

EDMILSON GOMES CAVALCANTE JUNIOR

**NECESSIDADES HÍDRICAS DAS CULTURAS MILHO E FEIJÃO-
CAUPI INFLUENCIADAS PELAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO
SEMIÁRIDO NORDESTINO**

MOSSORÓ - RN
2015

EDMILSON GOMES CAVALCANTE JUNIOR

**NECESSIDADES HÍDRICAS DAS CULTURAS MILHO E FEIJÃO-
CAUPI INFLUENCIADAS PELAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO
SEMIÁRIDO NORDESTINO**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Manejo de Solo e Água.

ORIENTADOR: Prof. DSc. José Francismar de Medeiros

CO-ORIENTADOR: Prof. D.Sc. José Espínola Sobrinho

MOSSORÓ-RN

2015

Catálogo na Fonte

Catálogo de Publicação na Fonte. UFERSA - BIBLIOTECA CENTRAL ORLANDO TEIXEIRA – CAMPUS MOSSORÓ

Júnior, Edmilson Gomes Cavalcante.

Necessidades hídricas das culturas milho e feijão-caupi influenciadas pelas mudanças climáticas no semiárido nordestino / Edmilson Gomes Cavalcante Júnior. - Mossoró, 2015.
82f: il.

1. Zea mays L. 2. Feijão - Caupi. 3. Evapotranspiração. 4. Milho - temperatura do ar. 5. Agricultura - mudanças climáticas. I. Título

RN/UFERSA/BCOT/466
C376n

CDD 633.15

EDMILSON GOMES CAVALCANTE JUNIOR

**NECESSIDADES HÍDRICAS DAS CULTURAS MILHO E FEIJÃO-
CAUPI INFLUENCIADAS PELAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO
SEMIÁRIDO NORDESTINO**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Manejo de Solo e Água.

APROVADA EM: 23 / 09 / 2015


Prof. Dr. José Francismar de Medeiros – Presidente


Prof. Dr. José Espínola Sobrinho – Membro


Prof. Dr. Vladimir Batista Figueirêdo – Membro


Prof. Dr. Saulo Tasso Araújo da Silva - Membro


Dr. José Renato Cortez Bezerra - Membro

Aos meus pais Edmilson Gomes Cavalcante e
Clotildes Maria de Oliveira Bastos; A todos os
meus familiares; Aos meus colegas da UFERSA

Dedico, com muito amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

A Deus fonte de todo conhecimento e sabedoria.

Aos meus pais pela grande ajuda e colaboração, pois sem eles não teria chegado até aqui.

Ao professor José Francismar de Medeiros, pela grande dedicação ao trabalho que exerce junto a Universidade, e pela orientação para a realização deste trabalho.

Ao professor José Espínola Sobrinho, pela orientação, confiança e todo o apoio que me foi dado.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido pela oportunidade em realizar este curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pela concessão da bolsa de estudos.

Aos colegas: João Paulo Nunes da Costa, Wesley de Oliveira Santos, Ítalo Nunes Silva, José Maria da Costa, Jonatan Levi Ferreira de Medeiros e João Luiz da Cunha Silva pela grande colaboração na realização da pesquisa.

Aos meus colegas de Pós-graduação da UFERSA.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da UFERSA.

A todas as pessoas que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO GERAL

CAVALCANTE JUNIOR, Edmilson Gomes. Necessidades hídricas das culturas milho e feijão-caupi influenciadas pelas mudanças climáticas no semiárido nordestino. 2015. 79p. Tese (Doutorado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2015.

O objetivo geral do presente trabalho foi verificar os impactos que as mudanças climáticas podem provocar sobre o desenvolvimento e a evapotranspiração do milho e do feijão-caupi, no semiárido brasileiro. O trabalho foi desenvolvido nos municípios de Apodi, Ipanguaçu e Mossoró, pertencentes ao estado do Rio Grande do Norte. A determinação da evapotranspiração da cultura, em suas diferentes fases, foi realizada através de lisímetros de pesagem. Para verificar a influência das mudanças climáticas sobre o 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 denominado A2 e um otimista B2. O coeficiente de cultivo do milho sofreu maior influência das mudanças climáticas, pois a cultura apresenta um porte mais elevado, em comparação com a cultura de referência, com isso, suas propriedades aerodinâmicas foram mais influenciadas pela redução da umidade relativa simulada pelo modelo. As temperaturas ficarão muito acima do limite tolerado pelas culturas, o que poderá repercutir negativamente no seu desenvolvimento e consequentemente no rendimento. Com o aumento nas temperaturas, ambas as culturas terão seus ciclos reduzidos. A redução no ciclo também provocará uma diminuição na evapotranspiração total das culturas. Com os acréscimos esperados na temperatura do ar e a redução na umidade relativa, a taxa diária da evapotranspiração ficará maior e apresentará efeito direto sobre os sistemas de irrigação, pois mesmo ocorrendo uma redução na evapotranspiração total, necessitarão de uma maior intensidade de irrigação para atender a demanda diária das culturas.

Palavras-chave: evapotranspiração, temperatura, umidade relativa, irrigação

ABSTRACT

CAVALCANTE JUNIOR, Edmilson Gomes. Requirements water of cowpea and maize in climate change conditions in the semiarid the brazilian northeast. 2015. 75p. Thesis (Doctorate in Soil and Water Management) – Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Mossoró-RN, 2015.

The overall objective of this study was to assess the impacts that climate change may lead to the development and evapotranspiration of maize and cowpea in the Brazilian semiarid region. The study was conducted in the municipalities of Apodi, Ipanguaçu and Mossoro, the state of Rio Grande do Norte. The determination of crop evapotranspiration, in its different phases, was held by lysimeters of weighing. To check the influence of climate change on culture water consumption were simulated changes in the temperature and relative humidity of the air, through the PRECIS climate model. We evaluated two scenarios of emissions based on the report Intergovernmental Panel on Climate Change: a pessimist called A2 and optimistic B2. The corn crop coefficient suffered greater influence of climate change, because culture has a higher size compared to the reference culture thereby its aerodynamic properties were more influenced by the reduction in relative humidity simulated by the model. Temperatures will be well above the limit tolerated by crops, which could have a negative impact on their development and productivity. With rising temperatures, both cultures have their reduced cycle. The reduction in the cycle also cause a decrease in the total evaporation of the cultures. With the additions expected in air temperature and the decrease in relative humidity, the daily evapotranspiration rate will be higher and will direct effect on irrigation systems, because even occurring a reduction in total evapotranspiration, will require a greater intensity of irrigation to meet the daily demand of crops.

Key words: evapotranspiration, temperature, relative humidity, irrigation

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 – Necessidade hídrica da cultura do milho influenciada pelas mudanças climáticas no semiárido nordestino

Figura 1. Localização dos experimentos	37
Figura 2. Variação da radiação global e velocidade do vento registradas durante os experimentos nos municípios de Apodi (A), Mossoró (B) e Ipanguaçu (C).	433
Figura 3. Variação da evapotranspiração de referência registradas durante os experimentos nos municípios de Apodi (A), Mossoró (B) e Ipanguaçu (C).	44
Figura 4. Variação do coeficiente de cultivo (K_c) do milho em função dos graus-dia acumulados, nos municípios de Apodi (A), Mossoró (B) e Ipanguaçu (C).	446
Figura 5. Incremento na temperatura média do ar, durante os meses de setembro a janeiro, sob diferentes cenários de mudanças climáticas (A2 e B2), para os municípios de Apodi (A), Mossoró (B) e Ipanguaçu (C), simuladas pelo modelo PRECIS para o ano de 2100.	477
Figura 6. Incremento na temperatura máxima do ar, durante os meses de setembro a janeiro, sob diferentes cenários de mudanças climáticas (A2 e B2), para os municípios de Apodi (A), Mossoró (B) e Ipanguaçu (C), simuladas pelo modelo PRECIS para o ano de 2100.	488
Figura 7. Incremento na temperatura mínima do ar, durante os meses de setembro a janeiro, sob diferentes cenários de mudanças climáticas (A2 e B2), para os municípios de Apodi (A), Mossoró (B) e Ipanguaçu (C), simuladas pelo modelo PRECIS para o ano de 2100.	488
Figura 8. Redução da umidade relativa média do ar, durante os meses de setembro a janeiro, sob diferentes cenários de mudanças climáticas (A2 e B2), para os municípios de Apodi (A), Mossoró (B) e Ipanguaçu (C), simuladas pelo modelo PRECIS para o ano de 2100.	488
Figura 9. Ciclo da cultura do milho, sob diferentes cenários de mudanças climáticas (Atual, A2 e B2), para os municípios de Apodi , Mossoró e Ipanguaçu.	5050
Figura 10. Relação entre o incremento na temperatura do ar e o ciclo de desenvolvimento do milho.....	511
Figura 11. Evapotranspiração total do milho sob diferentes cenários de mudanças climáticas (Atual, A2 e B2), para os municípios de Apodi, Mossoró e Ipanguaçu.....	533
Figura 12. Evapotranspiração total do milho com o K_c ajustado aos cenários de mudanças climáticas (Atual, A2 e B2), para os municípios de Apodi, Mossoró e Ipanguaçu.....	533

Figura 13. Evapotranspiração média diária do milho sob diferentes cenários de mudanças climáticas (Atual, A2 e B2), para os municípios de Apodi, Mossoró e Ipanguaçu..... 544

Figura 14. Evapotranspiração média diária do milho, com o Kc ajustado aos cenários de mudanças climáticas (Atual, A2 e B2), para os municípios de Apodi, Mossoró e Ipanguaçu.544

CAPÍTULO 2 – Necessidade hídrica da cultura do feijão-caupi influenciada pelas mudanças climáticas no semiárido nordestino

Figura 1. Localização dos experimentos 63

Figura 2. Variação da radiação global e velocidade do vento registradas durante os experimentos nos municípios de Apodi (A), Mossoró (B) e Ipanguaçu (C)..... 69

Figura 3. Precipitações diárias registradas durante os experimentos nos municípios de Apodi (A), Mossoró (B) e Ipanguaçu (C)..... 69

Figura 4. Variação da evapotranspiração de referência registrada durante os experimentos nos municípios de Apodi (A), Mossoró (B) e Ipanguaçu (C). 70

Figura 5. Variação do coeficiente de cultivo (Kc) do feijão-caupi em função dos graus-dia acumulados, nos municípios de Apodi (A), Mossoró (B) e Ipanguaçu (C). 72

Figura 6. Incremento na temperatura média do ar, durante os meses de março a maio, sob diferentes cenários de mudanças climáticas (A2 e B2), para os municípios de Apodi (A), Mossoró (B) e Ipanguaçu (C), simuladas pelo modelo PRECIS para o ano de 2100. 73

Figura 7. Incremento na temperatura máxima do ar, durante os meses de março a maio, sob diferentes cenários de mudanças climáticas (A2 e B2), para os municípios de Apodi (A), Mossoró (B) e Ipanguaçu (C), simuladas pelo modelo PRECIS para o ano de 2100. 73

Figura 8. Incremento na temperatura mínima do ar, durante os meses de março a maio, sob diferentes cenários de mudanças climáticas (A2 e B2), para os municípios de Apodi (A), Mossoró (B) e Ipanguaçu (C), simuladas pelo modelo PRECIS para o ano de 2100. 73

Figura 9. Redução da umidade relativa média do ar, durante os meses de março a maio, sob diferentes cenários de mudanças climáticas (A2 e B2), para os municípios de Apodi (A), Mossoró (B) e Ipanguaçu (C), simuladas pelo modelo PRECIS para o ano de 2100. 74

Figura 10. Ciclo da cultura do feijão, sob diferentes cenários de mudanças climáticas (Atual, A2 e B2), para os municípios de Apodi , Mossoró e Ipanguaçu. 76

Figura 11. Relação entre o incremento na temperatura do ar e o ciclo de desenvolvimento do feijão.	76
Figura 12. Evapotranspiração media diária do feijão sob diferentes cenários de mudanças climáticas (Atual, A2 e B2), para os municípios de Apodi, Mossoró e Ipanguaçu.....	78
Figura 13. Evapotranspiração media diária do feijão com o Kc ajustado aos cenários de mudanças climáticas (Atual, A2 e B2), para os municípios de Apodi, Mossoró e Ipanguaçu.	78
Figura 14. Evapotranspiração total do feijão sob diferentes cenários de mudanças climáticas (Atual, A2 e B2), para os municípios de Apodi, Mossoró e Ipanguaçu.	78

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 – Necessidade hídrica da cultura do milho influenciada pelas mudanças climáticas no semiárido nordestino

Tabela 1. Duração média das fases fenológicas do milho, graus-dia acumulados por fase (GDA), coeficiente de cultivo (Kc) médio e ajustado para condições de mudanças climáticas, em diferentes locais do estado do Rio Grande do Norte. 45

Tabela 2. Valores médios das temperaturas média (Tmed), máxima (Tmax) e mínima (Tmin), no período de setembro-janeiro, sob diferentes cenários de mudanças climáticas, simuladas pelo modelo PRECIS..... 499

CAPÍTULO 2 – Necessidade hídrica da cultura do feijão-caupi influenciada pelas mudanças climáticas no semiárido nordestino

Tabela 1. Duração média das fases fenológicas do feijão-caupi, graus-dia acumulados por fase (GDA), coeficiente de cultivo (Kc) médio e ajustado para condições de mudanças climáticas, em diferentes locais do estado do Rio Grande do Norte.. 71

Tabela 2. Valores médios das temperaturas média (Tmed), máxima (Tmax) e mínima (Tmin), no período de março-maio, sob diferentes cenários de mudanças climáticas, simuladas pelo modelo PRECIS..... 74

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA AGRICULTURA.....	17
2.2 IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO MILHO.....	19
2.3 NECESSIDADE HÍDRICA DA CULTURA DO MILHO.....	20
2.4 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DO AR NO DESENVOLVIMENTO DO MILHO	20
2.5 IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO FEIJÃO	22
2.6 NECESSIDADE HÍDRICA DA CULTURA DO FEIJÃO	23
2.7 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DO AR NO DESENVOLVIMENTO DO FEIJÃO	24
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
CAPÍTULO 1 - NECESSIDADE HÍDRICA DA CULTURA DO MILHO INFLUENCIADA PELAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO SEMIÁRIDO NORDESTINO	32
RESUMO	33
ABSTRACT	34
1. INTRODUÇÃO	35
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	37
2.1 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA	38
2.2 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA	39
2.3 GRAUS DIAS ACUMULADOS.....	39
2.4. AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO CONSUMO HÍDRICO	40
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
3.1 EFEITO DO AUMENTO DA TEMPERATURA DO AR NO MILHO	48
3.2 EFEITO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO MILHO	51
4. CONCLUSÕES	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

CAPITULO 2 - NECESSIDADE HÍDRICA DA CULTURA DO FEIJÃO-CAUPI INCLUENCIADA PELAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO SEMIÁRIDO NORDESTINO	59
RESUMO	60
ABSTRACT	61
1. INTRODUÇÃO	62
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	63
2.1 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA	64
2.2 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA	65
2.3. GRAUS DIAS ACUMULADOS	65
2.4 AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO CONSUMO HÍDRICO.....	66
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
3.1 EFEITO DO AUMENTO DA TEMPERATURA DO AR NO FEIJÃO.....	74
3.2 EFEITO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO FEIJOEIRO...	76
4. CONCLUSÕES	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80

1. INTRODUÇÃO GERAL

De acordo com o recente relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007), haverá diminuição da disponibilidade de água em muitas regiões áridas e semiáridas devido às alterações climáticas. Com isto, é esperado uma diminuição na produção de alimentos e um aumento na vulnerabilidade dos produtores rurais, especialmente nas regiões áridas e semiáridas. Assim, os efeitos das mudanças climáticas futuras nestas regiões é uma séria preocupação (Islam et al., 2012).

Muitos estudos estão sendo direcionados para verificar quais os possíveis impactos que as possíveis mudanças nas condições climáticas podem provocar nas culturas agrícolas. Atualmente algumas culturas estão sendo objeto destes estudos, tendo dentre elas o milho e o feijão, além das pastagens e gado de corte (Assad & Pinto, 2008). Como ferramenta de auxílio, muitos estudos têm sido conduzidos a partir de cenários de projeções futuras do clima obtidos de vários modelos de circulação global (GCMs). No entanto, há poucos estudos sobre os efeitos das mudanças climáticas sobre culturas irrigadas em regiões áridas e semiáridas (Islam et al., 2012).

Os estudos por meios dos cenários nos dão indicações essenciais ao planejamento das pesquisas, principalmente quanto à adaptação dos sistemas de cultivos e de novos cultivares mais tolerantes às altas temperaturas e mais resistentes à seca. 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).

Para os pequenos produtores do Nordeste brasileiro as duas culturas agrícolas mais tradicionais são o milho e o feijão. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho com participação média de 6% na oferta mundial deste produto, sendo os maiores produtores os Estados Unidos, com participação média de 44% na produção mundial, e a China com 21% de participação (FAO, 2006). Apesar de estar entre os três maiores produtores, o Brasil não se destaca entre os países com maior nível de produtividade, devido ao grande número de pequenos produtores que cultivam esse cereal. A importância do milho ainda está relacionada ao aspecto social, pois grande parte dos produtores não é altamente tecnificada, não possui grandes extensões de terras, mas depende dessa produção para viver. (Cruz et al., 2011).

O feijão tem relevante papel na alimentação do brasileiro, sendo alimento quase obrigatório das populações rural e urbana. É uma das mais importantes fontes de proteína dos países em desenvolvimento das regiões tropicais e subtropicais, que são responsáveis por 87% do consumo e 89% da produção mundial de feijão (FAO, 2008). É consumido sob as formas

de grãos secos e verdes, além de seus caules e ramos serem usualmente utilizados na alimentação animal (Silva & Oliveira, 1993).

A produção agrícola irrigada nas regiões áridas e semiáridas do mundo é fundamental para sustentar o aumento crescente da população. Dentro de um contexto que a irrigação é a atividade que mais consome água e que essas regiões já são bastante afetadas pela escassez, as alterações climáticas ameaçam agravar ainda mais o desequilíbrio entre oferta e a demanda atual. Com isso o objetivo geral do presente estudo foi avaliar os impactos das mudanças climáticas (temperatura e umidade relativa do ar) sobre desenvolvimento e a demanda de água do milho e do feijão-caupi, no semiárido nordestino.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA AGRICULTURA

Segundo a definição do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC), entende-se por alterações climáticas as alterações significativas no estado do clima, que podem ser identificadas por variações de médias e/ou medidas de dispersão de variáveis climáticas, e que persistem por longos períodos, tipicamente décadas ou períodos ainda mais longos (Abreu & Pereira, 2008).

Com base na provável taxa das emissões de gases causadores do efeito estufa, decorrentes de padrões de desenvolvimento econômico e crescimento da população, para o período de 2000-2100, o Relatório Especial do IPCC definiu uma série de cenários futuros de emissão de gases. O quarto relatório de avaliação do IPCC (IPCC, 2007) centrou-se na modelagem de quatro cenários principais, dentre eles podemos destacar os cenários denominados A2 e B2. Até o final deste século, considerando esses cenários, é esperado um aumento médio na temperatura de 1,4 ° C (cenário mais otimista) a 5,4 ° C (cenário mais pessimista).

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.

A mudança climática global induzida por concentrações crescentes de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera tende a ocasionar o aumento nas temperaturas, mudança nos padrões da precipitação e aumentar a frequência de eventos extremos. Tais mudanças terão efeitos amplos sobre o ambiente e, consequentemente, sobre as sociedades, incluindo recursos hídricos, agricultura e segurança alimentar, saúde humana, ecossistemas naturais e sua biodiversidade (Hafner, 2003; Alexandratos, 2005).

Um dos pontos interessantes que vem sendo estudado pelos cientistas são os efeitos que as mudanças climáticas, em especial as elevações nas temperaturas e nos níveis de CO₂, podem provocar no metabolismo das plantas C3 e C4. Projeta-se que a fotossíntese em plantas C3 responda mais fortemente ao enriquecimento de CO₂ do que em plantas C4 (Minuzzi & Lopes, 2015). Em contra partida algumas características anatômicas e fisiológicas implicam

em uma maior habilidade das plantas C4 em conviver em ambientes de temperaturas mais elevadas do que as plantas C3 (Pellegrino et al., 2007).

A produção de culturas agrícolas pode ser significativamente afetada por mudanças no clima e o aumento nos níveis de CO₂ (Islam et al., 2012). Lobell et al. (2011) estimam que os rendimentos dos cereais (milho, arroz e trigo) já diminuiu, nas últimas três décadas, entre 2,5 e 3,8% a nível mundial devido à mudança climática, em grande parte, nas regiões áridas e semiáridas.

Para a produção das culturas, os aumentos previstos na concentração de CO₂ atmosférico implica maior produtividade (Downing et al., 2003). No entanto, o efeito pode ser contrabalançado por temperaturas mais elevadas e precipitações inferiores. As temperaturas mais elevadas tendem a aumentar as necessidades de água das culturas e maiores quantidades de água de irrigação serão necessárias para as áreas irrigadas (Mínguez et al., 2005).

Segundo os relatórios do IPCC (Magrin et al., 2007) e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (Marengo et al., 2007; Ambrizzi et al., 2007), o semiárido nordestino tenderá a tornar-se mais árido. Aumentarão a frequência e a intensidade das secas e se reduzirá a disponibilidade de recursos hídricos. Isso teria impacto sobre a vegetação, a biodiversidade e atividades que dependem dos recursos naturais (Marengo, 2008).

Mudanças na fenologia dos cultivos podem fornecer importantes evidências das respostas às recentes mudanças climáticas. Dependendo do local, as alterações de temperatura e precipitação tanto pode beneficiar como prejudicar os sistemas agrícolas (Peiris et al., 1996; Rosenzweig & Hillel, 1998). Nadler & Bullock (2011) verificando o efeito das mudanças de temperatura a longo prazo, em pradarias do Canadá, observaram que o aumento de temperatura além de prolongar as estações de produção, possibilitará a introdução de novas culturas, não antes exploradas em virtudes das baixas temperaturas da região.

Islam et al. (2012) verificando o impacto das mudanças climáticas, em grandes Planícies Centrais do Colorado nos Estados Unidos, observaram uma redução na irrigação necessária na cultura do milho decorrente da redução do ciclo da cultura e do CO₂ em diminuir a demanda da evapotranspiração. Tao & Zhang (2011) também observaram uma redução na demanda de irrigação, para a cultura do milho, em condições de mudanças climáticas na China, considerando cenários com e sem a fertilização por CO₂.

Ao simular a produtividade da cultura do milho e feijão no sudeste brasileiro, para o cenário A2 do IPCC projetado pelo modelo HadCM3 até o ano de 2080, Costa et al. (2009) observaram que as condições de aquecimento provocariam uma queda na produtividade em ambas as culturas de até 30%, sendo um dos fatores desta queda a redução do ciclo dessas culturas, provocado pelo aumento na temperatura do ar.

Assad et al. (2008) estimam que para um cenário de aumento de 3°C na temperatura, ocorrerão no Brasil perdas de área em torno de 18% para o arroz, 11% para o feijão, 39% para a soja, 58% para o café e apenas 7% para o milho.

2.2 IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO MILHO

O milho (*Zea mayz* L.) pertence à família Poaceae, é considerado originário de uma região tropical americana, provavelmente o México. As qualidades adaptativas da cultura foram resultantes do trabalho desenvolvido pelos indígenas americanos. Entretanto a domesticação do primitivo milho tornou-se extremamente dependente do homem (Fornasieri Filho, 1992).

No Nordeste brasileiro o milho está entre os produtos agrícolas mais importantes, devido a sua participação na formação da renda de praticamente toda a população rural e, principalmente, pela sua contribuição na alimentação animal, onde entra como componente básico. O milho serve de matéria prima básica para uma série de produtos industrializados, passando a gerar emprego e renda para milhares de pessoas que estão envolvidas na cadeia produtiva do milho, desde o transporte a comercialização desse cereal (Santos, 2012). Após a comercialização das espigas, os restos da planta podem ser aproveitados para posterior incorporação ou como cobertura do solo para plantio direto, ou ainda, sendo triturado para compor a silagem para a alimentação animal.

Os maiores produtores de milho do mundo são os Estados Unidos e a China, segundo dados do *Supply Demand* do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, na safra 2013/2014, os dois foram responsáveis por cerca de 60% da produção mundial. O Brasil aparece como terceiro maior produtor, totalizando uma produção de 72 milhões de toneladas, em uma área plantada de aproximadamente 15,5 milhões de hectares.

Segundo dados da CONAB (2014), o nordeste brasileiro ocupa hoje uma área de aproximadamente 2900 mil hectares com a cultura, com uma produtividade média de 2600 kg ha⁻¹, praticamente a metade da média nacional, cerca de 5000 kg ha⁻¹. Esta baixa produtividade é influenciada principalmente pelas características climáticas da região, onde geralmente ocorrem baixas precipitações, o que leva a cultura ser explorada principalmente sob regime de sequeiro por pequenos produtores. No estado do Rio Grande do Norte a produtividade na safra 2013/2014 foi de apenas 633 kg ha⁻¹, em uma área de 32,4 mil ha. O Brasil destaca-se mundialmente não apenas como produtor, mais também como consumidor e

exportador. E com a grande multiplicidade de usos que o cereal apresenta, as estimativas de procura pelo grão são elevadas, principalmente nas indústrias de rações para animais.

2.3 NECESSIDADE HÍDRICA DA CULTURA DO MILHO

A exigência hídrica do milho é variável, dependendo dos fatores climáticos reinantes no período de desenvolvimento, da variedade e do estágio da cultura. Se houver deficiência hídrica uma semana após surgirem as anteras, pode ocorrer uma queda de 50% na sua produção (Doorenbos & Kassan, 2000).

Na cultura do milho, a disponibilidade de água passa a ser fator decisivo no potencial de produção e rendimento, no período compreendido entre os 3º e 5º estádios, ou seja, com 85 a 90% da área foliar e florescimento até o estágio de enchimento dos grãos (Fancelli & Dourado Neto, 1996).

O milho é considerado uma cultura que demanda muita 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 (Santana et al., 2014). O milho de variedade de ciclo médio cultivado para a produção de grãos secos consome de 400 mm a 700 mm de água em seu ciclo completo, dependendo das condições climáticas (Albuquerque & Andrade, 2001).

Souza et al. (2012) ao conduzirem experimento em Seropédica, RJ com a cultura do milho em monocultivo e em consórcio com a muncuna-preta, encontraram coeficientes de cultivos médios para cada fase de desenvolvimento vegetativo de: I (0,60 – 0,65); II (0,80 – 0,90); III (1,0 – 1,2); e IV (0,52 – 0,70), e uma evapotranspiração total de 394 mm, no monocultivo. Os coeficientes encontrados para o cultivo em consórcio foram: I (0,40 – 0,60); II (0,70 – 0,85); III (1,0 – 1,15) e IV (0,70 – 0,90), e uma evapotranspiração de 437 mm.

Santos et al. (2013) em experimento conduzido no município de Mossoró, RN, determinou o intervalo de confiança para os Kc's da cultura do milho verde irrigado, com 95% de probabilidade de confiança, durante cada fase fenológica da cultura: I-(0,48 a 0,52), II-(0,61 a 0,75), III-(1,14 a 1,19) e IV-(1,08 a 1,17).

2.4 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DO AR NO DESENVOLVIMENTO DO MILHO

Uma das culturas mais estudadas em termos de resposta a temperatura é o milho, pois o aumento da temperatura reduz o ciclo de vida e a duração da fase reprodutiva, causando uma redução no rendimento de grão (Badu-Apraku et al., 1983; Muchow et al., 1990). No

geral, as plantas C4 (incluindo milho) apresentam temperatura “ideal” superior para a fotossíntese e crescimento de que as plantas C3 (Bird et al., 1977) e, portanto, são mais adaptadas a climas mais quentes (Kim et al., 2007).

Segundo Pellegrino et al. (2007) é possível inferir que as espécies C4 estão mais preparadas para a elevação da temperatura do que as espécies C3. Segundo esses autores as porcentagens de perdas de área do milho em comparação com outras culturas (arroz, feijão, soja e café) indicam níveis diferentes de impactos, pois o milho, gramínea de ciclo C4, sofrerá menos com as altas temperaturas, pois apresenta aumento da taxa de fotossíntese para temperaturas de até aproximadamente 30°C.

No Irã os padrões de cultivos estão se deslocando em direção as espécies C4, devido a um aumento na temperatura média do ar (Mahdi & Reza, 2006). Portanto, o milho tornou-se uma das culturas alternativas mais importantes para a temporada de verão, durante a última década, na maioria das regiões do país (Moradi et al., 2013).

Segundo Ometto (1981), existe uma temperatura mínima para acionar os dispositivos metabólicos da planta, que é denominada de temperatura basal inferior (Tb). Somente acima desta temperatura a planta pode se desenvolver. O mesmo autor ressalta, contudo, que a planta também possui uma temperatura basal superior (TB), acima da qual há um estancamento das atividades metabólicas, prejudicando seu desenvolvimento. Os valores de temperatura basal inferior e superior variam de acordo com a espécie e o cultivo estudados. Alguns trabalhos também utilizam valores diferentes para cada etapa do desenvolvimento da planta. Para a cultura do milho, por exemplo, normalmente é utilizado um valor de 10 °C como temperatura basal inferior e 32 °C como temperatura basal superior (Romano, 2005; Assis et al., 2006). Segundo Hatfield et al. (2011) e Kiniry e Bonhomme (1991) as temperaturas basal inferior e superior são 8 e 34 °C, respectivamente.

Ben-Asher et al. (2008) avaliaram os efeitos da temperatura sobre milho doce, em câmaras de ambiente controlado, e observaram que as maiores taxas fotossintéticas ocorreram em temperaturas de 25 a 20 °C, enquanto que entre 40 e 35 °C as taxas fotossintéticas foram de 50 a 60% mais baixas.

O aceleração do crescimento, maturação e colheita, sob condições de clima mais quente, não só reduzirá produtividade do milho, mas também diminuiria evapotranspiração sazonal e, conseqüentemente, as demandas de irrigação (Guerena et al., 2001; Meza et al., 2008; Tao & Zhang, 2011; Tubiello et al., 2000). Segundo Hatfield et al. (2011) a polinização e a formação dos grãos também podem ser afetados pela mudanças na temperatura.

A cultura do milho será a terceira mais prejudicada no país em termos de valor de produção com o aquecimento global. Com o aumento da temperatura, espera-se que a quantidade de graus dia seja atingida mais rapidamente, encurtando o ciclo da planta. O Agreste nordestino, hoje responsável pela maior parte da produção regional de milho, sofrerá uma forte redução da área de baixo risco para a cultura, assim como o sul do Maranhão, o sul do Piauí e o oeste da Bahia e o Centro-Oeste do país (Assad & Pinto, 2008).

2.5 IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO FEIJÃO

O feijão é um dos alimentos mais antigos, sendo utilizado desde os primeiros registros da humanidade. No Egito e na Grécia era lhe prestado culto como símbolo da vida. Os romanos usavam os feijões em festas gastronômicas sendo também utilizados como forma de pagamento de apostas (Afonso, 2010).

O feijão-caupi, conhecido no Nordeste brasileiro por feijão-macassar ou feijão-de-corda, é uma das principais culturas desta região, sendo considerado fonte de renda alternativa e alimento básico para sua população. O feijão-caupi consumido no Brasil pertence à classe Dicotyledonea, da ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolineae, gênero *Vigna*, subgênero *Vigna*, secção *Catyang*, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. e subespécie *unguiculata*, subdividida em quatro cultigrupos *Unguiculata*, *Sesquipedalis*, *Biflora* e *Textilis* (Maréchal et al., 1978; Padulosi & Ng, 1997; Smartt, 1990). No Brasil são cultivados os cultigrupos *Unguiculata*, para produção de grão seco e feijão-verde, e *Sesquipedalis*, comumente chamado de feijão-de-metro, para produção de vagem (Freire Filho et al., 2011).

O feijão-caupi ocupa 60% das áreas cultivadas com feijão no Nordeste brasileiro. A maioria dos produtores de feijão caupi é composta de pequenos agricultores, em sistema de parceria e em nível de subsistência (Andrade Júnior et al., 2007). Os maiores produtores de feijão no mundo são Brasil, Índia, China, Myanmar e México, representando mais de 65% da produção mundial de feijão (CONAB, 2014). No Brasil, o cultivo do feijoeiro está difundido em praticamente todo o território nacional, porém, grande parte da produção está concentrada em apenas alguns estados, Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso, Goiás, Bahia, São Paulo, Santa Catarina e Ceará.

Segundo levantamento da CONAB (2014), a produção brasileira de feijão na safra 2013/2014 foi de 3.444,1 mil de toneladas, o que manteve o País como o maior produtor mundial do grão. No que concerne ao Nordeste, o acompanhamento de Safra da CONAB, de

setembro de 2014, mostra que a Região apesar de ter a maior área plantada do país, com 1.625.600 ha, possui apenas a terceira maior produção, cerca de 668,0 mil toneladas, fato esse explicado pela baixa produtividade, quando comparada com a de outras regiões, 1.865 kg ha⁻¹ foi à média de produtividade da região Centro Oeste, contra 411,0 kg ha⁻¹ no Nordeste.

O feijão-caupi é uma leguminosa bem adaptada às condições edafoclimáticas do Nordeste do Brasil (NEB). Esta leguminosa é cultivada para a produção de grãos em regiões de clima quente, úmido e semiárida, para alimentação humana e animal (Ellis et al., 1994).

2.6 NECESSIDADE HÍDRICA DA CULTURA DO FEIJÃO

O feijão é sensível ao estresse hídrico, com reduzida capacidade de recuperação, e sistema radicular pouco desenvolvido (Back, 2001). Do ponto de vista pluviométrico, as exigências hídricas são consideravelmente satisfeitas, visto que exigem um mínimo de 300 mm de precipitação pluvial que, se bem distribuídos durante o período de desenvolvimento da cultura, oferece boa colheita (Campos et al., 2010). As regiões cujas cotas pluviométricas oscilem entre 250 e 500 mm anuais são consideradas aptas para a implantação da cultura (Andrade Júnior et al., 2002).

O feijão-caupi é uma leguminosa cultivada principalmente sob condições de sequeiro, por pequenos produtores da região semiárida brasileira, a qual se caracteriza pela extrema variabilidade interanual da precipitação pluvial, tornando essa variabilidade o maior responsável pelo sucesso ou não da produtividade. A baixa disponibilidade de água no solo é um fator limitante na produção do feijão, especialmente em três estádios críticos, que são a germinação, florescimento e enchimento de grãos (Soratto et al., 2003).

A ocorrência de ligeiros déficits hídricos no início do desenvolvimento da cultura pode concorrer para estimular um maior desenvolvimento radicular das plantas, porém, estresse hídrico próximo e anterior ao florescimento pode ocasionar severa retração do crescimento vegetativo, limitando a produção (Ellis et al., 1994; Fancelli & Dourado Neto, 1997).

Muitos são os trabalhos encontrados que determinaram a evapotranspiração total do feijão em diferentes regiões do país. Lima et al. (2011) trabalhando com feijão-caupi na região de Áreia-PB encontraram uma evapotranspiração total de 330,7 mm e um média diária de 3,8 mm d⁻¹. Bastos et al. (2008) em trabalho realizado no Vale do Gurugéia-PI, encontraram como resultado uma evapotranspiração total de 288,5 mm, com média diária de 4,1 mm d⁻¹.

Saraiva & Souza (2012) avaliando o efeito das mudanças climáticas nas necessidades hídricas do feijão-caupi, no perímetro irrigado Curu-Pentecoste, observaram que a demanda de água da cultura deverá se elevar cerca de 7,5% a mais, no caso do cenário B2, e 12,8% a mais no caso do cenário A2. Os mesmos autores encontraram uma ETc total de 422 mm para as condições climáticas (temperatura) atuais, e de 461 e 488 mm para os cenários B2 e A2, respectivamente.

2.7 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DO AR NO DESENVOLVIMENTO DO FEIJÃO

Dentre os elementos climáticos que mais influenciam a produção do feijão salienta-se a temperatura, a radiação solar e a precipitação pluvial. Em relação ao fotoperíodo, as cultivares brasileiras de feijoeiro geralmente são insensíveis, ou seja, seu desenvolvimento e crescimento são controlados somente pela temperatura (Didonet & Silva, 2004).

O bom desenvolvimento do feijão-caupi ocorre na faixa de temperatura de 18 a 34 °C. A temperatura base abaixo da qual cessa o crescimento varia com o estágio fenológico. Para a germinação, varia de 8 a 11 °C, enquanto para o estágio de floração inicial, de 8 a 10 °C (Craufurd et al., 1996a, 1996b). Altas temperaturas durante o florescimento reduzem o pegamento floral, prejudicando a floração e a produção final. Baixas temperaturas, inferiores a 19 °C, influenciam diretamente o comprometimento da produtividade da leguminosa, dando margem ao aumento do ciclo vegetativo e retardando o florescimento; temperaturas superiores a 35 °C também acarretam prejuízos ao desenvolvimento da cultura pois provocam aborto espontâneo das flores, ocasionam a retenção das vagens na planta e diminuem consideravelmente o número de sementes por vagem (Campos et al., 2010).

Campos et al. (2010) analisando impacto do aquecimento global sobre o zoneamento agrícola do feijão-caupi, no Estado da Paraíba, observaram que, para um aumento de 3 e 6 °C da temperatura do ar, as áreas aptas ao cultivo do feijão serão reduzidas consideravelmente nas próximas décadas.

A temperatura tem efeito direto sobre a fenologia das culturas, e alterações bruscas podem afetar significativamente o seu desenvolvimento. Diaz-Ambrona et al. (2013), analisando o impacto que as mudanças climáticas podem provocar sobre o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), estimam que reduções de 3 a 20 dias podem ocorrer no ciclo da cultura em diferentes regiões de Honduras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, J. P. M.; Pereira, L. S. **Impactes e vulnerabilidade da agricultura resultantes das alterações climáticas**. Portugal. 2008. 134p
- Afonso, S. M. E. Caracterização Físico-Química e Actividade Antioxidante de Novas Variedades de Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Qualidade e Segurança Alimentar. Bragança, 2010, 52p.
- Albuquerque, P. E. P. de; Andrade, C. de L. T. de.; Planilha eletrônica para a programação da irrigação de culturas anuais. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2001. 14p. Circular Técnica, 10.
- Alexandratos, N. Countries with rapid population growth and resources constrains: issues of food, agriculture and development. **Population and Development Review**, v. 31, n. 2, p. 237-258, 2005.
- Ambrizzi, T.; Rocha, R. P. da; Marengo, J. A; Pisnitchenko, I.; Alves, L. M.; Fernandez, J. P. R. Cenários regionalizados de clima no Brasil para o século XXI: Projeções de clima usando três modelos regionais. Relatório 3. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade – Subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília, fevereiro 2007.
- Andrade Júnior, A. S.; Barros, A. H. C.; Silva, C. O.; Freire Filho, F. R. Zoneamento de risco climático para a cultura do feijão-caupi no Estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 01, p. 109-117, 2007.
- Assad, E. D.; Pinto, H. S. Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil. Brasília, DF, Embrapa; Campinas; Unicamp, 2008. 84 p.
- Assad, E. D.; Pinto, H. S.; Zullo Junior, J.; Marin, F.; Pellegrino, G. Mudanças climáticas e a produção de grãos no Brasil: avaliação dos possíveis impactos. **Plenarium**, v. 5, n. 5, p. 96-117, 2008.
- Assis, J. P.; Dourado Neto, D.; Nass, L. L.; Manfron, P. A.; Bonnacarrere, 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, v. 41, p. 539-543, 2006.

- Back, A. J. Necessidade de irrigação da cultura de feijão no sul do estado de Santa Catarina. **Rev. Tecnol. Ambiente**, Criciúma, v. 7, n. 1, p. 35-44, jan/jun. 2001.
- Badu-Apraku, B.; Hunter, R. B.; Tollenaar, M.; Effect of temperature during grain filling on whole plant and grain yield in maize. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 63, p. 357–363, 1983.
- Bastos, E. A.; Ferreira, V. M.; Silva, C. R. da; Andrade Junior, S. de. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do feijão-caupi no vale do Gurguéia, Piauí. **Irriga**, v. 13, n. 02, p. 182-190, 2008.
- Ben-Asher, J.; Garcia y Garcia, A.; Hoogenboom, G. Effect of high temperature on photosynthesis and transpiration of sweet corn (*Zea mays* L. var. rugosa). **Photosynthesis**, v. 46, p. 595–603, 2008.
- Bird, I. F.; Cornelius, M. J.; Keys, A. J. Effects of temperature on photosynthesis by maize and wheat. **Journal of Experimental Botany**. v. 28, p. 519-524, 1977.
- Campos, J. H. B.; Silva, M. T.; Silva, V. P. R. Impacto do aquecimento global no cultivo do feijão-caupi, no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 4, p. 396–404, 2010.
- Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo segundo levantamento. Brasília: v. 1, n. 12, p. 1-127, set-2014.
- Costa, L. C.; Justino, F.; Oliveira, I. J. C.; Sediya, 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.
- Craufurd, P. Q.; Ellis, R. H.; Summerfield, R. J.; Menin, L. Development in cowpea (*Vigna unguiculata*) I. The influence of temperature on seed germination and seedling emergence. **Experimental Agriculture**, London, v.32, n. 1, p. 1-12, 1996a.
- Craufurd, P. Q.; Qi, A.; Ellis, R. H.; Summerfield, R. J.; Roberts, E. H. Development in cowpea (*Vigna unguiculata*) II. Effect of temperature and saturation deficit on time to flowering in photoperiod insensitive genotypes. **Experimental Agriculture**, London, v. 32, n. 1, p. 13-28, 1996b.
- Cruz, J. C.; Pereira Filho, I. A. et al. Produção de Milho na Agricultura Familiar. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2011. 42p. Circular Técnica, 159.

- 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.
- Doorenbos, J.; Kassan, A.H. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: UFPB, 306p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33), 2000.
- Downing, T.; Butterfield, B.; Edmonds, D.; Knox J. W.; Moss, S.; Piper, B.; Weatherhead, E. K. **CCDeW: climate change and demand for water revisited. Final research report to DEFRA**. Stockholm Environment Institute Oxford Office, UK, 2003.
- Ellis, R. H.; Lawer, R. J.; Summerfield, R. J.; Roberts, E. H.; Chay, P. M.; Brouwer, J. B.; Rose, J. L.; Yeates, S. J. Towards the reliable prediction on time to flowering in six anual crops. III. Cowpea (*Vigna unguiculata*). **Experimental Agriculture**, v.30, p.17-29, 1994.
- Fancelli, A.L.; Dourado Neto, D. Milho: Fisiologia da produção. Seminário sobre fisiologia da produção e manejo de água e nutrientes na cultura do milho de alta produtividade. Potafos: Piracicaba, 1996. 30p.
- Fancelli, A. L.; Dourado Neto, D. Tecnologia da produção do feijão irrigado. 2. ed. Piracicaba: Publique, 1997. 182 p.
- FAO. Faostat. 2008. Disponível em: <www.faostat.org>. Acesso em: mar.2014.
- FAO. Food and Agriculture Organization. Milho: Principais países produtores. 2006. Disponível em: <www.fao.org>. Acesso em: jan.2010.
- Freire Filho, F. R.; Ribeiro, V. Q.; Rocha, M. de M.; Nogueira, M. do S. da R.; Rodrigues, E. V. Feijão-Caupi no Brasil: Produção, melhoramento genético, avanços e desafios. Embrapa Meio-Norte, 2011. 84 p.
- Fornasieri Filho, D. A cultura do milho. Jaboticabal: Funep, 1992. 273 p.
- Guerena, A.; Ruiz-Ramos, M.; Diaz-Ambrona, C. H.; Conde, J.R.; Minguez, M. I. Assessment of climate change and agriculture in Spain using climate models. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 237–249, 2001.
- Hafner, S. Trends in maize, rice and wheat yields for 188 nations over the past 40 years: a prevalence of linear growth. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 97, n. 1-3, p. 275-283, 2003.

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**, v. 103, p. 351–370, 2011.

IPCC, Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p. 2007.

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**, v. 110, p. 94–108, 2012.

Kim, H. S.; Gitz, D. C.; Sicher, R.C.; Baker, J.T.; Timlin, D.J.; Reddy, V. R. Temperature dependence of growth, development, and photosynthesis in maize under elevated CO₂. **Environmental and Experimental Botany**. v. 61, p. 224-236, 2007.

Kiniry, J. R.; Bonhomme, R. Predicting maize phenology, In: Hodges, T (Ed). Predicting crop phenology. Boca Raton: CRC Press, Cap. 11, p.115-131, 1991.

Lima, J. R. de S.; Antonino, A. C. D.; Lira, C. A. B. de O.; Souza, E. S. de; Silva, I. de F. da. Balanço de energia e evapotranspiração de feijão caupi sob condições de sequeiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 65-74, jan-mar, 2011.

Lobell, D. B.; Schlenker, W.; Costa-Roberts, J. Climate trends and global crop production since 1980. **Science**, vol. 333, n. 6042, p. 616–620, 2011, <http://dx.doi.org/10.1126/science.1204531>.

Magrin, G. et al. Latin America. In: PARRY, M. L. et al. (Ed.) Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007. p. 581-615.

Mahdi, N. M.; Reza, K. A. Effects of climate change on agroclimatic indices in rainfed wheat production areas of Iran. **Iranian Journal of Field Crops Research**, v. 3, n. 2, p. 291-303, 2006.

Maréchal, R.; Mascherpa, J. M.; Stainier, F. Étude taxonomique d'un groupe complexe d'espèces de genres *Phaseolus* et *Vigna* (Papilionaceae) sur la base de données morphologiques et polliniques, traitées par l'analyse informatique. **Boissiera**, Geneve, v. 28, p. 1-273, 1978.

- Marengo, J. A. Água e mudanças climáticas. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22 (63), 2008.
- Marengo, J. A.; Nobre, C. A.; Salati, E.; Ambrizzi, T. Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Sumário Técnico. Ministério do meio ambiente. Brasília, 2007. 54p.
- Meza, F. J.; Silva, D.; Vigil, H. Climate change impacts on irrigated maize in Mediterranean climates: evaluation of double cropping as an emerging adaptation alternative. **Agricultural Systems**, v. 98, p. 21–30, 2008.
- Mínguez, I.; Ruiz, A.; Estrada, A. (2005) Impacts on the agrarian sector. A preliminary general assessment of the impacts in Spain due to the effects of climate change. Ministerio de Medio Ambiente, Spain
- Minuzzi, R. B.; Lopes, F. Z. Desempenho agrônomo do milho em diferentes cenários climáticos no Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 8, p. 734–740, 2015.
- Moradi, R.; Koocheki, A.; Mahallati, M. N.; Mansoori, H. Adaptation strategies for maize cultivation under climate change in Iran: irrigation and planting date management. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v.18, p.265-284, 2013. <http://dx.doi.org/10.1007/s11027-012-9410-6>
- Muchow, R. C.; Sinclair, T. R.; Bennett, J. M. Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. **Agronomy Journal**, 82, 338–343, 1990.
- Nadler, A. J.; Bullock, P. R. Long-term changes in heat and moisture related to corn production on the Canadian Prairies. **Climatic Change**, v. 104, p. 339–352, 2011.
- Ometto, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 440p.
- Padulosi, S.; Ng, N. Q. Origin taxonomy, and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In: SINGH, B. B.; Mohan RAJ, D. R.; Dashiell, K. E.; Jackai, L. E. N. (Ed.). Advances in cowpea research. Ibadan: International Institute of Tropical Agriculture; Tsukuba: Japan International Research Center for Agricultural Sciences, 1997. p. 1-12. Trabalhos selecionados do Second World Cowpea Research Conference, 1995, Accra, Ghana.
- Peiris, D. R.; Crawford, J. W.; Grashoff, C.; Jefferies, R. A.; Porter, J. R.; Marshall, B. A simulation study of crop growth and development under climate change. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 79, p. 271–287, 1996.

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.

Andrade Júnior, A. S.; Santos, A. A.; Sobrinho, C. A.; Bastos, E. A.; Melo, F. B.; Viana, F. M. P.; Freire Filho, F. R.; Silva, J. C.; Rocha, M. M.; Cardoso, M. J.; Silva, P. H. S.; Ribeiro, V. Q. Cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002. 108p. Sistemas de Produção: 2.

Romano, M. R. Desempenho fisiológico da cultura de milho com plantas de arquitetura contrastante: parâmetros para modelos de crescimento. Piracicaba: USP, 2005. 100p. Tese Doutorado.

Rosenzweig, C.; Hillel, D. **Climate Change and the Global Harvest**. Oxford University Press, Oxford, UK, 1998. 336p.

Santana, M. J. de; Silveira, A. L. da; Reis, H. P. O. dos. Aplicação de boro e reposição de água no solo na cultura do milho forrageiro. *Revista Agrogeoambiental*, v. 6, n. 2, Agos-2014.

Santos, W. de O.; Nunes, R. L. C.; Galvão, D. de C.; Pereira, V. da C.; Maniçoba, R. M.; Lima, J. G. A.; Viana, P. C. Evapotranspiração da cultura do milho verde, análise estatística. **Revista Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 9, n. 1, p. 75-81, jan - mar, 2013.

Santos, W. O. Necessidades hídricas, desenvolvimento e análise econômica do milho nas condições do semiárido brasileiro. 2012. 105 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2012.

Saraiva, K. R.; Souza, F. O efeito das mudanças climáticas nas necessidades hídricas do feijão-caupi no curu-pentecoste utilizando o modelo "ISAREG". **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 6, n. 1, p. 8-13, 2012.

Silva, P. S. L.; Oliveira, C. N. Rendimentos de feijão verde e maduro de cultivares de caupi. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 11, n. 2, p 133-135, 1993.

Smartt, J. **Grain legumes: evolution and genetic resources**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 333 p

Soratto, R. P.; Orivaldo, A. R. F.; Rodrigues, R. A. F.; Buzetti, S.; Silva, T. R. B. Resposta do feijoeiro ao prepare do solo, manejo de água e parcelamento do nitrogênio. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 89-96, 2003.

Souza, A. P. de; Lima, M. E. de; Carvalho, F. de; Evapotranspiração e coeficientes de cultura do milho em monocultivo e em consórcio com a mucuna-cinza, usando lisímetros de pesagem. **Rev. Bras. Ciênc. Agrár.** Recife, v.7, n.1, p.142-149, jan-mar. 2012

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, p. 409–432, 2011. <http://dx.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, p. 179–189, 2000.

CAPÍTULO 1

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

RESUMO

O milho é uma das culturas básicas mais vulneráveis às intempéries do clima e pode ser muito afetada com possíveis mudanças climáticas futuras. Muitos estudos têm sido conduzidos, a partir de cenários de projeções futuras do clima, com o intuito de investigar os impactos que essas mudanças podem provocar na cultura. O presente trabalho teve como objetivo verificar os impactos que as mudanças climáticas podem provocar sobre o desenvolvimento e a evapotranspiração do milho, em uma região de clima semiárido do Nordeste brasileiro. O trabalho foi desenvolvido nos municípios de Apodí, Ipanguaçu e Mossoró, pertencentes ao estado do Rio Grande do Norte. A determinação da evapotranspiração da cultura, em suas diferentes fases, foi realizada através de lisímetros de pesagem. 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 cenários de emissões baseados no relatório do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): um pessimista denominado A2 e um otimista B2. Os dados de temperatura do ar 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 na evapotranspiração total de 3,0%, considerando o cenário mais otimista, e de 4,4% no cenário mais pessimista. Quando se considera o efeito das mudanças climáticas sobre o coeficiente de cultivo, a evapotranspiração acumulada da cultura dos dois cenários avaliados permaneceu praticamente a mesma das condições atuais.

Palavras-chave: temperatura, umidade relativa, evapotranspiração

ABSTRACT

Maize is one of the most vulnerable staple crops the climate and can be very affected with possible future climate change. Many studies have been conducted from projections of future climate scenarios, in order to investigate the impact that these changes may cause. This study aims to determine the impacts that climate change may lead to the development and evapotranspiration of maize, in a region of climate of semi-arid northeastern Brazil. The study was conducted in the municipalities of Apodi, Ipanguaçu and Mossoro, the state of Rio Grande do Norte. The determination of crop evapotranspiration, in its different phases, was held by lysimeters of weighing. To carry out the projections, on the influence of climate change on water consumption of culture, they were simulated alterations in temperature and relative humidity. We evaluated two scenarios of emissions based on the IPCC report (Intergovernmental Panel on Climate Change): a pessimist called A2 and optimistic B2. The data used temperature and relative humidity they were outputs of PRECIS model. According to the model projections the temperatures in the region will be far above the optimal limit for the development of culture. The duration of the crop cycle showed an average reduction of 10 and 15 days for the B2 scenarios and B2, respectively. The reduction in cycle also caused a decrease in the total evapotranspiration of 3.0%, considering the most optimistic scenario, and 4.4% in the worst case scenario. When considering the effect of climate change on the coefficient of cultivation, the accumulated evapotranspiration of the two scenarios evaluated remained virtually the same as the current conditions.

Key words: temperature, relative humidity, evapotranspiration

1. INTRODUÇÃO

Segundo 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. Dentre as 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 (GCMs). 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 do clima e pode ser muito afetada com possíveis mudanças climáticas futuras (Tao et al., 2004 e Tao et al., 2008).

A cultura do milho vem sendo cultivada nos últimos anos pelos produtores do Rio Grande do Norte, no período chuvoso, em rotação com o melão irrigado, como também, sob irrigação no período seco. A cultura do milho apresenta grande importância devido a sua produção em grande volume sobre imensa área cultivada, bem como o seu valor nutricional e o papel sócioeconômico que representa. O mesmo serve de matéria prima básica para uma série de produtos industrializados, passando a gerar emprego e renda para milhares de pessoas que estão envolvidas na cadeia produtiva do milho, desde o transporte a comercialização desse cereal (Santos, 2012).

A evapotranspiração seria umas das variáveis mais afetadas por possíveis mudanças nas condições climáticas. Muitos estudos apontam uma redução na evapotranspiração total 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 ciclo de duração mais longos, o que provocaria um aumento na evapotranspiração total. Essas alterações afetariam diretamente a demanda de irrigação e consequentemente a disponibilidade de recursos hídricos, que já é tão escassa em se tratando de regiões áridas e semiáridas.

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

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido nos municípios de Apodí, Ipanguaçu e Mossoró, pertencentes ao estado do Rio Grande do Norte (Figura 1). A classificação climática dos municípios, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo BSh, clima semiárido seco (Alvares et al., 2014).

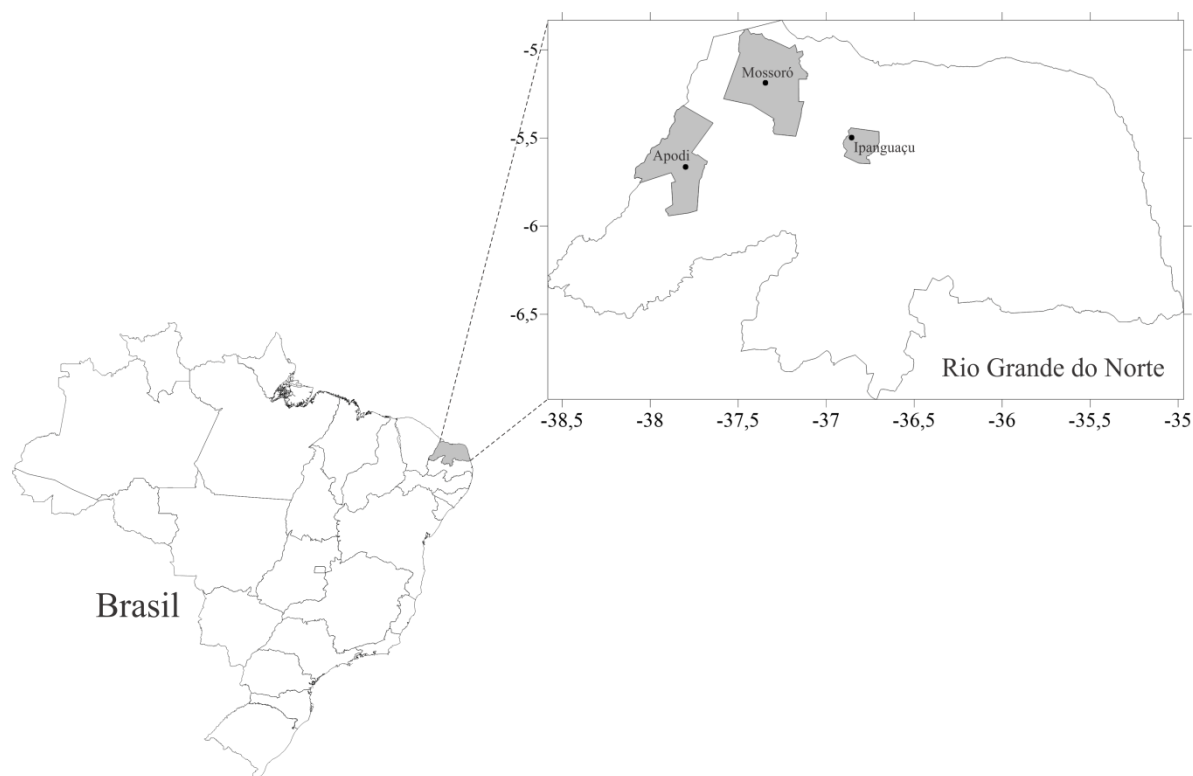


Figura 1. Localização dos experimentos

Em Apodí-RN, a área utilizada foi a da fazenda experimental pertencente a 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 EMBRAPA (1999).

No Município de Ipanguaçu-RN, também foi utilizada a 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 (EMBRAPA, 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 de 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 (EMBRAPA, 1999).

Em Apodi e Ipanguaçu a área cultivada foi de 720 m² e em Mossoró foi utilizada uma área de 2.700 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 da área de Apodi foi realizado no dia 20/09/2013 e a colheita realizada em 06/01/2014, perfazendo um total de 109 dias. 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 ficou compreendido entre os dias 04/09 e 17/12 de 2013, totalizando 105 dias.

2.1 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA

A determinação da evapotranspiração da cultura, em suas diferentes fases, foi realizada através de lisímetros de pesagem. Cada área possuía dois lisímetros, com exceção da área experimental de Mossoró que possui quatro lisímetros. Os lisímetros possuem 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 localizada 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.

Para efeito do cálculo dos coeficientes de cultivo médios, o ciclo da cultura foi dividido em quatro fases fenológicas, definidas de acordo com a metodologia de Doorenbos & Pruitt (1977), da seguinte forma: I) fase inicial: do plantio até 10% de cobertura do solo; II) fase de crescimento: do final da fase inicial até a cobertura total do solo; III) fase intermediária: do estabelecimento da cobertura total do solo até o início da maturação; e IV) fase final: final da fase III até a colheita.

2.2 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

Próximo a cada local, foi instalada uma estação meteorológica contendo sensores de radiação solar global incidente (Saldo Radiômetro CNR 4), velocidade e direção do vento (Anemômetro 03102), temperatura e umidade relativa do ar (HMP45C) e um pluviômetro (Pluviômetro de Bâscula TE525MM), conectados a um sistema de aquisição e armazenamento de dados (datalogger Campbell Scientific, modelo CR3000), programado para coletar dados cada 5 segundos e as médias e/ou totais a cada 60 min.

De acordo com Allen et al. (2006), a equação de Penman-Monteith assume a seguinte forma para a evapotranspiração de referência:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T_{med} + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

ET_o: Evapotranspiração de referência (mm d⁻¹);

Rn: Saldo de radiação ou Radiação líquida (MJ m⁻² d⁻¹);

G: Densidade de fluxo de calor no solo (MJ m⁻² d⁻¹);

T_{méd}: Temperatura média diária do ar a 2m de altura (°C);

u₂: Velocidade do vento média diária a 2m de altura (m s⁻¹);

e_s: Pressão de saturação do vapor médio diário (kPa);

e_a: Pressão atual de vapor médio diário (kPa);

Δ: Declividade da curva de pressão de vapor no ponto de T_{méd} (kPa °C⁻¹); e

γ: Coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹).

2.3 GRAUS DIAS ACUMULADOS

Para determinação dos graus dias acumulados foi utilizada a metodologia de Ometto (1981), que segundo Renato et al. (2013) é a mais indicada para as simulações, 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) $TB > TM > Tm > Tb$

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

$$2) \quad TB > TM > Tb > Tm$$

$$GD = \frac{(TM - Tm)^2}{2(TM - Tm)} \quad (3)$$

$$3) \quad TB > Tb > TM > Tm$$

$$GD = 0 \quad (4)$$

$$4) \quad TM > TB > Tm > Tb$$

$$GD = \frac{2(TM - Tm)(Tm - Tb) + (TM - Tm)^2 - (TM - TB)}{2(TM - Tm)} \quad (5)$$

$$5) \quad TM > TB > Tb > Tm$$

$$GD = \frac{1}{2} \cdot \frac{(TM - Tb)^2 - (TM - TB)^2}{TM - Tm} \quad (6)$$

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

A temperatura basal inferior utilizada no modelo para as cultura do milho foi 10°C e a basal superior de 32°C (Renato et al., 2013).

2.4. AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO CONSUMO HÍDRICO

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 cenários 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 de temperatura do ar e umidade relativa utilizados 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 impulsionado por condições de contorno, simuladas 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 Inglaterra, Índia, África do Sul e China. Este modelo possui uma resolução horizontal de 50 km com 19 níveis na vertical e 4 níveis no solo. Maiores detalhes acerca do sistema PRECIS podem ser obtidos em Jones et al. (2004).

Foram avaliadas duas situações: a primeira onde se considerou os coeficientes de cultivos 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).

$$Kc = Kc_{atual} + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(UR_{\min} - 45)] \left(\frac{h}{3} \right)^{0,3} \quad (7)$$

Em que:

Kc: coeficiente de cultivo ajustado;

Kc_(atual): coeficiente de cultivo (se $\geq 0,45$);

u₂: velocidade média do vento da fase a 2 metros de altura, m s⁻¹;

UR_{min}: umidade relativa mínima média durante a fase, %;

h: altura média das plantas na fase, m.

De posse dos Kc's obtidos nos experimentos, e com as novas ETo decorrente dos cenários (A2 e B2), foi gerada uma nova ETc e realizada a comparação da necessidade hídrica da cultura, nas condições climáticas atuais, com as necessidades hídricas para os dois cenários avaliados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 pode ser observada a variação da radiação solar e velocidade do vento nos três locais, durante o período de condução do experimento. Observa-se na Figura 2A que a radiação global total diária, para o município de Apodi, oscilou entre 10,66 e 26,84 MJ m⁻² dia⁻¹ com uma média de 22,82 MJ m⁻² dia⁻¹. A velocidade do vento a 2 m de altura apresentou média de 2,60 m s⁻¹. Estes valores foram semelhantes aos encontrados por Cavalcante Junior et al. (2013), em experimento realizado na mesma área e época do ano, (outubro de 2010 a janeiro de 2011), onde verificaram uma oscilação entre 8,6 e 29,2 MJ m⁻² dia⁻¹ na radiação global total diária e média de 2,33 m s⁻¹ na velocidade do vento.

O município de Mossoró (Figura 2B) apresentou velocidade média do vento a 2 m de altura de 2,48 m s⁻¹ e radiação global total diária variando entre 15,28 e 28,16 MJ m⁻² dia⁻¹, com média de 24,79 MJ m⁻² dia⁻¹. Santos (2012) em experimento realizado na mesma área, no período de novembro de 2011 a janeiro de 2012, verificou uma velocidade média do vento um pouco superior de 2,88 m s⁻¹. Melo et al. (2013) em experimento realizado no mesmo local (outubro a dezembro de 2009) registraram uma variação na radiação global entre 17,2 e 25,1 MJ m⁻² dia⁻¹.

A Figura 2C mostra a variação da velocidade do vento média e a radiação global total diária para o município de Ipanguaçu. A velocidade média do vento a 2 m de altura durante o experimento foi de 2,38 m s⁻¹ e a radiação global total diária oscilou entre 9,55 e 25,79 MJ m⁻² dia⁻¹, com média de 21,18 MJ m⁻² dia⁻¹. Fonsêca Neto (2013), em experimento realizado na mesma área no período de setembro a dezembro de 2012, registrou uma velocidade média do vento de 2,15 m s⁻¹ e uma variação na radiação global entre 13,71 e 25,59 MJ m⁻² dia⁻¹ com uma média de 21,95 MJ m⁻² dia⁻¹.

As oscilações verificadas nos valores de velocidade do vento, radiação solar e consequentemente na evapotranspiração, estão associadas a dias de ocorrências de precipitações ou elevada nebulosidade. Pode ser observado, por exemplo, no dia 20 de dezembro (próximo aos 90 dias após o plantio) nos municípios de Apodi e Ipanguaçu, uma redução significativa em ambas as variáveis, decorrente de uma precipitação ocorrida no referido dia.

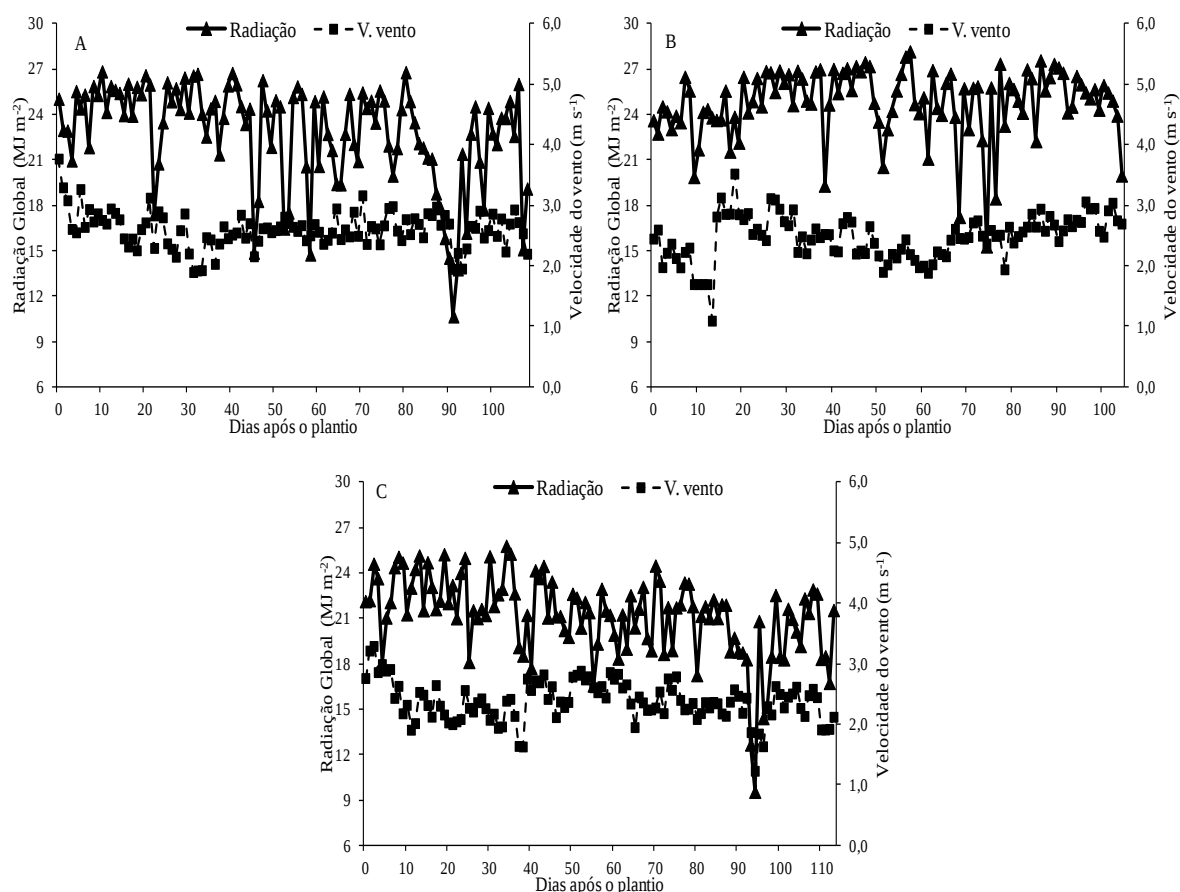


Figura 2. Variação da radiação global e velocidade do vento registradas durante os experimentos nos municípios de Apodi (A), Mossoró (B) e Ipanguaçu (C).

Na figura 3 é apresentada a variação da ETo nas três localidades. O município de Apodi (Figura 3A) apresentou valor mínimo de 3,11 mm dia⁻¹ e máximo de 8,55 mm dia⁻¹. Estes valores foram semelhantes aos obtidos por Cavalcante Junior et al. (2013), em experimento realizado na mesma área e época do ano, onde observaram que os valores oscilaram entre 2,36 mm dia⁻¹ e 8,67 mm dia⁻¹.

Para Mossoró (Figura 3B) os valores oscilaram entre 5,26 e 7,83 mm dia⁻¹ e em Ipanguaçu (Figura 3C) entre 7,55 e 2,56 mm dia⁻¹. Estes valores foram próximos aos encontrados por Melo et al. (2013) e Fonsêca Neto (2013), nos municípios de Mossoró e Ipanguaçu, respectivamente.

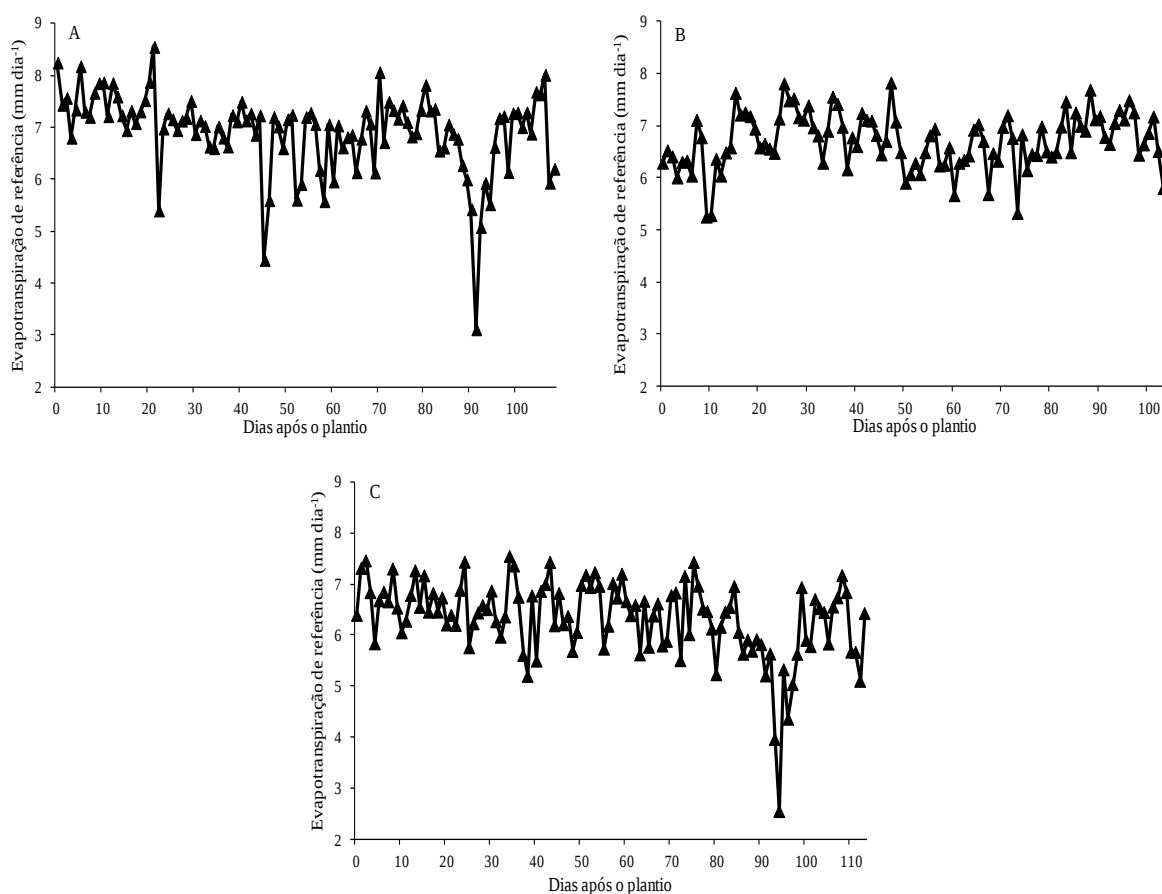


Figura 3. Variação da evapotranspiração de referência registradas durante os experimentos nos municípios de Apodi (A), Mossoró (B) e Ipanguaçu (C).

A Tabela 1 mostra a duração média de cada fase da cultura, graus-dias acumulados por fase, os coeficientes de cultivo (K_c) obtidos em cada experimento e os coeficientes ajustados para as 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 aproximados. 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, portanto também influenciam os valores dos coeficientes de cultivo, especialmente as culturas que possuem uma altura significativamente maior que a cultura de referência.

Devido as propriedades aerodinâmicas serem 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 observa, nos coeficientes ajustados das fases de floração, desenvolvimento vegetativo e maturação

fisiológica, os Kcs sofreram um acréscimo em virtude da redução da umidade relativa mínima simulada pelo modelo.

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

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

Observa-se, na Figura 4, o comportamento da curva de Kc em função dos graus-dias acumulados para as três localidades. O Kc inicial sofre grande influencia dos eventos molhamento da superfície (chuva ou irrigação), o que faz com que atinja seus maiores índices em curtos períodos imediatamente posteriores aos eventos de umidecimento do solo. À medida que a cultura se desenvolve o Kc passa a ser mais influenciado por características da própria cultura, como também por condições climáticas locais e práticas agronômicas adotadas. Os dados diários foram ajustados a equações polinomiais de terceira ordem, pois segundo Sammis et al. (1985) esse modelo descreve muito bem a relação entre coeficiente de cultura e graus-dias de desenvolvimento para alfafa, milho, sorgo e algodão. Medeiros et al. (2000) em trabalho realizado com feijoeiro, encontram relações bastantes significativas entre coeficiente de cultura com graus-dia acumulados, mas eles ressaltam que esta relação é fortemente afetadas por fatores mesológicos, como densidade de plantio, suprimento de água e temperatura.

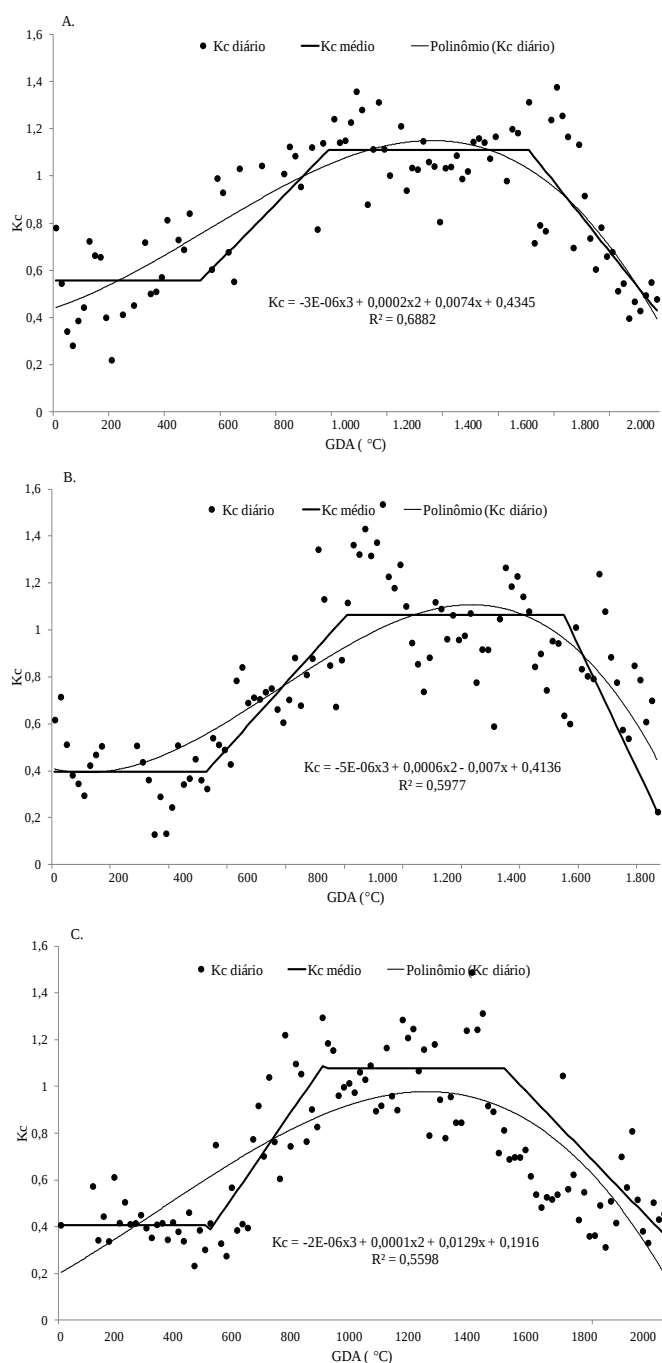


Figura 4. Variação do coeficiente de cultivo (K_c) do milho em função dos graus-dia acumulados, nos municípios de Apodi (A), Mossoró (B) e Ipanguaçu (C).

Os incrementos mensais nas temperaturas do ar (médias, máximas e mínimas) sob os diferentes cenários de mudanças climáticas, para o período de setembro a janeiro estão apresentadas nas Figuras 5, 6 e 7. Para o cenário B2, as médias de incremento nas temperaturas médias do ar, no período de setembro-janeiro, foram de 2,4; 2,4 e 2,5 °C e para o cenário A2 de 4,0; 3,7 e 4,0 °C para os municípios de Apodi, Mossoró e Ipanguaçu, respectivamente. Verifica-se que o aumento esperado na temperatura média do ar é semelhante nos três municípios. Estes valores estão de acordo com Marengo et al. (2007) que

estimaram um aumento na temperatura do ar no Nordeste brasileiro, baseados na média de 6 modelos climáticos globais do IPCC, de 2,2 e 4,0 °C para os cenários B2 e A2, respectivamente. Assad et al. (2013) trabalhando com o modelo PRECIS (baseline 1961-1990), estimaram um incremento na temperatura do ar de 2,39 °C para o ano de 2040, considerando o cenário A2, nas regiões produtoras de algodão do Nordeste brasileiro.

As alterações médias de incremento para as temperaturas máximas do ar, para o período de setembro-janeiro (Figura 6), foram de 2,3; 2,7 e 2,6 °C para o cenário B2 e de 4,1; 4,4 e 4,3 °C no cenário A2 para os municípios de Apodi, Mossoró e Ipanguaçu, respectivamente. Observa-se que os maiores acréscimos na temperatura máxima do ar são esperados para os municípios de Mossoró e Ipanguaçu. Segundo o modelo, os municípios de Apodi e Ipanguaçu sofrerão os maiores aumentos na temperatura mínima do ar (Figura 7). Os incrementos médios nas temperaturas mínimas do ar foram de 2,5; 2,1 e 2,4 °C para o cenário B2 e de 3,8; 3,1 e 3,6 °C no cenário A2, para os municípios de Apodi, Mossoró e Ipanguaçu, respectivamente.

A Figura 8 mostra a projeção da umidade relativa do ar gerado pelo modelo, e verificar-se uma redução média de 2,8 e 4,6% para os cenários B2 e A2, respectivamente. Isso mostra que segundo o modelo além de temperaturas mais elevadas, se espera que o ar se torne mais seco aumentando assim o poder de extração de vapor d'água pela atmosfera.

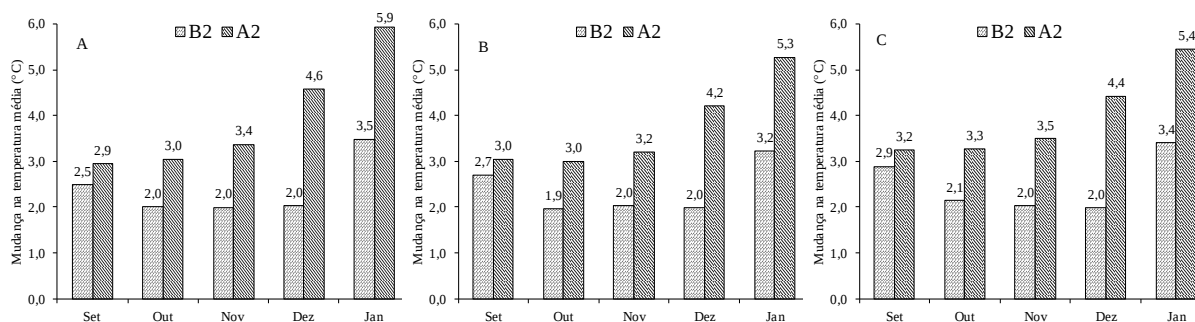


Figura 4. Incremento na temperatura média do ar, durante os meses de setembro a janeiro, sob diferentes cenários de mudanças climáticas (A2 e B2), para os municípios de Apodi (A), Mossoró (B) e Ipanguaçu (C), simuladas pelo modelo PRECIS para o ano de 2100.

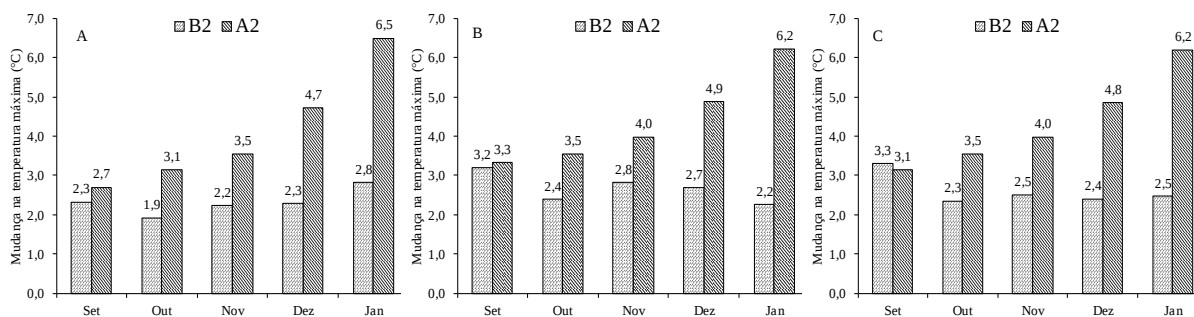


Figura 5. Incremento na temperatura máxima do ar, durante os meses de setembro a janeiro, sob diferentes cenários de mudanças climáticas (A2 e B2), para os municípios de Apodi (A), Mossoró (B) e Ipanguaçu (C), simuladas pelo modelo PRECIS para o ano de 2100.

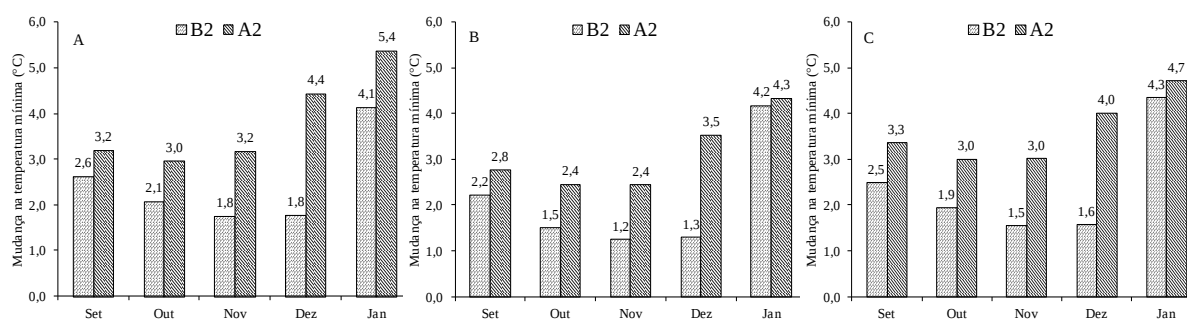


Figura 6. Incremento na temperatura mínima do ar, durante os meses de setembro a janeiro, sob diferentes cenários de mudanças climáticas (A2 e B2), para os municípios de Apodi (A), Mossoró (B) e Ipanguaçu (C), simuladas pelo modelo PRECIS para o ano de 2100.

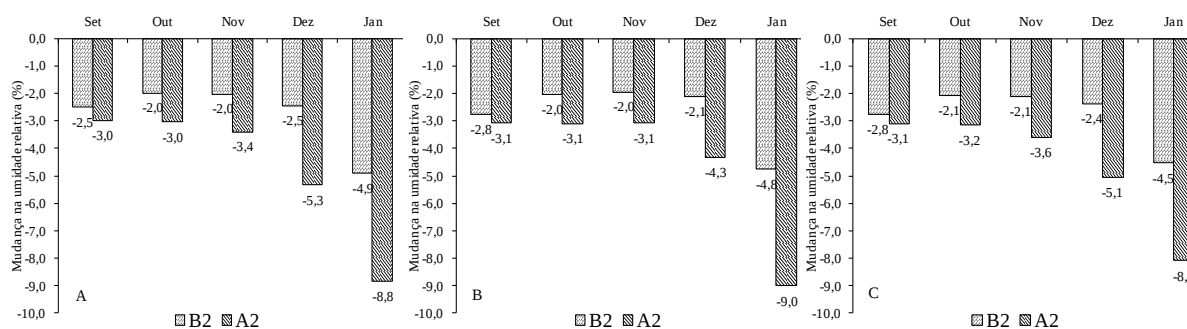


Figura 7. Redução da umidade relativa média do ar, durante os meses de setembro a janeiro, sob diferentes cenários de mudanças climáticas (A2 e B2), para os municípios de Apodi (A), Mossoró (B) e Ipanguaçu (C), simuladas pelo modelo PRECIS para o ano de 2100.

3.1 EFEITO DO AUMENTO DA TEMPERATURA DO AR NO MILHO

A temperatura tem um efeito significativo sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas. Cada cultura tem uma faixa ideal de temperatura para o seu desenvolvimento, e o desvio desta faixa pode afetar o seu desenvolvimento. Para Romano, (2005) e Assis et al.

(2006) a faixa ideal considerada para a cultura do milho está entre 10 e 32 °C. A região em estudo apresenta condições em que suas temperaturas máximas já excedem geralmente a temperatura ótima para o desenvolvimento do milho (Tabela 2). Esse problema pode ser mais agravado, como pode ser observado para os 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, como também de varias outras culturas, ficará seriamente comprometido.

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

Local	Atual			B2			A2		
	Tmed	Tmax	Tmin	Tmed	Tmax	Tmin	Tmed	Tmax	Tmin
Apodi	28,2	35,5	22,6	30,3	37,6	24,7	31,9	39,3	26,2
Mossoró	27,1	33,9	21,9	29,2	36,7	23,5	30,3	37,8	24,6
Ipanguaçu	28,2	35,2	21,8	30,5	37,7	23,8	32,0	39,4	24,9
Médias	27,8	34,9	22,1	30,0	37,3	24,0	31,4	38,8	25,2

Outro efeito do aumento nas temperaturas é o de acelerar o desenvolvimento da cultura. O ciclo de cada espécie vegetal está relacionado a partir da soma térmica diária necessária para cada cultura completar seu completo 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 108 dias (média das três localidades) passou para 99 dias para cenário B2 (Figura 9). 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.

Vários trabalhos com simulações apontam resultados semelhantes a estes. Minuzzi & 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. Diaz-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.

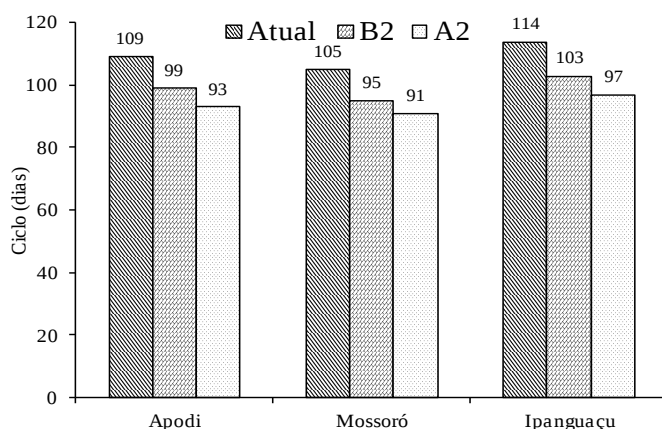


Figura 8. Ciclo da cultura do milho, sob diferentes cenários de mudanças climáticas (Atual, A2 e B2), para os municípios de Apodi , Mossoró e Ipanguaçu.

A duração do ciclo da cultura apresentou uma redução linear com o aumento médio da temperatura do ar para os dois cenários de mudanças climáticas (Figura 10). O aumento de 1 °C na temperatura média resultou na redução de aproximadamente 4 dias no ciclo da cultura. Islam et al. (2012) obtiveram resultado semelhante, em trabalho realizado em grandes planícies do estado do Colorado nos Estados Unidos, onde verificaram uma redução na duração do ciclo da cultura em cerca de 5 dias para cada aumento de 1 °C na temperatura média do ar.

Dentre outras injúrias causadas por condições de temperaturas muito elevadas podemos citar: problemas na germinação, rendimento, composição proteica dos grãos, polinização e na formação dos grãos. Diversos 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 e Tubiello et al., 2000).

Segundo Assad e Pinto (2008) os estudos neste sentido estão avançados, mas, ponderam os pesquisadores, mesmo que os trabalhos resultem em plantas mais resistentes, o melhoramento genético tem um limite. Se a temperatura subir mais do que 2°C, ele não terá como combater o problema pois a planta passa a ter dificuldade em fazer fotossíntese. Simultaneamente ao trabalho de melhoramento devem ser adotadas medidas de mitigação. Diversas práticas agrícolas já conhecidas são capazes de diminuir as emissões de carbono do setor agropecuário e ainda aumentar o sequestro do gás da atmosfera, como a integração entre pecuária e lavoura, a utilização de sistemas agroflorestais e o incentivo ao plantio direto (Assad & Pinto, 2008).

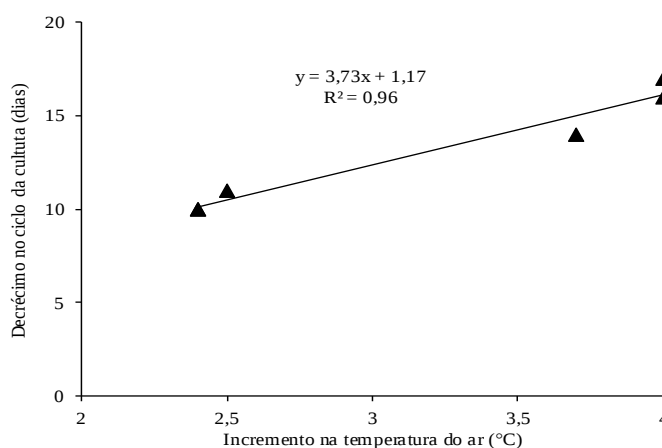


Figura 9. Relação entre o incremento na temperatura do ar e o ciclo de desenvolvimento do milho.

3.2 EFEITO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO MILHO

A redução do ciclo da cultura, devido ao aumento na temperatura, resultou em uma pequena diminuição na evapotranspiração total da cultura, em comparação a condição atual, nos dois cenários climáticos avaliados (Figura 11). No entanto, a taxa de evapotranspiração diária (Figura 13) aumentou em virtude também do aumento na temperatura e da redução da umidade relativa do ar.

No cenário B2 a redução média esperada na evapotranspiração total da cultura, considerando os 3 municípios, foi de aproximadamente 3,0%, em relação a situação atual. Para o cenário climático A2 a redução média chegou a 4,4%. Minuzzi & 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 a 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 & 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 Kc foi levado em consideração, a evapotranspiração acumulada da cultura (Figura 12) 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 apresentará efeito direto sobre os sistemas de irrigação, pois mesmo ocorrendo uma redução na evapotranspiração total, necessitarão de uma maior intensidade de irrigação para atender a demanda diária da cultura. As regiões que não atenderem esse nova demanda terão que reduzir consequentemente 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 CO₂ na evapotranspiração da cultura. A elevação nos níveis de CO₂ poderia reduzir ainda mais a evapotranspiração da cultura, pois um dos efeitos diretos desse aumento seria o fechamento parcial dos estômatos, desta forma, reduziria mais ainda a perda de água pela transpiração. Outro aspecto a se considerar é que na estimativa da ETo, para as condições de mudanças climáticas, não foram consideradas alterações na radiação solar e na velocidade do vento, duas variáveis importantes na determinação do consumo hídrico das culturas, assim, torna-se importante a realização de novos estudos que considerem o efeito dessas variáveis.

Como na maioria dos estudos sobre o impacto das mudanças climáticas sobre os 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 agronômicas de gestão, que podem ajudar a mitigar o efeito das mudanças no clima.

Uma estratégia de adaptação potencial para a região, como foi dito anteriormente 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 ETc total de 7 e 12%, para os cenários

B2 e A2, respectivamente. Considerando as novas taxas de ETc com os Kc's ajustados para as novas condições de umidade relativa do ar (Figura 14), esse aumento chegou a 17% no caso do cenário mais pessimista.

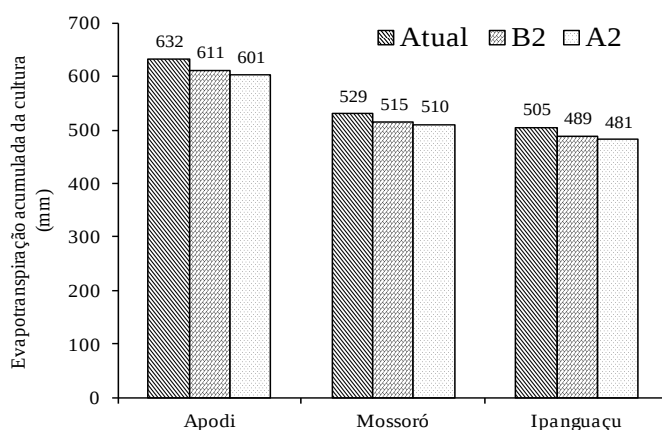


Figura 10. Evapotranspiração total do milho sob diferentes cenários de mudanças climáticas (Atual, A2 e B2), para os municípios de Apodi, Mossoró e Ipanguaçu.

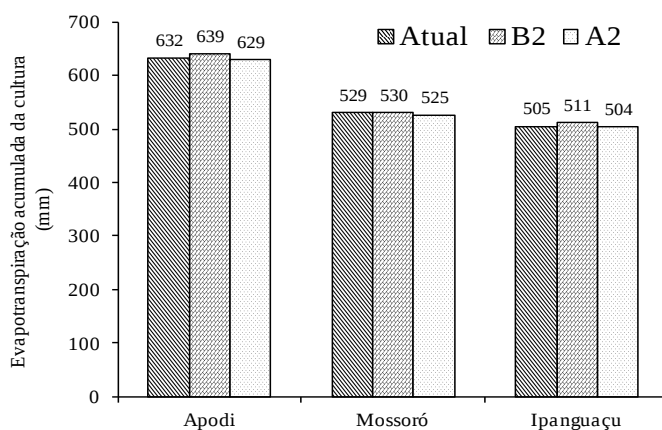


Figura 11. Evapotranspiração total do milho com o Kc ajustado aos cenários de mudanças climáticas (Atual, A2 e B2), para os municípios de Apodi, Mossoró e Ipanguaçu.

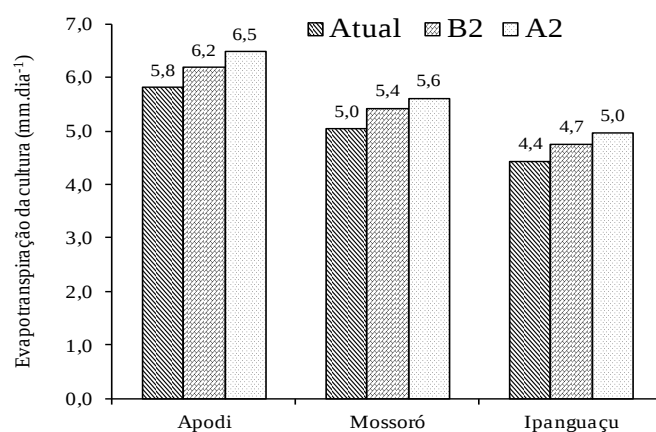


Figura 12. Evapotranspiração média diária do milho sob diferentes cenários de mudanças climáticas (Atual, A2 e B2), para os municípios de Apodi, Mossoró e Ipanguaçu.

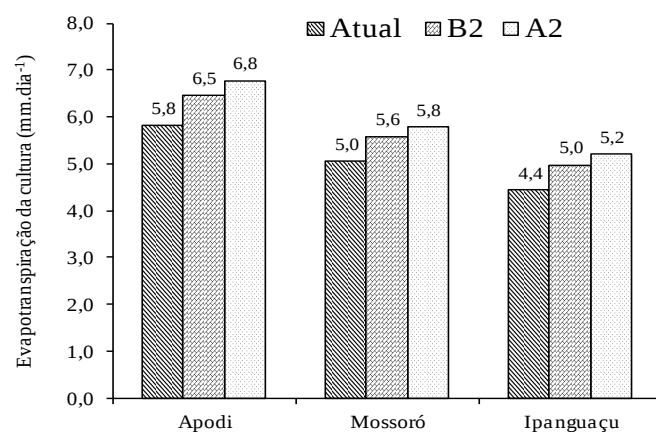


Figura 13. Evapotranspiração média diária do milho, com o Kc ajustado aos cenários de mudanças climáticas (Atual, A2 e B2), para os municípios de Apodi, Mossoró e Ipanguaçu.

4. CONCLUSÕES

Os resultados desta pesquisa indicam que as mudanças climáticas não aumentarão a demanda total de água da cultura do milho, embora contribuam para a redução do ciclo de desenvolvimento da cultura.

Houve uma diminuição na evapotranspiração total durante todo o ciclo da cultura de apenas 3,0%, considerando o cenário mais otimista (B2), e de 4,4% no cenário mais pessimista (A2).

Quando se considera 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.

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.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. **Evapotranspiration del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 2006, 298p. (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**, v.22, n.6, p.711-728, 2014.
- 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. **Pesq. agropec. bras., Brasília**, v.48, n.1, p.1-8, 2013.
- Assad, E. D.; Pinto, H. S. Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil. Brasília, DF, Embrapa; Campinas; Unicamp, 2008. 84 p.
- Assis, J. P.; Dourado Neto, D.; Nass, L. L.; Manfron, P. A.; Bonnet Carrere, 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, v. 41, p. 539-543, 2006.
- Cavalcante Junior, E. G.; Medeiros, J. F. de; Melo, T. K. de; Espinola Sobrinho, J.; Bristot, G.; Almeida, B. M. de. Necessidade hídrica da cultura do girassol irrigado na chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 3, p. 261–267, 2013.
- 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.
- Doorenbos, J.; Pruitt, W. O. **Crop water requirement's**: Revised, Roma: FAO, 1977. 144 p. (FAO, Irrigation and Drainage Paper, 24).
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solo**. Brasília: 1999. 412p.
- Fonsêca Neto, J. Evapotranspiração, crescimento e produção do sorgo em cultivo irrigado na região do baixo Açu-RN. Mossoró: UFERSA, 2013. 87p. Dissertação Mestrado.

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**, v. 103, p. 351–370, 2011.

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**, v. 110, p. 94–108, 2012.

Jones, R.G.; Noguer, M.; Hassell, D.C.; Hudson, D.; Wilson, S.S.; Jenkins, G.J.; Mitchell, J.F.B. Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS. Exeter, Uk: Met Office Hadley Centre, April, 2004, 40p.

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, <http://dx.doi.org/10.1023/B:MITI.0000018044.48957.28>

Marengo, J. A.; Nobre, C. A.; Salati, E.; Ambrizzi, T. Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Sumário Técnico. Ministério do meio ambiente. Brasília, 2007. 54p.

Medeiros, G. A. de; Arruda, F. B.; Sakai, E.; Fujiwara, M.; Boni, N. R. Crescimento vegetativo e coeficiente de cultura do feijoeiro relacionados a graus-dia acumulados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.9, p.1733-1742, set. 2000.

Minuzzi, R. B.; Lopes, F. Z. Desempenho agrônomo do milho em diferentes cenários climáticos no Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 8, p. 734–740, 2015.

Melo, T. K.; Medeiros, J. F.; Espínola Sobrinho, J.; Figueiredo, V. B.; Souza, P. S. Evapotranspiration and crop coefficients of melon plants measured by lysimeter and estimated according to fao 56 methodology. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v. 34, n. 5, p. 929-939, set./out. 2013.

Ometto, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 440p.

Renato, N. S.; Silva, J. B. L.; Sedyama, 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**, v. 28, n. 4, p. 382-388, 2013.

Romano, M. R. Desempenho fisiológico da cultura de milho com plantas de arquitetura contrastante: parâmetros para modelos de crescimento. Piracicaba: USP, 2005. 100p. Tese Doutorado.

Sammis, T.W.; Mapel, C.L.; Lugg, D.G.; Lansford, R.R.; McGuckin, J.T. Evapotranspiration crop coefficients predicted using growing-degree-days. **Transactions of the ASAE**, v. 28, n. 3, p. 773-780, 1985.

Santos, W. O. Necessidades hídricas, desenvolvimento e análise econômica do milho nas condições do semiárido brasileiro. Mossoró: UFRSA, 2012. 105p. Dissertação Mestrado.

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**, v. 8, p. 311-320, 2000.

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, p. 23–30, 2004.

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, p. 83–94, 2008.

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, p.409–432, 2011, <http://dx.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, p. 179–189, 2000.

CAPÍTULO 2

NECESSIDADE HÍDRICA DA CULTURA DO FEIJÃO-CAUPI INCLUENCIADA PELAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO SEMIÁRIDO NORDESTINO

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo verificar os impactos que as mudanças climáticas podem provocar sobre o desenvolvimento e a evapotranspiração do feijão caupi, em uma região de clima semiárido do Nordeste brasileiro. O trabalho foi desenvolvido nos municípios de Apodi, Ipanguaçu e Mossoró, todos eles pertencentes ao estado do Rio Grande do Norte. A determinação da evapotranspiração da cultura, em suas diferentes fases, foi realizada através de lisímetros de pesagem. 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 cenários de emissões baseados no relatório do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): um pessimista denominado A2 e um otimista B2. Os dados de temperatura do ar e umidade relativa utilizados foram as saídas do modelo PRECIS. Houve pouca influência das mudanças climáticas sobre o K_c do feijão-caupi, nas condições em que o presente estudo foi realizado. Os aumentos da temperatura na região provocarão uma redução do ciclo de desenvolvimento da cultura de 14 e 23 dias, considerando os cenários otimista e pessimista, respectivamente. As temperaturas ficarão muito acima do limite tolerado pela cultura, o que poderá repercutir negativamente no seu desenvolvimento e consequentemente no rendimento. Ocorreu uma diminuição na evapotranspiração total de 4,8%, considerando o cenário mais otimista, e de 8,7% no cenário mais pessimista.

Palavras-chave: temperatura, umidade relativa, evapotranspiração

ABSTRACT

This study aims to determine the impacts that climate change may lead to the development and evapotranspiration of cowpea, in a region of climate of semi-arid northeastern Brazil. The study was conducted in the municipalities of Apodi, Ipanguaçu and Mossoro, all of them belonging to the state of Rio Grande do Norte. The determination of crop evapotranspiration, in its different phases, was held by lysimeters of weighing. To carry out the projections, on the influence of climate change on water consumption of culture, they were simulated alterations in temperature and relative humidity. We evaluated two scenarios of emissions based on the IPCC report (Intergovernmental Panel on Climate Change): a pessimist called A2 and optimistic B2. The data used temperature and relative humidity they were outputs of PRECIS model. There was little effect of climate change on the Kc of cowpea, at the conditions on which this study was conducted. The duration of the crop cycle showed an average reduction of 14 and 23 days for the optimistic scenarios and pessimist, respectively. Temperatures were well above the limit tolerated by culture, which could have a negative impact on their development and productivity. There was a decrease in the total evapotranspiration of 4.8%, considering the optimistic scenario, and 8.7% in the pessimist scenario.

Key Words: temperature, relative humidity, evapotranspiration

1. INTRODUÇÃO

A mudança climática global induzida por concentrações crescentes de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera tende a ocasionar o aumento nas temperaturas, mudança nos padrões da precipitação e aumentar a frequência de eventos extremos. A produção de culturas agrícolas pode ser significativamente afetada por mudanças no clima e o aumento nos níveis de CO₂ (Islam et al., 2012). Segundo relatório do IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas), o aumento da temperatura ameaça o cultivo de várias plantas agrícolas e pode piorar o já grave problema da fome em partes mais vulneráveis do planeta.

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), também conhecido como feijão-macassar ou feijão-de-corda, é uma espécie de ampla distribuição mundial, principalmente nas regiões tropicais, em virtude de estas apresentarem condições edafoclimáticas semelhantes às do seu provável berço de origem: a África (Brito et al., 2009). Na região Nordeste, a produção tradicionalmente concentra-se nas áreas semiáridas, onde outras culturas leguminosas anuais, em razão da irregularidade das chuvas e das altas temperaturas, não se desenvolvem satisfatoriamente. A produção de feijão-caupi nas regiões Nordeste e Norte é feita por empresários e agricultores familiares que ainda utilizam práticas tradicionais (Freire Filho et al., 2011).

Numerosos estudos têm sido realizados utilizando-se modelos para projetar os efeitos das mudanças climáticas sobre diferentes culturas agrícolas, em diversas regiões do mundo, a partir de projeções futuras do clima obtidas através de vários modelos climáticos globais (GCMs). Dentre os elementos climáticos que mais influenciam no desenvolvimento e no consumo hídrico do feijão destaca-se a temperatura. Alguns estudos foram desenvolvidos, a fim de investigar os possíveis impactos das mudanças climáticas sobre a cultura do feijão (Diaz-Ambrona et al., 2013; Campos et al., 2010; Saraiva & Souza, 2012).

A evapotranspiração das culturas seria afetada diretamente por possíveis mudanças nas condições climáticas. Alguns estudos divergem em relação aos resultados das mudanças climáticas sobre a evapotranspiração total do feijão. Algumas pesquisas apontam um aumento no consumo hídrico e outras uma redução, em virtude da diminuição do ciclo vegetativo das culturas, provocado pelo aumento nas temperaturas da superfície.

Com base no exposto o presente trabalho teve como objetivo verificar os impactos que as mudanças climáticas podem provocar sobre o desenvolvimento e a evapotranspiração do feijão-caupi, em uma região de clima semiárido do Nordeste brasileiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido nos municípios de Apodí, Ipanguaçu e Mossoró, pertencentes ao estado do Rio Grande do Norte (Figura 1). A classificação climática dos municípios, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo BSh, clima semiárido seco (Alvares et al., 2014).

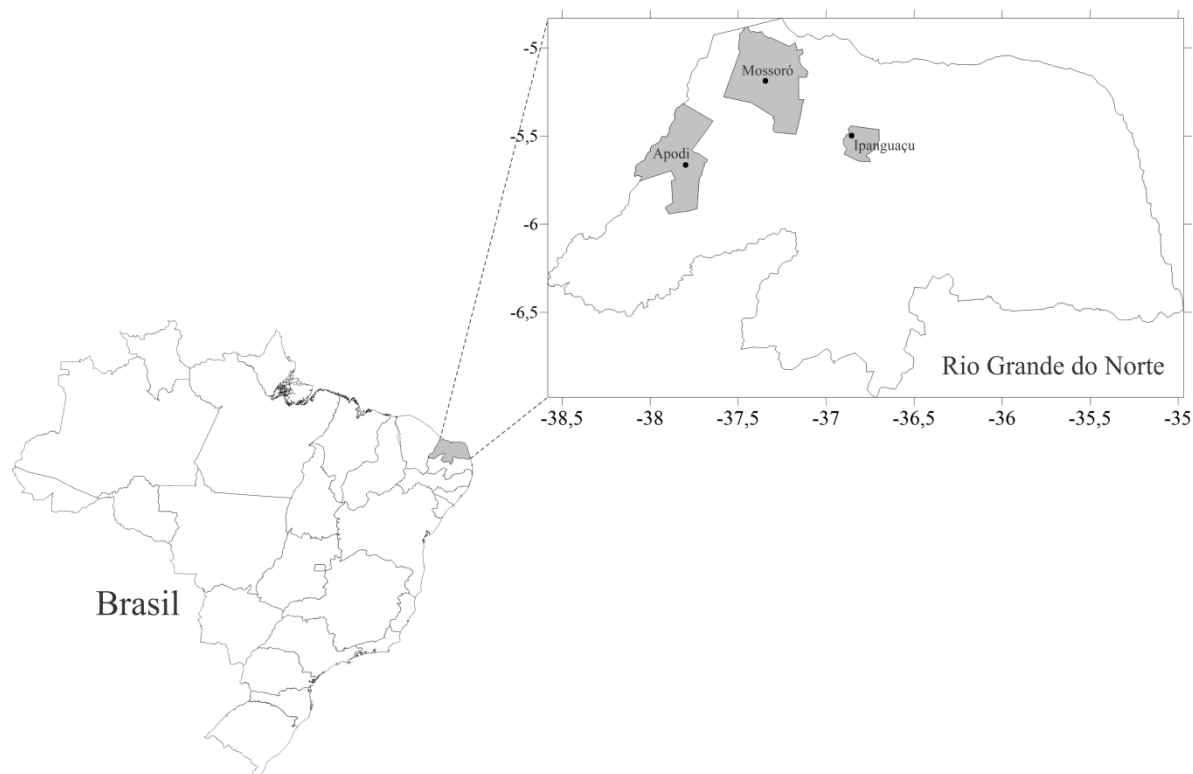


Figura 1. Localização dos experimentos

Em Apodí-RN, a área utilizada foi a da fazenda experimental pertencente a 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 EMBRAPA (1999).

No Município de Ipanguaçu-RN, também foi utilizada a 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 (EMBRAPA, 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 de 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 (EMBRAPA, 1999).

Em Apodi e Iapnguaçu a área cultivada foi de 720 m² e em Mossoró foi utilizada uma área de 2.700 m², utilizando-se um espaçamento de 0,90 m entre fileiras e 0,20 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, abrangendo o período de março à maio de 2014, que compreende o período chuvoso da região. Foram necessárias à realização de irrigações complementares, pois ocorreram alguns veranicos durante a condução dos experimentos. O plantio da área de Apodi foi realizado no dia 13/03/2014 e a colheita realizada em 25/05/2014, perfazendo um total de 74 dias. Em Ipanguaçu o plantio ocorreu no dia 27/02/2014 e a colheita em 11/05/2014, com um total de 74 dias. Na área de Mossoró o período entre o plantio e a colheita ficou compreendido entre os dias 14/03 e 31/05 de 2014, totalizando 79 dias.

2.1 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA

A determinação da evapotranspiração da cultura, em suas diferentes fases, foi realizada através de lisímetros de pesagem. Cada área possuía dois lisímetros, com exceção da área experimental de Mossoró que possui quatro lisímetros. Os lisímetros possuem 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 localizada 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.

Para efeito do cálculo dos coeficientes de cultivo médios, o ciclo da cultura foi dividido em quatro fases fenológicas, definidas de acordo com a metodologia de Doorenbos & Pruitt (1977), da seguinte forma: I) fase inicial: do plantio até 10% de cobertura do solo; II) fase de crescimento: do final da fase inicial até a cobertura total do solo; III) fase intermediária: do estabelecimento da cobertura total do solo até o início da maturação; e IV) fase final: final da fase III até a colheita.

2.2 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

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 pluviômetro, conectados a um sistema de aquisição e armazenamento de dados (datalogger Campbell Scientific, modelo CR3000), programado para coletar dados cada 5 segundos e as médias e/ou totais a cada 60 min.

De acordo com Allen et al. (2006), a equação de Penman-Monteith assume a seguinte forma para a evapotranspiração de referência:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T_{med} + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

ET_o: Evapotranspiração de referência (mm d⁻¹);

Rn: Saldo de radiação ou Radiação líquida (MJ m⁻² d⁻¹);

G: Densidade de fluxo de calor no solo (MJ m⁻² d⁻¹);

T_{méd}: Temperatura média diária do ar a 2m de altura (°C);

u₂: Velocidade do vento média diária a 2m de altura (m s⁻¹);

e_s: Pressão de saturação do vapor médio diário (kPa);

e_a: Pressão atual de vapor médio diário (kPa);

Δ: Declividade da curva de pressão de vapor no ponto de T_{méd} (kPa °C⁻¹); e

γ: Coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹).

2.3. GRAUS DIAS ACUMULADOS

Para determinação dos graus dias acumulados foi utilizada a metodologia de Ometto (1981), que segundo Renato et al. (2013) é a mais indicada para as simulações, 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) $TB > TM > Tm > Tb$

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

$$2) \quad TB > TM > Tb > Tm$$

$$GD = \frac{(TM - Tm)^2}{2(TM - Tm)} \quad (3)$$

$$3) \quad TB > Tb > TM > Tm$$

$$GD = 0 \quad (4)$$

$$4) \quad TM > TB > Tm > Tb$$

$$GD = \frac{2(TM - Tm)(Tm - Tb) + (TM - Tm)^2 - (TM - TB)}{2(TM - Tm)} \quad (5)$$

$$5) \quad TM > TB > Tb > Tm$$

$$GD = \frac{1}{2} \cdot \frac{(TM - Tb)^2 - (TM - TB)^2}{TM - Tm} \quad (6)$$

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.

A temperatura basal inferior utilizada no modelo para as cultura do feijão foi 10°C e a basal superior de 35°C (Miranda & Campelo Júnior, 2010).

2.4 AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO CONSUMO HÍDRICO

Para a realização das projeções, sobre a influência das mudanças climáticas no consumo hídrico e desenvolvimento da cultura, foram simuladas alterações na temperatura e na umidade relativa do ar. Foram avaliados dois cenários 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 auto-suficientes, 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 de temperatura do ar e umidade relativa utilizados 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, as 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 Inglaterra, Índia, África do Sul e China. Este modelo possui uma resolução horizontal de 50 km com 19 níveis na vertical e 4 níveis no solo. Maiores detalhes acerca do sistema PRECIS podem ser obtidos em Jones et al. (2004).

Foram avaliadas duas situações: a primeira onde se considerou os coeficientes de cultivos 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):

$$K_c = K_{c_{atual}} + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(UR_{\min} - 45)] \left(\frac{h}{3} \right)^{0,3} \quad (7)$$

onde:

K_c : coeficiente de cultivo ajustado;

$K_{c_{(atual)}}$: coeficiente de cultivo ($se \geq 0,45$);

u_2 : velocidade média do vento da fase a 2 metros de altura, $m\ s^{-1}$;

$UR_{\min}$: umidade relativa mínima média durante a fase, %; e

h : altura média das plantas na fase, m.

De posse dos K_c 's obtidos nos experimentos, e com as novas ETo decorrente dos cenários (A2 e B2), foi gerada uma nova ETc e realizada a comparação da necessidade hídrica da cultura, nas condições climáticas atuais, com as necessidade hídrica para os dois cenários avaliados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 é apresentada a variação da radiação solar e da velocidade do vento nos três locais, durante o período de condução dos experimentos. Observa-se na Figura 2A que a velocidade do vento média, para o município de Apodi, foi de $1,14 \text{ m s}^{-1}$ e a radiação global total diária oscilou entre $11,92$ e $25,55 \text{ MJ/m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ com uma média de $21,01 \text{ MJ/m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. A média climatológica da velocidade do vento da região, para o mesmo período de condução do experimento, é de $1,92 \text{ m s}^{-1}$ (INMET, 2009) considerando uma altura de medição de 10 m da superfície.

O município de Mossoró (Figura 2B) apresentou maiores valores de velocidade do vento, com média de $2,21 \text{ m s}^{-1}$, e a radiação global total diária variou entre $10,87$ e $23,61 \text{ MJ/m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, com média de $18,86 \text{ MJ/m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. A Figura 2C mostra a variação da velocidade do vento média e a radiação global total diária para o município de Ipanguaçu. A velocidade média do vento durante o experimento foi de $1,22 \text{ m s}^{-1}$ e a radiação global total diária oscilou entre $9,42$ e $24,88 \text{ MJ/m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, com média de $18,73 \text{ MJ/m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

As oscilações verificadas nos valores de velocidade do vento, radiação solar e consequentemente na evapotranspiração, estão associadas a dias de ocorrências de precipitações (Figura 3) ou elevada nebulosidade. Os totais precipitados durante o período de condução do experimento foram de 373, 333 e 400 mm, para os municípios de Apodi, Mossoró e Ipanguaçu, respectivamente.

Na Figura 4 é apresentada a variação da ETo nas três localidades. O município de Apodi (Figura 4A), apresentou valor mínimo de $2,98 \text{ mm dia}^{-1}$ e máximo de $6,39 \text{ mm dia}^{-1}$. A região de Mossoró apresentou maior ETo média ($5,02 \text{ mm dia}^{-1}$) durante a condução dos experimentos, e seus valores oscilaram entre $6,08$ e $3,09 \text{ mm dia}^{-1}$ (Figura 4B). Em Ipanguaçu os valores ficaram entre $6,47$ e $2,59 \text{ mm dia}^{-1}$ (Figura 4C), para o máximo e mínimo, respectivamente.

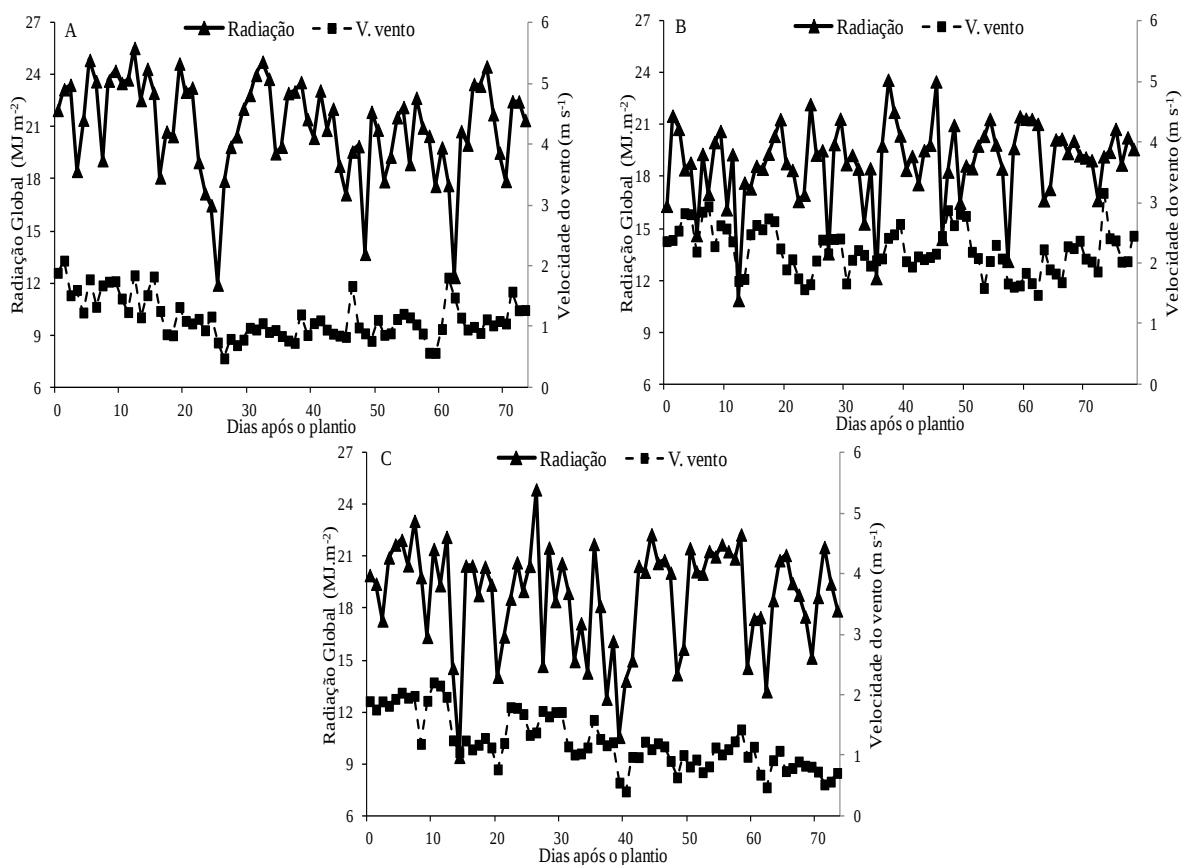


Figura 2. Variação da radiação global e velocidade do vento registradas durante os experimentos nos municípios de Apodi (A), Mossoró (B) e Ipanguaçu (C).

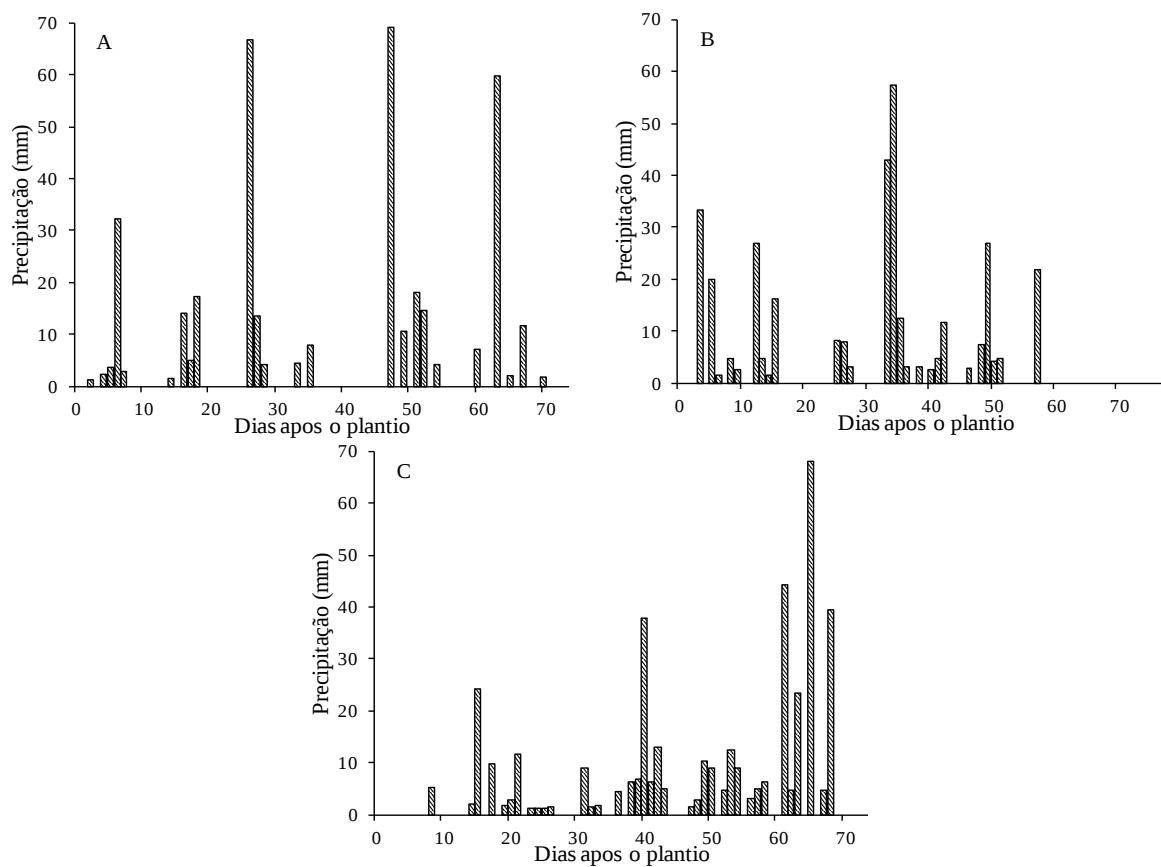


Figura 3. Precipitações diárias registradas durante os experimentos nos municípios de Apodi (A), Mossoró (B) e Ipanguaçu (C).

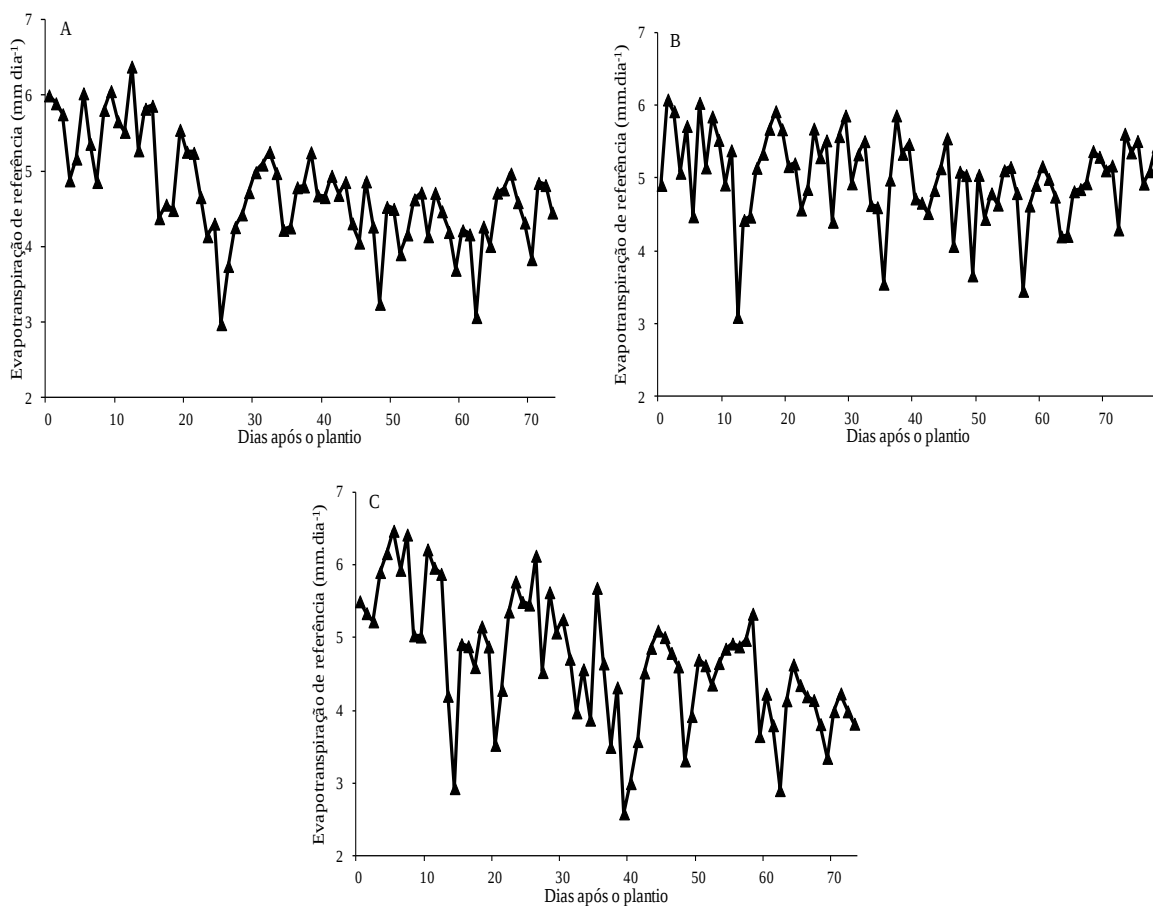


Figura 4. Variação da evapotranspiração de referência registradas durante os experimentos nos municípios de Apodi (A), Mossoró (B) e Ipanguaçu (C).

A Tabela 1 mostra a duração média de cada fase da cultura, graus-dia acumulados por fase, os coeficiente de cultivo (K_c) obtidos em cada experimento e os coeficientes ajustados para as condições de mudanças climáticas avaliadas. Pode-se observar que houve pouca influência das mudanças climáticas sobre o K_c do feijão, onde os coeficientes ajustados para as os cenários avaliados foram praticamente iguais aos obtidos nas condições atuais. Isso se deve ao fato do feijão ser uma cultura de porte relativamente baixo (40 cm) e suas propriedades aerodinâmicas, serem pouco influenciadas pela redução da umidade relativa simulada pelo modelo. Segundo Allen et al. (2006) culturas que possuem uma altura significativamente maior que a cultura de referência (por exemplo o milho), apresentam propriedades aerodinâmicas mais acentuadas e estão mais propicias a modificações nos seus coeficientes de cultivo, em condições de um ar mais seco e ventos mais fortes.

Os valores médios dos três experimentos foram de 0,44; 0,78; 1,09 e 0,52 para as fases I, II, III e IV, respectivamente. Para as condições do vale do Gurguéia-PI, Bastos et al. (2008) determinaram a evapotranspiração e o K_c do feijão-caupi irrigado, cultivado em lisímetros de pesagem. O coeficiente de cultivo para a fase inicial apresentou média de 0,8; para a fase de desenvolvimento vegetativo variaram de 0,8 a 1,1; na fase reprodutiva (Floração) variaram de

1,1 a 1,4; e na fase final (maturação) de 1,4 a 0,3. Lima et al. (2011) trabalhando com a evapotranspiração de feijão-caupi sob condições de sequeiro em Areia-PB, encontraram valores médios de 0,99 para o Kc da fase vegetativa (inicial mais o desenvolvimento vegetativo), para a fase reprodutiva de 0,88; e maturação de 0,83. Souza et al. (2005) estimaram o Kc de feijão-caupi, cultivado sob irrigação em Fortaleza-CE, para as fases vegetativa, reprodutiva e de maturação. Os valores médios de Kc para essas fases foram: 0,78; 1,27 e 0,69, respectivamente.

Tabela 1. Duração média das fases fenológicas do feijão-caupi, graus-dia acumulados por fase (GDA), coeficiente de cultivo (Kc) 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	Ipanguaçu	Médio	Ajustado
I – Inicial	17	307	0,43	0,39	0,49	0,44	-
II - D. vegetativo	18	326	0,87	0,77	0,70	0,78	0,80
III – Floração	26	463	1,04	1,19	1,03	1,09	1,11
IV - M. fisiológica	15	265	0,40	0,61	0,55	0,52	0,55

Observa-se, na Figura 5, que o comportamento da curva ajustada de Kc em razão do graus-dia acumulados. Um importante aspecto a ser verificado refere-se ao efeito do manejo de água sobre a variação do coeficiente de cultura. Os valores diários observados de Kc no campo sofreram a influência de chuva ou irrigação. Quando há o molhamento da superfície do solo, os valores de Kc sofrem um incremento, o que faz com que atinja seus maiores índices em curtos períodos imediatamente posteriores à um evento de umedecimento do solo. Medeiros et al. (2000) relatam que as relações obtidas entre coeficiente de cultura do feijoeiro com graus-dia acumulados são altamente significativas, porém são fortemente afetadas por fatores mesológicos, como densidade de plantio, suprimento de água e temperatura.

Os incrementos mensais esperados nas temperaturas do ar (médias, máximas e mínimas) sob os diferentes cenários de mudanças climáticas, para o período de março a maio estão apresentadas nas Figuras 6, 7, e 8. Para o cenário B2, as médias de incremento durante o ciclo nas temperaturas médias do ar foram de 4,5; 4,0 e 4,4 °C e para o cenário A2 de 8,5; 7,8 e 7,9 °C para os municípios de Apodi, Mossoró e Ipanguaçu, respectivamente. Os aumentos na temperatura máxima do ar, para o período foram de 5,9; 5,3 e 5,9 °C para o cenário B2 e de 11,1; 10,2 e 10,4 °C no cenário A2 para os municípios de Apodi, Mossoró e Ipanguaçu, respectivamente. Para as temperaturas mínimas do ar (Figura 8), os incrementos foram de 3,1; 2,6 e 2,9 °C para o cenário B2 e de 6,1; 5,3 e 5,3 °C no cenário A2. Marengo (2006) afirmam

que durante o verão (dezembro a fevereiro) o aquecimento é mais intenso na região tropical do Brasil, especialmente na região Amazônia e Nordeste, chegando 6-8°C em 2080.

A Figura 9 mostra a projeção da umidade relativa do ar gerado pelo modelo, e se observa uma redução média de 9,7 e 15,9% para os cenários B2 e A2, respectivamente. Isso mostra que segundo o modelo além de temperaturas mais elevadas, se espera que o ar se torne mais seco aumentando assim o poder de extração de vapor d'água pela atmosfera.

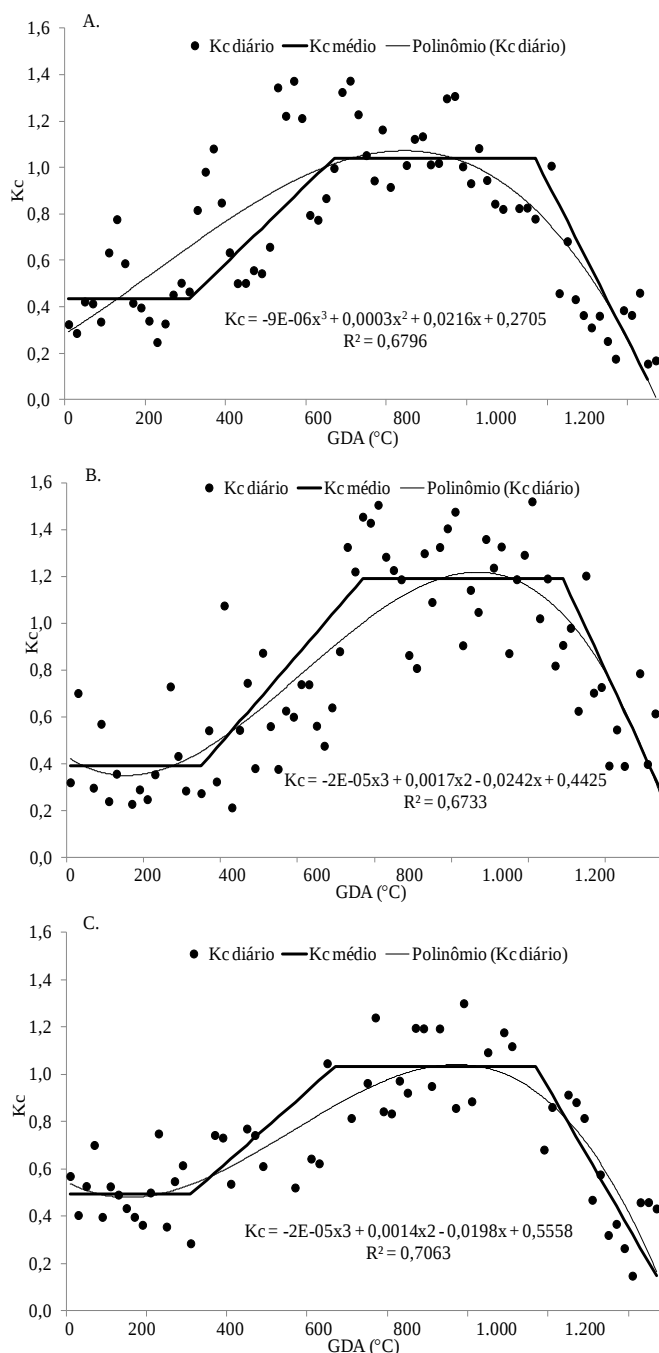


Figura 5. Variação do coeficiente de cultivo (K_c) do feijão-caupi em função dos graus-dia acumulados, nos municípios de Apodi (A), Mossoró (B) e Ipanguaçu (C).

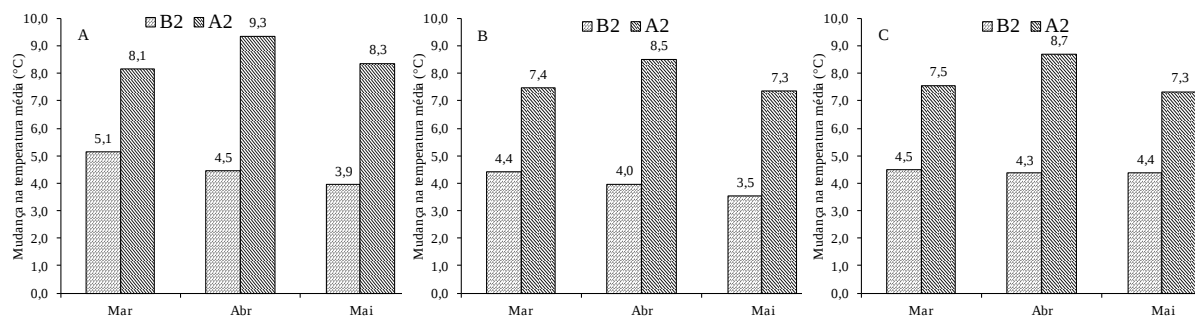


Figura 6. Incremento na temperatura média do ar, durante os meses de março a maio, sob diferentes cenários de mudanças climáticas (A2 e B2), para os municípios de Apodi (A), Mossoró (B) e Ipanguaçu (C), simulada pelo modelo PRECIS para o ano de 2100.

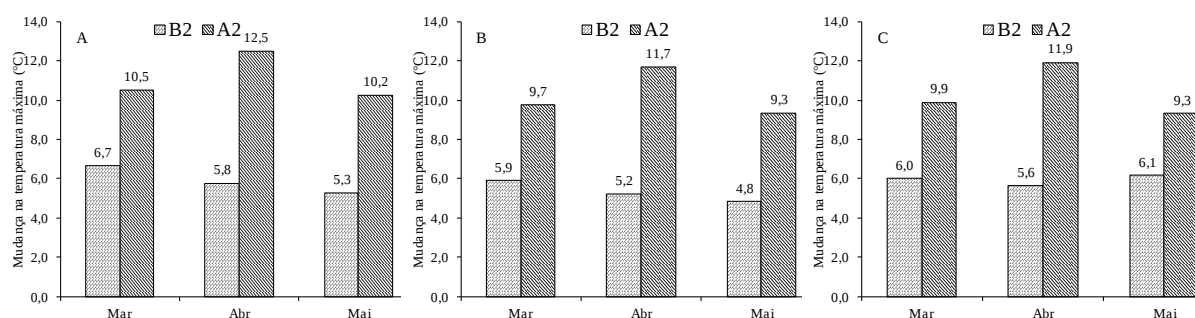


Figura 7. Incremento na temperatura máxima do ar, durante os meses de março a maio, sob diferentes cenários de mudanças climáticas (A2 e B2), para os municípios de Apodi (A), Mossoró (B) e Ipanguaçu (C), simulada pelo modelo PRECIS para o ano de 2100.

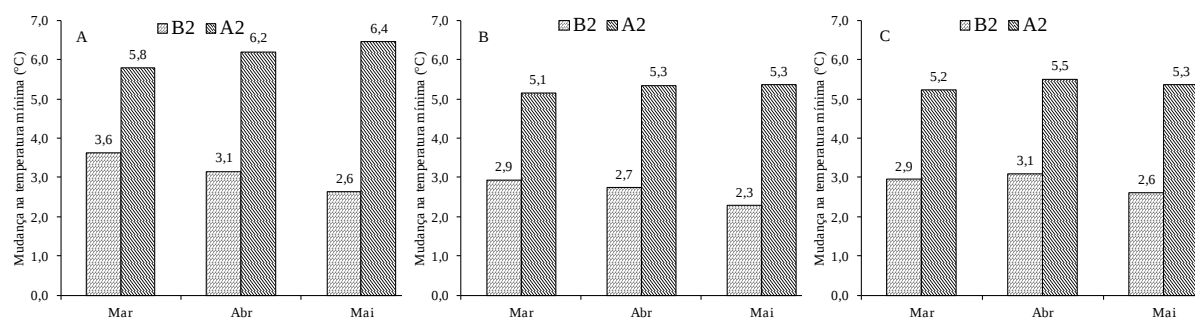


Figura 8. Incremento na temperatura mínima do ar, durante os meses de março a maio, sob diferentes cenários de mudanças climáticas (A2 e B2), para os municípios de Apodi (A), Mossoró (B) e Ipanguaçu (C), simulada pelo modelo PRECIS para o ano de 2100.

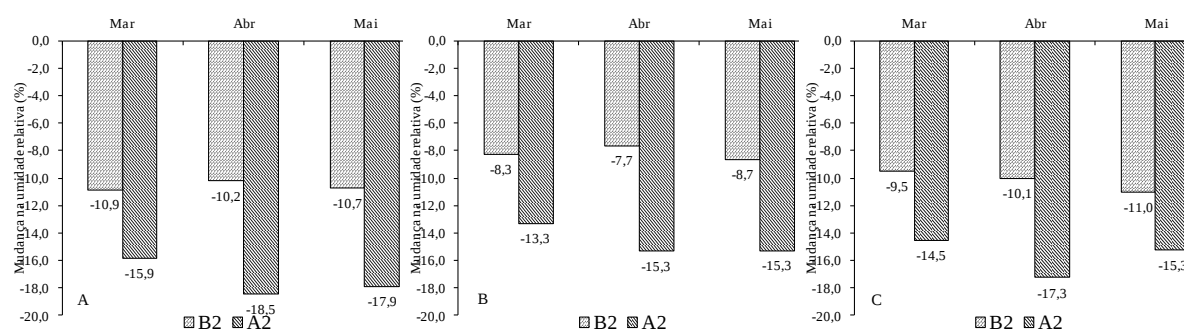


Figura 9. Redução da umidade relativa média do ar, durante os meses de março a maio, sob diferentes cenários de mudanças climáticas (A2 e B2), para os municípios de Apodi (A), Mossoró (B) e Ipanguaçu (C), simulada pelo modelo PRECIS para o ano de 2100.

3.1 EFEITO DO AUMENTO DA TEMPERATURA DO AR NO FEIJÃO

A Tabela 2 apresenta os valores médios, máximos e mínimos da temperatura do ar, durante a condução dos experimentos e as projeções dessas variáveis para os dois cenários (B2 e A2) avaliados. Verifica-se que as temperaturas apresentaram aumentos substanciais, chegando ao patamar de até 45 °C de máxima no município de Ipanguaçu, 43,3 °C em Apodi e 42,4 °C em Mossoró. Segundo Assad e Pinto (2008) valores diários de 40 °C, por exemplo, impedem a realização de fotossíntese de várias culturas. Se as previsões do modelo estiverem corretas, o cultivo do feijão, como também de várias outras culturas, ficará seriamente comprometido na região.

Segundo o modelo a temperatura média do ar, no período de março a maio, terá um incremento de 4,1 °C considerando o cenário B2 e 7,8 °C para o A2. Com esse acréscimo as temperaturas poderão acarretar sérios prejuízos ao desenvolvimento da cultura, como o aborto espontâneo das flores, ocasionar a retenção das vagens na planta e diminuir consideravelmente o número de sementes por vagem. Estes comentários são abordados por Campos et al. (2010), que estudaram o impacto do aquecimento global no cultivo do feijão-caupi, no Estado da Paraíba e verificaram que, com o aumento da temperatura do ar de 3 e 6 °C, as áreas favoráveis ao cultivo do feijão-caupi no Estado da Paraíba serão reduzidas consideravelmente nas próximas décadas, podendo restringir em até 100% o cultivo do feijão-caupi em algumas áreas do Estado, considerando um aumento da temperatura do ar de 6 °C.

Tabela 2. Valores médios das temperaturas média (Tmed), máxima (Tmax) e mínima (Tmin), no período de março-maio, sob diferentes cenários de mudanças climáticas, simuladas pelo modelo PRECIS.

Local	Atual			B2			A2		
	Tmed	Tmax	Tmin	Tmed	Tmax	Tmin	Tmed	Tmax	Tmin
Apodi	27,3	33,0	23,5	31,2	38,2	26,1	35,1	43,3	28,8
Mossoró	26,5	32,4	22,5	30,5	37,7	25,1	34,1	42,4	27,6
Ipanguaçu	27,4	34,6	22,1	31,7	40,4	25,0	35,3	45,1	27,4

Outro efeito do aumento nas temperaturas é o de acelerar o desenvolvimento da cultura. O ciclo de cada espécie vegetal está relacionado a partir da soma térmica diária necessária para cada completar seu completo desenvolvimento. O total de graus-dia (GD) acumulados necessários para a cultura atingir a maturidade foi em média 1360 GD. Com o aumento da temperatura, as espécies tenderam a alcançar a maturidade cada vez mais precocemente. Este resultado está de acordo com Renato et al. (2013), avaliando diferentes métodos para cálculo de graus-dia em condições de aumento de temperatura para o feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), estipularam um total de 1.300 °C dia para cultura completar o período semeadura-maturação. Moura et al. (2012) trabalhando com o feijão-caupi no estado do Piauí, em cultivo de sequeiro, observaram que a cultura necessitou de 1.103,54 °C dia da semeadura até o fim do ciclo reprodutivo.

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 76 dias (média das três localidades) passou para 62 dias para cenário B2 (Figura 10). As alterações previstas para cenário A2 (cenário pessimista) resultaram em um decréscimo mais acentuado, que apresentou média de apenas 53 dias, 23 dias a menos que a condição atual. Estes resultados estão próximos aos obtidos por Diaz-Ambrona et al. (2013), que estimaram reduções de 3 a 20 dias no ciclo da cultura do feijão em diferentes regiões de Honduras. Renato et al. (2013), observaram uma redução de 11 dias no ciclo da cultura do feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), considerando aumentos aleatórios de 0 até 5 °C nos valores observados de temperatura do ar, para as condições de Viçosa-MG.

A duração do ciclo da cultura apresentou uma redução linear com o aumento médio da temperatura do ar para os dois cenários de mudanças climáticas (Figura 11). O aumento de 1 °C na temperatura média resultou na redução de aproximadamente 2,3 dias no ciclo da cultura.

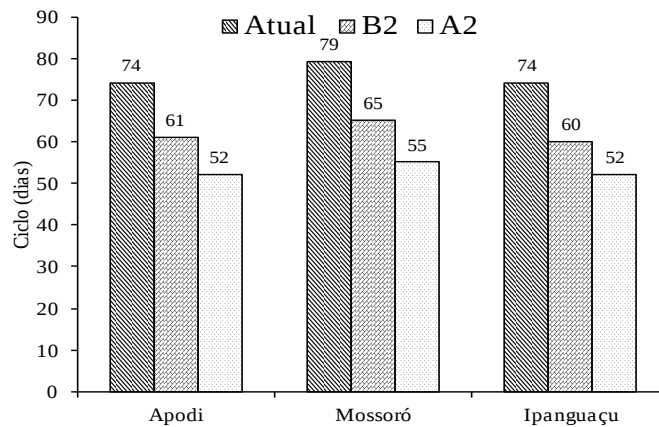


Figura 10. Ciclo da cultura do feijão, sob diferentes cenários de mudanças climáticas (Atual, A2 e B2), para os municípios de Apodi , Mossoró e Ipanguaçu.

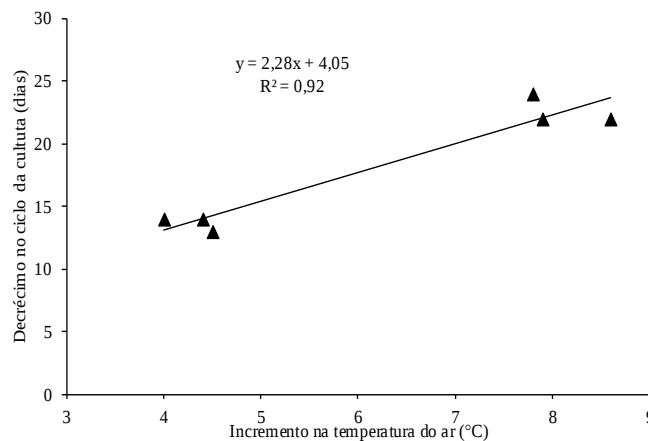


Figura 11. Relação entre o incremento na temperatura do ar e o ciclo de desenvolvimento do feijão.

3.2 EFEITO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO FEIJOEIRO

Embora tenha ocorrido um aumento na taxa diária (Figura 12), a evapotranspiração acumulada no final do ciclo da cultura (ETc total) foi menor nos dois cenários avaliados (Figura 14), em relação à condição atual, por conta da redução esperada no ciclo da cultura.

Como não ocorreram alterações significativas no Kc, quando foi considerado o efeito das mudanças climáticas sobre ele (Figura 13), as taxas diárias da evapotranspiração permaneceu praticamente a mesma dos Kc não ajustados (Figura 12).

A redução na evapotranspiração total da cultura, considerando a média dos 3 municípios, foi de aproximadamente 4,8% para o cenário B2 e de 8,7% para o cenário A2.

Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Islam et al. (2012) e Tao & Zhang (2011), que observaram uma redução na demanda de irrigação da cultura do milho, em condições de mudanças climáticas nos Estados Unidos e China, respectivamente. Silva et al. (2011) também observaram que a evapotranspiração acumulada da cana-de-açúcar é reduzida quando se considera os cenários de mudanças climáticas, no Vale do São Francisco. Resultados diferentes foram encontrados por Saraiva & Souza (2012) em trabalho realizado no perímetro irrigado Curu-Pentecoste no Ceará, que observaram que a demanda de água da cultura do feijão caupi aumentará 7,5%, no caso do cenário B2, e 12,8% no caso do cenário A2. Essa diferença pode ser explicada em virtude dos referidos autores não terem considerado alterações no ciclo da cultura, em virtude do aumento de temperatura.

Servindo de base as estratégias sugeridas no Capítulo I para a cultura do milho e partindo do pressuposto que serão desenvolvidas cultivares de feijão-caupi capazes de tolerar temperaturas mais elevadas e que tenham ciclo mais longos que possam ter duração parecida com as cultivares atuais, é esperado um incremento na ETc total de 16 e 30%, para os cenários B2 e A2, respectivamente.

Vale salientar que no presente estudo não foi considerado o efeito do aumento da concentração de CO₂ na transpiração da cultura, fato esse que poderia reduzir ainda mais a evapotranspiração da cultura, pois um dos efeitos diretos desse aumento seria o fechamento parcial dos estômatos, desta forma, reduziria a perda de água pela transpiração.

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

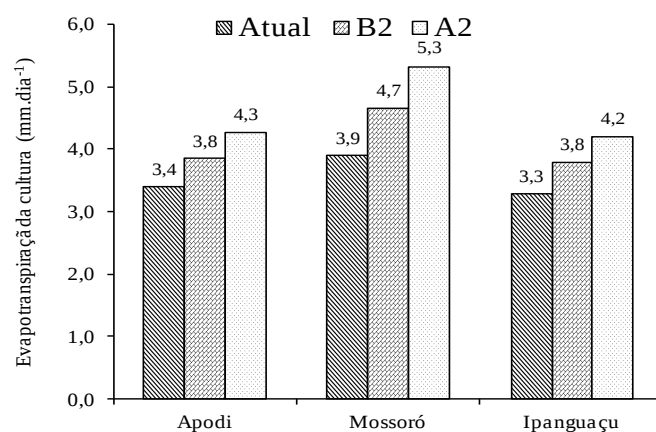


Figura 12. Evapotranspiração media diária do feijão sob diferentes cenários de mudanças climáticas (Atual, A2 e B2), para os municípios de Apodi, Mossoró e Ipanguaçu.

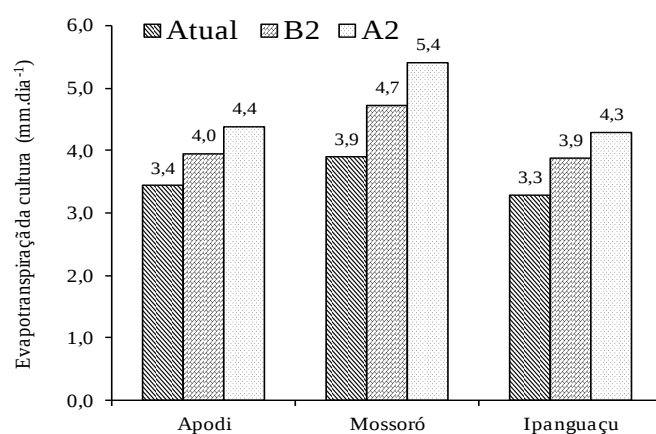


Figura 13. Evapotranspiração media diária do feijão, com o Kc ajustado aos cenários de mudanças climáticas (Atual, A2 e B2), para os municípios de Apodi, Mossoró e Ipanguaçu.

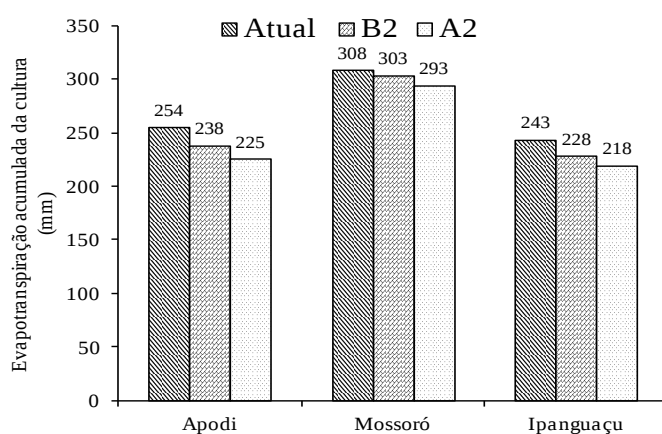


Figura 14. Evapotranspiração total do feijão sob diferentes cenários de mudanças climáticas (Atual, A2 e B2), para os municípios de Apodi, Mossoró e Ipanguaçu.

4. CONCLUSÕES

Houve pouca influência das mudanças climáticas sobre o coeficiente de cultivo do feijão caupi, nas condições em que o presente estudo foi realizado.

Ocorreu uma diminuição na evapotranspiração total de 4,8%, considerando o cenário mais otimista, e de 8,7% para o cenário mais pessimista, em consequência da redução esperada no ciclo de desenvolvimento da cultura.

Os aumentos da temperatura na região provocará uma redução do ciclo de desenvolvimento da cultura de 14 e 23 dias, considerando os cenários otimista e pessimista, respectivamente. As temperaturas ficarão muito acima do limite tolerado pela cultura, o que poderá repercutir negativamente no seu desenvolvimento e consequentemente no rendimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. **Evapotranspiration del cultivo: guias para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 2006, 298p. (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**, v.22, n.6, p.711-728, 2014.
- Assad, E. D.; Pinto, H. S. Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil. Brasília, DF, Embrapa; Campinas; Unicamp, 2008. 84 p.
- Bastos, E. A.; Ferreira, V. M.; Silva, C. R. da; Andrade Junior, S. de. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do feijão-caupi no vale do Guruguéia, Piauí. **Irriga**, v. 13, n. 02, p. 182-190, 2008.
- Brito, M. de M. P.; Muraoka, T.; Silva, E. C. DA. Marcha de absorção do Nitrogênio do solo, do fertilizante e da fixação simbiótica em feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L) WALF) e feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) determinada com o uso de ^{15}N . **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 3, p. 895-905. 2009.
- Campos, J. H. B.; Silva, M. T.; Silva, V. P. R. Impacto do aquecimento global no cultivo do feijão-caupi, no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 4, p. 396–404, 2010.
- 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.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solo**. Brasília: 1999. 412p.
- Freire Filho, F. R.; Ribeiro, V. Q.; Rocha, M. de M.; Nogueira, M. do S. da R.; Rodrigues, E. V. Feijão-Caupi no Brasil: Produção, melhoramento genético, avanços e desafios. Embrapa Meio-Norte, 2011. 84 p.
- INIMET. Normais Climatológicas do Brasil 1961 – 1990. Brasília: 2009. 465 p.
- 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**, v. 110, p. 94–108, 2012.

Jones, R. G.; Noguer, M.; Hassell, D. C.; Hudson, D.; Wilson, S.S.; Jenkins, G.J.; Mitchell, J.F.B. Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS. Exeter, Uk: Met Office Hadley Centre, April, 2004, 40p.

Lima, J. R. de S.; Antonino, A. C. D.; Lira, C. A. B. de O.; Souza, E. S. de; Silva, I. de F. da. Balanço de energia e evapotranspiração de feijão caupi sob condições de sequeiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 65-74, jan-mar, 2011.

Marengo, José A. Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade Caracterização do Clima Atual e Definição das Alterações: Climáticas para o Território Brasileiro ao Longo do Século XXI. Brasília: MMA, 2006, 212 p.

Medeiros, G. A. de; Arruda, F. B.; Sakai, E.; Fujiwara, M.; Boni, N. R. Crescimento vegetativo e coeficiente de cultura do feijoeiro relacionados a graus-dia acumulados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.9, p.1733-1742, set. 2000.

Miranda, M. N.; Campelo Júnior, J. H. Soma térmica para o subperíodo semeadura-maturação de feijão cv. carioca em Colorado do Oeste, Rondônia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 2, p. 180-185, 2010.

Moura, J. Z.; Pádua, L. E. M.; Moura, S. G.; Torres, J. S.; Silva, P. R. R. Escala de desenvolvimento fenológico e exigência térmica associada a graus-dia do feijão-caupi. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 3, p. 66-71, 2012.

Ometto, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 440p.

Renato, N. dos S.; Silva, J. B. L.; Sedyama, 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**, v.28, n.4, p.382-388, 2013.

Saraiva, K. R.; Souza, F. O efeito das mudanças climáticas nas necessidades hídricas do feijão-caupi no curu-pentecoste utilizando o modelo "ISAREG". **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 6, n. 1, p. 8-13, 2012.

Silva, T. G. F. da; Moura, M. S. B. de; Souza, L. S. B. de. Cenários de mudanças climáticas para a evapotranspiração da cana-de-açúcar cultivada no submédio do Vale do São Francisco In: Simpósio de mudanças climáticas e desertificação no semiárido brasileiro, 3., Juazeiro. Experiências para mitigação e adaptação. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011.

Souza, M. S. M.; Bezerra, F. M. L.; Teófilo, E. M. Coeficientes de cultura do feijão caupi na região litorânea do Ceará. **Irriga**, v. 10, n. 03, p. 241-248, 2005.

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, p. 409–432, 2011. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-010-9883-9>.