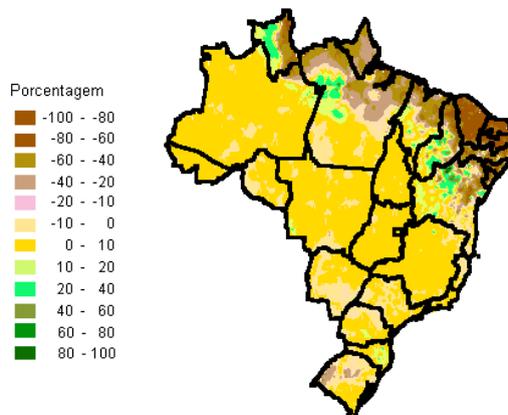
v) Anomalia do Percentual de Armazenamento de Água no Solo - Out/83



w) Anomalia do Percentual de Armazenamento de Água no Solo - Nov/83



x) Anomalia do Percentual de Armazenamento de Água no Solo - Dez/83

**Figura 4.** Anomalias do percentual de armazenamento de água no solo para os meses de janeiro/1982 a dezembro/1983.

onde se convergem os ventos alísios dos dois hemisférios. Nos meses de dezembro a fevereiro, a ZCIT aproxima-se da linha equatorial, o que influencia diretamente nas chuvas da Região Nordeste. Porém, a partir do mês de maio quase toda a região apresentou anomalias negativas de água no solo, padrão este que se estendeu até o mês de dezembro. No norte da Amazônia, com a diminuição da precipitação ocasionada pela atuação do fenômeno, observam-se anomalias negativas de umidade do solo durante os meses de janeiro e março. No entanto, na região Sul do Brasil, devido ao aumento da precipitação, a reserva de água no solo variou entre 20 e 40% acima da média climatológica nos meses de janeiro até maio. Os resultados apresentados por GRIMM *et al.* (1998), que avaliaram as anomalias de precipitação no Sul do Brasil associadas aos eventos El Niño e La Niña, considerando dados mensais de precipitação durante o período de 1910 a 1988, obtidos a partir de 250 estações operadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica, pelo Instituto Nacional de Meteorologia e por outras instituições do Paraná e de Santa Catarina, mostraram que o Sul do Brasil é a região cujas precipitações são mais intensas em períodos de El Niño, mesmo durante a estação da primavera do ano do evento, causando um aumento da umidade do solo e da evaporação. Este padrão também foi observado para a reserva de água no solo no Estado do Paraná durante o mês de novembro (Figura 4j) e em algumas áreas da região Sul no mês de dezembro (Figura 4k), onde as anomalias de percentual de água no solo atingiram índices de até 40%. Outrossim, GRIMM *et al.* (1998) verificaram a existência de uma tendência a precipitações médias mais baixas no ano que antecede o El Niño, que se estende até março do ano do evento; entretanto, não se observou tal tendência na análise das anomalias de percentual de água no solo durante o período El Niño de 1982/83 estudado. Em estudo recente, GRIMM (2003) concluiu que as anomalias de precipitação, tanto as negativas na região Norte-Nordeste como as positivas na região Sul, são decorrentes da resposta atmosférica ao fenômeno El Niño, que se dá na forma de um trem de ondas de Rossby anômalo. Este causa bloqueio e impede que as frentes frias do Sul avancem na direção Norte-Nordeste, produzindo uma diminuição da precipitação, enquanto que, para a região Sul, a causa é o aumento da precipitação uma vez que, as frentes frias são mais intensas e permanecem por mais tempo, resultando em chuvas mais abundantes e, conseqüentes, inundações.

Os resultados do percentual de armazenamento de água no solo para os anos de 1982/83 comparados com a média climatológica de 1971-1990 indicam que os efeitos do fenômeno El Niño foram mais pronunciados na região Nordeste e no norte e leste da Amazônia. Tais efeitos também foram observados por KAYANO & MOURA (1986), que analisaram as anomalias de precipitação durante o El Niño de 1982/83 sobre a América do Sul, considerando dados de precipitação mensal para um período superior a 30 anos. Os resultados mostraram que áreas secas e chuvosas apresentaram variações mensais quanto à extensão e intensidade.

Os resultados obtidos indicam que o fenômeno El Niño observado no período de 1982/83 influenciou no percentual de armazenamento de água no solo em quase todo o seu período de atuação, principalmente na região Nordeste que apresentou anomalias negativas de armazenamento de água no solo, exceto no mês de fevereiro de 1983, o que pode ser explicado pelo início do período chuvoso que ocorre de fevereiro a maio. Na região Sul, principalmente em Santa Catarina, observou-se maior influência do evento nos meses de novembro e dezembro durante o primeiro ano de atuação. Embora a anomalia do percentual de armazenamento de água no solo tenha ficado entre 20 e 40% acima da média climatológica, ela pode ser considerada bastante representativa em uma região de grandes ocorrências de chuvas.

Portanto, conclui-se que a atuação do episódio El Niño causou impactos contrastantes, ou seja, na região Sul do País foram registradas chuvas intensas e aumento da umidade do solo; enquanto no Nordeste do Brasil e em parte da Amazônia foram registradas secas severas, com conseqüente redução da disponibilidade hídrica do solo.

Ressaltar que, em 1983, conforme destacou OLIVEIRA (1999) cerca de 88% da região Nordeste foi prejudicada pelo fenômeno El Niño. A seca causou um decréscimo na produção agrícola e perda total em algumas regiões. Além disso, o aumento das chuvas na região Sul também ocasionou grandes prejuízos à agricultura e a pecuária, principalmente em Santa Catarina, onde perderam-se aves, suínos e bovinos.

Referências bibliográficas

ALLEN, R.G. *et al.* **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements.**

- Rome, Italy: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, n. 56).
- ALVES, J.M.B. et al. Produção agrícola de subsistência no Estado do Ceará com ênfase aos anos de ocorrência de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 111-118, 1998.
- BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normais Climatológicas (1961-1990)**. Brasília: EMBRAPA/SPI, 1992. 84 p.
- CARMONA, L.C.; BERLATO, M.A. El Nino e La Nina e o rendimento do arroz irrigado no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 147-152, 2002.
- CASSEL, D.K.; NIELSEN, D.R. Field capacity and available water capacity. In: PAGE, A.L. ed, **Methods of soil analysis**. Madison, WI: ASA and SSSA, 1986. pt. 2, p. 901-926. (Agron. Monog. 9).
- CUNHA, G.R.da. El Niño-Oscilação do Sul e perspectivas climáticas aplicadas no manejo de culturas no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 2, p. 277-284, 1999.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome FAO, 1977. 179 p. (Irrigation and Drainage Paper, 24).
- DORMAN, J.L.; SELLERS, P.J. A global climatology of albedo, roughness length and stomatal resistance for atmospheric general circulation model as represented by the Simple Biosphere model (SiB). **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 28, n. 9, p. 833-855, 1989.
- FEDDES, R. A. et al. Modelling soil water dynamics in ~~the unsaturated zone: state of art~~ **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 100, n. 1-3, p. 69-111, 1988.
- GRIMM, A.M.; BARROS, V.R.; DOYLE, M.E. Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, Boston, v. 11, n. 11, p. 2863-2880, 1998.
- GRIMM, A.M. The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: regional processes versus remote influences. **Journal of Climate**, Victoria, v. 16, n. 2, p. 263-280, Jan. 2003.
- HILLEL, D. **Introduction of environmental soil physics**. New York: United Kingdom Edition, 2003. 494p.
- KAYANO, M.T.; MOURA, A.D. O El Niño de 1982-83 e a precipitação sobre a América do Sul. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 201-214, 1986.
- OLIVEIRA, G.S. **O El Niño e você: o fenômeno climático**. São José dos Campos: Transtec, 1999. 116 p.
- TOMASELLA, J.; HODNETT, M.; ROSSATO, L. Pedo-transfer functions for the estimation of soil water retention in brazilian soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, n. 1, p. 327-338, 2000.
- VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.