

ISSN 0104-1347

Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de milho na Região Centro-Oeste do Brasil e para o estado de Minas Gerais

Climatic risks zoning for maize production in West-Center Region and in Minas Gerais state, Brazil

Luiz Marcelo Aguiar Sans¹, Eduardo Delgado Assad², Daniel Pereira Guimarães¹ e Gisela Avellar¹

Resumo - Para a cultura de milho, a água é um fator limitante, principalmente, na fase de germinação e nos períodos de floração e enchimento de grãos. Desta forma, conhecer os elementos climáticos é uma estratégia para definir manejos que possibilitem minimizar riscos climáticos, contribuindo para melhorar a política de alocação de recursos para crédito agrícola e para o aumento de produção. Por meio de uma análise da distribuição freqüencial dos índices de satisfação das necessidades de água da cultura (relação entre evapotranspiração real e evapotranspiração máxima) e da capacidade de armazenamento de água dos solos, foram definidas as regiões de diferentes riscos climáticos para a cultura do milho nos estados de Minas Gerais, Goiás, Tocantins, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Os resultados das simulações foram espacializados para cada tipo de solo, diferenciados em função do teor de argila e da capacidade de armazenamento de água, gerando mapas onde estão identificadas as áreas de riscos climáticos. Nos estados de Minas Gerais, Goiás, Tocantins, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul as melhores datas de semeadura, para safra de verão, são no mês de outubro, e o atraso da semeadura implica em aumento de risco climático, refletido em alta freqüência de ocorrência de estresse hídrico na fase de enchimento de grãos, realçada à medida que é reduzida a capacidade de armazenamento de água no solo. Essa variação espacial e temporal dos riscos climáticos possibilita delimitar áreas onde é necessário utilizar técnicas para minimizar o efeito de estresse hídrico.

Palavras-chave: balanço hídrico, Cerrado, datas de semeadura, *Zea mays* L., Brasil.

Abstract - Water is a limiting factor for maize, especially during the stages of germination, flowering, and grain filling. Knowledge on climatic elements is essential for developing production management strategies to reduce production risks. The ability to minimize climatic risks is essential for improving agricultural policies, at allocating resources for rural credit, and for increasing productivity. Climatic risk maps for maize production for the states of Minas Gerais, Goiás, Tocantins, Mato Grosso, and Mato Grosso do Sul, in Brazil, were developed based on the distribution of water requirement indexes (real evapotranspiration/maximum evapotranspiration) and water holding capacity of the soil. Simulation results using soil types as a function of clay content and water-holding capacity were used to generate maps which identify regions of climatic risk. The best seeding period for the summer crop of maize in the states of Minas Gerais, Goiás, Tocantins, Mato Grosso, and Mato Grosso do Sul is the month of October. A delay in seeding will increase the climatic risk during the grain filing stage due to low water supply in the soil. This spatial variation of climatic risks was used to define regions where it is necessary to deploy management techniques aiming at minimizing the risk of water-stress.

Key words: soil-water balance, Brazilian savannas, Cerrado, sowing dates, *Zea mays* L., Brazil.

¹ Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Caixa Postal 151, CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG. E-mail: lsans@cnpms.embrapa.br

² Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Caixa Postal 6041, CEP 13083-970 Campinas, SP.

Introdução

A importância do milho, no Brasil, pode ser avaliada pela sua grande dispersão e produção no país. Dados do IBGE (safra de 1999), indicam que o milho foi cultivado em 2801 municípios brasileiros, compreendidos entre o estado do Tocantins até o Rio Grande do Sul. A produção total ficou em torno de vinte milhões de toneladas, com valor aproximado de três bilhões de reais. O milho representa hoje a segunda maior "commodity" do país, com um incremento médio de produtividade de 15,5% nos últimos cinco anos. Este aumento de produtividade é ocasionado pelo avanço tecnológico, onde a redução de perdas devido aos riscos climáticos está, diretamente, embutida. A semeadura de milho envolve riscos de várias ordens, tais como: semente de má qualidade, manejo inadequado de fertilizantes, equipamentos e, principalmente, a falta de água. Para a cultura do milho, a água é fator determinante da produção, principalmente, na fase de germinação, e nos períodos de floração e enchimento de grãos. A escolha da época de semeadura é uma forma de selecionar períodos em que as condições climáticas dominantes indicam disponibilidade de água para os períodos críticos. Essa disponibilidade de água é determinada pela distribuição e intensidade pluviométrica, capacidade de armazenamento de água do solo e consumo de água pela cultura. No Brasil central, o milho é produzido, na sua quase totalidade, durante a estação chuvosa. Portanto, sua produtividade é dependente das condições reinantes de clima. Esta variável não controlável, o clima, é um dos mais importantes componentes de produção da cultura.

A interação genótipo-ambiente é um dos pontos críticos num estudo de riscos para a cultura. Isso ocorre porque os genótipos não mantêm um mesmo padrão de comportamento devido à variabilidade espaço-temporal dos ambientes. Logo é necessário delimitar as áreas em ambientes mais homogêneos possíveis, e ter culturas bem ajustadas a cada um desses ambientes e/ou obter cultivares que possuam um elevado grau de estabilidade.

Atualmente, os métodos utilizados na análise de risco se baseiam nas características do meio físico, procurando ajustar as necessidades da cultura à disponibilidade ambiental, ou na reação

dos genótipos às diferentes condições ambientais. No primeiro caso, são consideradas as diferenças dos fatores ambientais, valorizando pouco a influência desses fatores sobre o genótipo, enquanto que, para o segundo, são prioritários os efeitos dos fatores ambientais sobre os genótipos. As dificuldades de se utilizar o primeiro método deve-se à deficiência de informações detalhadas necessárias e à falta de resposta do genótipo ao ambiente. Portanto, tem sido preferida a segunda metodologia e, para uso da mesma, deve-se considerar os conceitos de ALLARD & BRADSHAW (1964), referentes às interações genótipo-local e genótipo-ano. Vale mencionar que um aspecto importante a ser considerado é a caracterização da planta como instrumento de medida das variações ambientais previsíveis e adotar as reações das cultivares ao ambiente, como fundamental para o zoneamento. Vários são os autores (BYTH *et al.*, 1976; THORNLEY, 1976;) que adotaram esse método, diferenciando-se por utilizarem técnicas estatísticas distintas para definirem os ambientes.

Este trabalho objetivou estabelecer as melhores épocas de semeadura para a cultura do milho de sequeiro para os estados de Minas Gérias, Goiás, Tocantins, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, por meio da identificação dos riscos climáticos dos diferentes ambientes edafoclimáticos, visando a redução de perdas e a obtenção de maiores rendimentos.

Material e métodos

A metodologia baseia-se na análise do consumo de água pela cultura, dando prioridade aos períodos críticos de desenvolvimento. Embora, diversos elementos climáticos e características de solo sejam determinantes da potencialidade de um ambiente, foram considerados como decisivos no estabelecimento dos riscos climáticos, a precipitação pluvial diária, a capacidade de armazenamento de água do solo e o balanço hídrico da cultura.

Quanto à precipitação, esta foi quantificada em totais mensais, decendiais e quinquidiais, e também caracterizada quanto à sua frequência de ocorrência. Procurou-se utilizar séries históricas

climatológicas suficientemente longas, de maneira que a referência estatística fosse consistente. Em locais onde essas séries não existem, utilizaram-se séries menores, mas nunca inferiores a 15 anos. As estações climatológicas utilizadas foram: 331 (MG), 22 (GO), 55 (TO), 45 (MT) e 40 (MS). Para a análise freqüencial mensal, decendial e quinquidial da precipitação pluvial, utilizou-se o modelo "Chuva" desenvolvido por ASSAD, (1994).

Para o balanço hídrico relativo a períodos de cinco dias, aplicou-se a metodologia descrita por MEIRELES et al. (1995). Os dados de entrada no modelo foram: precipitação pluvial e evapotranspiração potencial (ET_o) diárias, coeficientes culturais, fases fenológicas, ciclo da cultura e água disponível no solo na zona radicular.

Os coeficientes culturais (K_c) usados para estimar a evapotranspiração máxima (ET_m) foram valores médios determinados por ANDRADE et al. (1988), SANS et al. (1994) e valores obtidos em pesquisas desenvolvidas na Embrapa Milho e Sorgo (EMBRAPA MILHO E SORGO, 1992, 1994, 1996). A evapotranspiração potencial foi estimada pelo método de Penman-Monteith (SMITH, 1993).

Os dados referentes ao ciclo e à fenologia foram provenientes de trabalhos desenvolvidos em diversos locais da Região Sudeste, nos ensaios nacionais coordenados pela Embrapa Milho e Sorgo (CORRÊA, 1995), e nos ensaios de épocas de semeadura desenvolvidos por SANS & SANTOS (1992).

Os valores da capacidade de armazenamento de água no solo foram obtidos de diversas fontes. As principais foram: resultados de análises físico-hídricas de solos dos laboratórios da Embrapa Milho e Sorgo (arquivo de resultados analíticos de solos da Embrapa Milho e Sorgo), levantamentos de solos (EPAMIG, 1976, 1978; EMBRAPA MILHO e SORGO, 1992, 1994), resultados de balanços hídricos aplicáveis à irrigação do milho e de pesquisas desenvolvidas em diferentes tipos de solos (OLIVEIRA, 1960; OLIVEIRA & MELO, 1970; FREIRE, 1976; LOPES, 1977; ANDRADE et al., 1988; FERNANDES et al. 1998). De posse dos dados sobre capacidade de retenção de água do solo, fez-se uma análise dessas informações e foram selecionados 254 perfis de solo, consi-

derando, primeiramente, a confiabilidade dos resultados e, segundo, a metodologia utilizada para determinar a curva de retenção de água desses solos. Os dados foram distribuídos em classes de freqüência com base na capacidade de água disponível. A análise de tendência foi feita por meio do ajuste de distribuições probabilísticas determinadas pelas funções, nas suas formas derivadas:

$$\text{Gama} \Rightarrow y' = \alpha x^{\beta} e^{-x/\gamma}$$

$$\text{Logística} \Rightarrow y' = \alpha e^{\gamma x} / (\beta + e^{\gamma x})^2$$

$$\text{Weibull} \Rightarrow y' = \alpha \beta \gamma e^{-\beta x^{\gamma}} x^{\gamma-1}$$

em que α , β e γ são os parâmetros de ajustes e x a água disponível do solo.

Usou-se o quadrado médio dos resíduos como critério para a seleção do modelo mais eficiente para explicar as tendências observadas.

As simulações das épocas de semeadura foram feitas a cada dez dias, a partir de 1º de setembro até início de janeiro. Do balanço hídrico, a variável mais importante na definição dos riscos é o índice de satisfação da necessidade de água pela cultura (ISNA), que é a relação entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima da cultura. Tomaram-se valores médios anuais do ISNA para o período entre as fases de pendoamento e maturação, período este, crítico ao déficit hídrico para a produção de milho, e efetuou-se a análise freqüencial do ISNA para 20%, 50% e 80% de ocorrência. Utilizou-se a freqüência de 80% para espacialização, por ser mais conservadora. Foram definidas três classes de ISNA para diferenciação dos ambientes dentro dos estados, ou seja: ISNA > 0,55 (região agroclimática favorável, com pequeno risco climático); 0,55 > ISNA > 0,45 (região agroclimática intermediária, com médio risco); ISNA < 0,45 (região agroclimática desfavorável, com alto risco climático e elevado déficit hídrico).

Segundo DOORENBOS & PRUITT (1975), para se quantificar o efeito do estresse hídrico sobre o milho é necessário deduzir a relação entre a diminuição do rendimento relativo (Y_r/Y_m) e o déficit da evapotranspiração relativa (ET_r/ET_m), dado pelo fator do efeito relativo (ky), obtido

empiricamente ou seja:

$$(1 - Y_r/Y_m) = k_y (1 - E_{Tr}/E_{Tm})$$

em que,

Y_r = rendimento real obtido;

Y_m = rendimento máximo;

k_y = fator de efeito sobre o rendimento;

E_{Tr} e E_{Tm} = evapotranspiração real e máxima, respectivamente.

LAZAROTTO *et al.* (1997), a partir dos dados gerados por MALUF & MATZENAUER (1995), utilizaram estes indicadores para definir as melhores datas de semeadura para esta cultura no estado do Mato Grosso do Sul. Conforme MALUF & MATZENAUER (1995), o principal índice de quebra de produtividade é o déficit hídrico acumulado no mês em que ocorre o florescimento, mais as deficiências dos meses anterior e posterior ao mesmo. O trabalho feito por ASSAD & SANO (1998) mostra que o coeficiente de variação associado à precipitação mensal é muito elevado, e sendo o déficit hídrico, diretamente, dependente deste, torna-se necessário que as análises estatísticas sejam feitas em períodos menores. Assim em todos os casos de definição de datas de semeadura, as análises foram feitas para períodos decendiais, para se determinar os valores de E_{Tr}/E_{Tm} , ou seja, o índice ISNA.

A definição dos limites de cortes do ISNA baseou-se em resultados de pesquisas desenvolvidas na Embrapa Milho e Sorgo, e estão de acordo com os valores estabelecidos por MALUF & MATZENAUER (1995), indicando que uma deficiência hídrica acumulada de 25 a 50 mm no período mais sensível da cultura pode provocar uma quebra de produtividade de até 50%. Associando-se estes valores à precipitação pluvial acumulada no período, em quase todas as estações climatológicas estudadas, chega-se a índices próximos de 0,55, valor adotado neste trabalho,

como o limite mínimo de ISNA para se considerar a região de baixo risco num determinado período de semeadura.

As simulações das épocas de semeadura foram feitas a cada dez dias, entre setembro e janeiro, totalizando 15 períodos decendiais.

Após as simulações, os valores de ISNA foram espacializados, para posterior elaboração de mapas, utilizando-se o sistema geográfico de informações, SPRING, desenvolvido pelo INPE. Foram gerados 405 mapas, onde estão espacializados os valores de ISNA, definindo dessa forma, as regiões de baixo, médio e alto risco e, conseqüentemente, as épocas favoráveis de semeadura para cada tipo de solo. A partir desses mapas foram geradas tabelas onde estão definidas as épocas de menor risco, para cada tipo de solo, para os municípios de cada estado.

Por ser um modelo, unicamente, agroclimático, a condição de contorno, supõe que não existem limitações quanto à fertilidade dos solos e ao ataque de pragas e doenças.

Resultados e discussão

Os resultados serão discutidos considerando que a cultura de milho é desenvolvida em sistema de sequeiro. O aspecto de riscos climáticos para a cultura na época normal de semeadura (período chuvoso) será priorizado. Entretanto, antes de se discutir os riscos, serão feitos alguns comentários no que se refere à seleção de solos quanto sua capacidade de armazenamento de água; elemento, esse, essencial na definição não só temporal como espacial de semeadura.

Como mostra a Tabela 1, a função logística foi a que melhor descreveu a tendência de distribuição dos dados, indicando assim uma configuração similar à descrita pela curva normal da Figura 1.

Tabela 1. Resultados obtidos pelo ajuste das funções probabilísticas Gama, Logística e Weibull, baseando-se na capacidade do teor de água disponível nos solos.

Modelo	Parâmetro de ajuste			Q.M.R.
	α	β	γ	
Gama	0,000567	9,4309	0,8921	10,4753
Logística	0,89106	0,009169	-0,54383	7,5291
Weibull	174,9000	0,000699	3,19040	10,4823

Pela Figura 1, verifica-se que a grande maioria dos solos apresenta entre 8 e 10% de água disponível para as plantas. Com base nesses resultados, procedeu-se a classificação dos solos em três tipos, sendo:

- Tipo 1- solo de baixa retenção de água: solos com menos de 5% de água disponível, representado pelas areias quartzosas, (solos com mais de 60% de areia e teores de argila menores do que 15%);
- Tipo 2- solos de média retenção de água: solos entre 5 e 15% de água disponível (teores de argila entre 15 a 35%); e
- Tipo 3- solos com alta retenção de água: solos com mais de 15% de água disponível (teores de argila maiores que 35%).

Agruparam-se os solos, segundo o armazenamento de água na zona radicular, em 20 mm (solos de baixa retenção de água, normalmente, solos arenosos), 40 mm (solos de retenção de água média, geralmente, textura média) e 60 mm (solos de alta retenção de água, normalmente, solos de textura argilosa).

Como o ISNA é uma função da capacidade de água disponível (CAD) às plantas e das condições meteorológicas, e sendo a CAD relacionada com as propriedades físico-químicas do solo, a classe de solo por si só, não define a capacidade de água disponível. Assim, dentro de uma mesma classe de solos podem ocorrer, diferentes CADs. Portanto, a definição das melhores épocas de semeadura está condicionada ao conhecimento da retenção de água do solo. Caso se desconheça a CAD, é possível usar a Tabela 2 como referência, que é uma tentativa de agrupar os solos segundo a sua capacidade de retenção de água.

Assim, independente do tipo de solo e das condições climáticas, somente quando em torno de 70% da água extraível é retirada, a cultura do milho começa a sofrer estresse hídrico, ou seja, o consumo pela planta decresce a partir do ISNA máximo (ISNA=1,0). Para ISNA abaixo de 0,4, a produtividade fica comprometida, ou seja, não há retorno econômico. A maior dificuldade está em relacionar o ISNA e a classe de solo. Os mapas de solo disponíveis são, normalmente, de

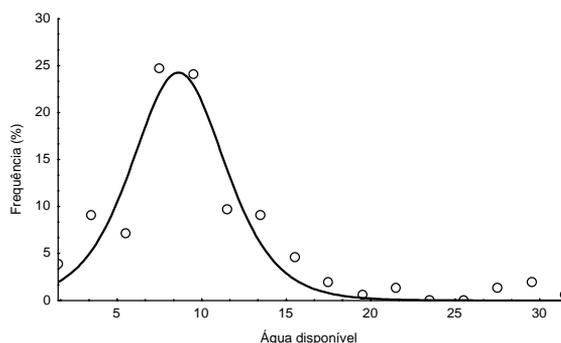


Figura 1. Relação entre água disponível e classes de solos.

reconhecimento e em escalas muito pequenas, dificultando a espacialização do balanço hídrico. Portanto, ao espacializar informações físico-hídricas de “pedons” utilizando esses mapas, pode-se estar incorrendo em grandes erros, não só pela representatividade da classe de solo, mas também pela omissão de unidades de solo considerando a escala. Assim sendo, a solução é agrupar os solos em classes de disponibilidade de água e fazer o balanço hídrico para cada agrupamento de solos, ou para cada classe isoladamente.

Na Figura 2 são apresentadas as delimitações de áreas de riscos climáticos para a cultura do milho semeada em época normal, para cada estado. Observa-se que os riscos climáticos são determinados em função do armazenamento de água no solo, da época de semeadura e da região dentro de cada estado. Como era esperado, quanto maior a capacidade de armazenamento de água no solo, menor o risco para a cultura.

Nos solos com baixa capacidade de retenção de água, independente do estado, a época de semeadura recomendada ultrapassa o terceiro decêndio de outubro, chegando mesmo, no estado do Tocantins, a não ser recomendada a semeadura de milho nesse tipo de solo, em qualquer época. À medida que aumenta a capacidade de armazenamento de água no solo, há menor risco quando se atrasa a semeadura. Com a semeadura a partir do primeiro decêndio de outubro, pode-se observar maior risco climático, que se confirma com o aumento de áreas de risco médio e elevado. Esse é um aspecto a ser salientado quanto ao início das simulações. Em todos os estados, somente foi viável a semeadura a partir de outubro, o que se deveu ao início das chuvas, exceto em Mato Grosso do Sul.

Tabela 2. Classes de solos em função da capacidade de retenção de água a ser usada como referência no caso de ausência de dados específicos.

Grupo	Classe de solo
Baixa	Areias Quartzosas
	Latossolos Álico e Distrófico, textura média
	Latossolos Eutróficos, textura média, fase floresta e caatinga
	Podzólicos Distróficos Latossólicos, textura arenosa/média
	Regossolo Eutrófico e Distrófico, textura arenosa e média
	Solos Litólicos, Álicos, Distróficos e Eutróficos, textura arenosa e média
	Solos Concessionários Indiscriminados
	Solos Aluviais, textura arenosa
	Latossolo Álico, Distrófico e Eutrófico, textura argilosa/média
	Podzólicos Distróficos e Eutróficos, textura argilosa/média
Média	Regossolos, textura argilosa
	Cambissolos, textura argilosa/média
	Solos Litólicos, textura argilosa
	Planossolo Solódico, textura arenosa/média
	Brunizem Avermelhado, textura média
	Solos Aluviais, textura média
	Laterita Hidromórfica, textura média
	Glei Pouco Húmico, textura média
	Latossolos Roxos, textura média
	Latossolos, textura argilosa/muito argilosa
Alta	Latossolos Roxos, textura argilosa
	Podzólicos, textura argilosa/média
	Terra Roxa Estruturada similar, textura argilosa
	Cambissolos Eutróficos, textura argilosa
	Planossolo Solódico, textura argilosa
	Solonetz Solodizado, textura média/argilosa
	Brunizem Avermelhado, textura argilosa
	Solos Aluviais, textura média/argilosa
	Solos Hidromórficos Gleyzados, textura indiscriminada
	Bruno Não Cálculo, textura média/argilosa
Vertissolos	
Glei Pouco Húmico, textura argilosa	

Por meio de uma análise isolada de cada estado, pode-se verificar que, em Minas Gerais, nos solos de baixa capacidade de armazenamento de água, somente em uma pequena área isolada é possível a semeadura no primeiro decêndio de outubro. Para solos com capacidade média de armazenamento de água é grande a área onde pode-se fazer semeadura no primeiro decêndio de outubro, reduzindo, drasticamente, à medida que se atrasa a semeadura, havendo, em dezembro, possibilidades de semeadura em apenas alguns locais isolados, os quais se diferenciam pela maior precipitação. Ocorrem na Zona da Mata e sul de Minas Gerais e alguns no Alto do Paranaíba e Triângulo Mineiro. Para os solos que possuem elevada capacidade de armazenamento de água, segue-se a mesma

seqüência, podendo estender-se até meados de janeiro, em pequenas áreas isoladas. O estado de Goiás segue a mesma seqüência de Minas Gerais, diferindo quanto ao tamanho das áreas nas últimas épocas viáveis de semeadura em janeiro. Mesmo nos solos de elevada retenção, somente em pequenas áreas pode-se fazer a semeadura nessa época. No estado de Tocantins, não é possível a semeadura com baixo risco onde encontram-se solos de baixa capacidade de armazenamento de água. Isso somente é possível nos solos de média e elevada retenção e, mesmo assim, as semeaduras não devem ultrapassar o mês de dezembro. Em Mato Grosso, a semeadura a partir de outubro, em solos de baixa capacidade de armazenamento de água, é viável em mais da metade do estado e, para os solos de média e alta capacidade, em praticamente, todo o estado. Essas épocas se expandem até o início de fevereiro, nos solos com média e alta capacidade de armazenamento de água. Em Mato Grosso do Sul, a semeadura

pode ser feita no início de setembro, podendo estender-se até o final de fevereiro, em solos com alta capacidade de armazenamento, e até meados de janeiro, em solos de média capacidade de retenção, e no máximo até meados de dezembro, em solos de baixa retenção.

Analisando-se a Figura 2, onde estão delimitadas áreas com diferentes níveis de riscos climáticos para solos com capacidade de armazenamento de água de 40 mm e diferentes épocas de semeadura, pode-se observar que a oferta pluviométrica nos estados é heterogênea, e que associada às diferentes condições de armazenamento de água dos solos, resulta em grandes variações espaciais do risco climático para a cultura de milho.

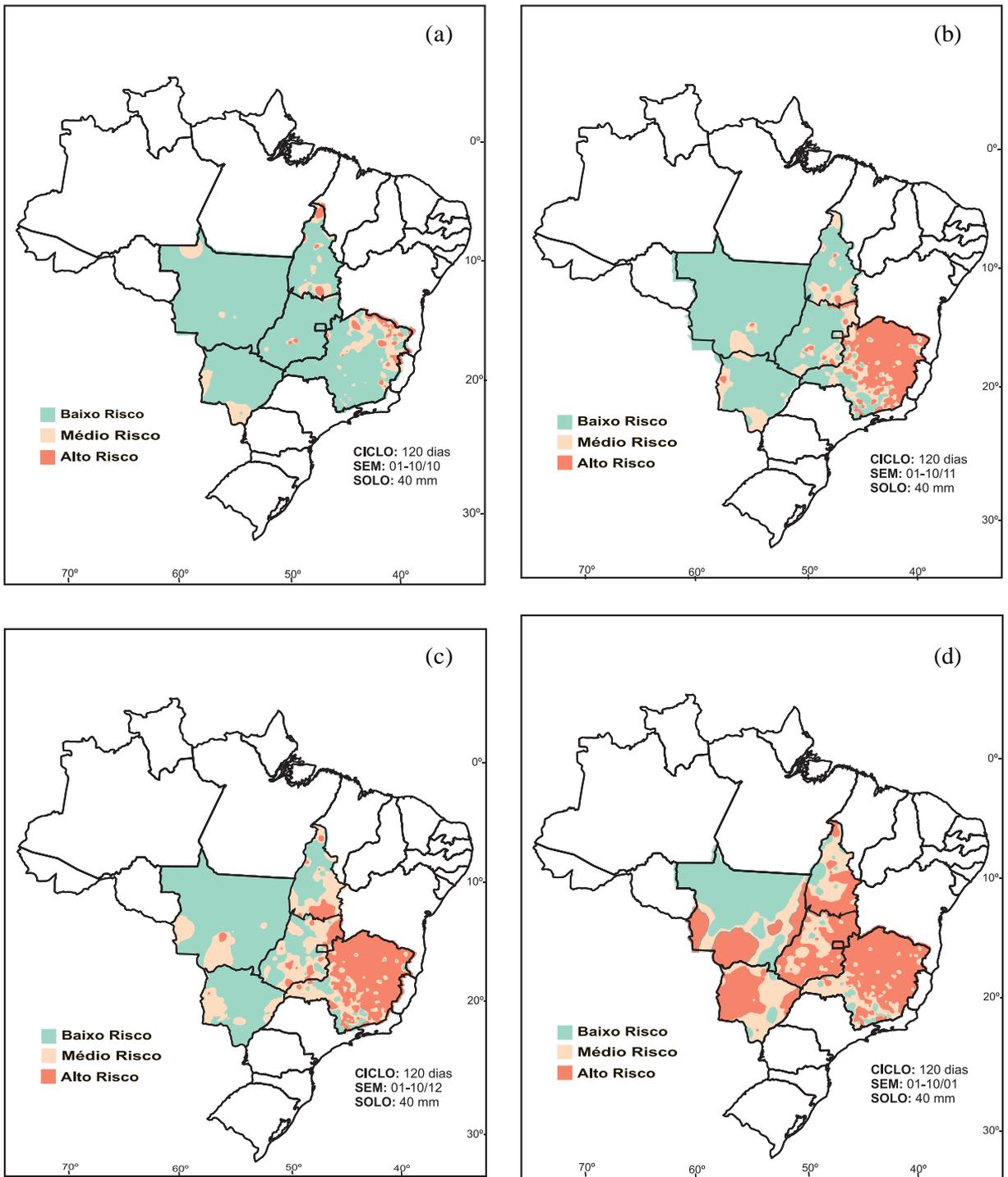


Figura 2. Espacialização de riscos climáticos da cultura do milho de sequeiro (120 dias), semeadura entre 01 a 10/10 (a), 01 a 10/11 (b), 01 a 10/12 (c) e 01 a 10/01 (d), considerando-se um solo de capacidade de armazenamento de água de 40 mm, para os estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Tocantins.

Conclusões

- De forma geral, o risco climático para o milho de sequeiro aumenta com o avanço no tempo, chegando a atingir, em todos os estados, condições de semeadura, altamente, desfavoráveis a partir de janeiro. A capacidade de armazenamento de água do solo deve ser considerada, uma vez que o risco climático decresce com o aumento da disponibilidade de água do solo. Portanto, em condições de sequeiro, o estabelecimento do nível de risco climático deve ser feito levando em consideração a interação clima e solo.
- Deve-se ressaltar que a inclusão de uma área na condição desfavorável para semeadura não significa que a mesma é inapta. A área desfavorável pode ser, perfeitamente, utilizada desde que se use tecnologias apropriadas que venham a reduzir ou mesmo eliminar o estresse hídrico.
- Nos estados de Minas Gerais, Goiás, Tocantins, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, a melhor época de semeadura para milho na safra de verão é no mês de outubro, e o atraso da semeadura implica aumento de risco climático, principalmente, à medida que reduz a capacidade de armazenamento de água do solo. Essa variabilidade espacial e temporal dos riscos climáticos, possibilita delimitar áreas onde são necessárias técnicas para minimizar o efeito do estresse hídrico.
- A precipitação pluvial é altamente heterogênea em todos os estados. Essa heterogeneidade de distribuição da precipitação pluvial aliada à grande variabilidade espacial dos solos, possibilita compreender a grande variabilidade de riscos e, com isso, estabelecer o manejo mais adequado para a cultura de milho, visando reduzir riscos.

Referências bibliográficas

ALLARD, R.D., BRADSHAW, A.D. Implications of genotypes-environment interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, Madison, v.4, p.503-550, 1964.

ANDRADE, C.L., SEDIYAMA, G.C., COUTO, L. et al. Balanço de água num Latossolo Vermelho-Escuro álico

cultivado com milho com irrigação por aspersão. **Ceres**, Viçosa, v.35, n.197, p.89-104, 1988.

ASSAD, E.D. **Chuva no cerrado**. Análise e espacialização. Brasília: EMBRAPA-CPAC- SPI, 1994. 423p.

ASSAD, E.D., SANO, E.E. **Sistema de informações geográficas**: aplicações na agricultura. Brasília: EMBRAPA-SPI/EMBRAPA-CPAC, 1998. 2ed., 434p.

BYTH, D.E., EISEMANN, R.L., DE LACY, H.I. Two-way pattern analysis of a large data set to evaluate genotype adaptation. **Heredity**, Harlow, v.37, n.2, p.215-230, 1976.

CORRÊA, L.A. **Ensaio nacionais de milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 1995.

DOORENBOS, J., PRUITT, W. **Crop water requirements**. Rome: Food and Agriculture Organization, FAO, 1975. 179p. (Irrigation and drainage paper, 46).

EMBRAPA MILHO E SORGO. **Relatório técnico anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, 1988-1991**. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 1992. 247p.

EMBRAPA MILHO E SORGO. **Relatório técnico anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, 1992-1993**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1994. 236p.

EMBRAPA MILHO E SORGO. **Relatório técnico anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, 1994-1995**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1996. 217p.

EPAMIG. **Levantamento de reconhecimento com detalhes dos solos do distrito agroindustrial de Jaíba, Minas Gerais**. 1976. 242p. (Boletim técnico, 54).

EPAMIG. **Levantamento de reconhecimento detalhado de solos da área de influencia do reservatório de Três Marias, Minas Gerais**. 1978. 269p. (Boletim técnico, 58).

FERNANDES, B., RESENDE, M., REZENDE, S.B. Caracterização de alguns solos sob cerrado e disponibilidade de água para as culturas. **Experientiae**, Viçosa, v.24, n.9, p.209-260, 1998.

FREIRE, J.C. Água disponível em dois solos do município de Lavras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15., 1976, Campinas. **Resumos...** Campinas: SBCS, 1976. p.75-80.

LAZAROTTO, C., URCHAI, M.A., TEIXEIRA, M.R.O. et al. **Época de semeadura e zoneamento agrícola. Milho informações técnicas**. Dourados: Embrapa, Centro de Pesquisa do Oeste, 1997. p.86-99. (Circular técnica, 5).

LOPES, O.P. **Caracterização de Latossolos Vermelho Escuro no Norte de Minas Gerais**. 1977. 89p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1977.

MALUF, J., MATZENAUER, R. **Zoneamento agroclimático da cultura do milho por épocas de**

semeadura no estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: FEPAGRO, 1995. 75p. (Boletim, 1).

MEIRELES, E.J.L., SILVA, S.C., ASSAD, E.D. et al. **Zoneamento agroclimático para o arroz de sequeiro no estado do Tocantins.** Goiânia: EMBRAPA-CNPAF/APA, 1995. 18p. (Documentos, 58).

OLIVEIRA, L.B. **Estudo do sistema solo-água-planta em solos do Nordeste.** Ministério da Agricultura, CNPEA, IANE, 1960. 80p. (Boletim técnico, 14).

OLIVEIRA, L.B., MELO, V. Caracterização físico-hídrico do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.5, n.3, p.35-48, 1970.

SANS, L.M.A., GAMA, E.G., OLIVEIRA, A.C.E. Graus

dias como um método de definir maturação de cultivares de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 20., 1994, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: ABMS, 1994.

SANS, L.M.A., SANTOS, N.C. Resposta de cultivares de milho a variações climáticas. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 19., 1992, Porto Alegre. **Resumos...** Porto Alegre, 1992.

SMITH, L.A. Cropwat. **Programa de ordenadores para planificar y manejar el riego.** Roma: FAO, 1993. 134p. (Estudio FAO Riego y Drenage, 46).

THORNLEY, J.H.M. **Mathematical models on plant physiology.** London: Academic Press, 1976. p.92-100.