



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Os Impactos das Alterações Climáticas na Cana-de-Açúcar Cultivada em Sistema de Sequeiro na Região Nordeste do Brasil

Sonaly Duarte de Oliveira¹, Vicente de Paulo Rodrigues da Silva², Carlos Antônio Costa dos Santos³, Madson Tavares Silva⁴, Edicarlo Pereira de Sousa⁵

^{1,4}Doutorandos em Meteorologia, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande - PB, Brasil. E-mail: nalydu@hotmail.com; madson_tavares@hotmail.com

^{2,3}Prof. Doutor, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande - PB, Brasil. E-mail: vicente@dca.ufcg.edu.br; carlos@dca.ufcg.edu.br.

⁵Mestre em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande - PB, Brasil. E-mail: edicarlos_p@hotmail.com

Artigo recebido em 14/12/2011 e aceito em 22/01/2012

RESUMO

Os impactos das alterações climáticas sobre o zoneamento agrícola de risco climático do cultivo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) na região Nordeste do Brasil (NEB) são analisados neste estudo. Foram utilizadas as séries históricas de precipitação pluvial com no mínimo 30 anos de dados diários, bem como o coeficiente de cultivo, a evapotranspiração potencial e a duração do ciclo da cultura. Adotou-se como critério de corte para o Índice de Satisfação das Necessidades de Água para a cultura (ISNA), o valor 0,65. Os cenários utilizados de alterações climáticas foram sem aumento na temperatura do ar e com aumentos de 1,5, 3 e 5°C associados às variações na precipitação de ± 10 , 25 e 40%. Os cenários de mudanças climáticas analisados indicam redução considerável nas áreas agricultáveis favoráveis ao cultivo da cana-de-açúcar no NEB, afetando assim, as áreas de produção da cultura. Existe diferença relevante entre os cenários sem aumento na temperatura do ar e os três cenários de aquecimento global.

Palavras-chave: Mudanças climáticas, zoneamento agrícola, evapotranspiração, precipitação pluvial.

The Impacts of the Climate Changes on Sugar Cane Cultivated in Rainfed Systems in Northeastern of Brazil

ABSTRACT

The impacts of climate change on agricultural zoning of climate risk of sugar cane (*Saccharum officinarum* L.) in northeastern region of Brazil (NEB, in Portuguese) are analyzed in this study. It was used daily rainfall time series with at least 30 year as well as crop coefficients, potential evapotranspiration and length of crop cycle. It was adopted as criterion the value threshold of 0.65 for Water Requirements satisfaction index (WRSI). The scenarios used of climate change were no increase in air temperature and increases of 1.5, 3.0 and 5.0°C associated to changes in rainfall of ± 10 , 25 and 40%. The analyzed climate change scenarios indicate a significant reducing in agricultural areas favorable to the cane sugar cultivation in the NEB, and therefore affecting the agricultural areas of sugar cane. There is a significant difference between the scenarios with no increase in temperature and three scenarios of global warming.

Key words: Climate changes, agricultural zoning, evapotranspiration, precipitation.

1. Introdução

As mudanças climáticas no planeta envolvem fatores internos e externos ao sistema terra-atmosfera que podem afetar a produtividade das culturas em todas as partes do mundo (Campos et al., 2010). Dentre os

principais fatores externos, estão a variação da produção de energia do Sol, as mudanças dos parâmetros orbitais da Terra e o grau de intensidade das atividades vulcânicas. Enquanto os fatores internos incluem a variabilidade natural do clima e sua interação

* E-mail para correspondência: nalydu@hotmail.com (Oliveira, S. D.).

com a atmosfera, oceanos e superfície da terra. A cultura da cana-de-açúcar teve sua expansão no Nordeste Brasileiro (NEB) no período de 1970 a 1975, com recursos do programa do álcool (Proálcool), principalmente nos tabuleiros costeiros, por se tratar de uma região mais favorecida por chuvas em determinados períodos do ano (Farias et al., 2008).

Segundo Mello et al. (2009), a cana-de-açúcar vem recebendo cada vez mais destaque no cenário mundial por ser uma cultura de grande eficiência na produção de biocombustíveis e consequente mitigação da intensificação do efeito estufa, sendo, ainda, uma cultura das mais tecnificadas e capacitadas no que diz respeito ao uso de técnicas para seu gerenciamento. De acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2012), em seu relatório de acompanhamento de safras brasileiras, a produção dessa cultura alcançou pouco mais de 1 milhão de hectares no NEB.

O estudo das relações entre o clima e a produção agrícola é um dos principais campos da agrometeorologia e tem por finalidade explicar as influências dos efeitos climáticos em nosso meio, fornecendo subsídios ao planejamento rural. Os modelos agrometeorológicos e a interpretação de dados climáticos relacionados com o crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas fornecem informações que permitem ao setor agrícola tomar importantes decisões: melhor planejamento do uso do solo, adaptação de

culturas, previsão de safras, controle de pragas e estratégias de planejamento.

Em fevereiro de 2007 o IPCC divulgou os resultados do seu Quarto Relatório de Avaliação das Mudanças Climáticas do planeta, chamado de IPCC-AR4 (Alley et al., 2007). Os resultados alertam para um aumento médio global das temperaturas entre 1,8°C e 4,0°C até 2100. Esse aumento pode ser ainda maior (6,4°C) se a população e a economia continuarem crescendo rapidamente e se for mantido o consumo intenso dos combustíveis fósseis. Entretanto, a estimativa mais confiável fala em um aumento médio de 3°C, assumindo que os níveis de dióxido de carbono se estabilizem em 45% acima da taxa atual. Segundo esse relatório, entre 2071 e 2100, a temperatura para a região Nordeste brasileiro o aquecimento pode chegar a 4°C no cenário pessimista e de 2 a 3°C no cenário otimista. Aponta também, com mais de 90% de confiabilidade, que a maior parte do aumento de temperatura observado nos últimos 50 anos foi provocada por atividades humanas.

Para que haja crescimento e desenvolvimento das plantas é necessário que os aspectos do clima, tais como temperatura média do ar (diurna e noturna), precipitação pluvial e radiação solar estejam de acordo com as exigências da cultura (Fancelli & Dourado-Neto, 2000). Dessa maneira, o estudo dos riscos climáticos mais frequentes que as culturas poderão sofrer durante o período do plantio até sua colheita é

extremamente relevante no planejamento agrícola.

Atualmente, existem 162 zoneamentos de riscos climáticos em vigor no país, realizados pela Embrapa e parceiros (EMBRAPA, 2012). Entretanto, nenhum deles contempla a cultura da cana-de-açúcar, e por isso, a ideia central deste estudo é preencher essa lacuna, apresentando uma metodologia que vislumbre o cultivo dessa cultura em sistema de sequeiro na região Nordeste do Brasil em diferentes cenários de aquecimento global proposto pelo IPCC-AR4.

2. Material e Métodos

O risco climático do cultivo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) foi avaliado para toda a região Nordeste do Brasil, utilizando o modelo SARRA. A área do NEB é de 1.558.196 km², equivalente a 18% do território nacional e é a região brasileira que possui a maior costa litorânea. O Modelo SARRA – Br (Sistema de Análise Regional do Risco Agroclimático – Brasil) foi baseado no SARRA proposto por Forest & Clopes (1994) e possui um módulo para simulação do balanço hídrico diário denominado BRASDHC (Brasil – Diagnóstico Hídrico das Culturas). O BRASDHC é derivado do modelo BIP ou BIPODE desenvolvido por Forest (1984), testado por Assad (1986) e modificado por Fréteaud et al. (1987), Vaksman (1990) e Affholder (1995). Esse modelo apresenta como resultados os dados diários de

evapotranspiração real e evapotranspiração sem restrição de água no solo, profundidade da frente de umedecimento do solo, armazenamento e a percolação (Affholder et al., 1997). Sarma et al. (1980) desenvolveram um programa que calcula a evapotranspiração diária como resíduo da equação do balanço hídrico. Esse modelo foi utilizado neste estudo para avaliar os riscos climáticos da cana-de-açúcar cultivada em sistema de sequeiro no NEB.

Foram utilizados dados diários de precipitação de 650 postos pluviométricos do NEB. As séries históricas de precipitação pluvial possuem no mínimo 30 anos de dados diários. O cálculo do risco climático foi realizado por intermédio de um modelo de balanço hídrico da cultura, realizado em duas etapas. Na primeira delas, foi determinado o balanço hídrico, utilizando-se os cenários de mudanças climáticas globais para os aumentos de temperatura de 1,5, 3 e 5°C. Essas variações de temperatura do ar foram associadas às alterações de acréscimo e decréscimo de 10, 25 e 40% na precipitação. Na aplicação do modelo não foi considerada qualquer evolução tecnológica, tanto no manejo das culturas quanto no seu melhoramento genético, e qualquer adaptação fisiológica das plantas às novas condições.

Os cenários agrícolas foram simulados utilizando o Sistema de Análise Regional dos Riscos Agroclimáticos, com base no software SARRA (Baron et al., 1996). Tal modelo estima componentes do balanço hídrico de

uma superfície vegetada em solo estratificado, utilizando dados diários de precipitação pluvial e evapotranspiração potencial, além de coeficientes de cultivo (K_c), que descrevem o crescimento das culturas e as características de solo. Nesse modelo, a infiltração e a redistribuição de água no solo são governadas pela equação de Darcy-Buckingham e a evapotranspiração real é dada em função da evapotranspiração máxima e da umidade do solo. Na segunda etapa, foram empregados os valores de ISNA, definido como a relação entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima (ET_r/ET_m), estimados para o período fenológico compreendido entre o perfilhamento e alongamento dos colmos (período mais crítico ao déficit hídrico), com frequência mínima de 80% nos anos utilizados em cada estação pluviométrica. Para a caracterização do risco climático obtido ao longo dos períodos de simulações, foram estabelecidas três classes de ISNA conforme (Amaral & Silva, 2007): (i) $ISNA \geq 0,65$ - a cultura da cana-de-açúcar de sequeiro está exposta a um baixo risco climático, (ii) $0,55 \leq ISNA < 0,65$ - a cana-de-açúcar de sequeiro está exposta a médio risco climático e (iii) $ISNA < 0,55$ - a cultura da cana-de-açúcar de sequeiro está exposta a um alto risco climático.

3. Resultados e Discussão

A distribuição espacial do ISNA para os cenários sem aumento e com aumento na temperatura (1,5, 3 e 5°C) associados ao

aumento e diminuição da precipitação pluvial (10, 25 e 40% da média anual) são apresentados nas Figuras 1 a 8. As análises apresentadas a seguir estão focadas para o segundo decêndio dos meses de agosto, setembro, outubro e novembro, embora a cultura da cana-de-açúcar apresente um ciclo superior ao apresentado. A escolha de apenas quatro meses está associada ao período que apresenta a maior área apta ao cultivo dessa cultura no NEB, que são justamente os meses de agosto a novembro. A Figura 1 exibe o risco climático da cultura da cana-de-açúcar cultivada no segundo decêndio de agosto na região Nordeste do Brasil, com reduções na precipitação de 10, 25 e 40% combinadas com os cenários de temperatura do ar (sem aumento e aumentos de 1,5, 3 e 5°C).

Nesse cenário, é possível notar a presença de áreas com médio e baixo riscos climáticos para o cultivo da cana-de-açúcar. Mesmo com o decréscimo na precipitação de 10%, que pode ser associado aos efeitos do fenômeno El Niño classificado como fraco, a parte oeste do NEB apresenta uma significativa área com médio e baixo riscos climáticos, que diminuem com o aumento da temperatura do ar. O cenário de redução da precipitação pluvial em 25% combinado com situações sem aumento da temperatura do ar e aumento de 1,5, 3 e 5°C demonstram uma diminuição das áreas indicadas ao plantio da cana-de-açúcar nas condições pesquisadas. Além disso, esse resultado pode ser reforçado também na análise do decréscimo de 40% da

precipitação pluvial e aumento de 5°C na temperatura do ar quando toda a região de

estudo apresentar-se-ia totalmente inapta ao cultivo da cana-de-açúcar.

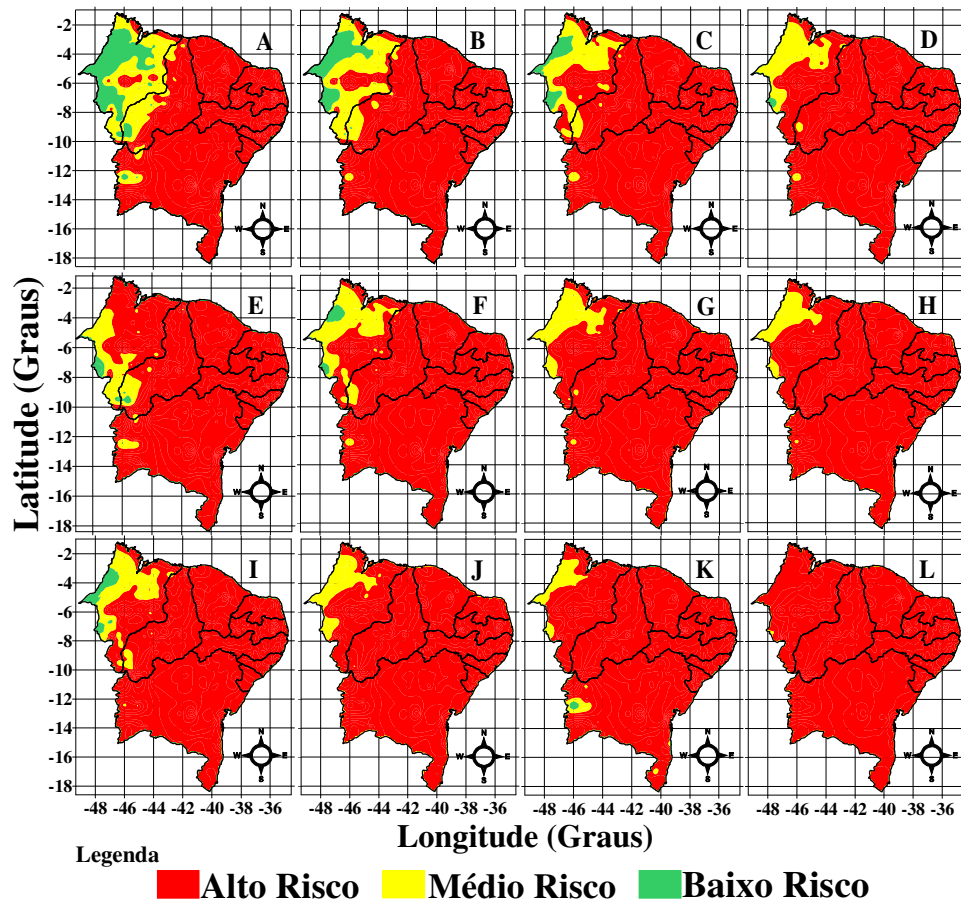


Figura 1. Risco climático do cultivo da cana-de-açúcar na região Nordeste do Brasil, no segundo decêndio de agosto, com redução de 10% na precipitação pluvial e sem aumento na temperatura do ar (A), aumento de 1,5°C (B), aumento de 3°C (C) e aumento de 5°C (D); com redução de 25% na precipitação pluvial e sem aumento na temperatura do ar (E), aumento de 1,5°C (F), aumento de 3°C (G) e aumento de 5°C (H) e com redução de 40% na precipitação pluvial e sem aumento na temperatura do ar (I), aumento de 1,5°C (J), aumento de 3°C (K) e aumento de 5°C (L).

Por outro lado, os cenários de aquecimento global combinados com as anomalias positivas da precipitação geram grande área na região Nordeste do Brasil com potencialidade para o cultivo da cana-de-açúcar, especialmente no norte e oeste dessa região e para todos os cenários climáticos analisados neste estudo (Figura 2). As condições são mais favoráveis ao cultivo da cana-de-açúcar no cenário sem acréscimo de

temperatura do ar, decrescendo com o aumento desta última. Da observação, infere-se também que as áreas com baixo e médio riscos climáticos no cenário sem aumento na temperatura, mas com incrementos positivos na precipitação de 10, 25 e 40% são semelhantes, além de localizadas no mesmo trecho da área pesquisada. A parte oeste da região Nordeste do Brasil apresenta uma área produtiva ao cultivo da cana-de-açúcar bem

maior na presença do fenômeno La Niña na região, em face do aumento da precipitação.

Nessas condições climáticas, mesmo com o aumento da temperatura do ar de até 5°C.

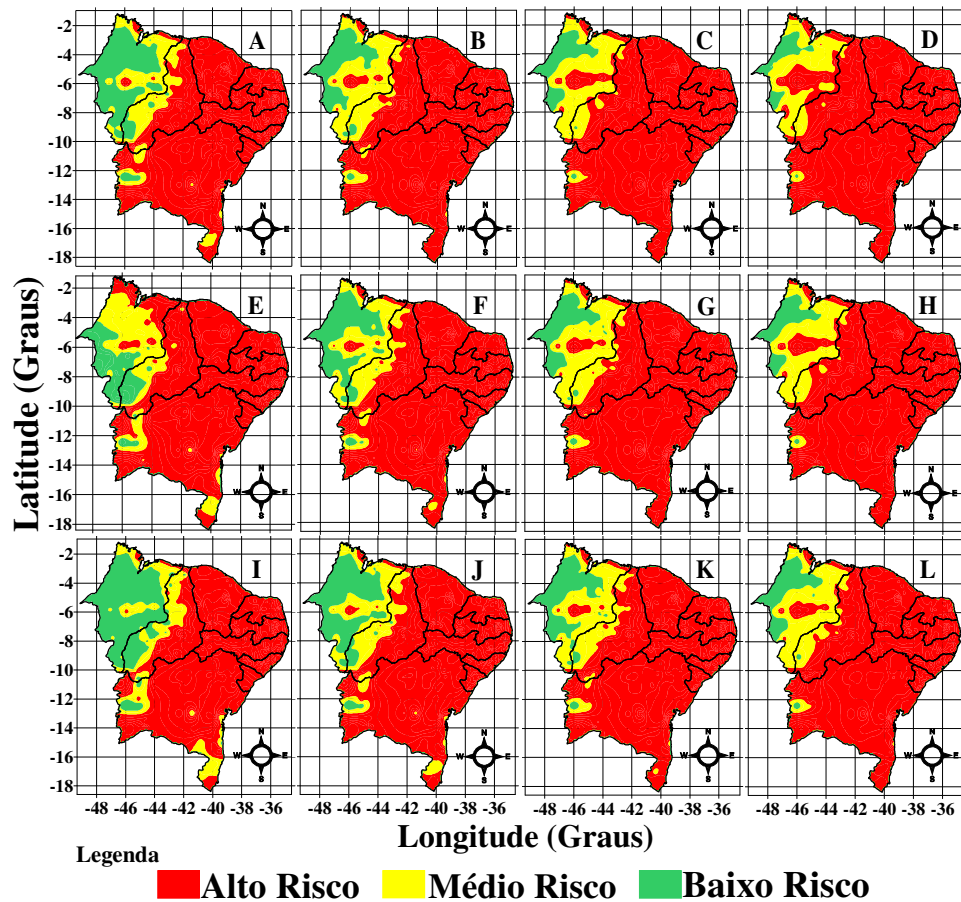


Figura 2. Risco climático do cultivo da cana-de-açúcar na região Nordeste do Brasil, no segundo decêndio de agosto, com acréscimo de 10% na precipitação pluvial e sem aumento na temperatura do ar (A), aumento de 1,5°C (B), aumento de 3°C (C) e aumento de 5°C (D); com redução de 25% na precipitação pluvial e sem aumento na temperatura do ar (E), aumento de 1,5°C (F), aumento de 3°C (G) e aumento de 5°C (H) e com redução de 40% na precipitação pluvial e sem aumento na temperatura do ar (I), aumento de 1,5°C (J), aumento de 3°C (K) e aumento de 5°C (L).

Esse resultado sugere que o aumento na precipitação pluvial nessa região não é o fator preponderante para aumento das áreas agricultáveis ao plantio da cana-de-açúcar. A Figura 3 exhibe as distribuições espaciais dos riscos climáticos da cana-de-açúcar cultivada na região Nordeste do Brasil no segundo decêndio de setembro mediante cenários de aquecimento global combinados com as anomalias negativas de precipitação pluvial.

Os resultados evidenciam que as áreas de médio e baixo riscos climáticos para a cultivo da referida espécie vão sendo minimizadas, à medida que se intensificam as quedas nos percentuais de precipitação. Deste modo, por exemplo, é possível obter algumas situações (Figuras 3I-L) nas quais não são indicados os plantios da cana-de-açúcar em parte do NEB. Nos cenários mais pessimistas, ou seja, com reduções drásticas na precipitação e aumentos

elevados na temperatura do ar (Figuras 3K,L), essas áreas favoráveis ao cultivo da cana-de-açúcar se transformam em pequenos núcleos localizados ao noroeste do estado do Maranhão com médio risco climático. Além disso, observa-se no norte e alguns

municípios do oeste dessa região que as possibilidades de melhores produções da espécie são mais favoráveis, particularmente quando não há aumento da temperatura do ar (Figuras 3A,E).

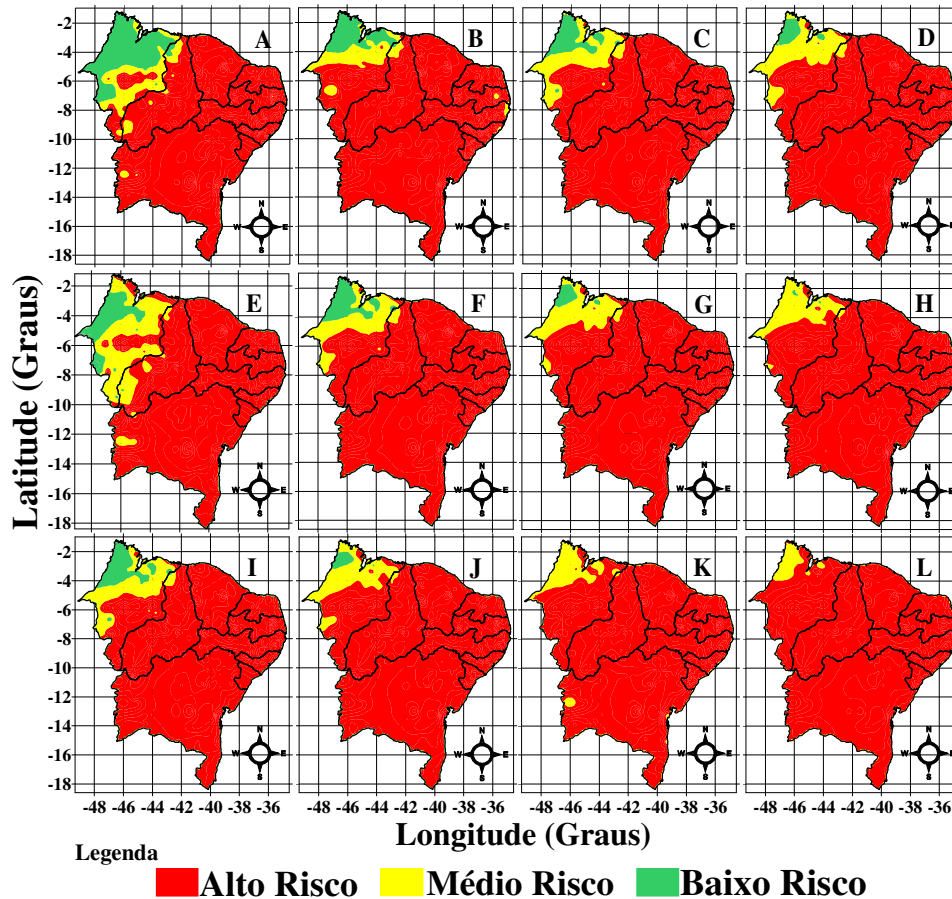


Figura 3. Risco climático do cultivo da cana-de-açúcar na região Nordeste do Brasil, no segundo decêndio de setembro, com redução de 10% na precipitação pluvial e sem aumento na temperatura do ar (A), aumento de 1,5°C (B), aumento de 3°C (C) e aumento de 5°C (D); com redução de 25% na precipitação pluvial e sem aumento na temperatura do ar (E), aumento de 1,5°C (F), aumento de 3°C (G) e aumento de 5°C (H) e com redução de 40% na precipitação pluvial e sem aumento na temperatura do ar (I), aumento de 1,5°C (J), aumento de 3°C (K) e aumento de 5°C (L).

Os cenários de aumento da temperatura do ar associados com a ocorrência do fenômeno El Niño poderão provocar uma redução significativa na área agricultável do algodão na região Nordeste do Brasil (Silva et al., 2011). As distribuições espaciais dos

riscos climáticos da cana-de-açúcar cultivada no NEB durante o segundo decêndio de setembro com anomalias positivas de precipitação pluvial junto a cenários sem aumento de temperatura e com aumentos de 1,5, 3 e 5°C são exibidas na Figura 4. Esta

figura exhibe padrões de comportamento do risco climático nos níveis baixo e médio com predominância principalmente no noroeste do Maranhão. As situações de acréscimo na

precipitação sem que ocorra aumento na temperatura são as mais favoráveis ao plantio da espécie em questão (Figuras 4A,E,I).

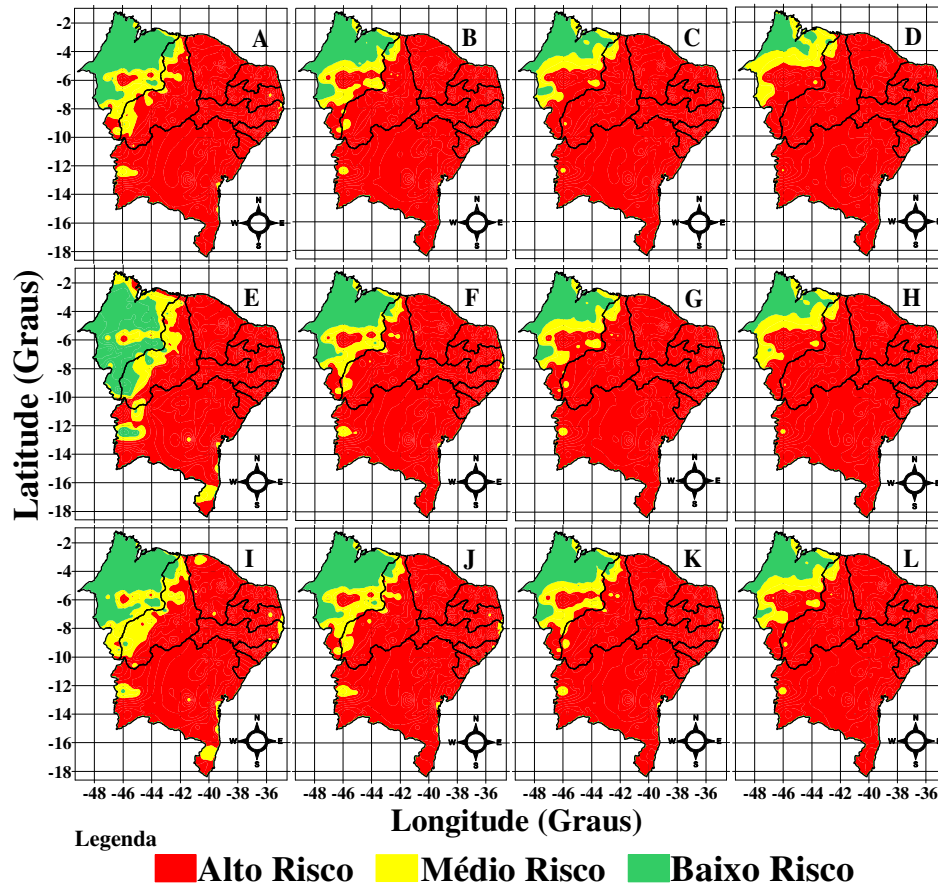


Figura 4. Risco climático do cultivo da cana-de-açúcar na região Nordeste do Brasil, no segundo decêndio de setembro, com acréscimo de 10% na precipitação pluvial e sem aumento na temperatura do ar (A), aumento de 1,5°C (B), aumento de 3°C (C) e aumento de 5°C (D); com acréscimo de 25% na precipitação pluvial e sem aumento na temperatura do ar (E), aumento de 1,5°C (F), aumento de 3°C (G) e aumento de 5°C (H) e com acréscimo de 40% na precipitação pluvial e sem aumento na temperatura do ar (I), aumento de 1,5°C (J), aumento de 3°C (K) e aumento de 5°C (L).

Por outro lado, embora haja uma redução na área apta ao cultivo da cana-de-açúcar, os cenários mais pessimistas (diminuição de 40% da precipitação paralelamente ao aumento da temperatura do ar em até 5°C) desse decêndio ainda exibem áreas com baixo e médio riscos climáticos

como é o caso da Figura 4L. Esse fato se dá devido à temperatura do ar ser um elemento meteorológico que afeta o crescimento da planta, pois quando a temperatura ultrapassa 20°C, há um aumento na taxa de crescimento da cultura, sendo que a faixa de 25°C a 33°C é a mais favorável ao desenvolvimento

vegetativo (Bachi & Souza, 1978).

A Figura 5 exibe as distribuições espaciais dos riscos climáticos da cana-de-açúcar cultivada na região Nordeste do Brasil no segundo decêndio de outubro mediante os cenários de aquecimento global combinados com as anomalias negativas de precipitação pluvial. Percebe-se claramente que houve uma redução em relação às áreas aptas ao cultivo na cana-de-açúcar na região estudada durante

esse decêndio se comparado ao de setembro. Silva et al. (2011) concluíram que os riscos climáticos para o cultivo do algodão nessa região aumentam substancialmente à medida que ocorre aumento da temperatura do ar associados ao decréscimo de precipitação pluvial quando analisaram a variabilidade da área de cultivo do algodão herbáceo em sistema de sequeiro no nordeste do Brasil segundo cenários de mudanças climáticas.

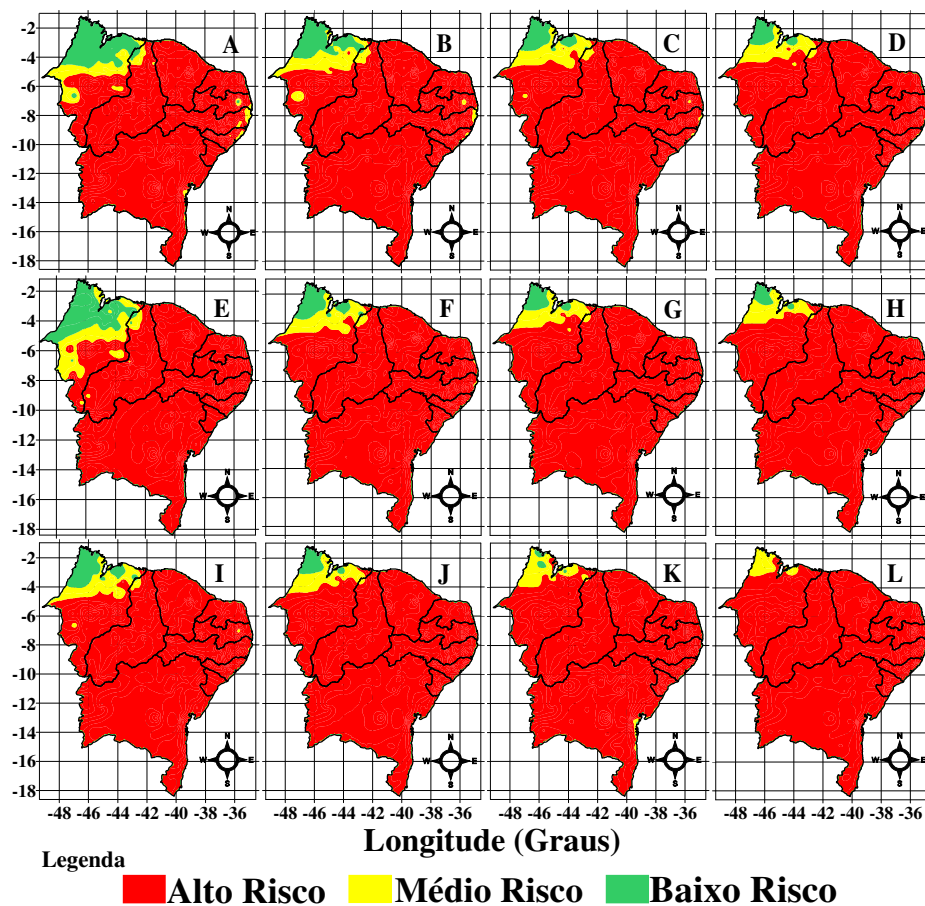


Figura 5. Risco climático do cultivo da cana-de-açúcar na região Nordeste do Brasil, no segundo decêndio de outubro, com redução de 10% na precipitação pluvial e sem aumento na temperatura do ar (A), aumento de 1,5°C (B), aumento de 3°C (C) e aumento de 5 °C (D); com redução de 25% na precipitação pluvial e sem aumento na temperatura do ar (E), aumento de 1,5°C (F), aumento de 3°C (G) e aumento de 5 °C (H) e com redução de 40% na precipitação pluvial e sem aumento na temperatura do ar (I), aumento de 1,5°C (J), aumento de 3°C (K) e aumento de 5 °C (L).

Constata-se, ainda, que as áreas aptas localizadas na parte oeste da região diminuem

no segundo decêndio de outubro para dar lugar às áreas com alto risco climático.

Analisando os impactos das alterações climáticas sobre a área de cultivo e produtividade de milho e feijão no Nordeste do Brasil usando modelagem agrometeorológica, Campos (2010) observou que o aumento na temperatura do ar pode afetar significativamente a disponibilidade de área agricultável das cultivares de feijão e milho no Nordeste do Brasil. Situação semelhante, porém em menor proporção, ocorre com relação ao cultivo da cana-de-

açúcar para os casos de anomalias positivas de precipitação (Figura 6). A diferença neste decêndio, entretanto, está no fato de que ainda persistem áreas numa quantidade maior que estão aptas à plantação da cana-de-açúcar na parte oeste da região, sendo mais evidentes no cenário sem aumento de temperatura. Para todos os cenários, observa-se que a região litorânea do NEB detém áreas aptas ao cultivo da cana-de-açúcar, principalmente nos cenários otimistas de precipitação.

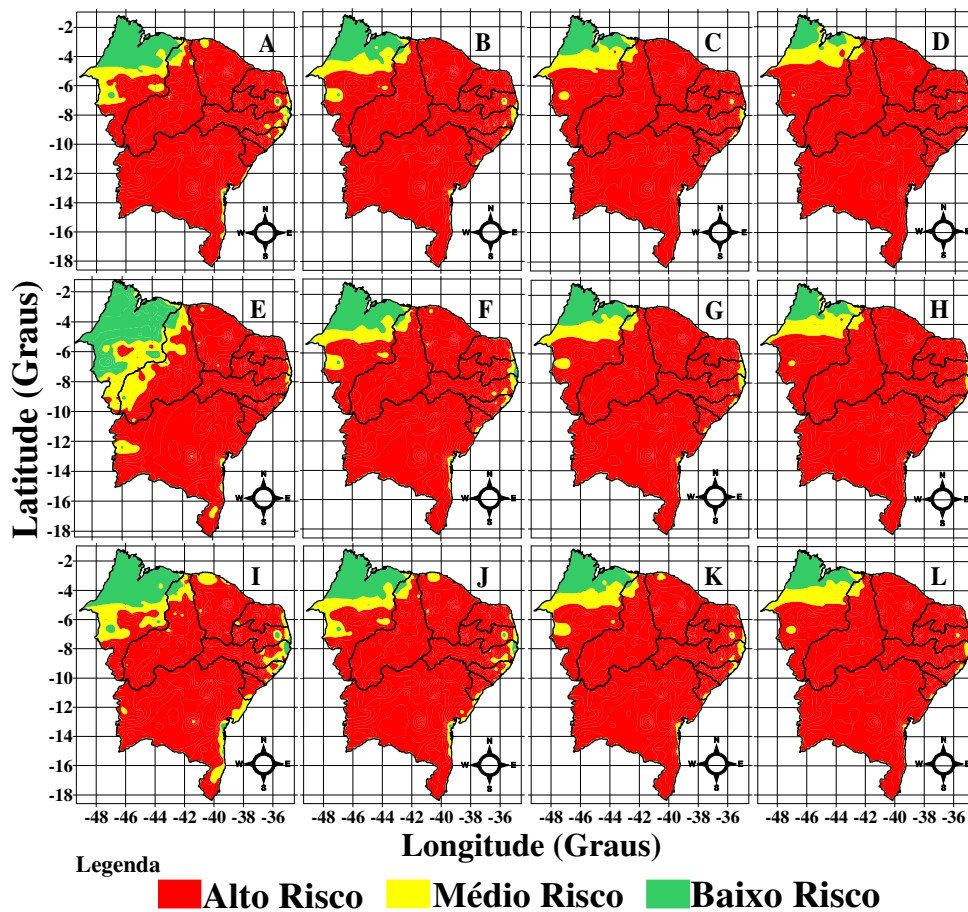


Figura 6. Risco climático do cultivo da cana-de-açúcar na região Nordeste do Brasil, no segundo decêndio de outubro, com acréscimo de 10% na precipitação pluvial e sem aumento na temperatura do ar (A), aumento de 1,5°C (B), aumento de 3°C (C) e aumento de 5°C (D); com acréscimo de 25% na precipitação pluvial e sem aumento na temperatura do ar (E), aumento de 1,5°C (F), aumento de 3°C (G) e aumento de 5°C (H) e com acréscimo de 40% na precipitação pluvial e sem aumento na temperatura do ar (I), aumento de 1,5°C (J), aumento de 3°C (K) e aumento de 5°C (L).

Figura 7 exhibe a distribuição espacial dos riscos climáticos da cana-de-açúcar cultivada na região Nordeste do Brasil no segundo decêndio de novembro mediante os cenários de aquecimento global combinados com as anomalias negativas de precipitação pluvial. Nestes cenários é possível localizar alguns casos pontuais de áreas aptas ao plantio da cana-de-açúcar no norte da região Nordeste com riscos climáticos classificados como médio e baixo. Além disso, pode-se notar que quanto menor a disponibilidade de

precipitação e maior elevação na temperatura do ar, maiores são os riscos para toda a região estudada. Parte do litoral apresenta focos de baixos e médios riscos climáticos ao cultivo da cana-de-açúcar com maior intensidade para os casos de redução em 10% da precipitação e sem aumento de temperatura. Entretanto, no cenário mais pessimista, ou seja, com redução de 40% na precipitação e aumento de 5°C (Figura 7L), apenas o extremo norte do estado do Maranhão apresenta uma pequena área com risco climático médio.

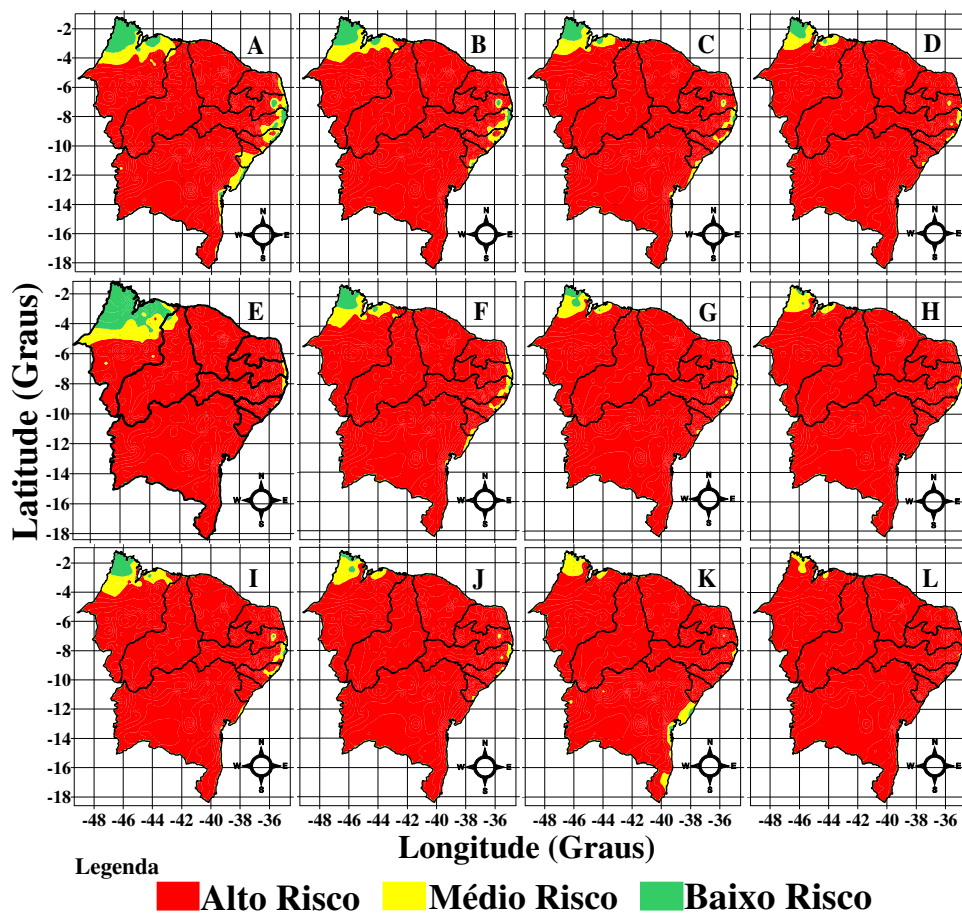


Figura 7. Risco climático do cultivo da cana-de-açúcar na região Nordeste do Brasil, no segundo decêndio de novembro, com redução de 10% na precipitação pluvial e sem aumento na temperatura do ar (A), aumento de 1,5°C (B), aumento de 3°C (C) e aumento de 5°C (D); com redução de 25% na precipitação pluvial e sem aumento na temperatura do ar (E), aumento de 1,5°C (F), aumento de 3°C (G) e aumento de 5°C (H) e com redução de 40% na precipitação pluvial e sem aumento na temperatura do ar (I), aumento de 1,5°C (J), aumento de 3°C (K) e aumento de 5°C (L).

O aquecimento global, associado com anomalias de precipitação pluvial, pode trazer graves consequências para a economia da região, em face da inaptidão de diversas culturas em produzir, de forma economicamente viável, sob níveis elevados de temperatura. Nesse sentido, Silva et al. (2010), quando analisaram os efeitos das mudanças climáticas sobre a cultura do feijão plantada na região Nordeste do Brasil, recomendaram que variedades mais resistentes dessa cultura devessem ser desenvolvidas com vistas ao aquecimento global.

De forma evidente, nos cenários de aumento de precipitação combinados com anomalias positivas de temperatura do ar (Figura 8) começam a se estabelecer em maior quantidade áreas agricultáveis para a cultura da cana-de-açúcar no segundo decêndio de novembro no litoral do NEB. Isso está associado à incidências de vórtices ciclônicos nessa época do ano na região. Nesse decêndio todos os cenários apresentam baixo e médio riscos climáticos no litoral do Nordeste, bem como ao norte do estado do Maranhão. Particularmente, nos cenários mais otimistas, ou seja, sem aumento de temperatura e com aumento de precipitação em 40%, municípios ao norte e sul, além daqueles que compõem uma faixa que se estende por quase todo o litoral do NEB, apresentam condições climáticas aptas ao cultivo da cana-de-açúcar de modo mais notório. Ainda no cenário de acréscimo de

40% na precipitação pluvial e aumento na temperatura do ar de 5°C ainda poder ser encontrada regiões aptas ao cultivo da cana-de-açúcar (Figura 8L), principalmente no litoral do Rio Grande do Norte até parte do litoral da Bahia. De modo geral, o segundo decêndio de novembro com anomalias positivas de precipitação mostrou-se ser o de melhor disponibilidade de áreas agricultáveis ao plantio da cana-de-açúcar para essa região.

Campos (2010), estudando o impacto do aquecimento global no cultivo do feijão-caupi no estado da Paraíba, verificou que mediante cenários de aquecimento, a duração da estação de cultivo e a produtividade serão drasticamente reduzidas como consequência da redução da área agricultável das culturas de milho e feijão.

Dessa forma, os cenários de aumento da temperatura do ar associados aos decréscimos das precipitações (ocorrência do fenômeno El Niño) poderão provocar uma redução significativa na área agricultável da cana-de-açúcar na região Nordeste do Brasil, quando comparadas com as áreas anteriormente adequadas ao plantio dessa cultura. Quanto maior a anomalia negativa de chuva, menos apta se tornará a região, até o limite máximo de tolerância biológica ao calor ou à seca provocada pelo aumento térmico. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva et al. (2011), quando analisaram a variabilidade da área de cultivo do algodão herbáceo em sistema de sequeiro no nordeste do Brasil segundo cenários de mudanças climáticas.

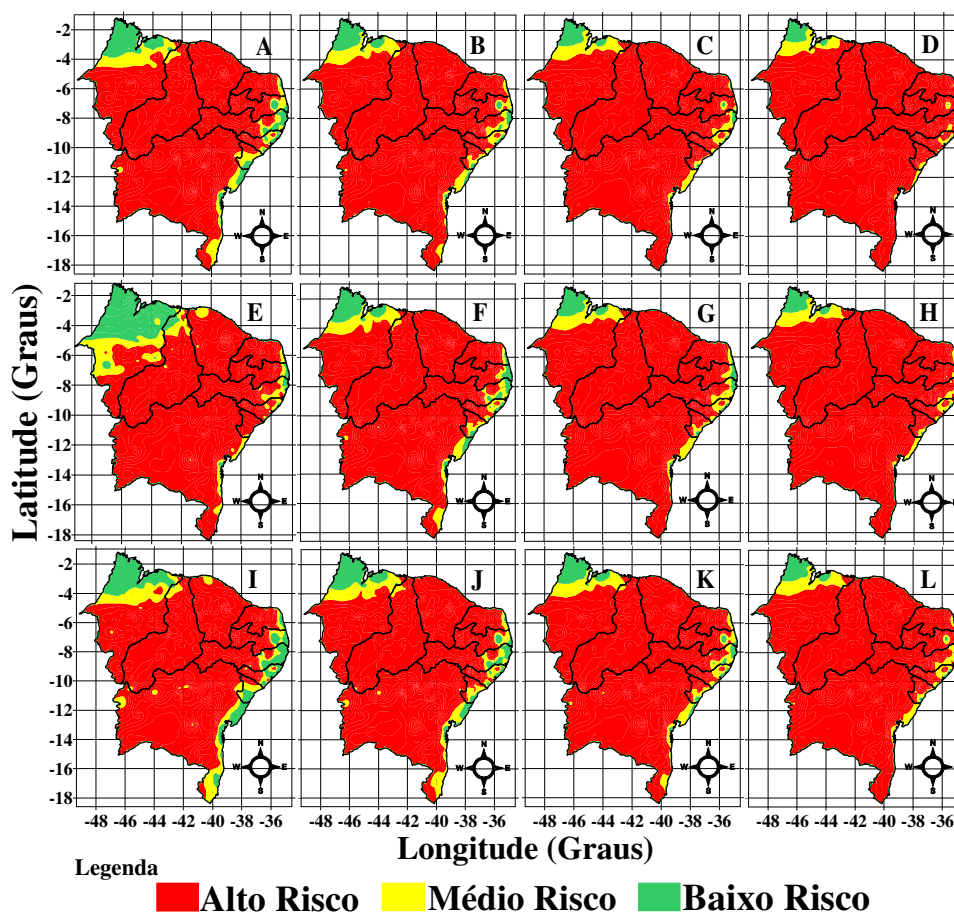


Figura 8. Risco climático do cultivo da cana-de-açúcar na região Nordeste do Brasil, no segundo decêndio de novembro, com acréscimo de 10% na precipitação pluvial e sem aumento na temperatura do ar (A), aumento de 1,5°C (B), aumento de 3°C (C) e aumento de 5°C (D); com acréscimo de 25% na precipitação pluvial e sem aumento na temperatura do ar (E), aumento de 1,5°C (F), aumento de 3°C (G) e aumento de 5°C (H) e com acréscimo de 40% na precipitação pluvial e sem aumento na temperatura do ar (I), aumento de 1,5°C (J), aumento de 3°C (K) e aumento de 5°C (L).

4. Conclusões

Neste estudo os resultados obtidos das análises do ISNA na avaliação dos riscos climáticos do cultivo da cana-de-açúcar na região Nordeste do Brasil, com base na combinação de incrementos de temperatura do ar e anomalias positivas e negativas na precipitação pluvial, indicaram que as alterações climáticas ocasionadas pelo aumento na temperatura do ar e redução na precipitação pluvial provocam abatimentos

relevantes da proporção de áreas agrícolas com baixo risco climático para a cultura da cana-de-açúcar cultivada na região Nordeste do Brasil. Entretanto, as reduções na precipitação pluvial sem aumento na temperatura produzem um aumento significativo nas áreas com baixo e médio riscos climáticos, embora ainda pequenas, quando comparadas com aquelas submetidas aos incrementos de temperatura.

Diante das condições de ocorrência de

decréscimos das precipitações combinadas com o aumento de 5°C, as áreas com alto risco climático representam 100% da área total do NEB praticamente durante todos os meses do ano. O período simulado mais apropriado ao cultivo da cana-de-açúcar compreende os meses de agosto e setembro em sistema de sequeiro na região Nordeste do Brasil. O aquecimento global associado com anomalias de precipitação pluvial pode trazer graves consequências para a economia da região, em face da inaptidão dessa cultura de produção economicamente viável sob níveis elevados de temperatura do ar.

5. Agradecimentos

A Capes - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela bolsa concedida ao primeiro autor.

6. Referências

Affholder, F. (1995). Effect of organic matter input on the water balance and yield of millet under tropical dryland condition. *Field Crops Research*, v. 41, p. 109-121.

Affholder, F.; Rodrigues, G.C; Assad, E.D. (1997). Modelo agroclimático para avaliação do comportamento do milho na região dos cerrados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 32, n. 10.

Amaral, J.A.B.; Silva, M.T. (2007). Zoneamento Agrícola do Algodão Herbáceo no Nordeste Brasileiro Safra 2007/2008 -

Estado do Ceará. Embrapa-CNPA, Campina Grande, 8p. (*Comunicado Técnico* 321).

Assad, E.D. (1986). Simulation de l'irrigation et du drainage pour les cultures pluviales de riz et de maïs en sols de bas-fonds à Brasília. *Memories et Travaux de IRAT*, n. 13, p. 10.

Bachi, O.O.S.; Souza, J.A.G.C. (1978). Minimum threshold temperature for sugar cane growth. In: International Society of Sugar Cane Technologists, 1978, São Paulo, SP. *Proceedings*. São Paulo. v. 2, p. 1733-1741.

Baron, C.; Clopes, A.; Perez, P.; Muller, B., Maraux, F. (1996). *Manuels d'utilisation de: SARRAMET 45 p SARRABIL 35 p et SARRAZON 29 p*. CIRAD, Montpellier, France.

Campos, J.H.B.C.; Silva, M.T.; Silva, V.P.R. (2010). Impacto do aquecimento global no cultivo do feijão-caupi, no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, p. 396-404.

CONAB. *Companhia Nacional de Abastecimento*. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 05 abril de 2012.

EMBRAPA. Zoneamento e Modelagem Aplicados aos Sistemas de Produção da Cana-de-Açúcar. <http://www.cpatc.embrapa.br/uep/index.php?pagina=32&secao=107&secaoatidades=113>. 23 de abril de 2012.

- Fancelli, A.L.; Dourado-Neto, D. (2000). Produção de milho. Guaíba: *Agropecuária*, p. 360.
- Farias, C.H.A.; Fernandes, P.D.; Azevedo, H.M.; Neto, J.D. (2008). Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 4, p. 356-362.
- Forest, F. (1984). Simulation du bilan hydrique des cultures pluviales. Présentation et utilisation du logiciel BIP. Montpellier: IRAT-CIRAD. 63p.
- Forest, F.; Clopes, A. (1994). Contribution à l'explication de la variabilité du rendement d'une culture de maïs plus ou moins intensifiée à l'aide d'un modèle de bilan hydrique amélioré. In: Reyniers, F.N.; Netoyo, L. (Eds). Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale: Vers une gestion des flux hydriques par les systèmes de culture? Paris: *J. Libbey*, p. 3-15.
- Fréteaud, J.P.; Poss, R.E.; Saragoni, H. (1987). Ajustement d'un modèle de bilan hydrique à des mesures tension-neutroniques in situ sous culture de maïs. *Agronomie Tropicale*, Montpellier, v. 42, n. 2, p. 94-103.
- IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Mello, M.P.; Vieira, C.A.O.; Aguiar, A.D.; Rudorff, B.F.T. (2009). Classificação da Colheita da Cana-de-açúcar por Meio de Imagens de Satélite Utilizando Superfícies de Resposta Espectro-temporais. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, 25-30 abril, INPE, pp. 279-286.
- Sarma, P.B.S.; Rao, N.H.; Rao, K.V.P. (1980). Calculation of water balance in the crop root zone by computer. *Journal of Hydrology*, n.45, p. 123-131.
- Silva, V.P.R.; Campos, J.H.B.C.; Silva, M.T.; Azevedo, P.V. (2010). Impact of global warming on cowpea bean cultivation in northeastern Brazil. *Agricultural Water Management*, 97, p.1760-1768.
- Silva, M.T.; Silva, V.P.R.; Campos, J.H.B.C.; Oliveira, S.O. (2011). Variabilidade da área de cultivo do algodão herbáceo em sistema de sequeiro no nordeste do Brasil segundo cenários de mudanças climáticas. *Revista Brasileira de Geografia Física* 03, p. 448-464.
- Vaksmann, M. (1990). Le modèle BIPODE: Logiciel. Bamako: IRAT. (Não paginado).