

NECESSIDADE HÍDRICA DA CULTURA DO MILHO INFLUENCIADA PELAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO SEMIÁRIDO NORDESTINO

EDMILSON GOMES CAVALCANTE JUNIOR¹, JOSÉ FRANCISMAR DE MEDEIROS¹,
ISAAC ALVES DA SILVA FREITAS¹, ANNA KÉZIA SOARES DE OLIVEIRA¹,
JOSÉ ESPÍNOLA SOBRINHO¹, JOÃO PAULO NUNES DA SILVA¹
e THIERES GEORGE FREIRE DA SILVA¹

¹Universidade Federal Rural do Semi-Árido Brasil, ediguatu@yahoo.com.br; jfmedeir@ufersa.edu.br; isaacntn@outlook.com;
annakezia@outlook.com; jespínola@ufersa.edu.br; jppoty@hotmail.com; thieres.silva@ufrpe.br;

Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.17, n.2, p. 251-262, 2018

RESUMO - O presente trabalho teve como objetivo verificar os impactos das mudanças climáticas no desenvolvimento e evapotranspiração do milho, no semiárido brasileiro. O trabalho foi desenvolvido nos municípios de Apodí, Ipanguaçu e Mossoró, todos eles localizados no estado do Rio Grande do Norte. A determinação da evapotranspiração da cultura (ET_c), em suas diferentes fases, foi realizada através de lisímetros de pesagem. Para verificar a influência das mudanças climáticas no consumo hídrico da cultura foram simuladas alterações na temperatura e na umidade relativa do ar, através do modelo climático PRECIS. Foram avaliados dois cenários de emissões baseados no relatório do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), um pessimista (A2) e um otimista (B2). Os dados de temperatura e umidade relativa utilizados foram as saídas do modelo PRECIS. Segundo as projeções do modelo as temperaturas na região ficarão muito acima do limite ótimo para o desenvolvimento da cultura. A duração do ciclo da cultura apresentou uma redução média de 10 e 15 dias para os cenários B2 e A2, respectivamente. A redução no ciclo também provocou uma diminuição de 3,0% na evapotranspiração total, considerando o cenário mais otimista, e de 4,4% no cenário mais pessimista.

Palavras-chave: *Zea mays*, temperatura, umidade relativa, evapotranspiração.

DEVELOPMENT AND WATER REQUIREMENT OF MAIZE CROP AFFECTED BY CLIMATE CHANGES IN THE SEMIARID REGION OF THE BRAZILIAN NORTHEAST

ABSTRACT - This study aimed to determine the impacts of climate changes on growth and evapotranspiration of maize in the Brazilian semiarid region. The study was conducted in the municipalities of Apodí, Ipanguaçu and Mossoró, all of them located in the state of Rio Grande do Norte. The determination of evapotranspiration (ET_c) throughout the different crop phases was accomplished by weighing lysimeters. In order to check the effect of climate changes on crop water consumption, simulated changes were done in the temperature and relative humidity of the air, through the PRECIS climate model. Two scenarios of emissions were evaluated based on the IPCC report (Intergovernmental Panel on Climate Change): a pessimistic called A2 and an optimistic B2. The data of temperature and relative humidity were obtained by the PRECIS model. According to the model projections, the temperatures in the region will be far above the optimal limit for crop development. The crop cycle showed an average reduction of 10 and 15 days for B2 and A2 scenarios, respectively. The reduction in the cycle also caused a decrease in the total evapotranspiration of 3.0%, considering the most optimistic scenario, and 4.4% in the worst scenario.

keywords: *Zea mays*, temperature, relative humidity, evapotranspiration.

Segundo o relatório do IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) de 2007 a produção de alimentos em todo o mundo pode sofrer um impacto drástico nas próximas décadas por conta das mudanças climáticas provocadas pelo aquecimento global. Devido às incertezas relacionadas às possíveis mudanças nas condições climáticas futuras, muitos pesquisadores têm se mostrado interessados em investigar os impactos que essas mudanças podem ocasionar na agricultura. As pesquisas têm mostrado que o aumento de temperatura pode provocar, de um modo geral, uma diminuição nas regiões aptas para o cultivo dos grãos no Brasil.

Como ferramenta de auxílio, muitos estudos têm sido conduzidos a partir de cenários de projeções futuras do clima, obtidos de vários modelos climáticos globais ou GCMs, tais como, estudos desenvolvidos por Assad et al. (2013) com a cultura do algodoeiro e Costa et al. (2009) com as culturas do milho e feijão. No entanto, há poucos estudos sobre os efeitos das mudanças climáticas sobre culturas irrigadas em regiões áridas e semiáridas (Islam et al., 2012). Vários trabalhos relatam que o milho é uma das culturas básicas mais vulneráveis às intempéries e pode ser muito afetada por possíveis mudanças climáticas futuras (Tao et al., 2004, 2008).

Considera-se que a cultura do milho apresenta alta demanda por água, mas também é uma das mais eficientes no seu uso, isto é, produz uma grande quantidade de matéria seca por unidade de água absorvida. O período de máxima exigência é a fase do embonecamento ou um pouco depois. Desta forma, déficits de água que ocorrem nesse período são os que causam maiores reduções de produtividade (Albuquerque & Resende, 2017).

A cultura do milho vem sendo cultivada nos últimos anos pelos produtores do Rio Grande do Norte em rotação com o melão irrigado no período chuvoso, e com irrigação no período seco. A cultura do milho apresenta grande importância devido à grande área cultivada, ao seu valor nutricional e ao seu papel socioeconômico. É matéria prima básica para uma série de produtos industrializados, gerando emprego e renda para milhares de pessoas que estão envolvidas em sua cadeia produtiva, do transporte à comercialização (Santos, 2012).

Ao se considerar que a condição climática será de fato alterada, com base nesses cenários é possível formular algumas hipóteses sobre a dinâmica da agricultura no Brasil e no mundo (Pellegrino et al., 2007). Tais alterações afetariam diretamente a demanda de irrigação e conseqüentemente a disponibilidade de recursos hídricos, já bastante escassos em regiões áridas e semiáridas.

A evapotranspiração seria uma das variáveis mais afetadas por mudanças nas condições climáticas. Alguns estudos na cultura do milho (Islam et al., 2012; Tao & Zhang 2011) apontam uma redução na necessidade de irrigação em virtude da redução do ciclo vegetativo das culturas provocado pelo aumento nas temperaturas da superfície. No entanto, esta redução no ciclo também provocaria uma redução na produtividade, e uma das estratégias de adaptação para contrabalançar a fenologia acelerada devido ao clima mais quente seria a criação de cultivares de ciclos mais longos, causando um aumento na evapotranspiração total.

Com base no exposto, o presente trabalho teve como objetivo verificar os impactos das mudanças climáticas no desenvolvimento e evapotranspiração do milho, em uma região de clima semiárido do Nordeste brasileiro.

Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido nos municípios de Apodi, Ipanguaçu e Mossoró, todos eles pertencentes ao estado do Rio Grande do Norte.

Em Apodi-RN a área utilizada foi a fazenda experimental pertencente à Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN) (latitude: 5°37'38" S; longitude: 37°49'55" W; e altitude de 150 m); o solo da área foi classificado como Cambissolo Eutrófico, conforme Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (1999).

No Município de Ipanguaçu-RN, também foi utilizada uma fazenda experimental pertencente EMPARN (latitude: 5°32'38" S; longitude: 36°52'31" W; e altitude de 22 m), o solo da área é classificado como Neossolo Flúvico (Sistema..., 1999).

Em Mossoró-RN o trabalho foi conduzido na Fazenda Experimental Rafael Fernandes pertencente à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), localizada na comunidade Alagoinha (latitude 5°03'37" S; longitude 37°23'50" W; e altitude de 72 m), o solo da área é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico latossólico (Sistema..., 1999).

A classificação climática dos municípios, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo BSh, clima semiárido seco, com baixa latitude a altitude (Alvares et al., 2014).

Em cada experimento, o milho foi plantado numa área de 720 m², utilizando-se um espaçamento de 0,75 m entre fileiras e 0,45 m entre plantas. O preparo do solo foi realizado através de subsolagem e em seguida gradagem com grade niveladora. Cada cultura foi implantada praticamente na mesma data nas três localidades. O plantio na área de Apodi foi realizado no dia 20/09/2013 e a colheita realizada em 06/01/2014, perfazendo um total de 109 dias

de cultivo. Em Ipanguaçu o plantio ocorreu no dia 17/09/2013 e a colheita em 08/01/2014, com um total de 114 dias. Na área de Mossoró o período entre o plantio e a colheita foi entre os dias 04/09 e 17/12 de 2013, totalizando 105 dias.

A determinação da ET_c, em suas diferentes fases, foi realizada através de lisímetros de pesagem. Cada área possuía dois lisímetros, com exceção da área experimental de Mossoró com quatro lisímetros. Os lisímetros possuíam dimensões de 1,5 x 1,8 m de área e 0,9 m de profundidade útil (dimensões internas) constituídos de chapa de aço de 1/8", com uma saída para drenagem no fundo da caixa. A caixa interna de aço foi posicionada sobre uma balança que, por sua vez, era ligada a um elemento sensível (célula de carga), conectado a um sistema de aquisição de dados (datalogger).

A calibração dos lisímetros foi realizada para posterior conversão da leitura feita pelo datalogger, dada em milivolts (mV), para massa (kg). Para isto, foi realizada a adição unitária e sucessiva, e posterior subtração, de massas-padrão, com peso conhecido, sobre a superfície do lisímetro, efetuando-se simultaneamente as medições com leituras correspondentes no sistema de aquisição de dados, de forma a coletar valores para aferição posterior. Os dados obtidos foram submetidos à análise de regressão linear.

Próximo a cada local foi instalada uma estação meteorológica contendo sensores de radiação solar global incidente, velocidade e direção do vento, temperatura e umidade relativa do ar e um pluviógrafo, conectados a um sistema de aquisição e armazenamento de dados (datalogger Campbell Scientific, modelo CR3000), programado para coletar dados a cada 5 segundos e as médias e/ou totais a cada 60 min.

A evapotranspiração de referência (ET₀) foi estimada pelo método de Penman-Monteith parametrizado pela FAO (Allen et al., 2006).

Para determinação dos graus dias acumulados foi utilizada a metodologia de Ometto (1981) que é a mais indicada para as simulações, segundo Renato et al. (2013), principalmente em cenários de mudanças climáticas que projetam maiores incrementos da temperatura do ar, pois nesta metodologia utilizam-se as temperaturas basais superior e inferior e considera-se uma penalização maior em dias em que a temperatura máxima ultrapassa a temperatura basal. Neste método a soma térmica apresenta cinco condicionantes, cada uma com determinada equação para cálculo de GD:

- 1) Para $TB > TM > Tm > Tb$

$$GD = \frac{TM - Tm}{2} + Tm - Tb$$

- 2) Para $TB > TM > Tb > Tm$

$$GD = \frac{(TM - Tm)^2}{2(TM - Tm)}$$

- 3) Para $TB > Tb > TM > Tm$

$$GD = 0$$

- 4) Para $TM > TB > Tm > Tb$

$$GD = \frac{2(TM - Tm)(Tm - Tb) + (TM - Tm)^2 - (TM - TB)}{2(TM - Tm)}$$

- 5) Para $TM > TB > Tb > Tm$

$$GD = \frac{1}{2} \cdot \frac{(TM - Tb)^2 - (TM - TB)^2}{TM - Tm}$$

Em que: GD = graus-dia, °C; TM = temperatura máxima do dia, °C; Tm = temperatura mínima do dia, °C; Tb = temperatura basal inferior, °C; e TB = temperatura basal superior, °C.

As temperaturas basais inferior e superior utilizadas no modelo para a cultura do milho foram 10°C e 32°C, respectivamente (Renato et al., 2013).

Para a realização das projeções sobre a influência das mudanças climáticas no consumo hídrico da cultura foram simuladas alterações na temperatura e na umidade relativa do ar. Foram avaliados dois cená-

rios de emissões, baseados no relatório do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), um pessimista denominado A2 e um otimista B2. O cenário A2 é caracterizado por um mundo que opera de forma independente, nações autossuficientes, aumento crescente da população e do desenvolvimento econômico orientado para a região. O cenário B2 descreve um mundo em que a ênfase é sobre soluções locais para sustentabilidade econômica, social e ambiental. É um mundo com continuação do aumento da população mundial a uma taxa menor do que o cenário A2.

Os dados utilizados de temperatura do ar e umidade relativa foram as saídas (“outputs”) das simulações do modelo PRECIS (Providing Regional Climates for Impact Studies), no período de 1961 a 1990 “baselines” e para os cenários futuros A2 e B2, a simulações previstas para o ano de 2100. O mesmo é baseado na terceira geração do modelo regional do Hadley Centre (HadRM3). Como qualquer outro modelo climático regional, PRECIS é impulsionada por condições de contorno, simulados pelos modelos de circulação geral (GCMs). O sistema PRECIS já é utilizado e consolidado como uma importante ferramenta para estudos de vulnerabilidade climática em vários países, a exemplo da Índia (Rao et al., 2013), África do Sul (Tadross et al., 2005) e China (Zhang et al., 2017). Este modelo possui uma resolução horizontal de 50 km com 19 níveis na vertical e 4 níveis no solo.

Foram avaliadas duas situações: a primeira onde se considerou os coeficientes de cultivo (K_c) obtidos nos experimentos e a segunda onde os coeficientes foram ajustados para as condições de mudanças climáticas avaliadas. Os ajustes dos coeficientes de cultivo para as condições de mudanças climáticas foram realizados de acordo com a equação proposta por Allen et al. (2006).

$$K_c = K_{\text{atual}} + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(UR_{\text{min}} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3} \quad (6)$$

Onde: K_c : coeficiente de cultivo ajustado; $K_{\text{(atual)}}$ é o coeficiente de cultivo (se $\geq 0,45$); u_2 é a velocidade média do vento da fase a 2 metros de altura, m s^{-1} ; UR_{min} é a umidade relativa mínima média durante a fase, %; e h a altura média das plantas na fase m.

De posse dos K_{c_s} obtidos nos experimentos e com as novas ET_o decorrentes dos cenários (A2 e B2) foi gerada uma nova ET_c e realizada a comparação da necessidade hídrica da cultura, nas condições climáticas atuais, com as necessidades hídricas para os dois cenários avaliados.

Resultados e Discussão

Na Tabela 1 podem ser vistos a duração média de cada fase da cultura, os coeficientes de cultivo (K_c) obtidos em cada experimento e os coeficientes ajustados para condições de mudanças climáticas avaliadas. Dentre as localidades, Apodi apresentou os maiores valores de K_c em todas as fases, os outros dois municípios apresentaram valores bem próximos. Os maiores valores de K_c encontrados em Apodi podem estar associados aos maiores valores de velocidade do

vento e menores valores de umidade relativa mínima registrados no local. Segundo Allen et al. (2006) os valores de velocidade do vento afetam a resistência aerodinâmica das culturas e, portanto, os valores dos K_c , especialmente as culturas que possuem uma altura significativamente maior que a cultura de referência.

Uma vez que as propriedades aerodinâmicas são mais acentuadas na maioria das culturas agrícolas em comparação com a cultura de referência, o quociente entre a ET_c e a ET_o , ou seja, o K_c , aumenta na maioria das culturas quando a velocidade do vento aumenta e quando a umidade relativa diminui. Portanto, em condições de um ar mais seco e com uma maior velocidade do vento os valores de K_c tendem a ser maiores. Como se pode observar, nos coeficientes ajustados das fases de floração e maturação fisiológica os K_c s sofreram um acréscimo em virtude da redução da umidade relativa mínima simulada pelo modelo.

Efeito do aumento de temperaturas no milho

A temperatura tem um efeito significativo sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas. Cada cultura tem uma faixa ideal de temperatura para

Tabela 1. Duração média das fases fenológicas do milho, graus-dia acumulados por fase (GDA), coeficiente de cultivo (K_c) médio e ajustado para condições de mudanças climáticas, em diferentes locais do estado do Rio Grande do Norte.

Fase	Duração (Dias)	GDA (°C)	Kc				
			Apodi	Mossoró	Ipangaçu	Médio	Ajustado
I - Inicial	27	491	0,56	0,40	0,41	0,45	-
II – Desenvolvimento vegetativo	23	429	0,83	0,75	0,74	0,77	-
III - Floração	35	652	1,11	1,07	1,04	1,07	1,13
IV - Maturidade fisiológica	23	434	0,76	0,64	0,55	0,65	0,71

o seu desenvolvimento, e o desvio desta faixa pode afetar o seu desenvolvimento. Para Assis et al. (2006) a faixa considerada ideal para a cultura do milho está entre 10 e 32 °C. A região em estudo apresenta condições em que suas temperaturas máximas geralmente excedem a temperatura ótima para o desenvolvimento do milho (Tabela 2). Esse problema pode ser mais agravado, como pode ser observado nos dois cenários de mudanças climáticas, ocasionando um efeito negativo sobre o crescimento e desenvolvimento vegetal. Se as previsões do modelo estiverem corretas e as temperaturas chegarem ao patamar esperado pelo cenário A2, o cultivo do milho, bem como de várias outras culturas, ficará seriamente comprometido.

Outro efeito do aumento nas temperaturas é o de acelerar o desenvolvimento da cultura. O ciclo de cada espécie vegetal está relacionado à soma térmica diária necessária para cada cultura completar seu desenvolvimento. O total de graus-dia (GD) acumulados necessários para a cultura atingir a maturidade foi em média 2000 GD (média das três localidades). Como as projeções indicam elevação da temperatura para a região, a cultura tenderá a atingir seu requerimento de energia para completar seu ciclo mais precocemente.

Os resultados das simulações mostraram uma diminuição substancial no tempo de desenvolvimento da cultura no âmbito dos dois cenários de mudanças climáticas esperados para o ano de 2100. A duração

do ciclo na condição atual, que foi em média de 109 dias (média das três localidades), passou para 99 dias no cenário B2 (Figura 1). As alterações previstas para cenário A2 (que representa as taxas de emissões mais elevadas) resultaram em um decréscimo mais acentuado, que apresentou média de apenas 94 dias, 15 dias a menos que a condição atual. Trabalhos com simulações utilizando diferentes modelos apontam resultados semelhantes a estes.

Minuzzi e Lopes (2015), em trabalho realizado na região Centro-Oeste do Brasil, descrevem que são esperadas reduções de 2 a 8 dias em curto prazo (2016-2035) e, predominantemente, de 6 a 11 dias em médio prazo (2046-2065) no ciclo do milho safrinha. Díaz-Ambrona et al. (2013), em trabalho realizado em Honduras, estimaram uma redução de 17 dias no ciclo do milho na cidade de Zamorano e 11 dias nas cidades de Comayagua e la Esperanza. Renato et al. (2013) observaram uma redução de 12 dias no ciclo da cultura do milho, considerando aumentos aleatórios de 0 até 5 °C nos valores observados de temperatura do ar, para as condições de Viçosa-MG. Islam et al. (2012), em trabalho realizado nos Estados Unidos, obtiveram uma redução mais significativa no ciclo da cultura, que passou de 133 dias (condição atual) para 109 e 100 dias, para os cenários B2 e A2, respectivamente.

A duração do ciclo da cultura apresentou uma redução linear com o aumento médio da temperatura

Tabela 2. Valores médios das temperaturas média (Tmed), máxima (Tmax) e mínima (Tmin), e da umidade relativa média (URmed) no período de setembro-janeiro, sob diferentes cenários de mudanças climáticas, baseados no modelo PRECIS.

Local	Atual				B2				A2			
	Tmed	Tmax	Tmin	URmed	Tmed	Tmax	Tmin	URmed	Tmed	Tmax	Tmin	URmed
Apodi	28,2	35,5	22,6	57,4	30,3	37,6	24,7	55,0	31,9	39,3	26,2	53,4
Mossoró	27,1	33,9	21,9	57,9	29,2	36,7	23,5	55,4	30,3	37,8	24,6	53,8
Ipanguaçú	28,2	35,2	21,8	58,1	30,5	37,7	23,8	55,8	32,0	39,4	24,9	54,0

do ar para os dois cenários de mudanças climáticas (Figura 2). O aumento de 1 °C na temperatura média resultou na redução de aproximadamente 4 dias no ciclo da cultura.

Dentre outros danos causados por condições de temperaturas muito elevadas podemos citar problemas na germinação, rendimento, composição proteica dos grãos, polinização e na formação dos grãos. Estudos experimentais e de modelagem relataram quedas

no rendimento de grãos de milho com o aumento da temperatura, devido a uma redução do ciclo de vida e da fase reprodutiva (Siqueira et al., 2000; Hatfield et al., 2011; Minuzzi & Lopes, 2015). Assim, uma estratégia de adaptação potencial, que vem sendo indicada por vários estudos, é o desenvolvimento de cultivares de milho de ciclo mais longo e que possam também tolerar temperaturas mais elevadas (Kapetanaki & Rosenzweig, 1997; Tubiello et al., 2000).

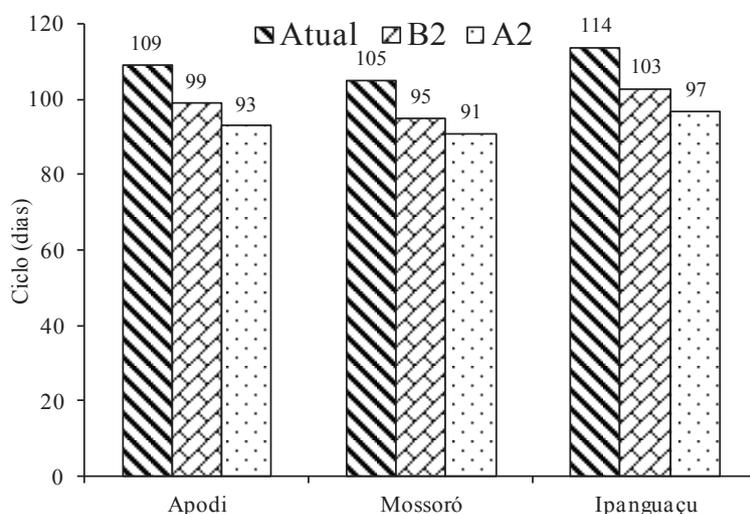


Figura 1. Ciclo da cultura do milho sob diferentes cenários de mudanças climáticas (Atual, A2 e B2), para os municípios de Apodi, Mossoró e Ipanguaçu.

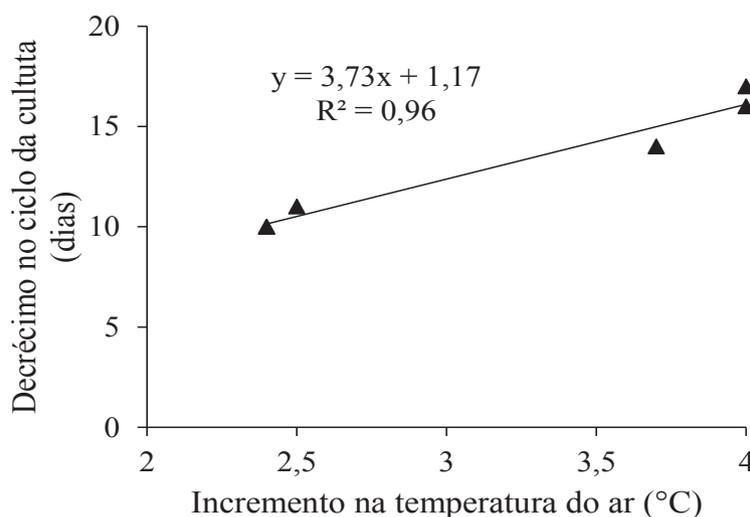


Figura 2. Relação entre o incremento na temperatura do ar e ciclo de desenvolvimento do milho.

Efeito das mudanças climáticas na evapotranspiração do milho

A redução do ciclo da cultura devido ao aumento na temperatura resultou também na diminuição da evapotranspiração total da cultura, em comparação à condição atual, nos dois cenários climáticos avalia-

dos (Figura 3). No entanto, a taxa de evapotranspiração diária (Figura 4) aumentou em virtude também do aumento na temperatura e da redução da umidade relativa do ar.

A evapotranspiração total da cultura foi pouco alterada, tanto no cenário B2 como no A2, quando comparada com a condição atual. No cenário B2 a

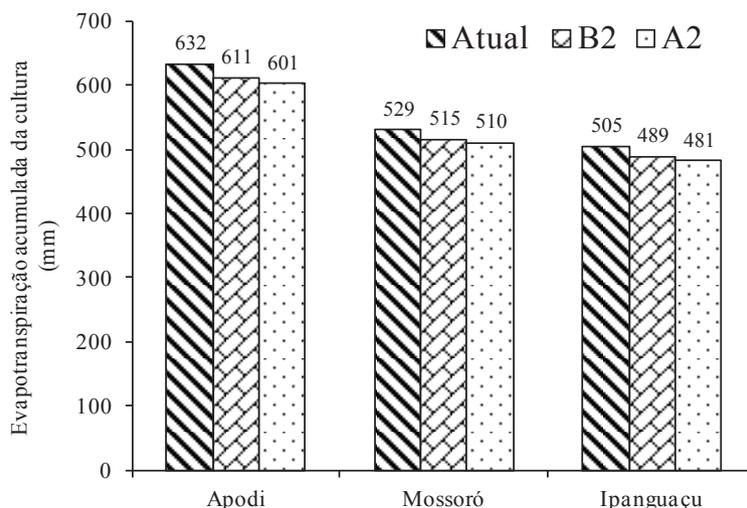


Figura 3. Evapotranspiração total do milho sob diferentes cenários de mudanças climáticas (Atual, A2 e B2), para os municípios de Apodi, Mossoró e Ipangaçu.

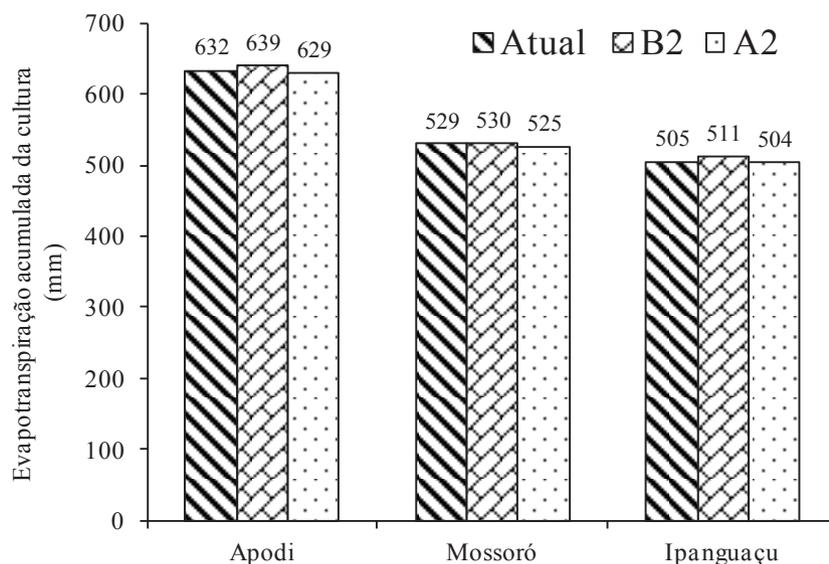


Figura 4. Evapotranspiração total do milho com o Kc ajustado aos cenários de mudanças climáticas (Atual, A2 e B2), para os municípios de Apodi, Mossoró e Ipangaçu.

redução média foi de aproximadamente 3,0% em relação à situação atual, considerando os 3 municípios. Para o cenário climático A2 a redução média chegou a 4,4%. Minuzzi e Lopes (2015) também constataram que o requerimento de irrigação líquida do milho safrinha, no Centro-Oeste do Brasil, tende a diminuir e atribuíram esse comportamento à redução na duração do ciclo da cultura, provocado pelo aumento esperado da temperatura do ar. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Islam et al. (2012) e Tao e Zhang (2011), que também observaram uma redução na irrigação necessária na cultura do milho, em trabalhos realizados nos Estados Unidos e China, respectivamente.

Quando o efeito das mudanças na umidade relativa do ar sobre o K_c foi levado em consideração, a evapotranspiração acumulada da cultura (Figura 5) nos dois cenários testados permaneceu praticamente a mesma das condições atuais, mesmo com a redução da duração do ciclo da cultura.

O aumento esperado na taxa diária da evapotranspiração terá efeito direto sobre os sistemas de irrigação, pois mesmo ocorrendo uma redução na evapotranspiração total, necessitarão de uma maior intensidade de irrigação para atender à demanda diária da cultura. As regiões que não atenderem a essa nova demanda terão que reduzir o tamanho das suas áreas irrigadas ou procurar culturas/cultivares/variedades com menor demanda hídrica diária.

Vale salientar que no presente estudo não foi considerado o efeito do aumento da concentração de CO_2 na evapotranspiração da cultura. A elevação nos níveis de CO_2 poderia reduzir ainda mais a (ET_c) , pois um dos efeitos diretos desse aumento seria o fechamento parcial dos estômatos, que reduziria ainda mais a perda de água pela transpiração. Outro aspecto a se considerar é que na estimativa da (ET_c) para as condições de mudanças climáticas não foram consideradas alterações na radiação solar e na velocidade do vento, duas variáveis importantes na determinação

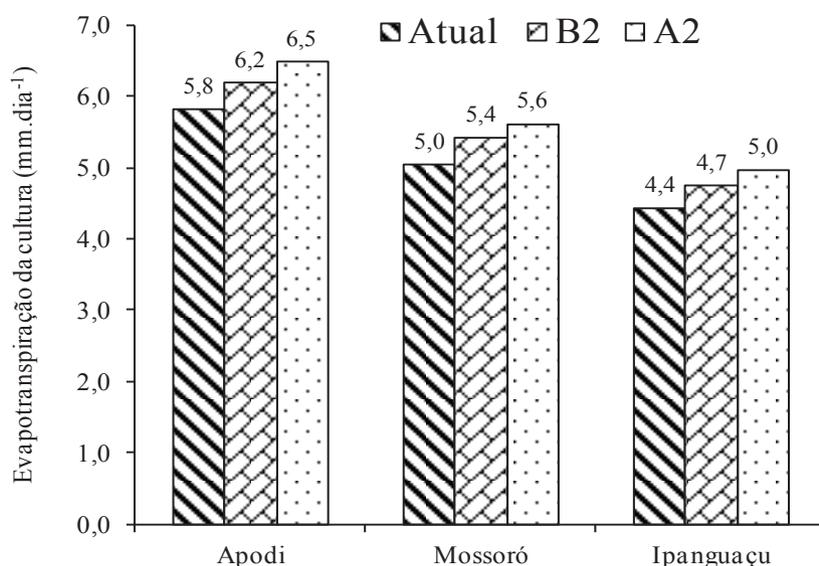


Figura 5. Evapotranspiração média diária do milho sob diferentes cenários de mudanças climáticas (Atual, A2 e B2), para os municípios de Apodi, Mossoró e Ipanguaçu.

do consumo hídrico das culturas. Assim, é importante a realização de novos estudos que considerem o efeito dessas variáveis.

Como na maioria dos estudos sobre o impacto das mudanças climáticas nos ecossistemas agrícolas existem várias fontes de incertezas e limitações, principalmente no que se refere ao efeito que o aumento do CO₂ atmosférico poderá causar nas diferentes culturas agrícolas. No entanto, estes estudos fornecem informações valiosas sobre possíveis impactos e orientações de estratégias para adaptações, por meio de diferentes práticas agrônômicas de gestão, que podem ajudar a mitigar o efeito das mudanças no clima.

Uma estratégia de adaptação potencial para a região e que já vem sendo indicada por vários outros estudos, em diversas partes do mundo, é a necessidade de se desenvolver cultivares de milho de ciclo mais longo e que possam também tolerar temperaturas mais elevadas. Assumindo que sejam desenvolvidas tais cultivares de ciclo mais longos que possam ter duração parecida com os atuais, mesmo em condições de aumento de temperatura, é esperado um incremento na ET_c total de 7 e 12%, para os cenários B2 e A2, respectivamente. Considerando o K_c ajustado para as novas condições de umidade relativa do ar, esse aumento chegou a 17% no caso do cenário mais pessimista.

Conclusões

1. Os resultados desta pesquisa indicam que as mudanças climáticas não aumentaram a demanda total de água da cultura do milho, embora tenham contribuído para a redução do ciclo de desenvolvimento da mesma.

2. Houve uma diminuição de apenas 3,0% na evapotranspiração total durante todo o ciclo da cul-

tura, considerando o cenário mais otimista (B2), e de 4,4% no cenário mais pessimista (A2).

3. Quando se consideram as alterações nos coeficientes de cultivos por ocasião das mudanças climáticas, a evapotranspiração acumulada dos dois cenários avaliados permaneceu a mesma das condições atuais, mesmo com a redução esperada no ciclo da cultura.

4. Os aumentos da temperatura na região além de provocarem uma redução do ciclo de desenvolvimento da cultura, deixarão as temperaturas muito acima do limite ótimo para o desenvolvimento da mesma, o que poderá repercutir negativamente no seu rendimento.

5. Sugere-se a realização de novos estudos que possam acrescentar dados complementares aos obtidos no presente trabalho.

Referências

ALBUQUERQUE, P. E. P. de; RESENDE, M. **Cultivo do milho**: manejo de irrigação. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. 8 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 47). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/487012/1/Com47.pdf>>. Acesso em: 24 nov. 2017.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiration del cultivo**: guias para la determinación de los requerimientos de água de los cultivos. Roma: FAO, 2006. 298 p. (FAO. Estudio Riego e Drenaje Paper, 56).

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

DOI: [10.1127/0941-2948/2013/0507](https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507).

- ASSAD, E. D.; MARTINS, S. C.; BELTRÃO, N. E. M.; PINTO, H. S. Impacts of climate change on the agricultural zoning of climate risk for cotton cultivation in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, n. 1, p. 1-8, 2013. DOI: [10.1590/S0100-204X2013000100001](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000100001).
- ASSIS, J. P.; DOURADO NETO, D.; NASS, L. L.; MANFRON, P. A.; BONNECARRERE, R. A. G.; MARTIN, T. N. Simulação estocástica de atributos do clima e da produtividade potencial de milho utilizando-se distribuição triangular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 3, p. 539-543, 2006. DOI: [10.1590/S0100-204X2006000300024](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000300024).
- COSTA, L. C.; JUSTINO, F.; OLIVEIRA, L. J. C.; SEDIYAMA, G. C.; FERREIRA, W. P. M.; LEMOS, C. F. Potential forcing of CO₂, technology and climate changes in maize (*Zea mays*) and bean (*Phaseolus vulgaris*) yield in southeast Brazil. **Environmental Research Letters**, Bristol, v. 4, n. 1, p. 1-10, 2009. DOI: [10.1088/1748-9326/4/1/014013](https://doi.org/10.1088/1748-9326/4/1/014013).
- DÍAZ-AMBRONA, C. G. H.; GIGENA, R.; MENDOZA, C. O. Climate change impacts on maize and dry bean yields of smallholder farmers in Honduras. **Iberoamerican Journal of Development Studies**, v. 2, n. 1, p. 4-22, 2013. DOI: [10.1186/s40066-018-0209-x](https://doi.org/10.1186/s40066-018-0209-x).
- HATFIELD, J. L.; BOOTE, K. J.; KIMBALL, B. A.; ZISKA, L. H.; IZAURRALDE, R. C.; ORT, D.; THOMSON, A. M.; WOLFE, D. Climate impacts on agriculture: implications for crop production. **Agronomy Journal**, Madison, v. 103, n. 2, p. 351-370, 2011. DOI: [10.2134/agonj2010.0303](https://doi.org/10.2134/agonj2010.0303).
- ISLAM, A.; AHUJA, L. R.; GARCIA, L. A.; MA, L.; SASEENDRAN, A. S.; TROUT, T. J. Modeling the impacts of climate change on irrigated corn production in the Central Great Plains. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 110, p. 94-108, 2012. DOI: [10.1016/j.agwat.2012.04.004](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.04.004).
- KAPETANAKI, G.; ROSENZWEIG, C. Impact of climate change on maize yield in central and northern Greece: a simulation study with Ceres-Maize. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 1, n. 3, p. 251-271, 1997.
- MINUZZI, R. B.; LOPES, F. Z. Desempenho agronômico do milho em diferentes cenários climáticos no centro-oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 8, p. 734-740, 2015. DOI: [10.1590/1807-1929/agriambi.v19n8p734-740](https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n8p734-740).
- OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 440 p.
- PELLEGRINO, G. Q.; ASSAD, E. D.; MARIN, F. R. Mudanças climáticas globais e a agricultura no Brasil. **Revista Multiciência**, n. 8, p. 139-162, 2007.
- RAO, K. K.; PATWARDHAN, S. K.; KULKARNI, A.; KAMALA, K.; SABADEK, S. S.; KUMAR, K. K. Projected changes in mean and extreme precipitation indices over India using PRECIS. **Global And Planetary Change**, Amsterdam, v. 113, p. 77-90, dez. 2013. DOI: [10.1016/j.gloplacha.2013.12.006](https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.12.006).
- RENATO, N. S.; SILVA, J. B. L.; SEDIYAMA, G. C.; PEREIRA, E. G. Influência dos métodos para cálculo de graus-dia em condições de aumento de temperatura para as culturas de milho e feijão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 382-388, 2013. DOI: [10.1590/S0102-77862013000400004](https://doi.org/10.1590/S0102-77862013000400004).
- SANTOS, W. de O. **Necessidades hídricas, desenvolvimento e análise econômica do milho nas condições do semiárido brasileiro**. 2012. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2012.
- SIQUEIRA, O. J. W.; STEINMETZ, S.; FERREIRA, M. F. Mudanças climáticas projetadas através dos modelos GISS e reflexos na produção agrícola brasileira. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 2, p. 311-320, 2000.
- SISTEMA Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

- TADROSS, M.; JACK, C.; HEWITSON, B. On RCM-based projections of change in southern African summer climate. **Geophysical Research Letters**, v. 32, p.1-4, dez. 2005.
DOI: [10.1029/2005GL024460](https://doi.org/10.1029/2005GL024460).
- TAO, F.; YOKOZAWA, M.; ZHANG, Z.; HAYASHI, Y.; GRASSL, H.; FU, C. Variability in climatology and agricultural production in China in association with East Asia Monsoon and EL Niño southern oscillation. **Climate Research**, v. 28, n. 1, p. 23-30, 2004.
DOI: [10.3354/cr028023](https://doi.org/10.3354/cr028023).
- TAO, F.; YOKOZAWA, M.; LIU, J.; ZHANG, Z. Climate-crop yield relationships at province scale in China and the impacts of recent climate trend. **Climate Research**, v. 38, n. 1, p. 83-94, 2008. DOI: [10.3354/cr00771](https://doi.org/10.3354/cr00771).
- TAO, F.; ZHANG, Z. Impacts of climate change as a function of global mean temperature: maize productivity and water use in China. **Climatic Change**, v. 105, n. 3/4, p. 409-432, 2011.
DOI: [10.1007/s10584-010-9883-9](https://doi.org/10.1007/s10584-010-9883-9).
- TUBIELLO, F. N.; DONATELLI, M. C.; ROSENZWEIG, C.; STOCKLE, C. O. Effects of climate change and elevated CO2 on cropping systems: model predictions at two Italian locations. **European Journal of Agronomy**, v. 13, n. 2/3, p. 179-189, 2000.
DOI: [10.1016/S1161-0301\(00\)00073-3](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(00)00073-3).
- ZHANG, Y.; FU, L.; PAN, J.; XU, Y. Projected changes in temperature extremes in China using PRECIS. **Atmosphere**, v. 8, n. 1, p.1-16, jan. 2017.
DOI: [10.3390/atmos8010015](https://doi.org/10.3390/atmos8010015).