



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Risco climático para milho no Brasil em cenários de mudanças climáticas



no período 2011-2040

José Eduardo B. A. Monteiro¹; Giampaolo Q. Pellegrino²; Eduardo D. Assad³; Alan M. Nakai⁴; Aryeverton F. de Oliveira⁵; Eduardo M. Pavão⁶

¹Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, Embrapa Informática, Campinas, SP, (19) 3211-5876 eduardo.monteiro@embrapa.br;

² Eng. Florestal, Dr., Pesquisador, Embrapa Informática, Campinas, SP;

³ Eng. Agrícola, Dr., Pesquisador, Embrapa Informática, Campinas, SP;

⁴ Ciência da Computação, Dr., Analista, Embrapa Informática, Campinas, SP;

⁵ Economista, Dr., Pesquisador, Embrapa Informática, Campinas, SP;

⁶ Eng. Agrônomo, Consultor, Embrapa Informática, Campinas, SP;

RESUMO: No Brasil, a água para culturas agrícolas é proveniente quase que exclusivamente da chuva, o que faz com que a disponibilidade hídrica seja um dos principais fatores de risco para a agricultura. O objetivo deste trabalho foi avaliar o risco climático no Brasil associado à disponibilidade hídrica para a cultura do milho em cenários de mudanças climáticas. O risco climático foi calculado com base na frequência com que o índice de satisfação das necessidades de água (ISNA) da cultura fica abaixo de um determinado valor razoável para a produtividade da cultura. O ISNA foi calculado com base no balanço hídrico da cultura considerando 36 datas de plantio por ano, ou seja, uma para cada decêndio. Foi utilizada uma cultura de milho hipotética com características médias normalmente encontradas no Brasil, com ciclo de 130 dias, capacidade de água disponível de 50 mm, uma curva de Kc entre 0,4 e 1,3 e um ISNA mínimo de 0,55. O local foi considerado de alto risco quando apresentou uma frequência $\geq 20\%$ dos anos com ISNA menor que o mínimo. Os cálculos foram realizados para cerca de 2800 pontos distribuídos pelo Brasil, com séries de dados meteorológicos do período de 1976 a 2005, sendo este o período de referência. As séries futuras foram reconstruídas com os deltas de temperatura mensais obtidos a partir dos modelos regionalizados ETA-HadGen2-ES e ETA-Miroc5, RCP 8,5, produzidos pelo INPE. Os resultados pontuais foram espacializados, tanto para o período de referência como para os cenários futuros, e quantificados apenas no total de áreas agricultáveis. Os resultados evidenciam uma tendência predominante de redução de áreas de baixo risco climático do Brasil, nos dois modelos estudados, sendo mais graves na região sudeste. Os resultados obtidos a partir do modelo HadGen2-ES indicam redução de 16% nas áreas agricultáveis de baixo risco, e de 1,4% com Miroc5.

PALAVRAS-CHAVE: mudanças climáticas, milho, risco climático

Climatic risk for corn in Brazil in climate change scenarios in the period 2011-2040

ABSTRACT: In Brazil, the water for crops comes almost exclusively from the rain, what makes the water availability one of the main risk factors for agriculture. The objective of this study was to evaluate climate risk in Brazil associated with water availability for maize in climate change scenarios. Climate risk was calculated based on the frequency that the level of water satisfaction (ISNA) for the crop is below a certain value, reasonable to the crop yield. The ISNA was calculated based on the crop water balance considering 36 planting dates a year, that is, one for each ten-day period. A hypothetical maize culture with average features normally found in Brazil were used, such as 130-day cycle, soil water holding capacity 50 mm, Kc curve between 0.4 and 1.3 and minimum ISNA of 0.55. The site was considered of high risk when presented a $\geq 20\%$ frequency of years with ISNA less than the minimum.



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:



O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Calculations were performed for about 2800 points over Brazil, with meteorological data series from 1976 to 2005, which is the reference period used. The future series were constructed using monthly temperature deltas obtained from regionalized models ETA-HadGen2-ES and ETA-Miroc5, RCP 8.5, produced by INPE. The specific results were spatially distributed, for both the reference period and for future scenarios, and quantified only in the amount of arable land. The results show a predominant trend of reduction of low climate risk areas of Brazil, with worse results in the Southeast. The results obtained from the model ES-HadGen2 indicate a reduction of 16% in the arable lands of low risk, and 1.4% with Miroc5.

KEYWORDS: climate change, maize, climate risk

INTRODUÇÃO

A variabilidade natural das condições meteorológicas, caracterizadas por precipitação, temperatura, radiação solar, umidade e vento, podem causar diferentes eventos como secas, tempestades, ondas de calor, ondas de frio e subida do nível do mar. Estes eventos, por sua vez, podem gerar diversos impactos em plantações e rebanhos, como a falta ou o excesso de água, surtos de pragas e doenças, inundações de terras produtivas, incêndios de florestas naturais ou plantadas, entre outros, todos resultando em redução da produtividade agrícola (MARENGO et al., 2011).

O risco climático pode ser analisado através do produto da probabilidade pela severidade do impacto. No entanto, é difícil estimar o impacto preciso de uma determinada condição climática na agricultura. Por isso, o risco agroclimático tem sido tratado no Brasil mais comumente na forma de frequência de ocorrência.

O cálculo da probabilidade de ocorrência dessas condições é normalmente baseado na análise de séries temporais das variáveis envolvidas. Assim, estes estudos dependem de séries de dados meteorológicos medidos por um período longo o suficiente para que seja representativo da variabilidade natural das condições locais analisadas. A Organização Meteorológica Mundial (OMM) define Normais Climatológicas como valores médios calculados para um período de, no mínimo, três décadas consecutivas. Porém, quando esse período não for possível, Normais Provisórias podem ser calculadas sobre um período mínimo de 10 anos (Organização Meteorológica Mundial, 1989). Por isso, na prática, períodos mais curtos têm sido aproveitados em estudos de caracterização de risco agroclimático.

As condições de risco dependem da cultura considerada e de sua fase de desenvolvimento, sendo influenciadas pelo solo e pelo manejo adotado. No Brasil, o suprimento hídrico para culturas agrícolas, inclusive pastagens, florestas e pomares, é proveniente quase que exclusivamente da chuva. Estima-se que apenas 5% das áreas agrícolas nacionais sejam irrigadas (PAZ et al., 2000).

O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas mais importantes da agricultura brasileira, plantada em mais de 15 milhões de hectares e com uma produção aproximada de 80 milhões de toneladas em 2013 (IBGE, 2015). A produtividade desta cultura é fortemente afetada pelo estresse hídrico (WELCKER et al., 2007). Portanto, nas áreas não irrigadas, as lavouras de milho encontram-se sujeitas às variações naturais da chuva, tanto em quantidade quanto em distribuição, o que faz com que este seja um dos principais fatores de risco para o milho no Brasil.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os impactos de cenários de mudanças climáticas na distribuição de áreas de baixo e alto risco hídrico para a cultura do milho no Brasil.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o cálculo de estimativa da disponibilidade hídrica para a cultura ao longo do ciclo, foi utilizado o modelo de balanço hídrico chamado Bipzon (FOREST, 1984). O modelo BIPZON estima o desenvolvimento da planta em função do consumo de água e das disponibilidades hídricas da região. Os principais dados de entrada para esse modelo são: chuva diária, temperatura diária para estimativa da evapotranspiração potencial estimada pelo método de Camargo (CAMARGO, 1971), coeficientes de cultura, duração do ciclo e das fases fenológicas da cultura e capacidade de água disponível do solo em função do sistema radicular. Foi definida uma cultivar hipotética com ciclo de 130 dias, com coeficientes de cultura (K_c) aumentando de 0,4, na emergência, para 1,2, no florescimento, e decrescendo a 0,6 na maturação plena. Foi considerada, ainda, uma capacidade de água disponível (CAD) de 50 mm, normalmente utilizada para milho em solos de textura média (MALUF et al., 2001).

Foram feitas simulações para 36 datas de semeadura, correspondendo a quinto dia de cada decêndio do ano (1 a 10/jan, 11 a 20/jan, 21 a 31/jan, e assim por diante). As simulações foram repetidas em todas as datas de plantio ao longo de toda a série de dados meteorológicos. Dessa forma, para séries de 30 anos, foram gerados cerca de 30 simulações para cada decêndio de plantio. Ao todo, foram simulados cerca de 2.016.000 ciclos de cultivo, considerando-se as interações entre as 2800 estações pluviométricas, 36 datas de semeadura e séries de dados meteorológicos com duração entre 15 e 30 anos. Nos Estados do Sul do Brasil, foi considerado apenas o intervalo de semeadura entre setembro e fevereiro, pois semeaduras em meses fora desse intervalo resultam em fases do ciclo submetidas a temperaturas muito frias ou geada que inviabilizam a cultura nessas épocas.

A partir dos resultados do balanço hídrico, foram estimados os índices de satisfação das necessidades de água (ISNA) médios para o período crítico da cultura, compreendido entre pré-florescimento e o enchimento de grãos. O ISNA é definido como a relação existente entre a evapotranspiração real (ET_r) e a evapotranspiração potencial da cultura (ET_c). Foi calculado o ISNA correspondente a 80% da curva de distribuição de frequência da série de dados de cada estação pluviométrica (ISNA₈₀). Esses valores foram interpolados por krigagem ordinária para a espacialização dos dados em todo o Brasil. Para a classificação de áreas de alto e baixo risco, foi considerado foi considerado um ISNA₈₀ mínimo de 0,55, valor favorável à produtividade do milho (MALUF et al., 2001; SANS et al., 2001). As regiões com ISNA₈₀ inferior a 0,55 foram classificadas como de alto risco. As regiões com ISNA₈₀ superior a 0,55 foram classificadas como de baixo risco. Essa é a mesma metodologia adotada atualmente no Zoneamento Agrícola de Risco Climático, usado pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento como instrumento de política agrícola para o seguro rural brasileiro.

Os mapas de risco foram gerados para o período atual ou de referência (1976 a 2005) e para o período de 2011 a 2040. Os mapas finais foram consolidados a partir dos resultados de todos os decêndios, ou seja, os locais que obtiveram pelo menos um decêndio de baixo risco, foram considerados como de baixo risco. Os valores de cenários futuros foram obtidos pela alteração dos valores do período de referência, de acordo com as variações para chuva e temperatura projetadas para os cenários dos modelos climáticos regionalizados ETA-HadGen2ES RCP-8.5 e ETA-Miroc5 RCP-8.5, produzidos pelo CPTEC/INPE. O RCP 8.5 se refere ao caminho de concentração representativo de 8,5 w.m⁻², cujas projeções são as mais próximas dos valores reais observados na última década

Todas essas operações são executadas de forma automatizada, desde a seleção dos parâmetros de cultura até a interpolação dos mapas, no Simulador de Cenários Agrícolas (SCenAgri) do Laboratório de Modelagem Agroambiental (LMA) da Embrapa Informática Agropecuária (CNPTIA) (NAKAI, 2013). Posteriormente, os mapas de risco foram processados em software GIS para identificação das áreas antropizadas atuais, em condição agricultável, ou seja, excluindo reservas indígenas, reservas



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:



O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

florestais, áreas de preservação permanente, corpos d'água, unidades de conservação e áreas com declividade superior a 18%, com base nos *shapefiles* do PROBIO 2008 (MMA, 2015). As variações de área foram contabilizadas com base nas áreas antropizadas agricultáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados dos modelos climáticos HadGen2-Es e Miroc5, gerados para cenários futuros de mudança climática, indicam, invariavelmente, aumentos médios de temperatura em todo o território Nacional. Além disso, indicam, ainda, mudança dos padrões médios de precipitação, com predominância de redução dos totais mensais de precipitação. Em alguns casos menos frequentes, o modelo Miroc5 indica aumento médio nos totais de chuva em algumas áreas do país e durante alguns meses do ano. Assim, de forma geral, isso sugere agravamento das restrições hídricas para a produção de culturas agrícolas no futuro, tanto pelo aumento do consumo ou demanda hídrica, provocada pelo aumento das temperaturas, como pela redução da oferta hídrica, dada pela diminuição das chuvas.

As Figuras 1 e 2 ilustram o resultado espacializado das variações de áreas agricultáveis potenciais de alto e baixo risco climático na condição atual (1976-2005) e nos cenários futuros (2011-2040) para milho, no Brasil. Com base nesses resultados, é possível visualizar as alterações de áreas de alto e baixo risco climático projetados para os cenários futuros nas diferentes regiões brasileiras.

Uma extensa área com alto risco encontra-se na região do semi-árido brasileiro, se estendendo por terras de todos os Estados do Nordeste, exceto Maranhão, abrangendo o norte de Minas Gerais e do Espírito Santo (Figura 1). Nessa região, o alto risco deriva da condição média de poucos meses de chuva durante o ano. Além disso, mesmo os meses mais chuvosos apresentam baixa pluviosidade se comparado a outras regiões do país. Os períodos mais secos ocorrem naturalmente associados a valores elevados de insolação – devido à baixa nebulosidade – e, conseqüentemente, valores também elevados de temperaturas, valores baixos de umidade do ar e altos de demanda hídrica.

No Brasil, a maior parte da área agrícola do país está situada em regiões sujeitas a restrições hídricas mais ou menos intensas, mesmo durante as estações mais favoráveis de cultivo e essa é a principal causa da variabilidade da produção agrícola nacional. Em todas as regiões, as restrições devido a temperaturas altas extremas estão, até o presente, normalmente associadas a períodos mais longos de estiagem. Ao redor de 80% da variabilidade da produção agrícola no mundo devem-se à variabilidade das condições meteorológicas durante o ciclo de cultivo, especialmente para as culturas de sequeiro (Hogenboom, 2000).

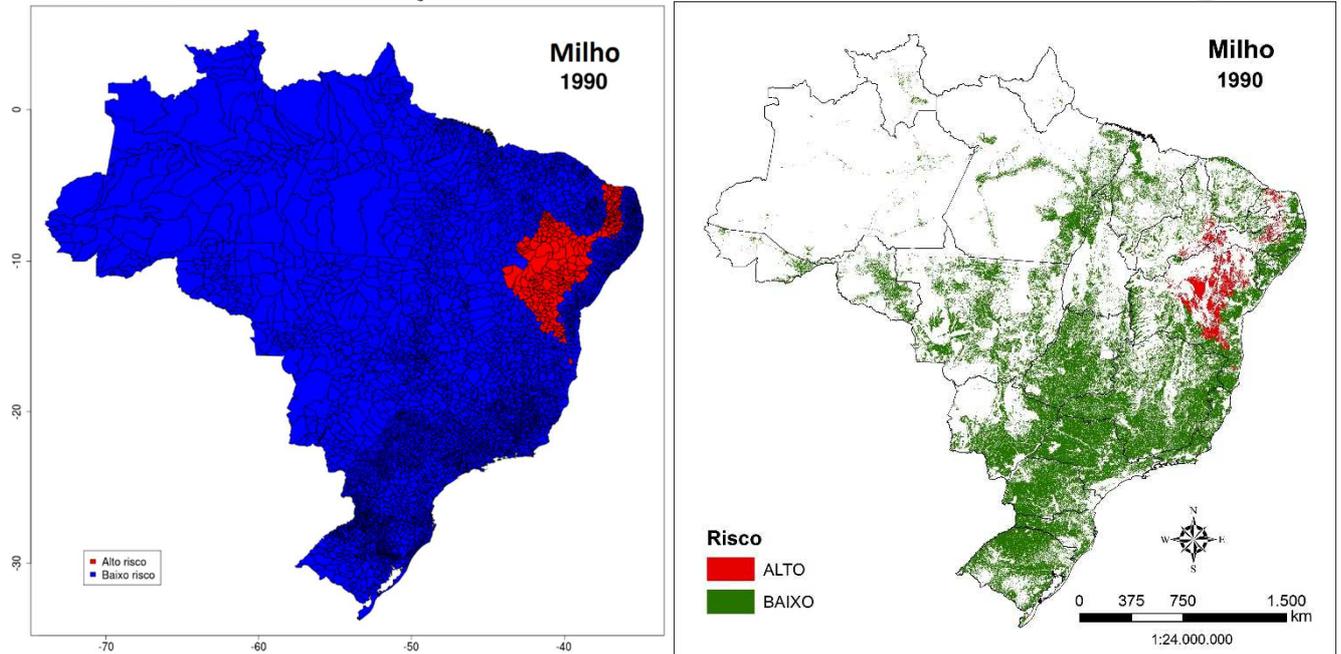


Figura 1. Classificação de alto e baixo risco climático para a cultura do milho no Brasil com base em dados do período 1976-2005 (1990 como ano central) (A) e áreas agrícolas agricultáveis de baixo e alto risco (B).

Comparando o período de referência com o cenário futuro do modelo Hadgen2-ES (Figura 2), observa-se aumento de áreas de alto risco, e consequente diminuição das áreas de baixo risco. Na região nordeste, a borda oeste da área de alto risco se expande da região leste do Piauí para o extremo oeste do Estado e chegando próxima ao Maranhão, incluindo boa parte do sul do Estado. Na Bahia, se expande da região central para áreas mais a oeste e ao sul do Estado. A fronteira sul da área de alto risco que terminava no sul da Bahia, se expande largamente adentrando em boa parte do Estado vizinho, passando a ocupar praticamente toda a metade norte do Estado de Minas Gerais. Passa a englobar todo o Espírito Santo e partes do norte Rio de Janeiro.

Além disso, surgem novas áreas de alto risco. Uma no oeste do Mato Grosso do Sul e outra ocupando o oeste de São Paulo e noroeste do Paraná. Essas áreas apresentam um período chuvoso e totais mensais de chuva maiores do que a região de alto risco descrita no Nordeste e uma estação seca bem definida no ano, com uma distribuição de chuvas típica das regiões centrais do Brasil, de Cerrado. No entanto, a estação chuvosa também é marcada pela ocorrência de veranicos, mesmo na condição atual. Nessa situação, o aumento das temperaturas e a redução de pluviosidade projetados pelo modelo HadGEN2-ES foi suficiente para alterar a classificação de risco dessas áreas. Dessa forma, estas áreas apresentam alto risco não tanto pela falta de precipitação mas pela distribuição irregular das chuvas no período chuvoso.

Fazendo a mesma comparação com os resultados a partir dos dados do modelo MIROC5 (Figura 2), observa-se a mesma tendência de ampliação das áreas de alto risco, principalmente no Estado da Bahia, ao sul. Rio Grande do Norte e Paraíba também passam a exibir maiores porções de área de alto risco. A diferença, no entanto, é que o aumento é bem menor que o ocorrido com dados do HadGen2-ES, não atingindo a mesma amplitude. Além disso, houve retração de áreas de alto risco que se localizavam próximas à fronteira leste do Piauí. Os resultados do aumento da temperatura e diminuição das chuvas do modelo MIROC5, de uma maneira geral, são menores que os do Hadgen2-ES, o que explica essas diferenças na expansão das áreas de alto risco.

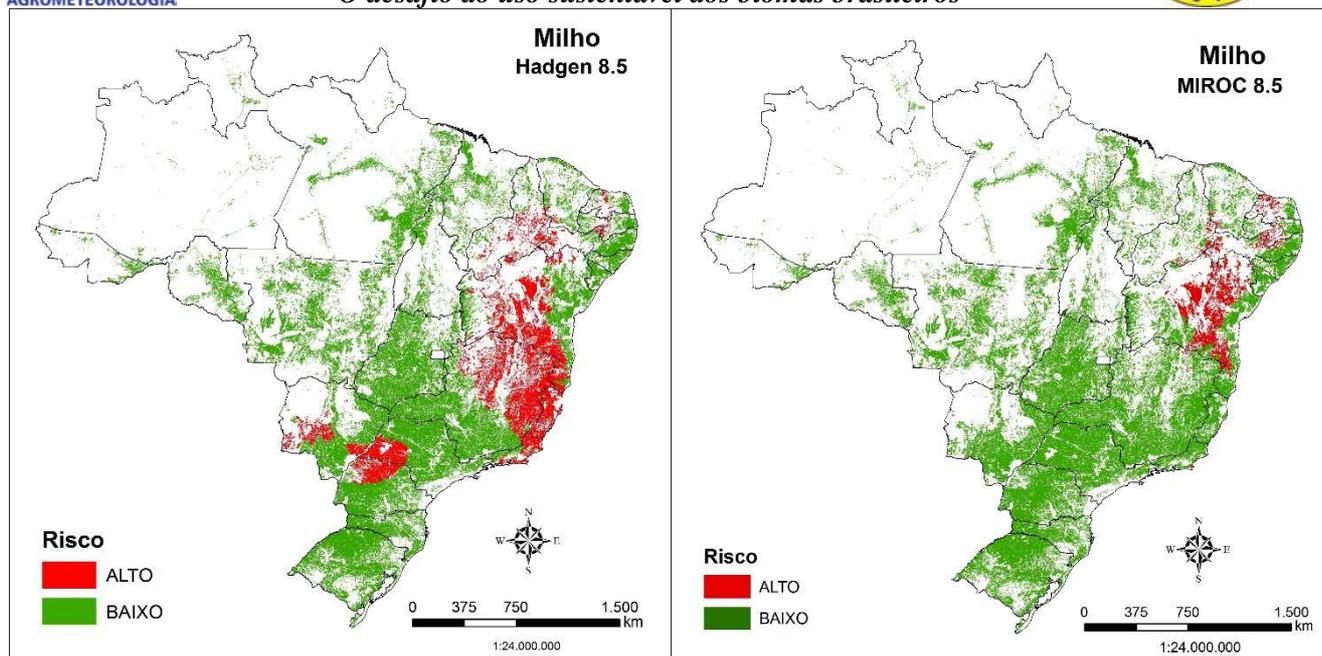


Figura 2. Áreas agrícolas agricultáveis do Brasil com a classificação de alto e baixo risco climático para a cultura do milho com base em dados do modelo regional ETA-HadGEN2-ES e ETA-Miroc5, RCP 8.5, para o período 2011-2040.

Para a cultura do milho, as estimativas indicam redução de área da ordem de até 16% para o cenário do modelo HadGen2-ES e de até 1,4% para o do modelo Miroc5, para o Brasil como um todo (Tabela 1). Considerando os resultados obtidos a partir do modelo HadGen2-ES de forma regionalizada, a região mais afetada quanto às áreas de baixo risco seria o Sudeste do Brasil, com variação de -40%. Considerando os resultados obtidos a partir do modelo Miroc5, a região mais afetada seria o Nordeste, com variação de -7%. A região menos alterada seria o Norte do Brasil, sem variações no total de áreas de baixo risco, nos dois modelos.

Tabela 1 - Total de área agrícola (A.a.) agricultável de baixo risco climático para milho no período de referência (1976-2005) centrado em 1990, e percentual da A.a.; totais de área agrícola de baixo risco climático e da variação percentual para os cenários futuros (2011-2040) dos modelos HadGen2-ES e MIROC5, RCP 8.5.

| Área Agrícola (A.a.) Brasil | A.a. de baixo risco para milho - 1990 | | A.a. de baixo risco HadGen2ES (2011-40) | | A.a. de baixo risco MIROC (2011-40) | |
|--------------------------------|------------------------------------------|-----------|--------------------------------------------|----------|----------------------------------------|----------|
| | (ha) | % da A.a. | (ha) | Variação | (ha) | Variação |
| 235.865.565 | 223.575.351 | 94,8% | 187.706.368 | -16,0% | 220.454.667 | -1,4% |

Uma questão importante a ser considerada na interpretação destes resultados é que os municípios são considerados de baixo risco quando apresentam pelo menos um decêndio de plantio de baixo risco. Esse critério pode gerar uma perspectiva mais otimista do que realista para algumas regiões.

Baseado nos aumentos projetados médios de temperatura, o efeito deletério direto de temperaturas muito altas ainda seria negligível no período de 2011 a 2040 para milho, mas devem se tornar cada vez mais frequentes (dados não apresentados). Por isso, é possível afirmar que, no Brasil, no período projetado de 2011 a 2040, os impactos de mudanças climáticas na agricultura significam,



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:



O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

essencialmente, aumento na deficiência hídrica média dos cultivos e consequente redução dos níveis de produtividade.

Em outras palavras, a mudança climática no Brasil representa, para agricultura, maior risco devido a menor disponibilidade e a maior necessidade de água pelos cultivos.

A disponibilidade de água, ou falta de, será um problema cada vez maior e mais frequente para os sistemas de produção de alimentos. Num clima mais quente e, provavelmente, menos chuvoso, os impactos potenciais projetados podem ser gravíssimos, como demonstrado nas simulações apresentadas. Mesmo com alguns resultados positivos derivados de projeções de aumento de chuva com o Miroc5, nos meses do final da estação chuvosa no Brasil central (dados não apresentados), a maioria das regiões é afetada negativamente.

Apesar das incertezas ainda associada às projeções futuras de modelos climáticos, é importante considerar o histórico sobre o assunto. Os primeiros estudos sobre mudanças climáticas datam da década de 1970 (MANABE; WETHERALD, 1980), e o primeiro relatório do IPCC foi publicado em 1990 (IPCC, 1990). Dos primeiros estudos até o presente AR5, mais de três décadas já se passaram, e grandes avanços no conhecimento sobre o assunto foram conseguidos. Além disso e, talvez até mais importante, é preciso considerar os dados já observados e medidos no transcorrer desses mais de 30 anos até o presente, bem como as tendências e alterações já identificada a partir desses resultados observados. O último relatório do IPCC, o AR5 (IPCC, 2014), dedicou o primeiro tópico inteiro do Relatório Síntese para tratar das “mudanças observadas e suas causas”, onde destacou as alterações presentes em relação ao passado, bem como sua congruência com as tendências projetadas para o futuro.

Com esses resultados, tem-se um intervalo relativamente abrangente de situações que podem, a partir das alterações já constatadas no presente, vir a se agravar no futuro. As recomendações de adaptação devem ser planejadas e dimensionadas com base nesses cenários possíveis.

CONCLUSÕES

Os resultados evidenciam uma tendência geral de aumento do risco climático no período futuro 2011-2040, resultante dos aumentos de temperatura e redução da precipitação na maior parte do território brasileiro, com redução de áreas potenciais para o cultivo de milho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMARGO, A. P. Balanço hídrico no estado de São Paulo. Boletim n.116. Campinas: IAC, 24p., 1971.

FOREST, F. Simulation du bilan hydrique des cultures pluviales. Présentation et utilisation du logiciel BIP. Montpellier: IRAT-CIRAD, 1984. 63p.

HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its application. **Agricultural and Forest Meteorology**, 103, 137-157, 2000.

IBGE. Banco de Dados Agregados. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 18 jun. 2015.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. WGII AR5: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability: Summary for Policymakers, 2014.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. WGII FAR: Climate Change: The IPCC Impacts Assessment Tegar, W.J. McG.; Sheldon, G.W.; Griffiths, D.C. (eds.). Australian Government



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Publishing Service, Camberra, Australia. 1990. 294 p.



MALUF, J.R.T. et al. Zoneamento de risco climáticos para a cultura de milho no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 460-467, 2001.

MANABE, S.; WETHERALD, R.T. On the distribution of climate change resulting from an increase in carbon content of the atmosphere. *Journal of Atmospheric Science*, v. 37, n. 1, pp. 99-118, 1980.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Cadastro Nacional de Unidades de Conservação: Dados Georreferenciados**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs/dados-georreferenciados>. Acesso em: 01 nov. 2014.

NAKAI, A.M. Otimizando o Hadoop MapReduce para Tarefas Pequenas: um estudo envolvendo simulações de cenários agrícolas. **Comunicado Técnico 115**. Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, 5 p., 2013.

SANS, L. M. A.; ASSAD, E. D.; GUIMARÃES, D. P.; AVELLAR, G. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de milho na Região Centro-Oeste do Brasil e para o Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.9, n.3, p. 527-535, 2001.

WELCKER, C.; BOUSSUGE, B.; BENCIVENNI, C.; RIBAUT, M.; TARDIEU, F. Are source and sink strengths genetically linked in maize plants subjected to water deficit?: a QTL study of the responses of leaf growth and of Anthesis-Silking Interval to water deficit. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 58, p. 339-349, 2007.