

VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA CLIMÁTICA NO ESTADO DE GOIÁS¹

FERNANDO ANTÔNIO MACENA DA SILVA², EDUARDO DELGADO ASSAD³, ARTHUR MATTOS⁴
e ALFREDO JOSÉ BARRETO LUIZ⁵

RESUMO - Este estudo objetivou estimar e espacializar a disponibilidade hídrica climática no Estado de Goiás, a partir dos dados de precipitação com 75% de probabilidade de ocorrência, e de evapotranspiração potencial. Usou-se o Sistema de Informações Geográficas, que, além de realizar as operações com dados georeferenciados de precipitação e evapotranspiração, permitiu a espacialização da disponibilidade hídrica climática. Os resultados obtidos mostram que o Estado é caracterizado por duas estações climáticas bem definidas: uma, chuvosa, com excesso hídrico climático, e outra, seca, com ausência quase total de chuvas e marcada por grande deficiência hídrica. O excesso hídrico verificado na estação chuvosa segue uma tendência espacial que diminui de importância de noroeste para leste e de norte para sul. Dividido em classes com intervalos de 20 mm, o excesso hídrico deu origem a uma distribuição espacial bastante heterogênea. Já a deficiência hídrica com menor variação mostrou distribuição espacial mais homogênea.

Termos para indexação: cerrados, precipitação pluvial, evapotranspiração, Sistema de Informações Geográficas, distribuição Gama.

SPACE-TIME VARIATION OF THE CLIMATIC WATER AVAILABILITY IN THE STATE OF GOIÁS, BRAZIL

ABSTRACT - This study sought to evaluate the climatic water availability in the State of Goiás, Brazil, from precipitation data, with probability of 75%, and evapotranspiration potential data. The Geographical Information System was used, which besides carrying out the operations of georeferenced data on precipitation and evapotranspiration, allowed the spatialization of climatic water availability. The results obtained showed that the State is characterized by two well-defined climatic seasons: one, rainy, with an excess of precipitation, and the other, dry, with an almost complete lack of rain and marked by a water deficit. The water excess verified in the rainy season follows a spatial tendency which decreases in importance from Northwest to East and from North to South. Divided into classes with 20 mm intervals, the water excess resulted in a very heterogeneous spatial distribution, while the water deficit, with a lesser range of variation, showed a more homogeneous spatial variation.

Index terms: savannah, rainfall, potential evapotranspiration, Geographic Information System, gamma distribution of water.

INTRODUÇÃO

A otimização das práticas agrícolas exige a delimitação dos períodos em que o clima é fator limitante da produção. O Estado de Goiás é carente de estudos que forneçam subsídios para o estabelecimento de regiões ecologicamente adequadas ao desenvolvimento de uma agricultura sustentável. Nos estudos de viabilidade natural para implementação e desenvolvimento da atividade agropecuária, o clima é o fator primordial. As limitações e possibilidades decorrentes dos solos e de outros fatores naturais, embora igualmente importantes, dependem das possibilidades e limitações climáticas. Por isso, tor-

¹ Aceito para publicação em 2 de outubro de 1997.

Extraído da dissertação do primeiro autor apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP.

² Eng. Agr., M.Sc., Embrapa-Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), Caixa Postal 08223, CEP 73301-970 Planaltina, DF. E-mail: macena@cpac.embrapa.br

³ Eng. Agríc., Dr., Embrapa-CPAC. E-mail: assad@cpac.embrapa.br

⁴ Meteorologista, EES/USP, Av. Dr. Carlos Botelho, 1465, Caixa Postal 359, CEP 13560-970 São Carlos, SP. E-mail: armattos@vmcisc.cisc.sc.usp.br

⁵ Estatístico, M.Sc., Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental (CNPMA), Caixa Postal 69, CEP 13820-000 Jaguariúna, SP. E-mail: alfredo@cnpma.embrapa.br

na-se necessário o conhecimento das condições climáticas predominantes; a precipitação pluvial e a evapotranspiração potencial são consideradas como aspectos importantes, pois pelo confronto destes dois parâmetros é possível determinar a disponibilidade hídrica climática ou a precipitação efetiva.

No que se refere à análise dos dados pluviométricos, sabe-se que a média não é necessariamente um bom parâmetro para estimativa do valor esperado, porque a dispersão dos totais mensais e anuais em torno das respectivas médias, traduzida pela variância, é, em geral, bastante elevada. Isso evidencia que a utilização de médias pluviométricas não constitui procedimento confiável para servir de base ao planejamento das atividades agrícolas (Assad & Castro, 1991).

Muitos autores têm afirmado que o emprego da distribuição gama incompleta fornece subsídios mais confiáveis ao gerenciamento de recursos hídricos, quer na fase de execução, quer na de planejamento. A distribuição gama foi usada, pela primeira vez, por Barger & Thom (1949), em Iowa (USA), como modelo probabilístico mais adequado para descrever a distribuição de totais pluviométricos, com o objetivo de calcular a estimativa da precipitação semanal esperada durante o ciclo vegetativo do milho. Esta distribuição é um caso especial da distribuição de Pearson Tipo III, cujo parâmetro local é zero. Sua função densidade de probabilidade é dada pela seguinte equação:

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (1.1)$$

com $\alpha > 0$, $\beta > 0$, $\Gamma(\alpha) > 0$ e $f(x) = 0$ para $x < 0$, onde:
 β = parâmetro de escala (mm);
 α = parâmetro de forma (adimensional);
 x = total de precipitação;
 Γ = função gama definida por:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt. \quad (1.2)$$

Um método importante para estimar os parâmetros da distribuição gama é o método da máxima verossimilhança, desenvolvido por Fisher (1941), citado por Vivaldi (1982).

A probabilidade acumulada de ocorrência de totais de precipitação pode ser calculada por meio da integração da equação (1.1):

$$P(x) = \int_0^{x_0} \frac{x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} dx, \quad (1.3)$$

onde $P(x)$ é a probabilidade de que x esteja entre zero e o valor x_0 .

Quando se trabalha com períodos curtos, é muito comum a não-ocorrência de chuva. O valor $x=0$ não pode ser utilizado na estimativa dos parâmetros pelo método da máxima verossimilhança, no caso da distribuição gama. Abandonar esta informação e trabalhar somente com os valores não nulos ocasiona uma superestimação da precipitação a um determinado nível de probabilidade. Por isso, usou-se o conceito de distribuição mista da precipitação pluvial e de outras variáveis climatológicas, que considera a precipitação como um fenômeno cuja ocorrência é aleatória, com probabilidade p , e a não-ocorrência, com a probabilidade $(1-p)$, sendo $p+(1-p)=1$. Desta forma, a função de distribuição acumulada passa a ser:

$$H(x) = p + (1-p)P(x) \quad (1.4)$$

onde:

$H(x)$ = probabilidade mista de ocorrência da precipitação x ;

p = probabilidade de x ser igual a zero;

$(1-p)$ = probabilidade de x ser maior do que zero;

$P(x)$ = probabilidade de que x esteja entre zero e o valor x_0 .

Como as séries dos dados de precipitação, que foram analisados neste trabalho, apresentaram períodos em que a precipitação tem valores iguais a zero, a função mista foi identificada como a mais adequada no cálculo das probabilidades de precipitação.

A outra variável usada neste estudo foi a evapotranspiração potencial.

Existem muitos métodos de estimativa da evapotranspiração citados na literatura, porém nenhum deles é aplicável em todas as condições, visto que foram desenvolvidos segundo a disponibilidade de dados e a realidade física do local. Quando se

tratar de pouca disponibilidade de dados, que impossibilite o uso de um método recomendado pela FAO, pode-se fazer uso de uma fórmula adequada à realidade do lugar. Linacre (1977) apresentou uma simplificação do método de Penman obtida por correlações entre os diversos fatores meteorológicos. A equação que estima a evapotranspiração de referência a partir de dados geográficos (altitude e latitude) é expressa da seguinte forma:

$$ETP = \frac{\left[\frac{500 \times T_m}{100 - A} \right] + 15 \times [t - T_0]}{[80 - t]} \quad (1.5)$$

onde:

ETP = evapotranspiração potencial (mm/dia);
 T_m = temperatura média do ar reduzida ao nível do mar (°C), dada por:

$$T_m = t + 0,006 \times h; \quad (1.6)$$

t = temperatura média do ar (°C);
 h = altitude (m);
 A = latitude do local em módulo (graus);
 T₀ = temperatura do ponto de orvalho (°C), calculada como:

$$T_0 = \{ \log(e_a / 4,58) \times 237,5 \} / \{ 7,5 - \log(e_a / 4,58) \} \quad (1.7)$$

e_a = pressão parcial do vapor d'água (mm Hg), valor obtido conforme a expressão abaixo

$$e_a = e_s \cdot \frac{UR}{100} \rightarrow e_s = f(t), \quad (1.8)$$

e_s = pressão parcial de saturação do vapor d'água à temperatura média do ar (mm Hg).

Este é um método empírico aplicável em uma larga faixa de clima, por ser simples, de fácil uso, com precisão nos valores estimados, e só necessitar de dados de temperatura, altitude e latitude do lugar, sendo, portanto, o método escolhido neste exemplo para estimar a evapotranspiração potencial.

O objetivo deste trabalho foi o de estimar e espacializar, por meio do SGI/INPE, a disponibilidade hídrica climática decendial no Estado de Goiás, a partir dos valores de precipitação com 75% de probabilidade, e de evapotranspiração potencial, calculada pelo método de Linacre.

MATERIAL E MÉTODOS

O Estado de Goiás, com uma área de 340.165,9 km², representando 4% da área territorial do País, está localizado na região Centro-Oeste do Brasil e se estende entre os paralelos 13°0' e 19°0'S e os meridianos 46°0' e 53°0'O

Foram utilizados dados diários de chuva de 125 estações com série superior a quinze anos de observação, de 19 estações com dez anos de dados, e de mais nove estações dos estados que fazem limites com Goiás, totalizando 153 estações, cuja distribuição espacial é mostrada na Fig. 1. Estas estações foram utilizadas para melhorar a densidade e a interpolação dos dados pluviométricos.

Foram calculadas as probabilidades de ocorrência de precipitação em períodos de dez dias, com probabilidade de 5 a 95%, em todas as localidades selecionadas; para isso, o ano foi dividido em 36 períodos de dez dias, e 1 de cinco dias. Os dados diários de precipitação foram transformados em médias decendiais e ajustados à função gama incompleta, descrita pela fórmula (1.3). Quando a série apresentou valor de precipitação igual a zero, no período considerado, usou-se a função mista, definida pela fórmula (1.4). Os parâmetros da distribuição gama foram estimados pelo método da máxima verossimilhança. Todas as análises estatísticas foram feitas usando-se as sub-rotinas do SAS Institute (1989).

Foram espacializados apenas os dados referentes à probabilidade de 75%, visto que, segundo Hardee (1971), Samani & Hargreaves (1985) e Costa (1991) é a mais adequada para finalidades agrícolas. Ela representa a quantidade de precipitação igual ou inferior a um valor provável



FIG. 1. Distribuição espacial dos locais onde se estimou a evapotranspiração potencial e dos pontos de coleta da precipitação pluvial.

que se espera ocorrer, no mínimo, em três de cada quatro anos.

Para espacializar os valores numéricos, gerados pelo Modelo Numérico de Terreno (MNT) do Sistema de Informações Geográficas (SGI), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), foi criado, através de um editor de textos (XEDIT), um arquivo ASCII, contendo as informações X, Y e Z, onde: X é a latitude da estação; Y, a longitude da estação, e Z, o valor da precipitação com 75% de probabilidade de ocorrência.

Por meio de um programa denominado Geopoli, efetuou-se a conversão de projeção do sistema de coordenadas geográficas das estações do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) para a projeção policônica da base cartográfica 1:2.000.000 do Estado de Goiás. Em seguida, foram dados os seguintes passos no SGI/INPE: leitura do arquivo de pontos; organização dos pontos, e geração de uma grade regular, por intermédio da seleção de um interpolador, dentre os seis disponíveis no SGI.

Na fase da geração da grade regular, selecionou-se uma grade com densidade intermediária com 60 linhas x 60 colunas. O próximo passo foi a escolha do interpolador, bem como do número de pontos vizinhos mais próximos considerados na interpolação, e do expoente n da função distância euclidiana d do interpolador escolhido. Em virtude da escala do trabalho e da não-consideração de parâmetros como relevo, foi escolhido o interpolador 1 do SGI, que, em comparação com os outros cinco, é o que mais se aproxima das condições de linearidade impostas neste estudo.

No SGI/INPE, o número de pontos mais próximos (d) varia de 1 a 16, enquanto o expoente da função distância (n) varia de 1 a 8. Selecionou-se, para este trabalho, $d=4$ e $n=3$, que, juntamente com o interpolador 1, são as opções que apresentam o menor erro médio, dentre as combinações possíveis.

Depois de gerada, a grade regular foi refinada pela utilização de resoluções horizontal e vertical. Com o algoritmo "Fatiamento de Dados MNT", os planos de informações (PI) foram reclassificados em intervalos de 20 mm. Em seguida, esses mesmos PI foram transformados em formato vetorial, para fins de impressão gráfica. Seu produto final foi um mapa da probabilidade de ocorrência de chuva em um determinado período do ano.

Com a finalidade de gerar mapas da evapotranspiração potencial em cada decêndio, foram utilizados dados diários compensados de temperatura média do ar e umidade relativa de nove estações localizadas no Estado de Goiás e de outras dez estações localizadas nos estados limítrofes (Fig. 1). Estes dados foram adquiridos no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), e transformados em médias decendiais, para calcular a evapotranspiração potencial

referente a cada decêndio do ano. Levando-se em consideração que a área de estudo não apresentava dados climáticos necessários para o uso de um método recomendado pela FAO - tais como o Método do Tanque Classe A, o Método da radiação Solar ou o Método Combinado (Penman) -, usou-se o Método de Linacre citado por Soriano (1991) e Silva (1992), descrito na fórmula (1.5). Em seguida, procedeu-se à espacialização da evapotranspiração potencial, cujas etapas foram as mesmas usadas na espacialização dos dados de precipitação, com a diferença de que, na terceira coluna do arquivo ASCII, o Z correspondeu ao valor da evapotranspiração potencial.

Os mapas decendiais da disponibilidade hídrica climática no Estado de Goiás foram obtidos pela subtração entre os mapas de precipitação e de evapotranspiração. Essa etapa também foi efetuada no SGI/INPE mediante o algoritmo "Manipulação dos Dados de MNT", com a opção "combinação de grades" para efetuar a subtração desejada. A disponibilidade hídrica climática potencial foi espacializada da mesma forma que a precipitação. Os seus valores foram regionalizados mediante um interpolador disponível no Sistema, e deram origem a mapas que representam a oferta hídrica climática potencial em cada decêndio do ano.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O uso de um Sistema de Informações Geográficas possibilitou a estimativa e espacialização da disponibilidade hídrica climática de pontos onde não havia dados de chuva, nem dados climáticos para o cálculo da evapotranspiração potencial, e permitiu uma interpretação mais abrangente dos resultados. Isso foi possível pelo fato de o Sistema apresentar um método de interpolação de dados. Pellegrino (1995), que trabalhou na bacia do Rio Piracicaba, testou as formas linear, quadrática e cúbica, e comprovou ser este interpolador - o Método do Inverso do Quadrado da Distância (MIQD) - o que apresentou melhores resultados, em comparação com os mapas de isoietas já existentes. Wei & McGuinness (1973) também realizaram estudos numa bacia experimental dos Estados Unidos, e constataram que este método apresentou melhores resultados que os de Thiessen e da Média Aritmética, onde o método-padrão foi o das isoietas. Este método de espacialização de dados tem sido o mais frequentemente usado (Sá et al., 1989; Zullo, 1992; Assad et al., 1993; Assad, 1994; Silva, 1995).

O Sistema possibilitou a realização de operações ponderadas (subtração) entre as grades formadas com os valores de precipitação com 75% de probabilidade, oriundos das séries históricas de 153 postos pluviométricos contidos na área de estudo, e as grades formadas com os valores da evapotranspiração potencial calculada em dezenove localidades da mesma área. Essas grades apresentaram as mesmas resoluções, isto é, o mesmo número e tamanho de pixels, para que o Sistema pudesse subtrair ponto a ponto o segundo plano de informação (evapotranspiração potencial) do primeiro plano de informação (precipitação).

Com a regionalização das informações obtidas, possibilitou-se conhecer, em cada ponto do Estado, o excesso e o déficit hídricos climáticos decendiais. Antes, isso não era possível, pois, os resultados gerados nesse tipo de estudo eram apresentados em mapas cujas informações eram traçadas em forma de isolinhas. Essas linhas eram traçadas plotando-se as informações apenas das localidades geográficas onde se situavam as estações meteorológicas.

Este estudo deu origem a uma variedade de números, no que diz respeito à probabilidade de precipitação e evapotranspiração potencial referentes aos 37 decêndios do ano, além de 37 mapas representativos da disponibilidade hídrica climática no Estado de Goiás nesses decêndios. As Fig. 2 e 3 mostram a variação espacial da disponibilidade hídrica climática nos decêndios 34 (27 de novembro a 6 de dezembro) e 10 (1 a 10 de abril), e representam o comportamento no início e no fim da estação chuvosa, respectivamente, e as Fig. 4 e 5 mostram essa variação nos decêndios 12 (21 a 30 de abril) e 27 (18 a 27 de setembro), referentes ao início e fim da estação seca, respectivamente.

A Fig. 2 mostra que, a partir do dia 27 de novembro, todo o Estado de Goiás apresenta excesso hídrico climático entre 20 mm e 160 mm. Esta situação permanece até o decêndio 10 (Fig. 3). Observa-se que partes das regiões leste, norte e centro do Estado começam a apresentar déficit hídrico climático da ordem de 20 mm, e o restante do Estado continua apresentando excesso hídrico climático de 20 mm a 60 mm. A partir desta data, a oferta hídrica climática diminui sensivelmente, dando início à estação seca. A Fig. 4 mostra que 94% do Estado de Goiás apresenta défi-

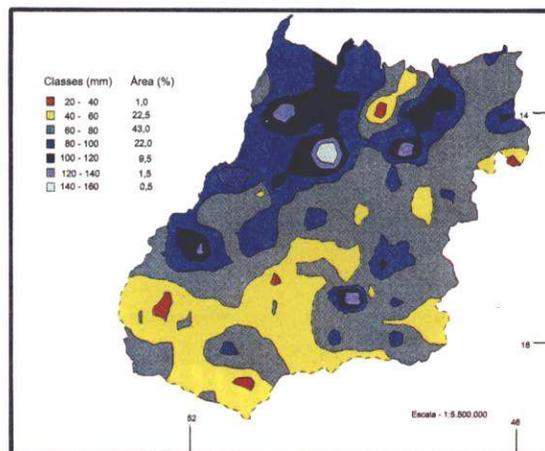


FIG. 2. Espacialização da disponibilidade hídrica climática potencial, no decêndio 34 (27 de novembro a 6 de dezembro), no Estado de Goiás, calculada em função da probabilidade de precipitação de 75% e da evapotranspiração potencial estimada pelo método de Linacre. (Método de interpolação: inverso do quadrado da distância com expoente 3).

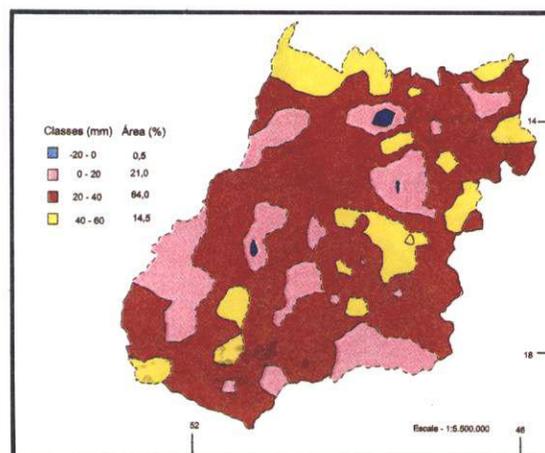


FIG. 3. Espacialização da disponibilidade hídrica climática potencial, no decêndio 10 (1 a 10 de abril), no Estado de Goiás, calculada em função da probabilidade de precipitação de 75% e da evapotranspiração potencial estimada pelo método de Linacre. (Método de interpolação: inverso do quadrado da distância com expoente 3).

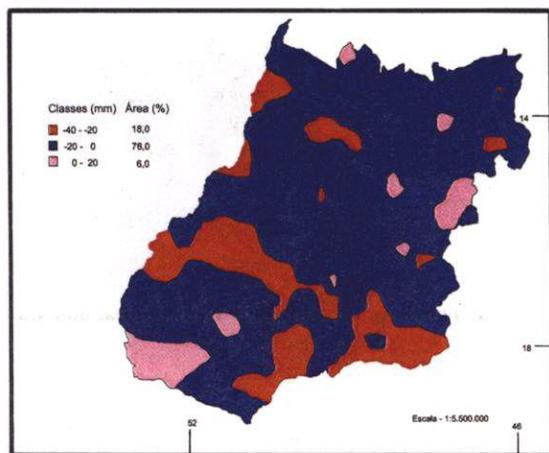


FIG. 4. Espacialização da disponibilidade hídrica climática potencial, no decêndio 12 (21 a 30 de abril), no Estado de Goiás, calculada em função da probabilidade de precipitação de 75% e da evapotranspiração potencial estimada pelo método de Linacre. (Método de interpolação: inverso do quadrado da distância com expoente 3).

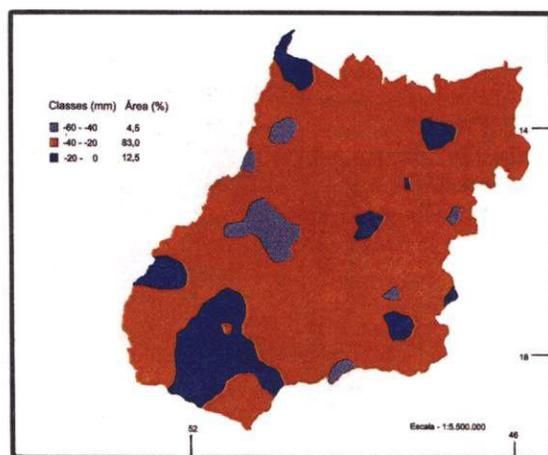


FIG. 5. Espacialização da disponibilidade hídrica climática potencial, no decêndio 27 (18 a 27 de setembro), no Estado de Goiás, calculada em função da probabilidade de precipitação de 75% e da evapotranspiração potencial estimada pelo método de Linacre. (Método de interpolação: inverso do quadrado da distância com expoente 3).

cit hídrico climático de 0 mm a 40 mm no decêndio 12. À medida que o tempo avança, este déficit aumenta, e 100% da área do Estado apresenta déficit hídrico climático até o decêndio 27 (Fig. 5).

O período compreendido entre 21 de abril e 28 de setembro é marcado por profunda deficiência hídrica (Figs. 4 e 5). A fase mais crítica ocorre nos meses de agosto e setembro, quando, concomitantemente, se observam, no Estado, elevadas temperaturas do ar, baixa umidade relativa do ar e ventos mais fortes.

A Fig. 6 mostra os percentuais da área do Estado com excesso e déficit hídricos em cada decêndio. Observa-se que o Estado de Goiás é caracterizado por duas estações climáticas bem definidas: uma, chuvosa, que se inicia entre os meses de setembro e outubro e que vai até o mês de abril, e outra, seca, marcada por profunda deficiência hídrica. Essa estação seca se inicia em abril ou maio e se estende até setembro ou outubro, caracterizando, dessa maneira, cinco a seis meses de deficiência hídrica climática sobre o Estado.

De maneira geral, do decêndio 1 ao decêndio 10, período compreendido entre 1 de janeiro e 10 de abril, e do decêndio 30 ao decêndio 37, ou seja, de 18 de outubro a 31 de dezembro, caracterizado como período chuvoso, o Estado de Goiás apresenta excesso hídrico climático. Isso demonstra que, apesar da alta taxa evapotranspirativa nesse período, o Estado apresenta elevados índices pluviométricos cuja forma de distribuição, segundo Nimer (1989), se deve ao sistema de circulação perturbada de oeste, o seu principal causador de chuvas, que assume a tendência de decréscimo de importância de norte para sul e de noroeste para leste. Esse fato influenciou de maneira decisiva a distribuição espacial do excesso hídrico climático no Estado. Observou-se, também, com relação ao período chuvoso, uma distribuição espacial do excesso hídrico climático bastante heterogênea, o que acontece em virtude de esse período sofrer o domínio da oferta pluviométrica que sempre apresenta alta variabilidade em determinada região.

Do decêndio 14 ao 27, período compreendido entre 11 de maio a 27 de setembro, a evapotranspiração supera as ocorrências de chuvas e dá origem aos déficits hídricos climáticos (Fig. 5), que, ao contrário do que se observa na Fig. 2, apresenta distribuição espacial homogênea. Essa homogeneidade deve-se

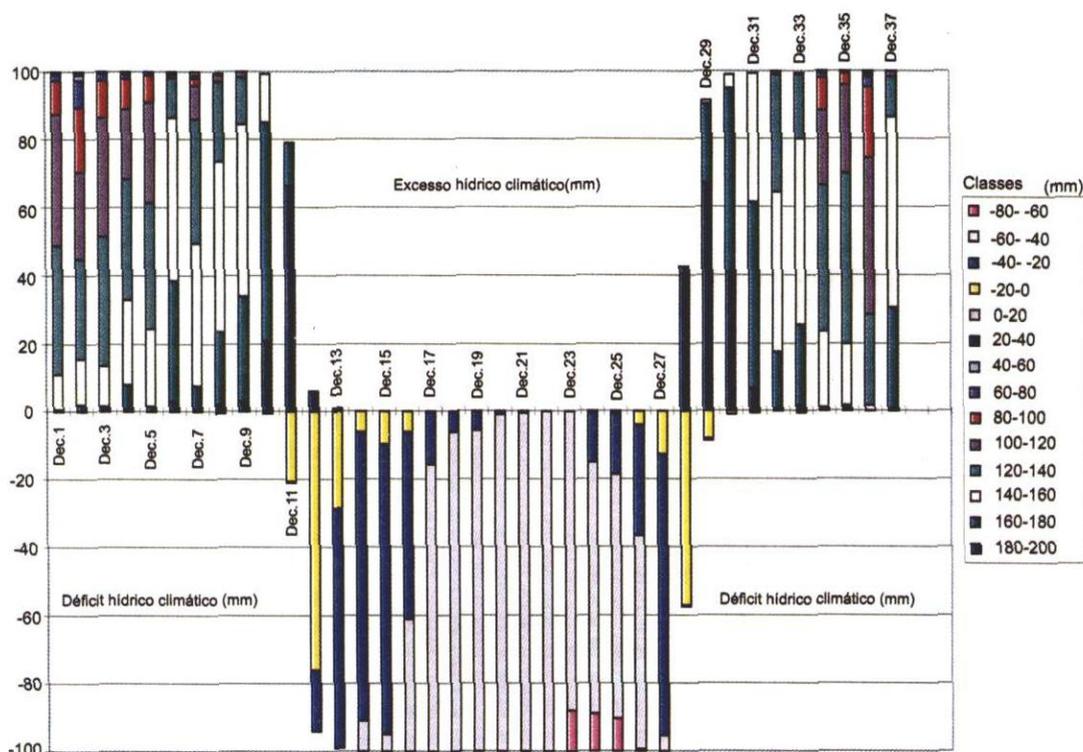


FIG. 6. Percentuais da área do Estado de Goiás com excesso e déficit hídricos climáticos em cada decêndio, calculados em função da probabilidade de precipitação de 75% e da evapotranspiração potencial estimada pelo método de Linacre.

ao fato de o período ser marcado pela influência da evapotranspiração potencial que nessa região depende da temperatura, e esta varia bem menos, tanto no espaço quanto no tempo, do que a precipitação pluvial.

CONCLUSÕES

1. O Estado de Goiás é caracterizado por duas estações climáticas bem definidas: uma chuvosa, que se inicia em setembro ou outubro e vai até abril, e outra, seca.
2. Durante a estação chuvosa, o Estado apresenta excesso hídrico climático, que decresce do norte para o sul e do noroeste para o leste.
3. O excesso hídrico climático assume uma distribuição espacial heterogênea, enquanto o déficit apresenta comportamento espacial homogêneo.

4. Os resultados obtidos nesta pesquisa podem ser usados no planejamento agrícola do Estado; não são válidos no âmbito de uma propriedade agrícola.

REFERÊNCIAS

ASSAD, E.D. (Coord.). **Chuvas nos cerrados**: análise e espacialização. Brasília: Embrapa-CPAC/SPI, 1994. 423p.

ASSAD, E.D.; CASTRO, L.H.R. de. Análise freqüencial da pluviometria para a estação de Sete Lagoas, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.26, n.3, p.397-402, 1991.

ASSAD, E.D.; SANO, E.E.; MASUTOMO, R.; CASTRO, L.H.R. de; SILVA, F.A.M. da. Veranicos na região dos cerrados brasileiros: freqüência e probabilidade de ocorrência. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.9, p.993-1003, 1993.

- BARGER, G.L.; THOM, H.C.S. Evaluation of drought hazard. *Agronomy Journal*, v.41, n.11, p.519-526, 1949.
- COSTA, M.H. Modelo de otimização dos recursos hídricos para irrigação, conforme a época de plantio. Viçosa, MG: UFV, 1991. 111p. Tese de Mestrado.
- HARDEE, J.E. Analysis of Colombian precipitation to estimate irrigation requirements. Utah: Utah State University, 1971. 66p.
- LINACRE, E.T. A simple formula for estimating evaporation in various climates using temperature alone. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v.18, p.409-424, 1977.
- NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. 2.ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 422p.
- PELLEGRINO, G.Q. Análise espaço-temporal de dados hidrológicos da Bacia do Rio Piracicaba. Piracicaba: USP, 1995. 117p. Tese de Mestrado.
- SÁ, T.D.A.; PINTO, H.S.; ZULLO, S.A.; HOTTA, L.K. Avaliação espacial e cartografia das chuvas de primavera no Estado de São Paulo através de técnicas de análise multivariada, como subsídio ao estabelecimento de cronogramas agrícolas regionais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 6., 1989, Maceió. Anais... Maceió: INPE-SBA-UFAL, 1989. p.24-28.
- SAMANI, Z.A.; HARGREAVES, G.H. A crop water evaluation manual for Brazil. Utah: Utah State University, 1985. 87p.
- SAS INSTITUTE INC. (Cary, NC). SAS/STAT user's guide. version 6. 4.ed. Cary, NC, 1989. 2v.
- SILVA, A.P.B.A. Desenvolvimento de subsídios para aproveitamento hidroagrícola do Estado de Sergipe com base nas condições hidrometeorológicas. São Carlos: USP, 1992. 141p. Tese de Mestrado.
- SILVA, F.A.M. Estimativa da variação espaço-temporal da disponibilidade hídrica decenal no Estado de Goiás. São Carlos: USP, 1995. 131p. Tese de Mestrado.
- SORIANO, B.M.A. Estudo comparativo de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a sub-região do Pantanal da Nhecolândia-MS. Piracicaba: USP, 1991. 95p. Tese de Mestrado.
- VIVALDI, L.J. Utilização da distribuição gama em dados pluviométricos. Brasília: Embrapa-DMQ, 1982. 77p.
- WEI, E.C.; MCGUINNESS, J.L. Reciprocal distance squared method - A computer technique for estimating areal precipitation. Illinois: ARS/USDA, 1973. 30p. (Report ARS-NC-8).
- ZULLO, S.A. Aplicação das técnicas de componentes principais e agrupamentos em pluviometria: análise do nordeste paraense e Estado de São Paulo. Campinas: Unicamp, 1992. 101p. Tese de Mestrado.