

## Zoneamento de risco climático para a cultura do milho no Estado do Maranhão

### Climatic risk zoning for corn in Maranhão State, Brazil

Aderson Soares de Andrade Júnior<sup>1</sup>, Edson Alves Bastos<sup>2</sup>, Milton José Cardoso<sup>3</sup>  
e Delcimar Miguel da Silveira Júnior<sup>4</sup>

**Resumo** - Um modelo de balanço hídrico diário foi usado para estimar os riscos climáticos, por deficiência hídrica, na cultura do milho, quando cultivado em Neossolos Quartzarênicos, Latossolos Vermelho-Amarelo e Argissolos Vermelho-Amarelo, no período de novembro a janeiro, no Estado do Maranhão. Utilizou-se um sistema de informações geográficas para regionalizar as áreas de baixo, médio e alto risco climático. Os resultados mostraram que o cultivo do milho apresenta riscos climáticos diferenciados em função da época de semeadura e do tipo de solo.

**Palavras-chave:** chuva, risco climático, épocas de semeadura, balanço hídrico

**Abstract** - A water balance model was used to estimate the climatic risks by water deficit for corn crop grown in Neossolos Quartzarênicos, Latossolos Vermelho-Amarelo and Argissolos Vermelho-Amarelo, from November to January, in Maranhão State, Brazil. The areas with low, medium and high climatic risk were zoned with a geographic information system. The results showed that there are different climatic risks for corn depending on sowing season and soil type.

**Key words:** rainfall, climatic risk, sowing season, water balance

#### Introdução

A cultura de milho é explorada praticamente em todo o Estado do Maranhão, notadamente, sob regime de sequeiro. Em termos de área cultivada, as maiores extensões contínuas de cultivo são encontradas na região dos cerrados. A estimativa de área colhida, no ano agrícola 2000/2001, foi de 321.233 ha, com uma produção de grãos de 320.236 t e uma produtividade média de grãos de 997 kg ha<sup>-1</sup>. Apenas na microrregião Sul Maranhense, onde se localiza a área de cerrados, cultivaram-se cerca de 27.894 ha, com uma produção de 86.884 t, elevando a produtividade média de grãos para 3.115 kg ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2002).

Segundo dados da Rede Nacional de Agrometeorologia – RNA, o período chuvoso no Estado concentra-se de novembro a abril, com precipitação média anual, que varia de 1.000 mm a 2.400 mm e trimestre mais chuvoso no período de janeiro a março (RNA, 2003) (Figura 1). Contudo, apesar do elevado índice pluviométrico anual, o risco climático a que a cultura está sujeita é acentuado, devido à irregularidade na distribuição de chuvas, traduzida por períodos de deficiência hídrica no solo de diferentes durações, notadamente, se estes ocorrerem durante as fases e/ou estágios de desenvolvimento mais críticos (floração e enchimento de grãos) (DOORENBOS

<sup>1</sup>Eng. Agr., Dr. em Irrigação e Drenagem, Embrapa Meio-Norte, Cx. Postal 01, Teresina PI. E-mail: aderson@cpamn.embrapa.br. Bolsista do CNPq.

<sup>2</sup>Eng. Agr., Dr. em Irrigação e Drenagem, Embrapa Meio-Norte, Cx. Postal 01, Teresina PI.

<sup>3</sup>Eng. Agr., Dr. em Fitotecnia, Embrapa Meio-Norte, Cx. Postal 01, Teresina PI.

<sup>4</sup>Estudante de graduação, AESPI, Estagiário da Área de Zoneamento Agrícola, Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI.

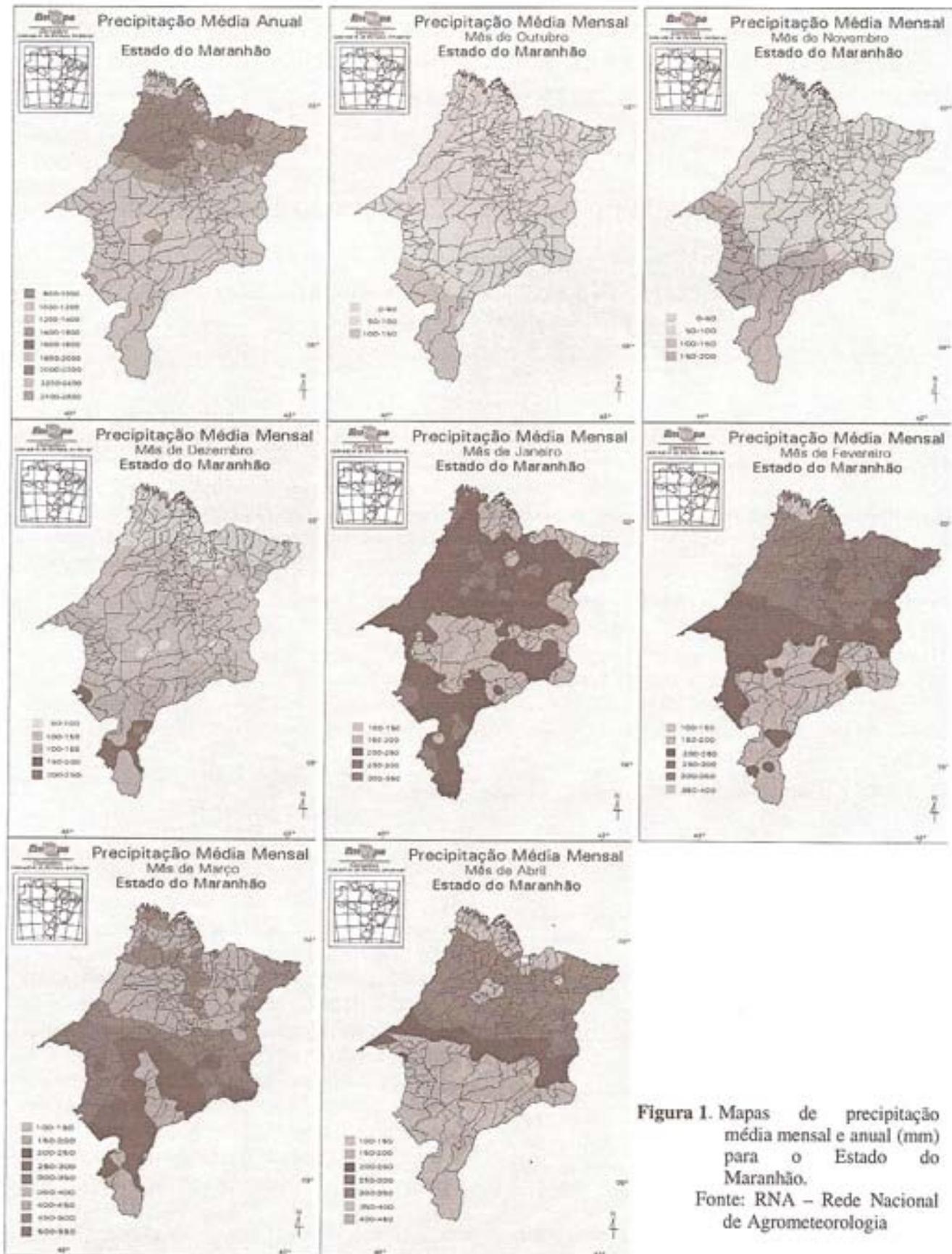


Figura 1. Mapas de precipitação média mensal e anual (mm) para o Estado do Maranhão.  
 Fonte: RNA – Rede Nacional de Agrometeorologia

& KASSAM, 1994), quando o estresse hídrico reduz, sensivelmente, o rendimento da cultura.

Em um cenário climático dessa natureza, o zoneamento agrícola de risco climático constitui-se em uma técnica fundamental no processo de tomada de decisão, principalmente, com o surgimento de um novo modelo agrícola brasileiro, baseado nas premissas de competitividade, eficiência e visão de agronegócio.

O zoneamento agrícola de risco climático permite, a partir do conhecimento das variabilidades climáticas locais (como precipitação e evapotranspiração de referência) e de sua espacialização regional por um sistema de informação geográfica (SIG), definir regiões de aptidão climática para o cultivo agrícola e épocas mais adequadas de semeadura, como forma de diminuir os efeitos negativos causados pela má distribuição de chuvas (TEIXEIRA & AZEVEDO, 1996; ZULLO JÚNIOR et al., 1999; SILVA & AZEVEDO, 2000).

Vários estudos mostram que a definição das épocas de semeadura, por meio do balanço hídrico do solo, contribui para reduzir o risco climático causado pela distribuição irregular das chuvas (SILVA et al., 1995; ASSAD, 1997; SILVA et al., 1998; ZULLO JÚNIOR et al., 1999; ANDRADE JÚNIOR, 2000; MARIN et al., 2000).

Entretanto, existem poucos estudos no Maranhão voltados para o zoneamento agrícola de risco climático da cultura do milho. EVANGELISTA et al. (1999) recomendaram datas para a semeadura de milho para a microrregião de Chapadinha e sul do Maranhão com base no balanço hídrico do solo. Contudo, os balanços hídricos foram efetuados com uma série de dados de precipitação diferente da série atual (mais atualizada), com os parâmetros de solo e de cultura inadequados e sem representarem a condição real de capacidade de armazenamento de água dos solos da região. Além disso, os balanços hídricos foram simulados com uma análise frequencial de 50%, não adequada para estudos envolvendo planejamento agrícola. Para estudos dessa natureza, ANDRADE JÚNIOR (2000) recomenda usar probabilidade de ocorrência superior a 75%.

Por isso, objetivou-se neste trabalho regionalizar áreas de risco climático para a cultura do milho, no Estado do Maranhão, com base no balanço de água no solo, para semeaduras em diferentes épocas, durante a estação chuvosa.

## Material e métodos

O zoneamento agrícola de risco climático foi efetuado em duas etapas: a) cálculo dos balanços hídricos diários usando o programa computacional Sarrazon (BARON et al., 1996) e b) espacialização dos índices de satisfação das necessidades hídricas das culturas, utilizando o programa computacional Spring, versão 3.6, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). Apesar dos balanços hídricos e da espacialização dos resultados terem sido realizados para todo o Estado do Maranhão, deu-se atenção especial aos municípios localizados na Região Sul e microrregião de Chapadinha, onde predomina o ecossistema dos cerrados.

Os balanços hídricos foram efetuados no período de outubro a fevereiro, compreendendo início, plena estação e final da estação chuvosa na região dos cerrados. As simulações foram efetuadas a cada dez dias (decêndios) e para o período de semeadura de 05 de outubro a 25 de fevereiro. As variáveis de entrada utilizadas no modelo foram:

a) Precipitação diária: utilizaram-se as séries de dados de 127 estações pluviométricas, no mínimo com 15 anos de registros diários, obtidos no Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (Figura 2a);

b) Evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>): os dados diários referentes a ET<sub>o</sub>, estimados pelo método de Penman - Monteith, para dez municípios do Estado (Caxias, Chapadinha, Imperatriz, Grajaú, Zé Doca, Barra do Corda, Colinas, Carolina, Balsas e Alto Parnaíba), foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (Figura 2b). Para os demais municípios, o modelo Sarrazon usou a estimativa de ET<sub>o</sub> do município mais próximo dentre os acima mencionados;

c) Capacidade de armazenamento de água no solo (CAD): variou em função do tipo de solo e da profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (Z = 0,40 m). Assumiram-se três tipos de solos: Tipo 1 - Neossolo Quartzarênico (0,60 mm de água/cm de solo e CAD = 25 mm), Tipo 2 - Latossolos Vermelho-Amarelo e Vermelho-Escuro (com menos de 35% de argila) (1,00 mm de água/cm de solo e CAD = 40 mm) e Tipo 3 - Argissolos Vermelho-Amarelo e Vermelho-Escuro (com mais de 35% de argila) (1,20 mm de água/cm de solo e CAD = 50 mm). Cabe ressaltar que, quando a espacialização do risco climático é fei-

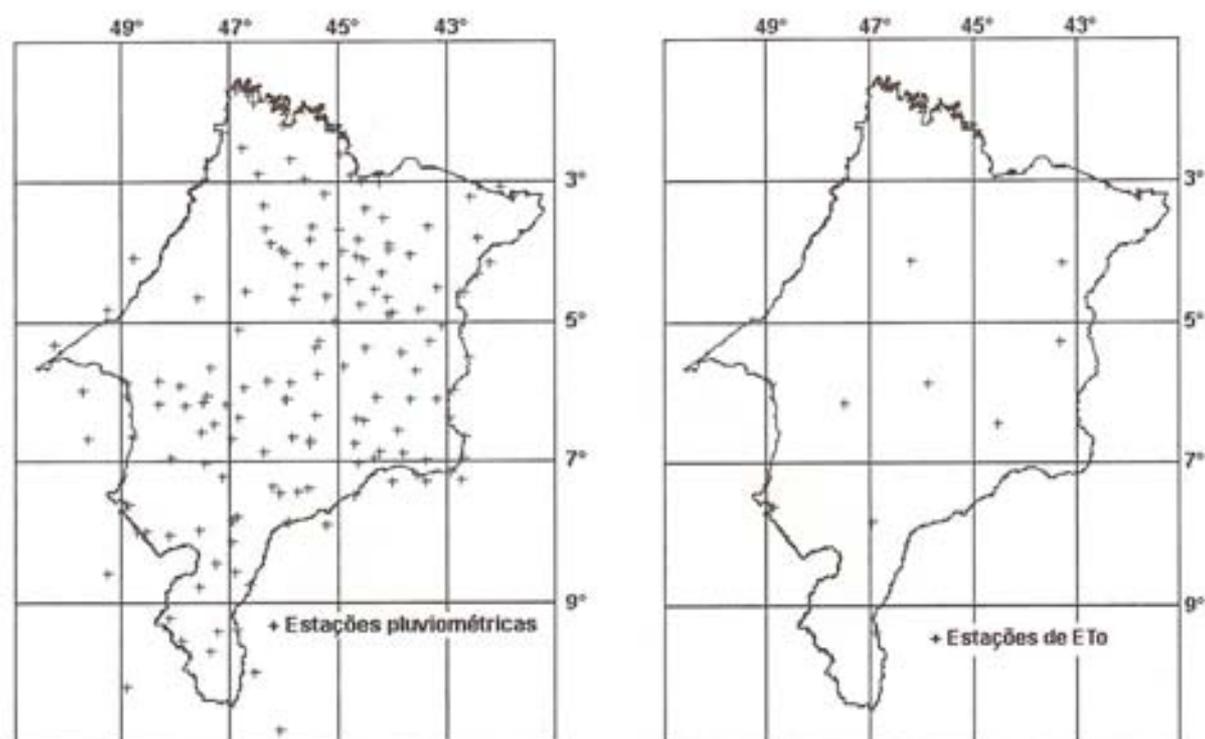


Figura 2. Distribuição espacial das estações pluviométricas (a) e de ETo (b) no Maranhão.

ta considerando determinado tipo de solo, assume-se que toda a área em estudo apresente aquele tipo de solo. Portanto, é necessário que o produtor, extensionista ou agente financeiro conheça o tipo de solo de sua região, de modo a usar de forma adequada os resultados do zoneamento. Considerou-se a CAD constante ao longo do ciclo da cultura;

d) **Cultivares:** para representar as cultivares de milho recomendadas para a região em estudo, foi eleita uma cultivar com ciclo de 120 dias, considerada adaptada às condições de temperatura e fotoperíodo dos diferentes locais;

e) **Coefficientes de cultura (Kc):** usaram-se valores de Kc decendiais ao longo do ciclo da cultura de milho, cujos valores encontram-se na Tabela 1. Esses valores foram consolidados a partir de informações obti-

das na literatura associadas a trabalhos de campo conduzidos nas condições locais (DOORENBOS & KASSAM, 1994; ANDRADE JÚNIOR et al., 1998);

f) **Modelo Sarrazon:** o modelo de simulação do balanço hídrico da cultura (Sarrazon) permitiu a determinação dos valores de evapotranspiração real (ETr) e evapotranspiração máxima (ETm), com os quais estimaram-se os valores dos índices de satisfação das necessidades de água (ISNA) da cultura, calculado pela equação 1. A ETr expressa a quantidade de água que a planta efetivamente consumiu e a ETm representa a quantidade de água desejável para garantir sua produtividade máxima (SILVA et al., 1998):

$$ISNA = \left( \frac{ETr}{ETm} \right) \quad (1)$$

Tabela 1. Valores de coeficientes de cultura (Kc) decendiais para a cultura de milho.

Ciclo (dias)	Decêndios											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
120	0,40	0,45	0,50	0,60	0,85	1,00	1,10	1,25	0,90	0,80	0,70	0,60

em que: ISNA é o índice de satisfação das necessidades de água (decimal); ETr a evapotranspiração real da cultura (mm) e ETm a evapotranspiração máxima da cultura (mm).

Os valores de ISNA foram obtidos da simulação de balanços hídricos efetuados com uma probabilidade de ocorrência de 80%. Adotaram-se como favoráveis, em um determinado município, as épocas de semeadura que se enquadravam em um dos seguintes critérios: a) área do município com até 20% de classe de baixo risco climático ou b) área do município com, pelo menos, 60% de classe de médio risco climático.

g) **Classes de ISNA:** para a caracterização do risco climático associado ao cultivo de milho na região, foram estabelecidas três classes de ISNA: i)  $ISNA \geq 0,55$  - baixo risco climático (período favorável para plantio); ii)  $0,55 > ISNA > 0,45$  - médio risco climático (período intermediário para plantio) e iii)  $ISNA \leq 0,45$  - alto risco climático (período desfavorável para plantio), conforme recomendação de EVANGELISTA et al. (1999).

Na segunda etapa, para a espacialização dos resultados, foram empregados os valores de ISNAs estimados para o período de desenvolvimento compreendido entre a floração e o enchimento de grãos (período mais crítico ao déficit hídrico), com frequência mínima de 80% nos anos utilizados em cada estação pluviométrica. Cada valor de ISNA, observado durante essa fase, foi associado à localização geográfica da respectiva estação para sua posterior espacialização, utilizando-se o programa computacional Spring versão 3.6. É importante ressaltar que, por se tratar de um modelo de risco climático, assumiu-se que não existem limitações quanto à fertilidade de solos e danos causados por pragas e doenças, conforme sugerido por ASSAD et al. (1999) e EVANGELISTA et al. (1999).

## Resultados e discussão

As Figuras 3 a 5 apresentam os resultados do zoneamento agrícola de risco climático da cultura do milho, por tipo de solo, em determinadas épocas de semeadura. Apesar dessas figuras mostrarem as regiões consideradas de alto, médio e baixo risco climático em todo o Estado do Maranhão, atenção especial deve ser dada à região Sul (entre as latitudes  $6^\circ$  S e  $11^\circ$  S) e ao Leste Maranhense (microrregião

de Chapadinha), onde se localiza a região dos Cerrados Maranhense, detentora da maior área plantada com milho. Quanto ao tipo de solo, deve-se atentar melhor para os solos considerados do tipo 1 e 2 (Neossolos e Latossolos Vermelho-Amarelo e Vermelho-Escuro, com menos de 35% de argila), que são as classes predominantes na Região Sul e Leste do Estado. Para as áreas compreendidas entre as latitudes  $2^\circ$  S e  $6^\circ$  S, as informações quanto ao zoneamento agrícola climático de risco são aplicáveis, porém com algumas restrições de solo.

Quando comparado ao zoneamento de risco climático para a cultura do milho no Piauí (ANDRADE JÚNIOR et al., 2001), constatou-se uma extensão maior de áreas com baixo risco climático no Maranhão, devido a uma melhor disponibilidade e distribuição espacial de chuvas (Figura 1). À medida que as épocas de semeadura foram avançando de outubro a fevereiro, as áreas indicadas como de baixo risco climático deslocaram-se em direção às Regiões Centro e Norte do Estado, já que nessas regiões o período chuvoso estende-se até os meses de março a abril (RNA, 2003).

Independentemente da região, as áreas consideradas aptas (com baixo risco climático) tenderam a ser mais extensas quando se assumiu como representativos os solos da região como do tipo 3. Esses solos apresentam maior capacidade de armazenamento de água em comparação aos solos do tipo 1 e 2, pois possuem teores de argila superiores a 35%. Ressalta-se, porém, que é pequena a ocorrência desse tipo de solo no Estado. É importante que o usuário das informações identifique corretamente o tipo de solo de sua região, por meio de análise de solo e parecer de um agrônomo, a fim de usar, corretamente, os resultados apresentados neste zoneamento.

Diversos municípios foram considerados inaptos para o cultivo de milho quando se processaram as simulações com o solo do tipo 2. Entretanto, todos eles foram considerados como de baixo risco climático ao se assumir os solos como do tipo 3. Isto porque as chuvas são uniformes na região dos cerrados, tanto em termos quantitativos como em distribuição espacial (ANDRADE JÚNIOR & BASTOS, 1997). Quando isso ocorre, a capacidade de armazenamento de água do solo torna-se fator fundamental da definição da aptidão climática.

Para o sul do Maranhão, considerando-se os solos do tipo 1 e 2, mais comuns na região, constatou-

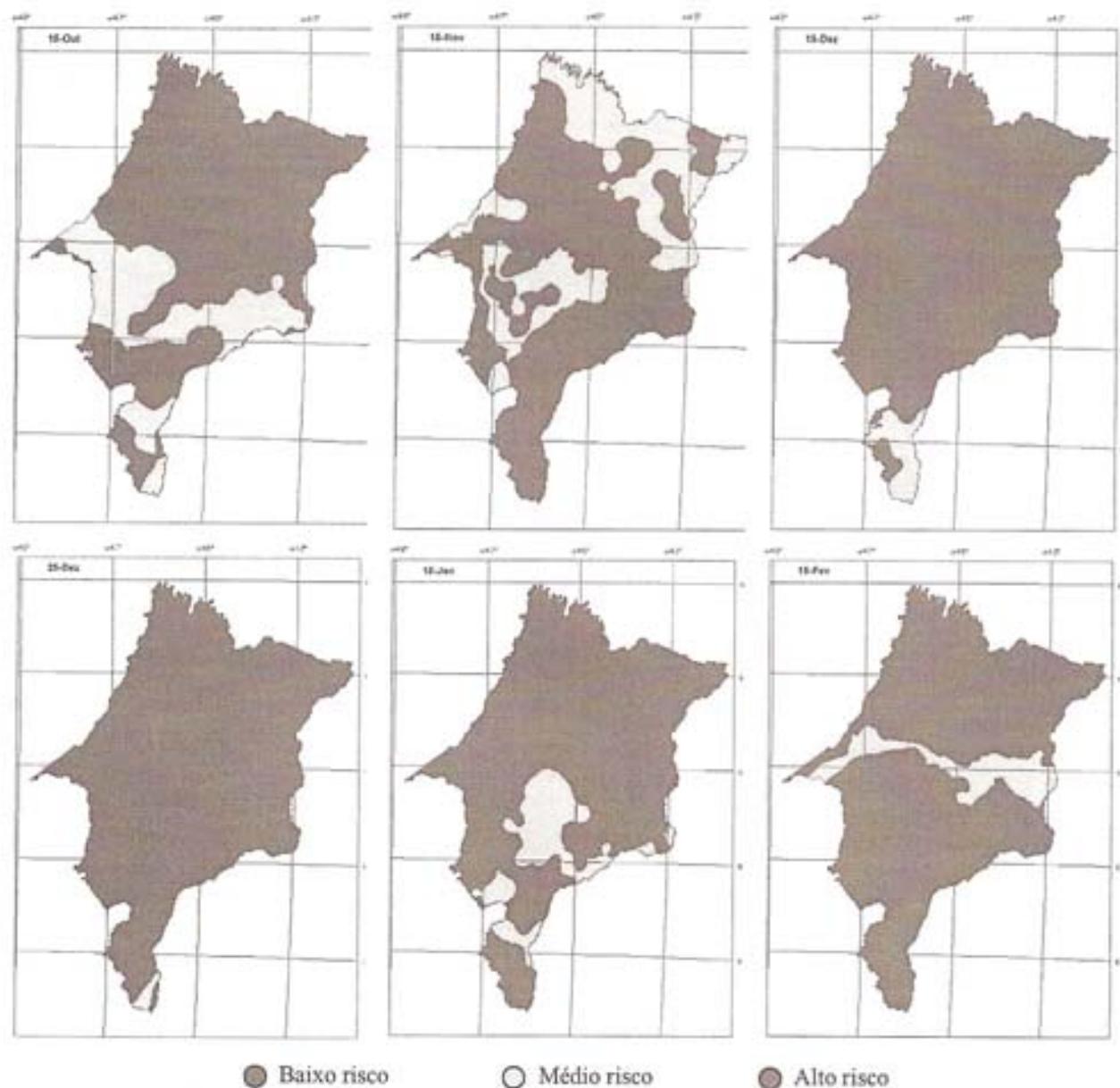


Figura 3. Espacialização de riscos climáticos em áreas com solo tipo 1, no Maranhão.

se que a semeadura do milho deve ser indicada nos seguintes períodos: solo tipo 1: de 15-outubro a 31-dezembro e solo tipo 2: de 1-outubro a 10-janeiro. Para o leste do Maranhão (região de Chapadinha), os períodos indicados para a semeadura do milho são: solo tipo 1: 15-dezembro a 15-fevereiro e solo tipo 2: 1-dezembro a 28-fevereiro.

É recomendável a adoção de épocas de semeadura situadas na faixa central dos intervalos de semeadura citados, como uma forma adicional de

evitarem-se os riscos de insucessos advindos da variabilidade temporal típica das precipitações da região.

Devido às diferenças metodológicas, principalmente quanto ao maior rigor estatístico usado na simulação dos balanços hídricos (frequência de 80% de probabilidade), constatou-se que houve algumas divergências entre os resultados obtidos por esse estudo, em comparação com os apresentados no trabalho de EVANGELISTA et al. (1999),

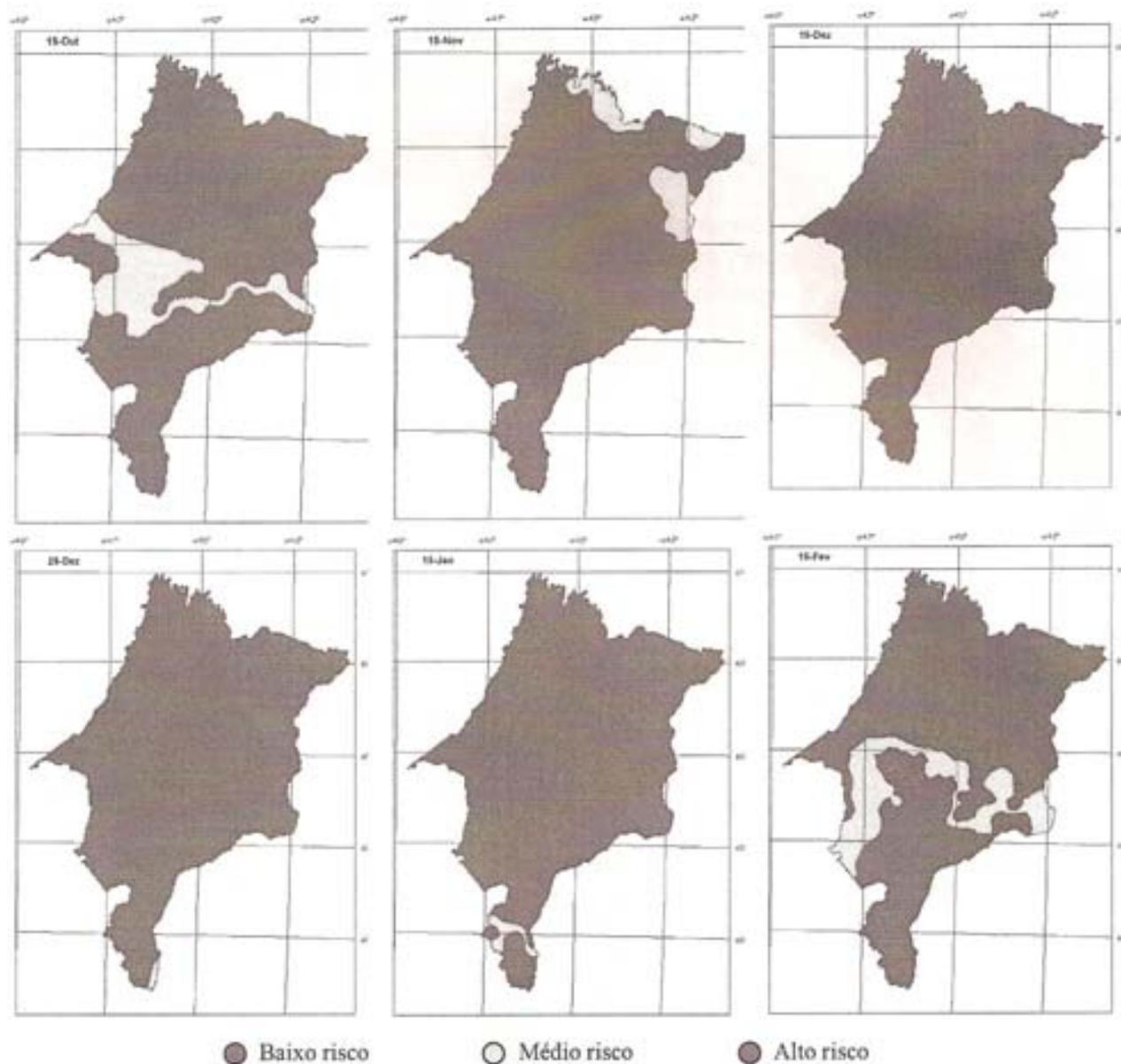


Figura 4. Espacialização de riscos climáticos em áreas com solo tipo 2, no Maranhão.

notadamente, quanto a uma maior restrição na indicação dos períodos favoráveis ao plantio de milho na região.

É importante ressaltar que as indicações de épocas de semeadura favoráveis ao cultivo de milho, mencionadas anteriormente, levaram em consideração apenas o aspecto relativo ao balanço de água em cada um dos tipos de solo. É aconselhável que sejam incorporadas outras variáveis, tanto climáticas como de manejo de solo, no modelo de zoneamento. Pode-

se, por exemplo, utilizar a temperatura máxima, como elemento definidor da aptidão climática, notadamente, no caso do milho, que responde negativamente em termos produtivos à ocorrência de temperaturas elevadas ( $> 35^{\circ}\text{C}$ ) durante as fases de floração e enchimento de grãos (DOURADO NETO & FANCELLI, 2000). Da mesma forma, poder-se-ia simular os balanços hídricos sob condição de plantio direto, favorecendo o acréscimo da capacidade de retenção de água dos solos, prática que está sendo progressiva-

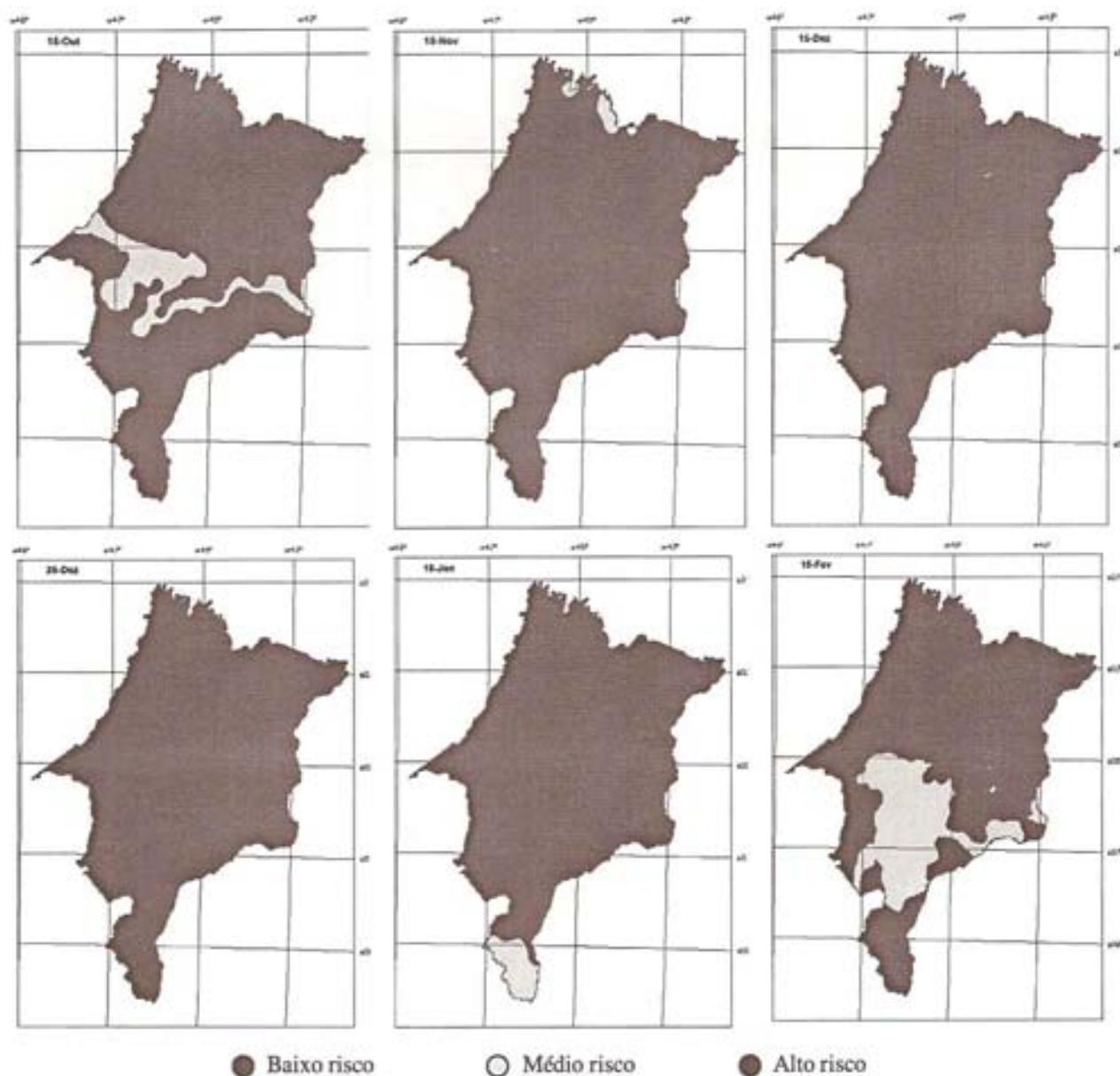


Figura 5. Espacialização de riscos climáticos em áreas com solo tipo 3, no Maranhão.

mente incorporada pelos produtores da região dos Cerrados.

Entretanto, é perfeitamente possível utilizar-se o zoneamento agrícola de risco climático como documento orientador para auxiliar administradores de políticas públicas, agentes financeiros e produtores rurais, na definição de regiões com aptidão climática para o cultivo do milho e na escolha de épocas de semeadura mais favoráveis para essa cultura.

### Conclusões

- A região do Cerrado Maranhense é favorável para o cultivo de milho em diferentes combinações entre épocas de semeadura e tipos de solo;
- Considerando-se os solos do tipo 1 e 2, mais comuns nessa região, as épocas de semeadura que oferecem menores riscos aos produtores são: 15-outubro a 31-dezembro e de 1-outubro a 10-janeiro.

ro, na região sul do Maranhão, e de 15-dezembro a 15-fevereiro e de 1-dezembro a 28-fevereiro, na microrregião de Chapadinha.

#### Referências bibliográficas

ANDRADE JÚNIOR, A.S. Viabilidade da irrigação, sob risco climático e econômico, nas microrregiões de Teresina e Litoral Piauiense. Piracicaba: ESALQ/USP, 2000. 566 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

ANDRADE JÚNIOR, A.S.; BASTOS, E.A. Precipitação pluviométrica provável em municípios do Cerrado Piauiense. Teresina: Embrapa-CPAMN, 1997. 22 p. (Documentos, 25).

ANDRADE JÚNIOR, A.S. et al. Irrigação. In: CARDOSO, M.J. (Org.). A cultura do milho no Piauí. 2. ed., Teresina: Embrapa Meio-Norte, 1998. p. 68 - 100. (Circular Técnica, 12).

ANDRADE JÚNIOR, A.S. et al. Zoneamento agroclimático para as culturas de milho e soja no Estado do Piauí. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 544-550, 2001.

ASSAD, E.D. Zoneamento agroclimático para grãos na região do Meio-Norte Brasileiro. In: SIMPÓSIO SOBRE OS CERRADOS DO MEIO-NORTE, 1., 1997, Teresina, PI. Anais..., Teresina: Embrapa Meio-Norte, 1997. p. 20-38 (Documentos, 27).

ASSAD, E.D.; FEITOZA, L.; EVANGELISTA, B.A. Recomendação de datas para o plantio de milho (*Zea mays*) na região sul do Estado do Piauí. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. 4 p. (Comunicado Técnico, 19).

BARON, C.; PEREZ, P.; MARAUX, F. Sarrazon - Bilan hydrique applique au zonage. Montpellier: CIRAD, 1996. 26 p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (Irrigação e Drenagem, 33).

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.L. Produção de milho. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.

EVANGELISTA, B.A.; ASSAD, E.D.; AGUIAR, L.M.S. Recomendação de datas para o plantio de milho (*Zea mays*) na região sul do Estado do Maranhão e microrregião de Chapadinha. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. 5 p. (Comunicado Técnico, 16).

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção agrícola municipal - ano 2001. Arquivo disponível em: [www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela](http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela). Capturado em: 23/08/2003.

MARIN, F.R.; SENTELHAS, P.C., UNGARO, M.R.G. Perda de rendimento potencial da cultura do girassol por deficiência hídrica, no Estado de São Paulo. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 1-6, 2000.

RNA - REDE NACIONAL DE AGROMETEOROLOGIA. Mapas de precipitação do Estado do Maranhão. Arquivo disponível em: [www.agricultura.gov.br/rna](http://www.agricultura.gov.br/rna). Capturado em: 23/08/2003.

SILVA, G.B. da; AZEVEDO, P.V. de. Potencial edafoclimático da "Chapada Diamantina" no Estado da Bahia para o cultivo de Cítrus. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 139-139, 2000.

SILVA, S.C. da et al. Zoneamento agroclimático para o arroz de sequeiro no Estado de Goiás. Brasília: Embrapa-SPI, 1995. 80 p. (Documentos, 43).

SILVA, S.C. da; BRITES, R.S.; ASSAD, E.D. Identificação de risco climático para a cultura de arroz de sequeiro no Estado de Goiás. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 33, n. 7, p. 1005-1011, 1998.

TEIXEIRA, A.H. de C.; AZEVEDO, P.V. de. Zoneamento agroclimático para a videira européia no Estado de Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 139-145, 1996.

ZULLO JÚNIOR, J. et al. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do trigo (*triticum aestivum* L.) de sequeiro no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., 1999, Florianópolis, SC. Anais..., Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia: UFSC, 1999. (CD).