Identificação e caracterização de ambientes homogêneos de eventos de seca/umidade com base em simulações climáticas regionais

Diego Simões Fernandes ([1]); Luiz Fernando Kruger ([2]); Alexandre Bryan Heinemann ([1]*); Rosmeri Porfírio da Rocha ([2])

([1]) Embrapa Arroz e Feijão, Rodovia GO 462, km 12, 75375-000 Santo Antônio de Goiás (GO), Brasil.
([2]) Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Departamento de Ciências Atmosféricas, Rua do Matão, 1226, 05508-900 São Paulo (SP), Brasil.
(*) Autor correspondente: alexbh@cnpaf.embrapa.br

Recebido: *2/set./2011;* ***Aceito:*** *3/abr./2012*

Resumo

O objetivo deste trabalho foi identificar e caracterizar ambientes homogêneos com base na ocorrência de eventos de seca/umidade na Região Centro-Norte do Brasil, compreendendo os Estados de Rondônia, Mato Grosso, Goiás e Tocantins. Para esse fim, utilizou-se o índice quantitativo de seca denominado Anomalia de Umidade de Palmer (Z-index). Os dados climáticos de entrada utilizados por esse índice para quantificar os eventos de seca/umidade foram simulados pelo modelo regional climático RegCM3 ("Regional ClimateModel – version3"), para o período de 1975 a 1989. Por meio de análise de agrupamento foram identificados 13 ambientes homogêneos. Esses ambientes homogêneos foram caracterizados por meio da probabilidade de ocorrência de eventos de seca/umidade, densidade relativa destes eventos, variabilidade da precipitação pluvial anual e a probabilidade de ocorrência de seca na época das águas (outubro a maio). No Estado do Mato Grosso observou-se o maior número de ambientes homogêneos e na Região Sudoeste desse Estado, o ambiente 11, obteve a maior probabilidade de ocorrência de eventos extremamente seco, 9%. O ambiente 10, localizado no extremo leste de Goiás, teve a menor mediana para a precipitação pluvial anual. O evento climático com maior probabilidade de ocorrência na região de estudo é o próximo ao normal ou normalidade de umidade.

Palavras-chave: seca, índice de anomalia de umidade de Palmer (Z-index), modelo climático regional.

Identification and characterization of drought/wet events homogeneous environments based on regional climate simulations

Abstract

The objective of this study was to identify and characterize homogeneous environments based on the probability of drought/wet occurrence in the central-northern Brazil, considering Rondônia, Mato Grosso, Goiás and Tocantins States. The drought index denominated the moisture anomaly Z-index (Z-index) was used. The input climate data for the drought index was generated by the regional climate model RegCM3 for the period from 1975 to 1989. As result of cluster analysis, it was identified 13 homogeneous environments. These environments were characterized based on the probability of drought/wet, relative density of drought/wet occurrence, annual rainfall variability and probability of drought occurrence during the rainy season (October to March). The Mato Grosso State had the highest number of homogeneous environments and the environment 11, located at southwest of this State had the highest probability of drought occurrence, 9%. The environment 10, located at the extreme east of Goiás State, showed the lowest median for the total annual rainfall. The climatic event with the highest probability of occurrence in the study area is close to normal or normality moisture.

Key words: drought, Palmer moisture anomaly index (Z-index), regional climate model.

1. INTRODUÇÃO

A Região Centro-Norte do Brasil, composta pelos Estados de Rondônia, Mato Grosso, Goiás e Tocantins, é considerada a principal região produtora de grãos no Brasil. De acordo com o Agrianual (2010), essa região foi responsável por 43%, 24% e 12% da produção brasileira de soja, milho e arroz para as safras de 2009/2010, 2009/2010 e 2008/2009 respectivamente. Entretanto, nessa região há alta variabilidade intra e interanual na produtividade dessas culturas. Provavelmente, um dos fatores ambientais limitantes é a água disponível no solo. Mesmo durante a estação chuvosa, a seca agrícola, que é caracterizada por um déficit entre a precipitação pluvial e a evapotranspiração potencial, pode ocorrer, e causar a redução na produtividade da cultura. Além do mais, a gravidade dessa seca pode aumentar em razão da associação dos elementos climáticos: temperatura do ar elevada, ventos fortes e baixa umidade do ar, além das condições locais de solo, principalmente a capacidade de retenção de água e o potencial erosivo (Salas et al., 2005; Freitas, 1998). Essas ocorrências dificultam a ação dos programas de melhoramento de grãos, que possuem como objetivo desenvolver genótipos adaptados aos diferentes ambientes dessa região. Portanto, existe a necessidade de melhor entendimento dos riscos climáticos, como a ocorrência de secas, nessa região. Por meio do entendimento desse fenômeno é possível fornecer suporte às decisões estratégicas a serem tomadas no planejamento agrícola, bem como facilitar a cadeia produtora de grãos a se adaptar às prováveis mudanças climáticas.

Um modo de melhor quantificar os riscos climáticos e também minimizar as interações genótipo×ambiente complexas é a identificação e caracterização de ambientes climáticos homogêneos. Uma ferramenta interessante e muito utilizada para caracterizar a seca em uma determinada região é o índice quantificador de secas. Esses índices têm como característica quantificar as condições de seca por meio de diferentes parâmetros, que incluem a intensidade, duração, severidade e extensão espacial da referida adversidade (Mishra e Singh, 2010).

Dentre diversos índices de seca, tais como, Índice Padronizado de Precipitação (SPI), Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI), Índice de Anomalia de Chuva (RAI), destaca-se o Índice de Anomalia de Umidade de Palmer (Z-index - Palmer, 1965) por ser considerado um índice de seca agrícola e também por integrar o balanço hídrico em seu cálculo. No Estado de Goiás, Faria e Assunção (2008) e Fernandes et al. (2010), com base em dados observados provenientes de estações meteorológicas, compararam os diferentes índices quantitativos de seca e concluíram que o Z-index proporcionou o melhor desempenho para quantificar a seca agrícola. Porém, para a aplicação do Z-index, há a necessidade de séries históricas diárias de dados de precipitação pluvial e temperaturas máxima e mínima do ar. Entretanto, na Região Centro-Norte do Brasil, há escassez de dados climáticos históricos. Para suprir essa limitação uma alternativa é a utilização de dados climáticos diários provenientes de simulações de modelos climáticos regionais (MCR). O MCR que vem sendo utilizado no Brasil é o "Regional Climate Model, v.3" – RegCM3. Esse modelo é compressível, hidrostático, e em coordenada vertical sigma-pressão e utiliza o método de diferenças finitas para a solução das equações (Pal et al., 2007; Reboita et al., 2009; Kruger et al., 2011). O RegCM3 resolve os processos de interação solo-planta-atmosfera, precipitação pluvial, radiação e de troca turbulenta entre a superfície-atmosfera segundo parametrizações descritas em Pal et al. (2007).

O objetivo deste trabalho foi identificar e caracterizar ambientes homogêneos com base na ocorrência de eventos climáticos seca/umidade na Região Centro-Norte do Brasil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A região de estudo compreende os Estados de Rondônia, Mato Grosso, Goiás e Tocantins, localizados entre 45° e 66°O e 4° e 20°S, e ocupa uma área aproximada de 1.758.600 km^2 do território brasileiro (Figura 1). Essa região caracteriza-se pela transição entre os climas quentes de latitudes baixas e os climas mesotérmicos do tipo temperado, de latitudes médias (Nimer, 1989) e é considerada homogênea quanto à duração e o posicionamento dos períodos secos e chuvosos (Keller Filho et al., 2005).

Os dados diários climáticos, precipitação pluvial, temperatura máxima e mínima, utilizados neste trabalho foram simulados pelo RegCM3 (Pal et al., 2007) para o período de 1975 a 1989. Nas simulações analisadas, o RegCM3 foi integrado com resolução horizontal de 60 km e 18 níveis verticais. Kruger (2011) validou a climatologia simulada pelo RegCM3, comparando-a com dados observados do Climate Prediction Center – Merged Analysisof Precipitation – CMAP, Maryland, EUA; Climate Research Unit – CRU, Norwich, Reino Unido e National Center of Environmental Prediction – NCEP, Maryland, EUA. De acordo com Kruger (2011), para a Região Centro-Oeste do Brasil, o RegCM3 simulou de forma adequada a variabilidade mensal e a fase do ciclo anual da precipitação pluvial do CMAP e CRU. Porém, esse modelo prolonga a estação seca em relação aos dados observados, enquanto na estação chuvosa as diferenças entre modelo e dados observados são menores (Figura 2a). Em relação à temperatura, para a Região Centro-Oeste, o RegCM3 simulou um padrão de ciclo anual mais próximo ao NCEP, entretanto, nas estações de inverno e primavera, as temperaturas simuladas são maiores do que as das análises (Figura 2b). A validação considerou apenas o ciclo anual das variáveis devido à escassez de dados observacionais diários na região. É importante destacar, que as

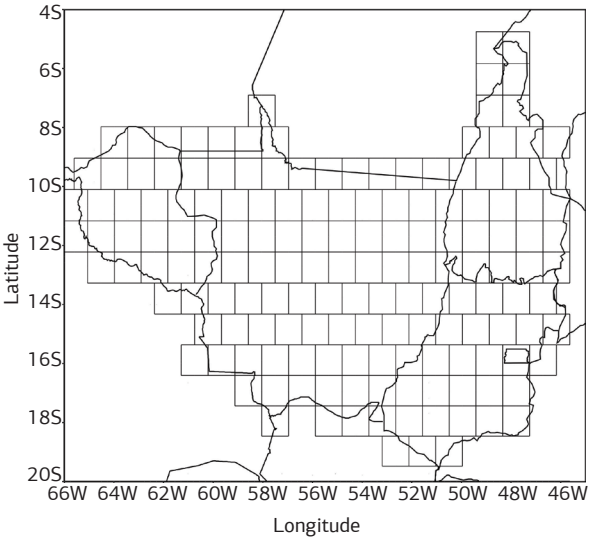


Figura 1. Mapa da área de estudo dividida em 158 quadrículas, e cada quadricula representa a média de nove pontos de grade da simulação climática do RegCM3.

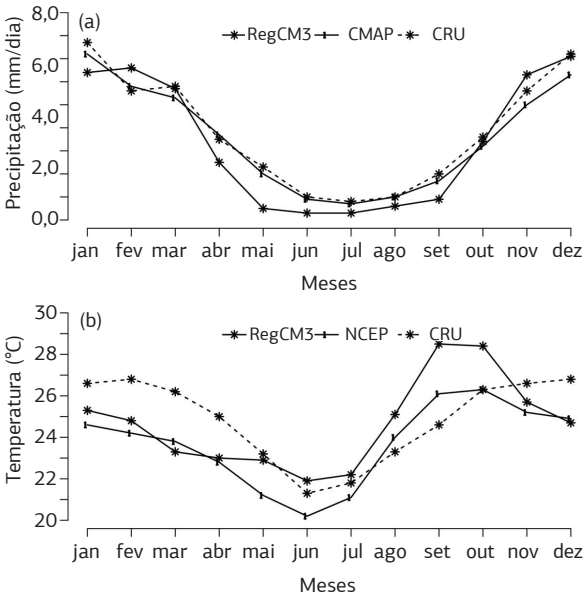


Figura 2. Validação anual dos dados de precipitação (A) e temperatura (B) simulados pelo modelo "Regional Climate Model, version3" (RegCM3) para o período de 1975 a 1989, com os observados "ClimatePrediction Center – MergedAnalysisofPrecipitation" (CMAP), "ClimateResearch Unit" (CRU) e "National Center of Environmental Prediction" (NCEP).

simulações do RegCM3 utilizaram como condição inicial e de fronteira as projeções climáticas do Hadley Centre Atmosphericmodel - HadAM3 (Johns et al., 2001) para o período 1975–1989.

A região do estudo foi dividida em 158 quadrículas (Figura 1). As variáveis climáticas precipitação pluvial, temperatura máxima e mínima em cada quadrícula da figura 1, representam a média de nove pontos de grade no domínio do modelo RegCM3.

O cálculo dos valores do Z-index para as 158 quadrículas foi obtido pela equação 1 (Palmer, 1965) e segue a classificação descrita na tabela 1.

$$Z\text{ - index} = \left(P_i - \overline{P_i}\right) * K_i \quad (1)$$

em que: Pi é a soma da precipitação pluvial mensal para um determinado mês e ano; $\overline{P_i}$ é o valor de precipitação pluvial esperada para prover uma região sob condições hídricas normais para um determinado mês; Ki é a constante de padronização para um determinado mês, obtido mensalmente.

Os valores de $\overline{P_i}$ foram obtidos pela equação:

$$\overline{P_i} = \alpha_i ETP_i + \beta_i PR_i + \gamma_i PRO_i - \delta_i PL_i \quad (2)$$

em que: α, β, γ e δ são definidos mensalmente, em um período de calibração (1975 a 1989); ETP é a evapotranspiração potencial; PR é a recarga potencial de umidade do solo, PRO é o escoamento superficial potencial; PL é a perda potencial de umidade do solo.

O cálculo dos parâmetros α, β, γ e δ é descrito nas equações 3, 4, 5 e 6 respectivamente.

Tabela 1. Classificação da umidade com base nos valores do índice anomalia de umidade de Palmer (Z-index)

Classe	Z-index
Extremamente úmido	≥ 3.00
Muito úmido	2.00 a 2.99
Moderadamente úmido	1.00 a 1.99
Pouco úmido	0.50 a 0.99
Próximo ao normal	0.49 a -0.49
Pouco seco	-0.50 a -0.99
Moderadamente seco	-1.00 a -1.99
Muito seco	-2.00 a -2.99
Extremamente seco	≤ -3.00

Fonte: Blain e Brunini (2005).

$$\alpha = \overline{ETR}/\overline{ETP} \quad (3)$$

$$\beta = \overline{R}/\overline{PR} \quad (4)$$

$$\gamma = \overline{RO}/\overline{PRO} \quad (5)$$

$$\delta = \overline{L}/\overline{PL} \quad (6)$$

em que: ETR é a evapotranspiração real; R é a recarga; RO é o escoamento superficial; L é a perda de umidade do solo.

As constantes de padronização, denominada K_i, são definidas mensalmente, em função de um período de

calibração e seus valores são obtidos pela equação 7. Nesse estudo, utilizou-se ocoeficiente original do Z-index para o cálculo do fator K (17,67 – valor médio de nove localidades nos EUA), pois de acordo com Fernandes et al. (2010), esse índice em sua forma original apresentou desempenho favorável na quantificação da seca agrícola para a região de Goiás.

$$K_i = 17{,}67 * \overline{K}_i / \sum_{j=1}^{12} \left| P_j - \overline{P}_j \right| * K_j \quad (7)$$

em que: $\overline{K}_i$ é obtido pela equação 8.

$$\overline{K}_i = 1{,}5 \log_{10} \left[(T_i + 2{,}8) \Big/ \left| P_i - \overline{P}_i \right| \right] + 0{,}5 \quad (8)$$

em que: T_i é a razão entre a demanda e o suprimento de umidade e obtido pela equação 9.

$$T_i = \left(\overline{ETR}_i + \overline{R}_i + \overline{RO}_i \right) \Big/ \left(\overline{P}_i + \overline{L}_i \right) \quad (9)$$

Para o cálculo do balanço hídrico utilizado nesse índice aplicou-se o método de Thornthwaite e Matter (1955) com os dados de temperaturas máxima e mínima e precipitação pluvial proveniente das simulações climáticas do modelo RegCM3. Consideraram-se as características hídricas de um Latossolo, que tem alta representatividade na região de estudo, com capacidade de armazenamento de água no solo igual a 100 mm, e profundidade efetiva de 1 m (Schaffert, 2000). Os valores do Z-index foram calculados utilizando-se a escala mensal.

Para a identificação dos ambientes homogêneos na área de estudo, foi estabelecida uma matriz constituída da latitude, longitude das 158 quadrículas (representando as linhas) e os valores mensais do Z-index para o período de 1975 a 1989 (representando as colunas). A essa matriz aplicou-se o método de agrupamento hierárquico e de aglomeração, com base na distância euclidiana como medida de dissimilaridade e soma dos quadrados como critério de fusão (Ward, 1963). Esse método foi aplicado devido à sua simplicidade e ao ótimo desempenho para uma grande quantidade de dados climáticos (Lund et al., 2009). Vários autores (Baldo et al., 2000; Munõz-Diaz e Rodrigo, 2003; Unal et al., 2003) utilizaram esse método para determinar ambientes climatologicamente homogêneos.

Para a caracterização dos ambientes homogêneos, utilizou-se a função da densidade relativa da distribuição dos eventos de seca/umidade, probabilidade de ocorrência de seca/umidade e análise da variabilidade da precipitação pluvial nos diferentes ambientes homogêneos (Ugarte et al., 2008). Devido ao fato de o ciclo das principais culturas de grãos cultivadas na Região Central do Brasil ocorrer entre outubro a março, calculou-se também a probabilidade de ocorrência de seca somente para esse período.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o resultado da análise de agrupamento, obteve-se um dendograma, no qual a área de estudo, com base na distância euclidiana igual a 40 foi classificada em 13 diferentes ambientes homogêneos (Figura 3). O número de quadrículas incluídas em cada ambiente

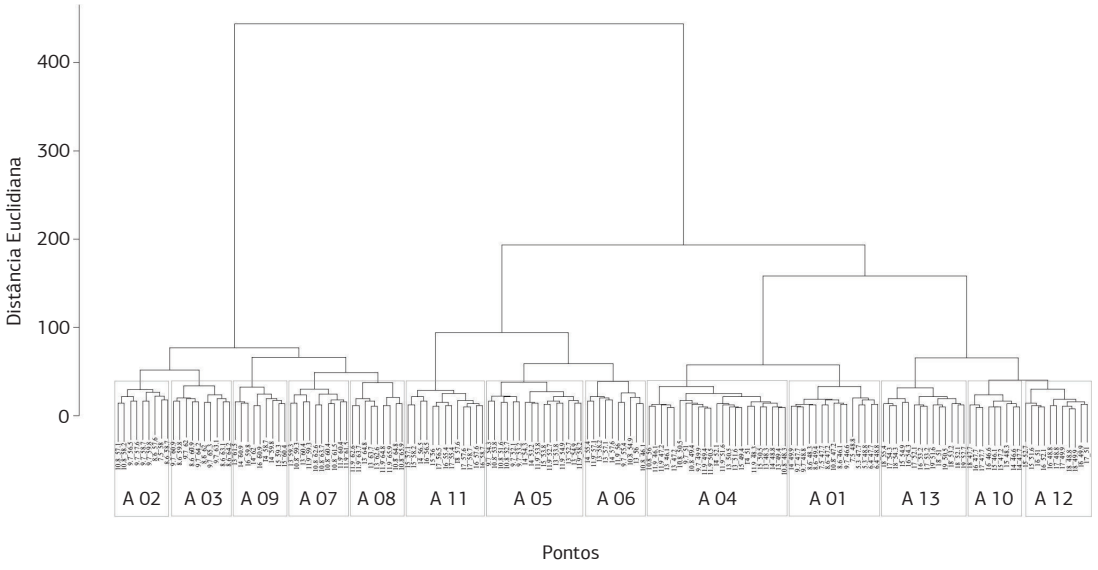


Figura 3. Dendograma da análise de agrupamento com base na distância euclidiana que classifica a área de estudo em 13 ambientes homogêneos.

homogêneo variou de nove, para os ambientes 2, 9 e 10, a 23, para o ambiente 4. No Estado do Mato Grosso observou-se que há maior quantidade de ambientes homogêneos, 10, seguidos dos Estados de Rondônia, Goiás, e Tocantins, com 4, 4 e 2 ambientes homogêneos respectivamente (Figura 4).

Para a caracterização dos diferentes ambientes homogêneos identificados na região de estudo, utilizou-se a probabilidade de ocorrência dos eventos de seca/umidade, conforme a classificação da tabela 1. As maiores probabilidades ocorreram para os eventos de normalidade (Figura 5). Nesse caso, os valores de probabilidade variaram de 20% a 35%. Dentre todos esses ambientes, nos ambientes 1, 4 e 5, localizados no Estado do Tocantins, noroeste de Goiás e centro-nordeste de Mato Grosso, respectivamente, verificaram-se as maiores probabilidades para a ocorrência do evento normal. Nesses três ambientes também houve uma densidade relativa similar em relação aos eventos seca/umidade (Figura 6a). Dentre esses ambientes, no ambiente 5 constatou-se o maior valor de mediana para precipitação pluvial, 1260 mm, seguido pelos ambientes 4 e 1, 1105 e 1045 mm respectivamente (Figura 7). Esses ambientes possuem alta variabilidade para precipitação pluvial anual, ou seja, maior intervalo interquartil.

Keller Filho et al. (2005), com base em dados observados de precipitação pluvial, também classificaram o Estado do Tocantins em duas zonas homogêneas, conforme a figura 4. Nos ambientes 3 e 8 notaram-se os menores valores de probabilidades para a ocorrência de evento normal (Figura 5). O ambiente 3 está localizado no norte de Rondônia e o ambiente 8 no sudoeste desse Estado (Figura 4). Em ambos os ambientes houve uma densidade relativa similar em relação aos eventos de seca/umidade (Figura 6c). No ambiente 3, ocorreu o maior valor de mediana para a precipitação pluvial, 1363 mm, e a menor variabilidade na precipitação anual, ou seja, a menor distância interquartil. No ambiente 8, observou-se uma mediana para a precipitação pluvial anual igual a 1139 mm (Figura 7).

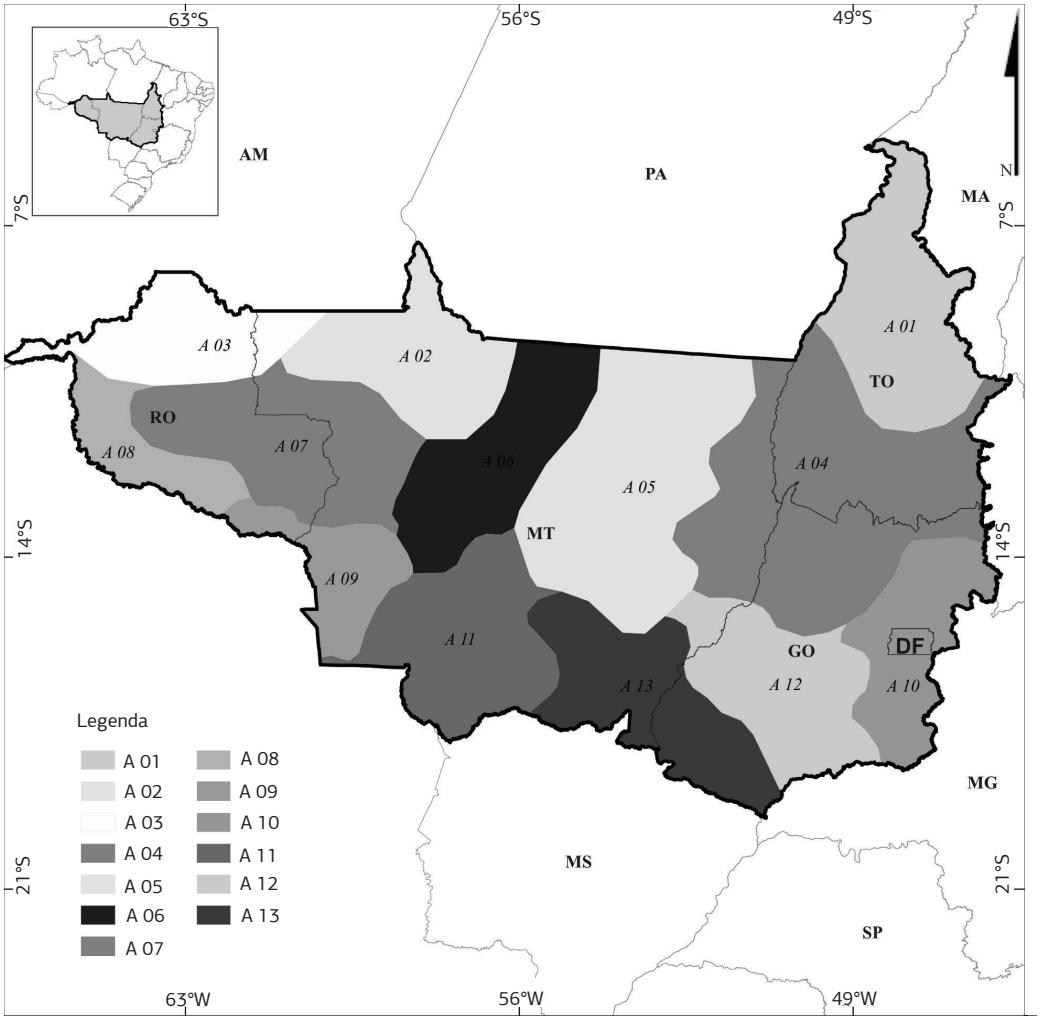


Figura 4. Distribuição espacial dos 13 ambientes homogêneos identificados na área de estudo.

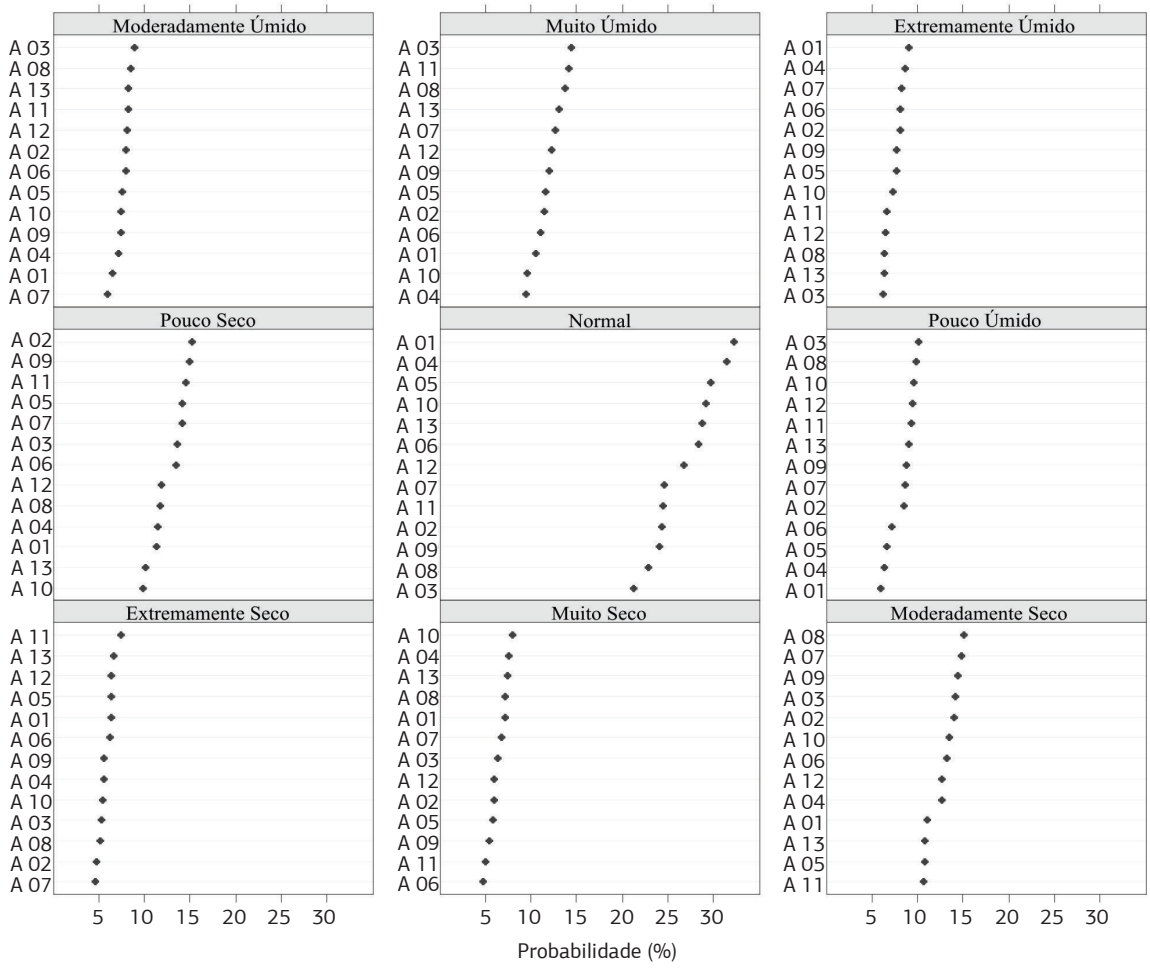


Figura 5. Probabilidade de ocorrência de eventos seca/umidade nos diferentes ambientes homogêneos, considerando a classificação da tabela 1.

A probabilidade de ocorrência de eventos extremamente seco/úmido ficou entre 4,5% e 9% (Figura 5). No ambiente 11, localizado no sudoeste do Estado de Mato Grosso, notou-se a maior probabilidade de ocorrência do evento extremamente seco. Para esse ambiente, os valores obtidos pelo Z-index concentram-se próximo da classificação pouco seco (Figura 6b). O valor da mediana para a precipitação pluvial anual nesse ambiente é de 1265 mm. No ambiente 1, verificou-se a maior probabilidade de ocorrência de eventos extremamente úmidos. Esse ambiente, já caracterizado acima, também propiciou a maior probabilidade de ocorrência de eventos normais.

Para todos os ambientes homogêneos identificados neste trabalho, há maior probabilidade de ocorrência de eventos úmidos do que secos (Figura 5). No ambiente 3, houve a maior probabilidade de ocorrência de evento muito úmido, corroborando o fato de esse ambiente possuir duas estações muito bem definidas, conforme supracitado. O ambiente 10 propiciou a maior probabilidade de ocorrência de eventos muito secos. Nesse ambiente, localizado no leste/nordeste do Estado de Goiás, notou-se o menor valor para a mediana da precipitação pluvial anual, ou seja, 956 mm (Figura 7). Fernandes e Heinemann (2011), por meio do índice SPI e utilizando dados climáticos observados, também verificaram que essa região é mais propensa a eventos de seca, prejudicando a produtividade do arroz de terras altas.

Para os eventos moderadamente seco/úmido, observou-se comportamento contrário ao ocorrido para os eventos muito seco/úmido. Ou seja, para todos os ambientes, há maior probabilidade de ocorrência para eventos moderadamente seco do que moderadamente úmido. Nos ambientes 8 e 3, notaram-se os maiores valores para a ocorrência dos eventos moderadamente seco e úmido respectivamente.

Os eventos pouco seco/úmido proporcionaram o mesmo comportamento que os eventos moderadamente seco/úmido. No ambiente 2, constatou-se o maior valor

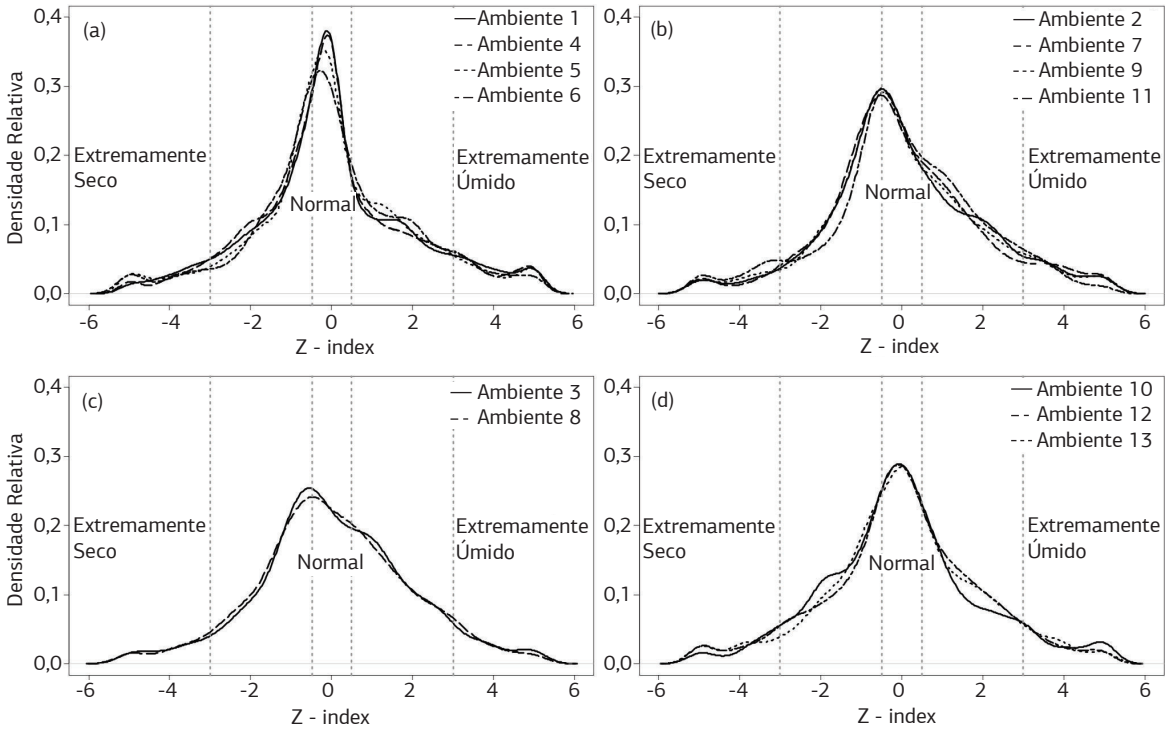


Figura 6. Densidade relativa dos valores obtidos pelo índice de anomalia de umidade de Palmer (Z-index) para os ambientes homogêneos identificados na área de estudo.

de probabilidade para a ocorrência do evento pouco seco. Este ambiente está localizado no noroeste de Mato Grosso e os valores obtidos pelo Z-index concentram-se próximo da classificação pouco seco (Figura 6b). Esse ambiente é o que propiciou o maior valor de mediana para a precipitação pluvial anual (1377 mm). Já no ambiente 3, foi observado o maior valor de probabilidade para a ocorrência do evento pouco úmido.

Os ambientes que tiveram as menores medianas para os valores de precipitação pluvial anual foram 10, 1, 4 e 12 (Figura 7). Dentre esses ambientes, o 1 e 4 e o 10 e 12 tiveram densidades relativas para a ocorrência de eventos climáticos similares (Figura 6a,d).

Na região de estudo, a principal época de cultivo concentra-se de outubro a março, denominada época das águas. Assim, para essa época, a probabilidade de ocorrência de eventos de seca para os diferentes ambientes variou de 39% a 48% (Figura 8). Nos ambientes 1, 4 e 5 foram comprovadas as maiores probabilidades de ocorrência de seca. Como a ocorrência de eventos de seca está diretamente relacionada com a variabilidade na precipitação pluvial (Carbone et al., 2008), esses ambientes tiveram alta variabilidade, maior intervalo interquartil e baixos valores de mediana para a precipitação pluvial anual (Figura 7). Normalmente, a variabilidade da precipitação pluvial pode estar associada a anomalias na circulação atmosférica, causadas muitas vezes por fenômenos como o El Niño e La Niña (Grimm et al., 2000). Já, os ambientes 8, 11 e 13 foram os de menores valores de probabilidade de ocorrência de eventos de seca na época das águas (Figura 8). Esses ambientes estão localizados ao sul dos Estados de Rondônia e Mato Grosso. Dentre esses ambientes, o 11 e 13 tiveram mediana semelhante para a precipitação pluvial (Figura 7). Com base nessas informações, salientando que foram utilizados dados provenientes de simulações climáticas, é possível afirmar que nas regiões sul dos Estados de Rondônia e Mato Grosso ocorrem menores probabilidades de eventos de seca na época das águas.

Na região abordada por este trabalho, as séries históricas de dados climáticos são escassas tanto temporal como espacialmente. Heinemann et al. (2008) ressaltaram que a escassez desses dados limita a utilização de novas ferramentas, como modelos de simulação do crescimento, desenvolvimento e rendimento de culturas, para a elaboração de estratégias agrícolas. Assim, deve-se enfatizar a aplicabilidade de séries históricas simuladas por modelos regionais climáticos no planejamento agrícola. Por meio dessa série pode-se identificar e caracterizar diferentes ambientes homogêneos em eventos climáticos de seca/umidade. A identificação e caracterização desses ambientes vão servir de base para programas de melhoramento vegetal, alocação de ensaios regionais e cultivares que melhor se adaptam a esses ambientes.

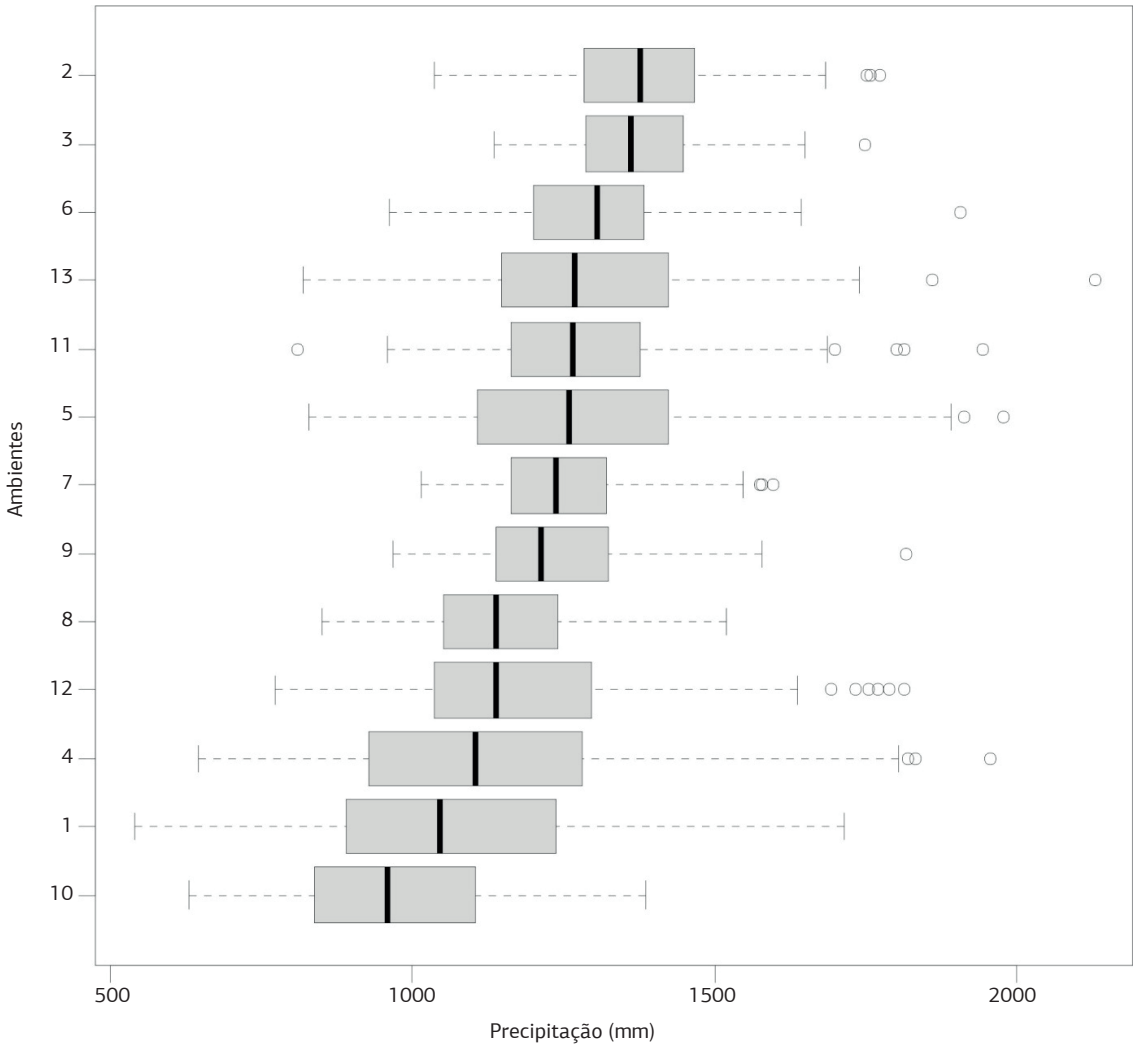


Figura 7. Variabilidade dos valores de precipitação pluvial anual para os 13 ambientes homogêneos identificados na área de estudo.

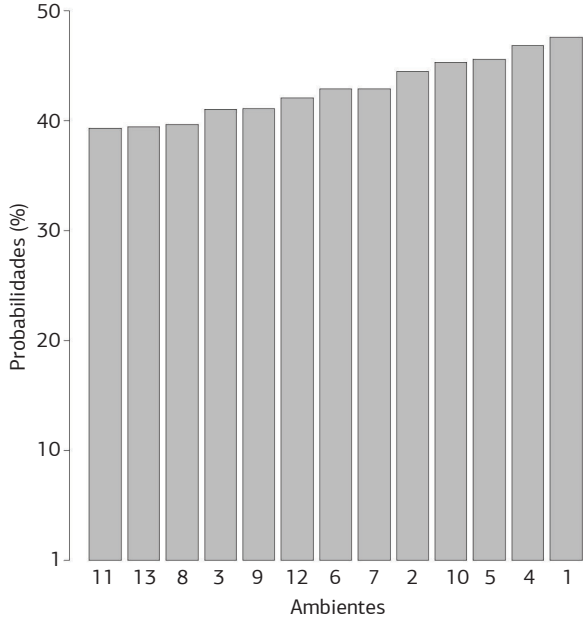


Figura 8. Probabilidade de ocorrência de eventos de seca em meses úmidos (outubro a março) nos diferentes ambientes homogêneos.

4. CONCLUSÃO

Treze diferentes ambientes homogêneos são identificados na região de estudo. Com base nos resultados obtidos com simulações climáticas do modelo RegCM3, o evento climático com maior frequência de ocorrência, na área de estudo é o próximo ao normal ou normalidade de umidade.

Por meio dos resultados anotados com as simulações climáticas, foi possível observar que os ambientes 11, 13 e 12, localizados no sul-sudeste de Mato Grosso e centro-sudoeste de Goiás foram os que tiveram maiores probabilidades de eventos extremamente secos, 6%, 6% e 7% respectivamente. Os ambientes 1 e 4, localizados no Estado do Tocantins e norte-noroeste de Goiás, foram os que tiveram maiores probabilidades de eventos extremamente úmidos, 8% e 9% respectivamente.

AGRADECIMENTOS

Ao Hadley Centre por fornecer as projeções do HadAM3; ao Ministério do Meio Ambiente - MMA/Banco

Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento - BIRD/Global EnvironmentFund - GEF/Conselho Nacional de Desenvolvimento Cientifico e Tecnológico – CNPq, pelo apoio financeiro ao projeto Probio; ao CNPq e CAPES, pela concessão de bolsas de Desenvolvimento Tecnológico e Industrial do primeiro autor, e a bolsa de Mestrado do segundo autor.

REFERÊNCIAS

AGRIANUAL 2010: ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA. São Paulo: Instituto FNP, 2010. 520p.

BALDO, M.C.; ANDRADE, A.R.; MARTINS, M.L.O.F; NERY, J.T. Análise de precipitação pluvial do Estado de Santa Catarina associada com a anomalia da temperatura da superfície do oceano Pacífico. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.8, p.283-293, 2000.

BLAIN, G.C; BRUNINI, O. Avaliação e adaptação do índice de severidade de seca de Palmer (PDSI) e do índice padronizado de precipitação (SPI) às condições climáticas do Estado de São Paulo. Bragantia, v.64, p.695-705, 2005.

CARBONE, M.E.; SCIAN, B.; PICCOLO, M.C. Agricultural drought in the Claromecó river basin, Buenos Aires, province, Argentina. Revista de Climatología, v.8, p.1-13, 2008.

FARIA, S.M.; ASSUNÇÃO, H.F. Estimativa dos índices de seca PDSI e Z de Palmer e avaliação das suas influências sobre a produção agrícola no município de Jataí-GO. Geografia Ensino & Pesquisa, v.12, p.3736-3749, 2008.

FERNANDES, D.S.; HEINEMANN, A.B.; PAZ, R.F.L.; AMORIM, A.O. Desempenho de índices quantitativos de seca na estimativa da produtividade de arroz de terras altas. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.45, p.771-779, 2010.

FERNANDES, D.S.; HEINEMANN, A.B. Estimativa da variação da produtividade do arroz em diferentes escalas temporais do índice SPI. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.46, p.335-343, 2011.

FREITAS, M.A.S. Um sistema de suporte à decisão para o monitoramento de secas meteorológicas em regiões semi-áridas. Revista Tecnologia, n.19, p.19-30, 1998.

GRIMM, A.M.; BARROS, V.R.; DOYLE, M.E. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. Journal of Climate, v.13, p.35-58, 2000.

HEINEMANN, A.B.; DINGKUHN, M.; LUQUET, D.; COMBRES, J.C.; CHAPMAN, S. Characterization of drought stress environments for upland rice and maize in central Brazil. Euphytica, v.162, p.395-410, 2008.

JOHNS, T.C.; GREGORY, J.M.; INGRAM, W.J.; JOHNSON, C.E.; JONES, A.; MITCHELL, J.F.B.; ROBERTS, D.L.; SEXTON, D.M.H.; STEVENSON, D.S.; TETT, S.F.B.; WOODAGE, M.J. Anthropogenic climate change for 1860 to 2100 simulated with the HadCM3 model under updated emission scenarios. Hadley Centre, 2001. 62p. (Technical Note n.° 22)

KELLER FILHO, T.; ASSAD, E.D.; LIMA, P.R.S.R. Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.40, p.311-322, 2005.

KRUGER, L.F.; ROCHA, R.P.; REBOITA, M.S.; AMBRIZZI, T. RegCM3 nested in HadAM3 scenarios A2 and B2: projected changes in extratropicalcyclogenesis, temperature and precipitation over the South Atlantic Ocean. Climate Change, v.1, p.1-23, 2011.

LUND, R.; LI, B. Revisiting climate region definitions via clustering. Journal of Climate, v.22, p.1787-1800, 2009.

MISHRA, A.K.; SINGH, V.P. A review of drought concepts. Journal of Hydrology, v.391, p.202-216, 2010.

MUÑOZ-DIAZ, D.; RODRIGO, F.S. The North Atlantic oscillation and winter rainfall over the Siberian Peninsula as captured by cluster analysis. Geophysical Research Abstracts, v.5, p.865-885, 2003.

NIMER, E. Climatologia do Brasil. 2.ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 421p.

PAL, J.S.; GIORGI, F.; BI, X.; ELGUINDI, N.; SOLMON, F.; GAO, X.; RAUSCHER, S.; FRANCISCO, R.; ZAKEY, A.; WINTER, J.; ASHFAQ, M.; SYED, F.; BELL, J.l.; DIFFENBAUGH, N.S.; ROCHA, R.P. The ITCP RegCM3 and RegCNET: regional climate modeling for the developing world. Bulletin American Meteorological Society, v.88, p.1395-1409, 2007.

PALMER, W.C. Meteorological drought. Washington: U.S. Weather Bureau, 1965. 58p. (Research Paper, 45)

REBOITA, M.S.; ROCHA, R.P.; AMBRIZZI, T.; SUGAHARA, S. South Atlantic Ocean cyclogenesis climatology simulated by regional climate model (RegCM3). Climatic Dynamics, 2009. Available in: <http://www.springerlink.com/content/a1hk527684043206/fulltext.pdf>. Accessed in: 11/8/2010. DOI:10.1007/s00382-009-0668-7.

SALAS, J.D.; FU, C.; CANCELLIERE, A.; DUSTIN, D.; BODE, D.; PINEDA, A.; VINCENT, E. Characterizing the severity and risk of drought in the Poudre River, Colorado, Journal of Water Resources Planning and Management, v.131, p.383-393, 2005.

SCHAFFERT, R.E.; ALVES, V.M.C.; PARENTONI, S.N.; RAGHOTHAMA, K.G. Genetic control of phosphorus uptake and utilization efficiency in maize and sorghum under marginal soil conditions. In: RIBAUT, J.M.; POLAND, D. (Ed.). Molecular approaches for the genetic improvement of cereals for stable production in water-limited environments: a strategic planning workshop held at CIMMYT. Mexico: CIMMYT, 2000. p.79-85.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The Water Balance. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, v.8, n.1)

UGARTE, M.D.; MILITINO, A.F.; ARNHOLT, A.T. Probability and statistics with R. New York: Chapman & Hall/CRC, 2008. 700p.

UNAL, Y.; KINDAP, T.; KARACA, M. Redefining the climate zones of Turkey using cluster analysis. International Journal of Climatology, v.23, p.1045-1055, 2003.

WARD, J.H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. Journal of the American Statistical Association, v.58, p.236-244, 1963.