



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS



**IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS SOBRE A ÁREA DE  
CULTIVO E PRODUTIVIDADE DE MILHO E FEIJÃO NO NORDESTE DO  
BRASIL USANDO MODELAGEM AGROMETEOROLÓGICA**

**JOÃO HUGO BARACUY DA CUNHA CAMPOS**

Área de concentração: Processos Ambientais  
Linha de pesquisa: Modelagem de Processos Ambientais

Campina Grande, agosto de 2010

JOÃO HUGO BARACUY DA CUNHA CAMPOS

**IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS SOBRE A ÁREA DE  
CULTIVO E PRODUTIVIDADE DE MILHO E FEIJÃO NO NORDESTE DO  
BRASIL USANDO MODELAGEM AGROMETEOROLÓGICA**

Tese submetida ao Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor.

Orientador: Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva

Campina Grande, agosto de 2010.

**JOÃO HUGO BARACUY DA CUNHA CAMPOS**

**IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS SOBRE A ÁREA DE CULTIVO E  
PRODUTIVIDADE DE MILHO E FEIJÃO NO NORDESTE DO BRASIL USANDO  
MODELAGEM AGROMETEOROLÓGICA**

**APROVADA EM: 20/08/2010**

**BANCA EXAMINADORA**

  
**Dr. VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA**  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN  
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

  
**Dr. MARIO DE MIRANDA VILAS BOAS RAMOS LEITÃO**  
Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF

  
**Dr. ROGÉRIO TEIXEIRA DE FARIAS**  
Instituto Agrônômico do Paraná - IAPAR

  
**Dr. CLODOALDO ROQUE DALLAJUSTINA BORTOLUZI**  
Centro de Humanidade - CH  
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

  
**Dr. PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO**  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN  
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

A meus pais Fernando Antonio  
Campos e Julieta Baracuy da  
Cunha Neta Campos, DEDICO.

À minha amada esposa Clarissa  
Maria Ramalho de Sá Rocha  
Campos, OFEREÇO.

---

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus nosso criador, por todas as graças alcançadas em minha vida.

Ao professor Vicente de Paulo Rodrigues da Silva, pela orientação e ensinamentos transmitidos, pelo exemplo de conduta profissional e, principalmente, por sua preciosa amizade, confiança e incentivo.

Ao coordenador do Programa de Pós Graduação em Recurso Naturais, professor Pedro Vieira de Azevedo, por todo o apoio e ajuda durante o curso de doutorado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo.

Ao colega do Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Madson Tavares Silva, por todo seu auxílio e empenho na realização deste trabalho

Aos colegas do Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais, Maria José, Girlene, Karina, Kalliana, Edimar, Luciano, Gledsnelly, Luiza, Mozaniel, Gonzaga, Israel, Josely, Waleska, e em especial a Lincoln Eloi, por sua ajuda e atenção na realização deste trabalho.

A todos que, de alguma maneira, contribuíram para a realização deste trabalho.

---

## **IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS SOBRE A ÁREA DE CULTIVO E PRODUTIVIDADE DE MILHO E FEIJÃO NO NORDESTE DO BRASIL USANDO MODELAGEM AGROMETEOROLÓGICA**

**Resumo:** Este estudo avalia os impactos das alterações climáticas sobre o zoneamento agrícola de risco climático do feijão e milho cultivados na região Nordeste do Brasil (NEB), com base nos relatórios do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). O modelo de balanço hídrico, combinado com técnicas de geoprocessamento (SIG), foi utilizado para identificar as áreas da região de estudo onde as culturas poderão sofrer restrições de rendimento devido às mudanças climáticas. Os dados utilizados no estudo foram as séries históricas de precipitação com no mínimo 20 anos de dados diários, coeficientes de cultura, evapotranspiração potencial e a duração do ciclo da cultura. Foi adotado como critério de corte para o Índice de Satisfação das Necessidades de Água para a cultura (ISNA), definido como a relação entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima ( $E_{Tr}/E_{Tm}$ ), os valores 0,55 e 0,50 para o milho e o feijão, respectivamente. Os cenários de aumento na temperatura do ar utilizados nas simulações foram de 1,5; 3 e 5 °C. Os resultados indicam que o aumento na temperatura do ar pode afetar significativamente a disponibilidade de área agricultável das culturas de feijão e de milho no NEB. Portanto, é importante que variedades dessas culturas mais resistentes a altas temperaturas sejam desenvolvidas visando enfrentar a problemática do aquecimento. Os resultados ainda indicam que existe considerável diferença entre os três cenários de aquecimento e as condições climáticas atuais em termos dos efeitos projetados da variação de temperatura sobre as áreas cultivadas com feijão e milho na região de estudo. Mediante os cenários de aquecimento, o tamanho da estação de cultivo e a produtividade serão significativamente reduzidos como consequência do decréscimo em área agricultável com as culturas de milho e feijão. A época de semeadura de janeiro a março se apresenta menos afetada pelos cenários de aquecimento do que a semeadura nos meses de novembro e dezembro ou de abril e maio, provavelmente em face da regularidade dos padrões da ITCZ na maior parte do NEB.

**Palavras-Chave:** Precipitação pluvial, balanço hídrico, zoneamento agrícola, mudanças climáticas

**CLIMATE CHANGE IMPACTS ON THE AREA OF THE CROP AND  
PRODUCTIVITY OF CORN AND COWPEA BEAN IN NORTHEAST BRAZIL  
USING AGROMETEOROLOGICAL MODELING**

**Abstract:** This study assesses the impacts of climate change on the agricultural zoning of climatic risk in cowpea and corn grown in northeastern Brazil (NEB), based on the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) reports. The water balance model, combined with geospatial technologies (GIS), was used to identify areas of the study area where the crops will suffer yield restrictions due to climate change. The data used were the time series in rainfall at least 20 years of daily data, crop coefficients, potential evapotranspiration and duration of the crop cycle. The scenarios analyzed were of increases in air temperature of 1.5, 3 and 5 °C. It was adopted as baseline for the Water Requirements Satisfaction Index for culture (WRSI), defined as the ratio between actual evapotranspiration and maximum evapotranspiration ( $ET_r/ET_m$ ), the values of 0.55 and 0.50 for maize and cowpea bean, respectively. An increase of air temperature affects the availability of suitable agricultural area and particularly the cowpea bean and corn yield across NEB. Therefore, it is important that crops varieties better suited to high-temperature conditions should be planted. There are considerable differences between the three warming scenarios and normal climatic conditions in terms of projected effects of changes in temperature on the area suitable for cowpea bean and corn cultivation. Under the warming scenarios, the length of the growing period and yield should be drastically affected as a consequence of the decrease in agriculturally suitable area. The sowing date from January to March appears to be less affected by warming scenarios than sowing in November and December or April and May, probably due to the soil conditions and regularity of seasonal ITCZ patterns in most of northern NEB.

**Keywords:** Rainfall, water balance, agricultural zoning, climate change.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABELAS	XIII
	Pág.
1. INTRODUÇÃO	16
1.1. Objetivos	19
1.1.1. Objetivo geral	19
1.1.2. Objetivos específicos	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1. As culturas de milho e feijão caupi	21
2.2. Mudanças climáticas	24
2.2.1 Variabilidade climática no Nordeste do Brasil	24
2.3. A Agricultura e as mudanças climáticas	26
2.4. Modelagem na agricultura	29
2.5. Análise da produtividade agrícola	31
3. METODOLOGIA	33
3.1. Localização da área de estudo e o clima	33
3.2. Produtividades das culturas de milho e feijão	35
3.3. Modelos agrometeorológicos	36
3.3.1. Descrição dos modelos	36
3.3.1.1. Modelo SARRAZON	36
3.3.1.2. Modelos do sistema DSSAT	39
3.4. Descrição dos cenários de mudanças climáticas	40

3.5. Valoração econômica	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1. Risco climático para cultura do feijão caupi	43
4.2. Risco climático para cultura do milho	58
4.3. Estimativa da produtividade de grãos	73
4.4. Análise de sensibilidade	78
4.5. Valoração econômica das culturas de milho e feijão	81
5. CONCLUSÕES	83
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85

## LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1	Mapa do Brasil com destaque para a região Nordeste representada pela área em vermelho.	34
Figura 2	Espacialização das estações meteorológicas utilizadas no estudo.	34
Figura 3	Mapa do Estado da Bahia com o Município de Juazeiro representado pela área em vermelho.	35
Figura 4	Figura 4. Distribuição espacial do risco climático da cultura do feijão semeada no segundo decêndio de novembro na região Nordeste do Brasil para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (A) e de acréscimos de temperatura de 1,5°C (B), 3°C (C) e de 5°C (D).	45
Figura 5	Figura 5. Distribuição espacial do risco climático da cultura do feijão semeada no segundo decêndio de dezembro na região Nordeste do Brasil para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (A) e de acréscimos de temperatura de 1,5°C (B), 3°C (C) e de 5°C (D).	47
Figura 6	Distribuição espacial do risco climático da cultura do feijão semeada no segundo decêndio de janeiro na região Nordeste do Brasil para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (A) e de acréscimos de temperatura de 1,5 °C (B), 3 °C (C) e de 5 °C (D).	49
Figura 7	Distribuição espacial do risco climático da cultura do feijão semeada no segundo decêndio de fevereiro na região Nordeste do Brasil para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (A) e de acréscimos de temperatura de 1,5°C (B), 3°C (C) e de 5°C (D).	51
Figura 8	Distribuição espacial do risco climático da cultura do feijão semeada no segundo decêndio de março na região Nordeste do Brasil para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (A) e de acréscimos de temperatura de 1,5°C (B),	53

	3°C (C) e de 5°C (D).	
Figura 9	Distribuição espacial do risco climático da cultura do feijão semeada no segundo decêndio de abril na região Nordeste do Brasil para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (A) e de acréscimos de temperatura de 1,5°C (B), 3°C (C) e de 5°C (D).	55
Figura 10	Distribuição espacial do risco climático da cultura do feijão semeada no segundo decêndio de maio na região Nordeste do Brasil para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (A) e de acréscimos de temperatura de 1,5 °C (B), 3 °C (C) e de 5 °C (D).	57
Figura 11	Distribuição espacial do risco climático da cultura do milho semeada no segundo decêndio de novembro na região Nordeste do Brasil para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (A) e de acréscimos de temperatura de 1,5 °C (B), 3 °C (C) e de 5 °C (D).	60
Figura 12	Distribuição espacial do risco climático da cultura do milho semeada no segundo decêndio de dezembro na região Nordeste do Brasil para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (A) e de acréscimos de temperatura de 1,5°C (B), 3°C (C) e de 5°C (D).	62
Figura 13	Distribuição espacial do risco climático da cultura do milho semeada no segundo decêndio de janeiro na região Nordeste do Brasil para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (A) e de acréscimos de temperatura de 1,5 °C (B), 3 °C (C) e de 5 °C (D).	64
Figura 14	Distribuição espacial do risco climático da cultura do milho semeada no segundo decêndio de fevereiro na região Nordeste do Brasil para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (A) e de acréscimos de temperatura de 1,5 °C (B), 3 °C (C) e de 5 °C (D).	66
Figura 15	Distribuição espacial do risco climático da cultura do milho semeada no segundo decêndio de março na região Nordeste do	68

	Brasil para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (A) e de acréscimos de temperatura de 1,5 °C (B), 3 °C (C) e de 5 °C (D).	
Figura 16	Distribuição espacial do risco climático da cultura do milho semeada no segundo decêndio de abril na região Nordeste do Brasil para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (A) e de acréscimos de temperatura de 1,5°C (B), 3°C (C) e de 5°C (D).	70
Figura 17	Distribuição espacial do risco climático da cultura do milho semeada no segundo decêndio de maio na região Nordeste do Brasil para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (A) e de acréscimos de temperatura de 1,5°C (B), 3°C (C) e de 5°C (D).	72
Figura 18	Curso anual da produtividade do feijão caupi (A) e do milho (B), anomalia de precipitação média mensal (C) e a classificação dos anos com os eventos El Niño e La Niña (D).	76
Figura 19	Avaliação da sensibilidade do modelo DSSAT à temperatura do ar em função da produtividade do feijão (A) e do milho (B) cultivados em Juazeiro, BA.	79
Figura 20	Avaliação da sensibilidade do modelo DSSAT à precipitação em função da produtividade do feijão (A) e do milho (B) cultivados em Juazeiro, BA.	80

## LISTA DE TABELAS

		Pág.
Tabela 1	Faixas de variação do ISNA para a cultura do milho, cultivar de ciclo médio (120 dias).	38
Tabela 2	Faixas de variação do ISNA para a cultura do feijão caupi, cultivar de ciclo médio (70 dias).	38
Tabela 3	Área agrícola do feijão caupi (km <sup>2</sup> ), para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C, aumento de 3°C e aumento de 5°C para o segundo decêndio de novembro na região Nordeste do Brasil.	45
Tabela 4	Área agrícola do feijão caupi (km <sup>2</sup> ), para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C, aumento de 3°C e aumento de 5°C para o segundo decêndio de dezembro na região Nordeste do Brasil.	47
Tabela 5	Área agrícola do feijão caupi (km <sup>2</sup> ), para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C, aumento de 3°C e aumento de 5°C para o segundo decêndio de janeiro na região Nordeste do Brasil.	49
Tabela 6	Área agrícola do feijão caupi (km <sup>2</sup> ), para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C, aumento de 3°C e aumento de 5°C para o segundo decêndio de fevereiro na região Nordeste do Brasil.	51
Tabela 7	Área agrícola do feijão caupi (km <sup>2</sup> ), para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C, aumento de 3°C e aumento de 5°C para o segundo decêndio de março na região Nordeste do Brasil.	53
Tabela 8	Área agrícola do feijão caupi (km <sup>2</sup> ), para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C, aumento de 3°C, e aumento de 5°C para segundo decêndio de abril na região Nordeste do Brasil.	55
Tabela 9	Área agrícola do feijão caupi (km <sup>2</sup> ), para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C,	57

	aumento de 3°C e aumento de 5°C para o segundo decêndio de maio na região Nordeste do Brasil.	
Tabela 10	Área agrícola do milho (km <sup>2</sup> ), para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C, aumento de 3°C e aumento de 5°C para o segundo decêndio de novembro na região Nordeste do Brasil.	60
Tabela 11	Área agrícola do milho (km <sup>2</sup> ), para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C, aumento de 3°C e aumento de 5°C para segundo decêndio de dezembro na região Nordeste do Brasil.	62
Tabela 12	Área agrícola do milho (km <sup>2</sup> ), para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C, aumento de 3°C e aumento de 5°C para segundo decêndio de janeiro na região Nordeste do Brasil.	64
Tabela 13	Área agrícola da cultura do milho (km <sup>2</sup> ), para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C, aumento de 3°C e aumento de 5°C para o segundo decêndio de fevereiro na região Nordeste do Brasil.	66
Tabela 14	Área agrícola da cultura do milho (km <sup>2</sup> ), para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C, aumento de 3°C e aumento 5°C para o segundo decêndio de março na região Nordeste do Brasil.	68
Tabela 15	Área agrícola do milho (km <sup>2</sup> ), para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C, aumento de 3°C e aumento de 5°C para o segundo decêndio de abril na região Nordeste do Brasil.	70
Tabela 16	Área agrícola do milho (km <sup>2</sup> ), para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C, aumento de 3°C e aumento de 5°C para o segundo decêndio de maio na região Nordeste do Brasil.	72
Tabela 17	Estimativa da produtividade média mensal do feijão caupi para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C, aumento de 3°C, e aumento 5°C para o	74

	segundo decêndio do mês de janeiro em Juazeiro, BA	
Tabela 18	Estimativa da produtividade média mensal do milho para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C, aumento de 3°C e aumento de 5°C para segundo decêndio do mês de janeiro em Juazeiro, BA	77
Tabela 19	Indicadores econômicos da cultura de feijão caupi cultivado nas condições climáticas atuais (CCA), nos cenários de aumento de temperatura do ar, e nos desvios de precipitação de -25 e + 25% (Prec) em Juazeiro, BA, no segundo decêndio de janeiro.	82
Tabela 20	Indicadores econômicos da cultura de milho cultivado nas condições climáticas atuais (CCA), nos cenários de aumento de temperatura do ar, e nos desvios de precipitação de -25 e + 25% (Prec) em Juazeiro, BA, no segundo decêndio de janeiro.	82

## 1. INTRODUÇÃO

A agricultura de sequeiro no Nordeste do Brasil, em especial, na parte semiárida, continua sendo praticada por pequenos agricultores, em grande parte, sem qualquer tecnologia ou insumos. Nessa região, além das adversidades climáticas, os solos apresentam grande variabilidade quanto aos tipos e associações, sendo os de maior fertilidade natural e com melhor potencial de utilização agrícola localizados em áreas calcárias, do embasamento cristalino e em faixas de deposição aluvial. Com precipitação pluvial em torno da normal climatológica, é possível o cultivo de milho, feijão, mandioca, algodão e batatinha, dentre outras culturas tradicionalmente cultivadas na região. As culturas do feijão caupi (*Vigna unguiculat* L.) e do milho (*Zea mays* L.) têm grande valor sócio econômico para a região Nordeste do Brasil. A área plantada de feijão na região é de 1.205.839 ha, que corresponde a 94,40% da área total plantada do país e a produção é de 412.458 ton, que corresponde a 87,73% da produção total de feijão caupi no Brasil (CONAB, 2005). A produtividade média de grãos dessa leguminosa na região é baixa (342 kg ha<sup>-1</sup>), sendo as principais causas atribuídas às restrições edafoclimáticas, baixa utilização de tecnologias e a ocorrência de pragas e doenças.

A composição química, o valor nutritivo e o potencial produtivo tornam o milho um dos mais importantes cereais cultivados e consumidos no mundo (Fancelli & Dourado-Neto, 2000). No Brasil, o milho é cultivado em todas as regiões do país, ocupando uma área de aproximadamente 13 milhões de hectares, com produtividade média de 3.500 kg.ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2005). Apesar dessa importância, apenas uma pequena parcela de agricultores consegue explorar a potencialidade produtiva da

cultura, em virtude da ausência de recursos naturais que condicionam bons desempenhos. Dentre esses fatores, consideram-se os de maior destaque o clima, o manejo de nutrientes, a produtividade do solo, as práticas culturais, o potencial genético e o manejo de pragas (Hoeft, 2003).

O clima é o fator que oferece os maiores desafios para o correto manejo das culturas. Para que haja crescimento e desenvolvimento das plantas, é necessário que os elementos do clima, tais como temperatura média (diurna e noturna), precipitação pluvial e radiação solar satisfaçam as exigências da cultura (Fancelli & Dourado-Neto, 2000). Segundo Wutke et al. (2000), a produção agrícola está diretamente ligada às condições climáticas podendo, desde a época do plantio até a colheita, ser substancialmente afetada por elas. O manejo racional por meio da implementação de técnicas conservacionistas do solo e da água é imprescindível para a sustentabilidade, de forma a manter esses recursos com qualidade e quantidade suficientes para a manutenção de níveis satisfatórios de produtividade. Para Vianelo & Alves (1991), apesar dos grandes avanços técnicos alcançados pelo homem, o bem estar econômico e social continua dependendo do clima, sendo bastante provável que essa dependência continue no futuro. A variabilidade do clima afeta, especialmente, e de maneira significativa, a produção de alimentos. Essa dependência assume maior importância devido à evidência do constante crescimento da população mundial. A dependência do homem ao clima não se manifesta tão somente na produção de alimentos, mas também com respeito a outros fenômenos, tais como inundações, secas ou temperaturas extremas, que afligem gravemente as comunidades urbanas, prejudicam a agricultura, a indústria e o comércio, ameaçando o desenvolvimento econômico e social.

Novas tecnologias, como sistemas de informações geográficas, sensoriamento remoto e modelo de simulação de crescimento, desenvolvimento e produtividade de culturas, vêm sendo desenvolvidas nas últimas décadas, abrindo novos caminhos para o planejamento e manejo de práticas agrícolas. O uso de modelos de culturas por simulação em computadores possibilita economia de tempo, trabalho e quantidade de recursos para o planejamento e tomada de decisões de manejo no setor agrícola. A utilização de modelos de culturas, em associação a técnicas de geoprocessamento, facilita a identificação de locais e épocas mais recomendadas para o desenvolvimento das culturas, tornando-a uma importante ferramenta para o zoneamento agrícola e difusão de informações (Figueiredo Júnior, 2004).

A produtividade potencial de determinada cultura pode ser estimada por meio da técnica de modelagem, pela qual o modelo é definido como a representação matemática de um sistema ou um processo. A simulação inclui os processos necessários para a operacionalização ou a solução do modelo visando a simular o que acontece no sistema (Wit, 1978). Quanto ao desempenho, o sistema é representado matematicamente por equações, que define quantitativamente as hipóteses sobre o sistema real, permitindo deduzir suas conseqüências (Dourado-Neto et al., 1998). Nesse particular, Alfonsi (1996) afirma que a grande variabilidade dos elementos meteorológicos no tempo e no espaço aumenta a necessidade de desenvolvimento de modelos matemáticos na definição das condições climáticas em todo o mundo, além de suas interações com os organismos vivos. A modelagem agrometeorológica tem um papel de suma importância no fornecimento de subsídio aos pesquisadores da área agrônômica, extensionistas e agricultores em geral, para que seja possível a interpretação das relações solo-planta-atmosfera e sua utilização em uma agricultura racional e sustentável. O estudo do efeito das condições do tempo e do clima na agricultura é um problema básico da agrometeorologia. Assim, para estabelecer essa relação é fundamental o conhecimento dos elementos meteorológicos primários, tais como o vento, radiação solar, temperatura e umidade do ar. As combinações específicas desses elementos, associadas aos outros fatores locais, determinam o crescimento, desenvolvimento e produtividade dos organismos vivos (Lima, 1995).

As vantagens da utilização de modelos agrometeorológicos, segundo Pessoa et al. (1997), estão associadas ao baixo custo, velocidade de obtenção dos resultados, completa informação, criação e proposição de cenários ideais. Quanto às limitações, podem ser citados aspectos referentes à validação dos modelos e simuladores, dificuldade de decisão (quando o problema possui mais de uma solução), confiabilidade e exatidão do modelo empregado, variabilidade espacial e temporal dos dados. Na agricultura, os modelos têm sido usados na simulação do crescimento da planta e na previsão da produtividade. A relação funcional entre crescimento e desenvolvimento relativo, expresso em graus-dia, e entre fenologia e variação temporal do índice foliar, tem sido comumente utilizada com essa finalidade. Usualmente, os modelos de simulação de produtividade potencial das culturas utilizam atributos da planta relacionados à produção de fitomassa seca, tais como área foliar, crescimento e fenologia (Yin, 1996). A temperatura do ar é uma das variáveis independentes mais utilizadas em modelo de previsão da variação temporal do acúmulo de fitomassa seca

em diversas culturas, tanto pela facilidade de obtenção quanto pela sua relação com a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa necessária para a planta completar o seu ciclo.

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), através da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), realiza todos os anos levantamentos das safras agrícolas para quantificar e acompanhar a produção agrícola brasileira. O levantamento desses dados pelos técnicos da CONAB se realiza, em suma, por meio de entrevistas com produtores rurais, agrônomos e técnicos de cooperativas, Secretarias de Agricultura, órgãos de Assistência Técnica e Extensão Rural (oficiais e privados) e Agentes Financeiros. Essa metodologia, portanto, apresenta alta imprecisão por ser muito subjetiva para as estimativas de produtividades agrícolas. Atualmente, o Brasil carece de uma metodologia que possa anteceder, de forma muito mais exata e precisa, a produtividade a ser obtida numa determinada área. Com o aumento da temperatura do ar no Nordeste do Brasil, em especial na parte semiárida da região, muitas culturas que ainda são cultivadas em sistema de sequeiro podem ter redução de sua área cultivada, ou até mesmo desaparecer e, com isso, agravar a situação de pobreza da população. Assim, faz-se necessário empreender estudos para se avaliar os impactos das mudanças climáticas na agricultura de sequeiro nessa região. As mudanças climáticas precisam ser analisadas em nível do agregado familiar, de modo que a população dependente da agricultura de sequeiro possa ser adequadamente orientada com o objetivo de aumentar a produtividade das culturas e reduzir a pobreza. Neste contexto, considerando-se que o aumento da população mundial deve ser acompanhado pela produção de alimentos, e que o conhecimento dos diversos fatores que afetam a produção agrícola tem grande importância sócio econômica, a presente pesquisa tem os seguintes objetivos:

**Objetivo geral:** Analisar a influência de possíveis mudanças climáticas segundo os cenários apresentados pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) na produtividade e área plantada das culturas de feijão caupi e milho cultivadas em sistema sequeiro na região Nordeste do Brasil, bem como os seus efeitos potenciais na economia local.

**Objetivos específicos:**

- (i) Delimitar áreas aptas ao cultivo de milho e feijão caupi para a região Nordeste do Brasil, baseando-se nos cenários climáticos de aumento de temperatura do ar traçados pelo IPCC, utilizando-se o software SARAZON;

- (ii) Estimar as produtividades das culturas do milho e do feijão caupi cultivadas em sistema de sequeiro no Nordeste do Brasil, utilizando-se o software DSSAT;
- (iii) Quantificar a possível retração das áreas cultivadas com feijão e milho no Nordeste do Brasil, mediante os cenários de mudanças climáticas traçados pelo IPCC;
- (iv) Avaliar os efeitos econômicos da mudança climática nos cultivos do feijão e milho no semiárido da região Nordeste do Brasil.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### *2.1. As culturas de milho e feijão caupi*

O milho originário do continente americano foi disseminado para outras partes do mundo através das expedições de Cristóvão Colombo. Atualmente, essa gramínea é cultivada em todos os continentes, sendo encontrado entre as latitudes de 40°S e 58°N, bem como entre as altitudes compreendidas desde abaixo do nível médio do mar, em regiões do mar Cáspio, até 3.000 metros de altitude na região do Andes. O milho fornece produtos largamente utilizados na alimentação humana e animal, bem como para as matérias primas das indústrias, principalmente em função da quantidade e da natureza das reservas acumuladas nos grãos. Em função da sua multiplicidade de aplicações, tanto na alimentação humana quanto na dieta animal, o milho assume relevante papel socioeconômico, além de se constituir numa matéria prima indispensável para vários complexos agroindustriais (Fancelli & Dourado-Neto, 2000).

Dentre os principais cultivos de cereais dos trópicos subúmido e semiárido, o milho tem a mais alta produtividade em condições adequadas de água e fertilidade do solo. Entretanto, é uma cultura muito sensível ao estresse hídrico (Lima, 1995). O milho, sendo uma cultura de origem tropical, exige, durante o seu ciclo vegetativo, calor e água para se desenvolver e produzir satisfatoriamente, proporcionando produtividades compensadoras. Independente da tecnologia aplicada, o período de tempo e as condições climáticas em que a cultura é submetida são fatores preponderantes para a produção. Essa cultura é uma das mais tradicionais em todo país, ocupando posições

significativas em relação ao valor de produção agropecuária, área cultivada e volume produzido, especialmente na região centro sul do Brasil.

A cultura do milho no Brasil tem um alto potencial produtivo, alcançando 10 ton ha<sup>-1</sup> de grãos, em condições experimentais e por agricultores que adotam tecnologias adequadas. No entanto, o que se observa na prática são produtividades muito baixas e irregulares, de até 3,5 ton ha<sup>-1</sup> de grãos (CONAB, 2005). Segundo Coelho & França (1995), os elementos agrometeorológicos são uns dos principais fatores responsáveis por essa baixa produtividade. Essa cultura, assim como a maioria das culturas econômicas, requer a interação de um conjunto de fatores edafoclimáticos apropriados ao seu bom desenvolvimento. Assim, um solo rico em nutrientes teria pouco ou quase nenhum significado para a cultura se ele for submetido às condições climáticas adversas ou, ainda, apresentar características físicas inadequadas que influenciariam negativamente na condução e desenvolvimento da cultura. Para Figueiredo Júnior (2004), embora o milho responda à interação de todos os fatores climáticos, pode-se considerar que a radiação solar, a precipitação pluvial e a temperatura do ar exercem maior influência, pois atuam eficientemente nas atividades fisiológicas, interferindo diretamente na produção de grãos e de matéria seca. No Brasil, pela sua continentalidade, os fatores que afetam o estágio de crescimento da cultura do milho variam com a região. Por exemplo, nas regiões temperadas e subtropicais, a limitação maior se deve à temperatura do ar e à radiação solar, sendo os limites extremos variáveis nas microrregiões agroclimáticas. No Brasil Central, a precipitação tem um papel de destaque, inclusive afeta indiretamente o regime de radiação, pois altos índices de chuvas implicam em baixa radiação solar à superfície. Inclusive, a cultura do milho adaptada a elevadas taxas de radiação solar sofre, nessas regiões, drástica alteração no seu metabolismo e, conseqüentemente, alteração no seu potencial de produção.

A temperatura tem um papel de destaque principalmente nas regiões Sul e Nordeste do país. Essa é uma das principais razões para vasta a literatura mostrando o efeito dessa variável climática no crescimento e desenvolvimento da cultura do milho. Fancelli & Dourado Neto (2000) argumentam que quando a temperatura do solo é inferior a 10 °C e superior a 40 °C há prejuízo sensível à germinação e que o ideal seria entre 25 e 30 °C. Por ocasião da floração, as temperaturas médias superiores a 26°C aceleram o desenvolvimento dessa fase e inferiores a 15,5°C causam o retardamento. O milho, por razões principalmente econômicas, é plantado na maioria das áreas no período chuvoso, ou seja, é uma cultura típica de sequeiro. Portanto, o conhecimento do

número de dias secos consecutivos é de muita importância na determinação da época de plantio. Dias secos são considerados como sendo aqueles em que a precipitação é inferior a 5 mm. A literatura tem mostrado que as máximas produtividades ocorrem quando o consumo de água durante todo o ciclo está entre 500 e 800 mm e que a cultura exige um mínimo de 350-500 mm para que produza sem necessidade de irrigação.

A origem do feijão caupi (*Vigna unguiculat* L) é obscura, ainda que se acredite que seja originária da África Tropical, de onde se dispersou para outras regiões com clima semelhante, como a Índia. Esse tipo de feijão constitui a base alimentar de muitas populações rurais devido ao seu elevado valor nutritivo a nível proteico e energético e à sua fácil adaptação a solos de baixa fertilidade e períodos de seca prolongada. O feijão caupi, feijão de corda ou feijão macassar é uma excelente fonte de proteínas (23-25% em média) e apresenta todos os aminoácidos essenciais, carboidratos (62%, em média), vitaminas e minerais, além de possuir grande quantidade de fibras dietéticas, baixa quantidade de gordura (teor de óleo de 2%, em média) e não contém colesterol. Ele representa alimento básico para as populações de baixa renda do Nordeste brasileiro, apresenta ciclo curto, baixa exigência hídrica e rusticidade para se desenvolver em solos de baixa fertilidade e, por meio da simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, tem a habilidade para fixar nitrogênio do ar. Pelo seu valor nutritivo, essa cultura é cultivada principalmente para a produção de grãos, secos ou verdes, visando o consumo humano *in natura*, na forma de conserva ou desidratado. Além disso, o caupi também é utilizado como forragem verde, feno, ensilagem, farinha para alimentação animal e, ainda, como adubação verde e proteção do solo. A área ocupada com feijão caupi no mundo está em torno de 12,5 milhões de ha, sendo 8 milhões (64% da área mundial) na parte oeste e central da África. A outra parte da área está localizada na América do Sul, América Central e Ásia, com pequenas áreas espalhadas pelo sudoeste da Europa, sudoeste dos Estados Unidos e da Oceania. Dentre todos os países, os principais produtores mundiais são Nigéria, Niger e Brasil (Quin, 1997).

No Brasil, poucos estudos sobre a fisiologia do feijão caupi têm sido conduzidos com a finalidade de se verificar a resposta dessa cultura aos fatores climáticos. A maioria dessas informações é obtida por meio de trabalhos realizados em outros países. Dentre os elementos de clima conhecidos, destacam-se a precipitação pluvial e a temperatura do ar que, por intermédio do zoneamento de risco climático, possibilitam verificar a viabilidade e a época adequada para a implantação da cultura do feijão caupi.

Outros elementos do clima que exercem influência no crescimento e desenvolvimento dessa cultura são o fotoperíodo, vento e radiação solar (Maia, 1996).

## *2.2. Mudanças climáticas*

Com o aquecimento, a evaporação irá aumentar e a disponibilidade hídrica diminuir com a retirada de água armazenada do solo gerando um maior déficit hídrico. Com isso, o problema se agravará, pois o clima mais quente e seco não possibilita a produção agrícola satisfatória, podendo, inclusive, levar grande parte da população sertaneja a migrar para os centros urbanos, aumentando, assim, os problemas sócio econômicos e as desigualdades sociais, as favelas e inchando as periferias das pequenas, médias e grandes cidades do país. Os cenários climáticos traçados pelo IPCC, em face ao aquecimento, tais como secas, inundações, tempestades, doenças, extinção de espécies, aumento do nível do mar, são preocupantes para a agricultura, a biodiversidade e os recursos hídricos no planeta. Tal cenário é ainda mais crítico para os países pobres, fundamentalmente devido às suas posições geográficas.

A interferência antropogênica no meio ambiente, com o aumento das concentrações atmosféricas globais de dióxido carbônico (atualmente em torno de 400 ppm), metano e óxido de nitrogênio desde o início da Revolução Industrial, tem provocado mudanças consideráveis no clima do planeta. Além dos relatórios sistemáticos apresentados pelo IPCC, a importância desse tema para a sobrevivência das espécies vivas no planeta tem provocado muitas discussões no campo científico com a publicação de diversos trabalhos versando sobre mudanças climáticas em diferentes partes do mundo (OMM, 1992; Schwalm & Ek, 2001; Lázaro et al., 2001; Lasch et al., 2002; Morrison et al., 2002; Silva, 2004; Silva et al., 2010). Antes do final do século passado, Nimer (1988) observou que o complexo fenômeno da mudança climática depende de múltiplos fatores relacionados com os processos humanos e naturais que tem se tornado um cenário quase irreversível.

### *2.2.1 Variabilidade climática no Nordeste do Brasil*

Os impactos das mudanças climáticas globais no Brasil foram apresentados pelo Ministério do Meio Ambiente, em um livro que relata uma revisão dos estudos e

projeções do clima futuro (Marengo, 2006) e em estudos divulgados pelo Greenpeace. Esses trabalhos, juntamente com as projeções climáticas para o futuro derivadas dos modelos climáticos do IPCC, projetam para o semiárido brasileiro um aumento na temperatura do ar de 2 a 5°C até o final do Século XXI. Nesse particular, alguns modelos climáticos projetam um processo de aridização do semiárido brasileiro, podendo o sertão nordestino se transformar em deserto. A caatinga poderá ser substituída por uma vegetação de região ainda mais árida; enquanto, o desmatamento da Amazônia pode deixar o semiárido ainda mais seco, atingindo diretamente cerca de 25 milhões de habitantes e gerando grande impacto na agricultura de sequeiro.

O relatório do IPCC (2001) declara que as incertezas sobre os cenários de mudanças climáticas para os próximos 100 anos têm duas origens principais e bem distintas. Em primeiro lugar, há incerteza sobre os cenários futuros de emissões dos gases de efeito estufa para este século. Dependendo do cenário de emissões de gases de efeito estufa até 2100, a temperatura global média à superfície pode subir de 1,5°C até 5,5°C. Estima-se, ainda, que o aumento da temperatura global média acima de 3°C já seria suficiente para causar impactos adversos em inúmeros setores econômicos. A outra fonte de incerteza diz respeito à efetividade de se usar modelos climáticos globais como a melhor ferramenta para estimar alterações climáticas resultantes do aquecimento global (Nobre, 2001). Uma medida dessa incerteza pode ser obtida ao se calcular o aumento da temperatura média global simulada por diversos modelos climáticos globais para um mesmo cenário de emissões. Outra fonte de incerteza é a dificuldade que esses modelos têm para representar adequadamente as características do clima regional. As mudanças climáticas globais geralmente são avaliadas por modelagem atmosférica e aquelas consideradas locais são avaliadas por meio de análise de séries históricas das variáveis meteorológicas, como a temperatura do ar e a precipitação pluvial. De acordo com as tendências dessas variáveis ao longo do período estudado, pode-se observar se ocorreu alguma mudança no clima. Com esse entendimento, a Organização Mundial de Meteorologia (OMM) criou um grupo de trabalho para elaborar vários índices para a detecção de mudanças climáticas baseados em séries temporais de variáveis que expressem a condição climática de um local ou região. Em estudos anteriores aos do IPCC, Silva et al. (1998) encontraram tendências decrescentes nas séries temporais de precipitação pluvial no Nordeste do Brasil e núcleos de desertificação na parte semiárida da região. Em estudos mais recentes, Silva (2004), analisando o clima da região Nordeste do Brasil, observou tendências decrescentes estatisticamente

significativas em oito variáveis atmosféricas em várias partes do semiárido brasileiro em face da possível presença de mudança climática na região.

### *2.3. A Agricultura e as mudanças climáticas*

A agricultura se apresenta como uma das atividades de maior risco, sejam por fatores externos, como as instabilidades políticas e de mercado, ou internos, como a simultaneidade dos trabalhos de preparo do campo, semeadura, tratamentos culturais, controle de pragas, ervas invasoras e variações climáticas. Para alcançar o potencial máximo produtivo de uma cultura, é necessário que um conjunto de fatores e processos de produção ocorram em sincronia no tempo e no espaço, isto é, haja uma circunstância de eventos desejáveis, o que não acontece com frequência na natureza (Ely et al., 2003). Segundo Pereira et al. (2002), as condições atmosféricas afetam todas as etapas das atividades agrícolas, desde o preparo do solo para a semeadura até a colheita, bem como o transporte, o preparo e o armazenamento dos produtos. As consequências de situações meteorológicas adversas levam constantemente a graves impactos sociais e a enormes prejuízos econômicos, muitas vezes difíceis de serem quantificados. Mesmo em regiões com tecnologia avançada e com organização social suficiente para diminuir esses impactos, os rigores meteorológicos muitas vezes causam enormes prejuízos econômicos. Como as condições adversas do tempo são frequentes, e muitas vezes imprevisíveis a médio e longo prazo, a agricultura se constitui em atividade de grande risco.

A qualidade e quantidade da produção agrícola de uma cultura são determinadas pela rigidez do clima local ou regional. Mas, o planejamento prévio das atividades deverá ser feito em consonância com diversos setores para minimizar a ação devastadora dos eventos extremos do clima. Os recursos produtivos de uma sociedade dependem do planejamento do crescimento e da qualidade da produção. O progresso técnico e científico alcançado pelo ser humano propiciou à exploração da agricultura em distintas regiões edáficas; entretanto, ele ainda não é totalmente capaz de reduzir de modo significativo à relação de dependência com os atributos do clima. As regiões que apresentam componentes que potencializam o capital, dentre eles o clima, também evoca uma pressão sobre seus recursos naturais, podendo gerar desequilíbrios ambientais e desigualdades sociais (Ely et al., 2003). O clima é um fator determinante na economia rural, apresentando características marcantes, tais como, distribuições

temporais e espaciais irregulares da precipitação pluvial. Além disso, o setor primário ainda está alicerçado na agricultura de subsistência, fazendo com que a população rural esteja sempre a mercê dos problemas de ordem natural, como as estiagens que assolam periodicamente muitas regiões afetam diretamente a produção agrícola. As mudanças climáticas, efeito estufa ou aquecimento global são expressões relativas a um mesmo problema e têm ocupado cada vez mais espaço na mídia brasileira e mundial. Embora haja uma variação natural do clima de ano para ano, há fortes evidências que as atividades humanas estão aumentando exageradamente a concentração dos gases causadores do efeito estufa. Dentre os principais gases que causam tal efeito estão o vapor d'água, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>), os óxidos nitrosos (N<sub>2</sub>O), os CFCs, que foram proibidos no passado devido aos danos causados à camada de ozônio (Oliveira et al., 2007).

A concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera terrestre está crescendo a uma taxa de 0,4-0,5% ano<sup>-1</sup>; tal incremento é resultado direto das atividades humanas (Sombroek & Gomes, 1996). Para esse autor, como resultado do aumento da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico, a temperatura média do ar do planeta poderá aumentar devido ao efeito estufa. Os gases causadores do efeito estufa estão provocando aquecimento exagerado da atmosfera, que poderá vir a representar aumento de 1,4°C até 5,8°C até 2100 (IPCC, 2001). Esse aumento pode parecer pequeno, porém pequenas alterações na média da temperatura do planeta podem resultar em grandes catástrofes para o ambiente e para todos os seres vivos (IPCC, 2007). As mudanças climáticas podem afetar os componentes do ciclo hidrológico de ecossistemas terrestres e, conseqüentemente, a disponibilidade de recursos hídricos e a duração dos períodos de estiagem e enchente. O conteúdo de água no solo é um dos componentes do ciclo hidrológico que influencia diretamente a quantidade de água disponível para as culturas agrícolas, o que por sua vez afeta o seu desenvolvimento, crescimento e rendimento, e a necessidade de irrigação. Em agroecossistemas não irrigados, a disponibilidade de água para as culturas depende, dentre outros fatores, da quantidade de água armazenada no solo, oriunda da precipitação pluvial (Ely et al., 2003).

Pesquisas mostram que os impactos do aquecimento global podem ser dramáticos. Já existe consenso de que o processo é irreversível e o máximo que se conseguirá nas próximas décadas é buscar mecanismos de adaptação e ajuste às tais mudanças. Há indicações de que os países tropicais como o Brasil serão os mais dramaticamente afetados. O setor agropecuário deverá ser o mais diretamente afetado,

pois é extremamente dependente das condições do tempo. As previsões indicam aumento tanto da temperatura média do ar como também de sua variabilidade. Isso significa que a ocorrência de eventos extremos deve aumentar, com períodos excepcionalmente chuvosos ou secos, quentes demais ou de menos. Essas oscilações terão diferenças regionais importantes e, seguramente, levarão a uma redefinição do mapa da produção agrícola (IPCC, 2007). Pesquisas voltadas ao efeito de mudanças climáticas globais na agricultura brasileira são ainda muito restritas. No entanto, considerando algumas questões agro ambientais relevantes, as pesquisas relacionadas com o manejo de pragas, doenças de plantas e do solo, tornam-se cada vez mais importantes no contexto do efeito estufa, em face dos impactos ambientais esperados (Siqueira, 2000).

Segundo Nobre et al. (2007), os modelos climáticos globais do IPCC e os modelos regionais de mudança climática apontam para cenários climáticos futuros de aumento da temperatura média do ar de 2 a 4°C na América do Sul. No entanto, quanto à precipitação pluvial, ainda não há consenso em relação ao sinal das anomalias para a Amazônia e o Nordeste brasileiro. Evidentemente, essas mudanças climáticas têm um impacto nos ecossistemas naturais e especificamente na distribuição de biomassa, o que por sua vez têm impactos na biodiversidade, na agricultura e nos recursos hídricos. As variáveis meteorológicas afetam os sistemas agrícolas de diversas maneiras, na produção e produtividade das culturas, na incidência de pragas e doenças e na execução das operações de campo. Assim, os elementos climáticos podem afetar de maneira direta a distribuição geográfica das culturas assim como as questões sócio econômicas. Dessa forma, os impactos das mudanças climáticas na agricultura podem adicionar desafios ainda maiores à garantia de um crescimento e desenvolvimento da segurança alimentar e redução da pobreza (Machado & Marengo, 2006). Mudanças na cobertura e uso da terra induzem efeitos sobre os padrões de tempo e clima regional, que associados a resposta da planta afeta a produtividade agrícola. Algumas evidências das alterações climáticas podem ser detectadas pelas mudanças na radiação, precipitação pluvial e temperatura do ar (Mera et al., 2006). Desse modo, as mudanças climáticas apresentam novos desafios ao setor agrícola e indicam a necessidade de maior aporte de recursos para a pesquisa agrícola no país, sempre com o objetivo de se obter sistemas de exploração agrícolas sustentáveis do ponto de vista sócio econômico e ambiental.

#### *2.4. Modelagem na agricultura*

Os modelos de simulação são ferramentas que permitem gerar cenários, considerando-se as diversas combinações dos fatores que influenciam a produtividade das culturas. Dessa forma, é possível avaliar as estratégias mais adequadas em cada condição, podendo-se modificar a estratégia de irrigação para prever as alterações nos componentes de produção e de outras variáveis, como a evapotranspiração e as necessidades de água da cultura. Além disso, é possível, também, combinar os resultados do modelo com os fatores econômicos, para a análise de riscos associados a cada estratégia (Jones & Ritchie, 1990). Os modelos agrometeorológicos passaram a ser amplamente empregados na análise de risco climático, permitindo a simulação do desenvolvimento e da produção das culturas em relação às variáveis climáticas, reduzindo os dispêndios de recursos e o tempo exigido para execução das pesquisas (Kanemasu, 1996). A modelagem, utilizando-se dados meteorológicos da região produtora, tem se mostrado uma ótima ferramenta para a simulação das produtividades de grãos antes da colheita (Soler, 2004). Dentre os modelos disponíveis para tais simulações, aqueles apresentados pela FAO para a estimativa da produtividade potencial, pelo Método da Zona Agroecológica, e da produtividade real, pela penalização da produtividade potencial pelo déficit hídrico ao longo do ciclo, têm se mostrado como um dos mais aplicáveis, em razão da baixa exigência em termos de dados de entrada (Doorenbos & Kassam, 1994).

Modelos de simulação de culturas podem ser utilizados para fazer previsões de rendimentos de culturas agrícolas. No entanto, modelos como aqueles da família DSSAT, muitas vezes são limitados porque foram desenvolvidos para um local específico e pode não ser adequado para a previsão e avaliação de rendimento em escala regional (Jagtap e Jones, 2002). No entanto, quando esses modelos são calibrados e validados com dados específicos de cada local, eles têm provado que podem prever com precisão o rendimento durante o período vegetativo (Bannayan et al., 2003; Jagtap and Jones, 2002; Potgieter et al., 2005). Nesse particular, o modelo CERES-Maize está agrupado em um Sistema de Suporte à Decisão para Transferência de Tecnologia (DSSAT, em inglês) e tem sido amplamente utilizado em todo o mundo. Ele considera o processo do balanço de água no solo, a interceptação da radiação pelo dossel, a produção de matéria seca e a partição da biomassa (Kiniry et al., 1997).

De acordo com Faria et al. (1997), o sistema DSSAT simula o crescimento e produtividade de vários cultivos, estima o balanço hídrico pelos cálculos da evapotranspiração de referência, transpiração, a evaporação do solo e fluxos de água em um perfil unidimensional de solo dividido em várias camadas, conforme Ritchie et al. (1990). O sistema DSSAT inclui 27 modelos de culturas diferentes, tais como milho (Ceres-Maize) e feijão (Cropgro-Beans). Esses modelos são aplicativos de simulação dinâmica baseados em conceitos de fisiologia vegetal, agrometeorologia e nutrição de plantas. Os modelos incluídos no DSSAT foram submetidos à avaliação rigorosa em uma ampla gama de diferentes condições climáticas e de solo para as mais diversas culturas e híbridos. Eles têm sido empregados em escalas de campo, regional e nacional, considerando-se ampla variedade de aplicações, tais como a simulação do impacto das alterações climáticas sobre a agricultura (Attri & Rathore, 2003), quantificação do impacto da variabilidade climática sobre a produção agrícola (Andresen et al., 2001) e previsão dos rendimentos antes ou durante a época de cultivo (Bannayan et al., 2003; Jagtap e Jones, 2002). Braga et al. (2008) utilizaram o modelo de cultura CERES-Maize para estabelecer o suporte de decisão na ajuda a agricultores para estabelecer a melhor cultivar e melhor época de semeadura para o milho em Portugal. Quiring & Legates (2008) utilizaram o modelo de simulação de cultura CERES-Maize para prever o rendimento de milho sequeiro até 4 meses antes da colheita. Foram gerados trinta cenários climáticos para cada data prevista baseada nas variáveis meteorológicas. Segundo esses autores, o CERES-Maize pode ser utilizado por agências que necessitam de estimativas precisas de rendimento de culturas antes da colheita. Se previsões confiáveis das condições meteorológicas estiverem disponíveis, o CERES-Maize pode ser utilizado com precisão na previsão de rendimento alguns meses antes da colheita. Nesse, particular, Walker & Schulze (2008) traçaram cenários com incrementos de 1, 2 e 3 °C na temperatura,  $\pm 10\%$  na precipitação e duplicaram a concentração de CO<sub>2</sub> utilizando o modelo de simulação de cultura CERES-Maize na produtividade do milho na região de Highveld da África do Sul. Eles verificaram que o crescimento da cultura é reduzido quando a precipitação pluvial diminui e a temperatura do ar aumenta; os incrementos de temperatura acima de 3 °C provocam o declínio da produtividade.

## *2.5. Análise da produtividade agrícola*

A produção agrícola é uma atividade de risco que surge devido às incertezas das ações futuras. Os agricultores são continuamente confrontados com o desafio de escolher práticas de gestão eficaz, face à incerteza dos resultados decorrentes de tais opções. A produção agrícola pode ser definida como o processo de conversão de insumos em produtos para satisfazer exploração econômica, agronômica e objetivos ambientais. Dependendo da disciplina, esse processo é descrito por meio de funções produção ou funções resposta, ou por combinações de entrada/saída (Wossink & RossING, 1998). A informação sobre as funções de produção ou superfície de resposta é fundamental para o auxílio na tomada de decisão, porque elas determinam as interseções entre os diversos fatores que afetam a produtividade e, ainda, possibilitam escolher as condições mais relacionadas à realidade regional, de modo, a promover o manejo racional da cultura. Quando o suprimento de água disponível é adequado, e atende perfeitamente as necessidades hídricas da cultura e os outros fatores de produção não são limitantes, o rendimento é máximo. Por outro lado, quando a água disponível é limitada, o rendimento é determinado pela umidade disponível para atender à demanda da cultura durante todo o ciclo (Bernardo, 1995).

Conforme Ortiz (2003), a valoração econômica ambiental é uma ferramenta fundamental para a formulação e a avaliação de políticas orientadas ao desenvolvimento sustentável e à preservação dos recursos ambientais. Segundo esse autor, várias vezes não se consegue obter diretamente o preço de um produto afetado por uma alteração ambiental, mas é possível estimá-lo por algum substituto existente no mercado. Nesse particular, o Brasil tem se caracterizado no cenário mundial como um país rico em recursos naturais e ambientais. O seu próprio processo de desenvolvimento econômico iniciou com a exploração do recurso natural mais abundante - terras agrícolas. De uma maneira geral, o desenvolvimento econômico está associado a incrementos no nível de bem estar da população proporcionado pela produção e consumo de bens e serviços convencionais. Os recursos naturais desempenham funções importantes: matérias primas para o desenvolvimento econômico, serviços de capacidade de suporte de ecossistemas, assimilação de resíduos do processo de produção e consumo, regulação climática, biodiversidade, etc. Esses serviços são imprescindíveis ao funcionamento da economia e à manutenção da vida (Merico, 1998). A previsão da produção agrícola está se tornando cada vez mais

freqüente na indústria agrícola para uma melhor gestão dos riscos e da tomada de decisão em escala regional (Potgieter et al., 2003). Segundo Jonesa & Thornton (2003), os impactos das alterações climáticas sobre a agricultura pode aumentar de forma significativa os desafios de garantir a segurança alimentar e reduzir a pobreza. Esses autores mostraram que os possíveis impactos da produção de milho na África e na América Latina em 2055, usando métodos de alta resolução para a geração de dados climáticos diários característicos para um modelo simulação detalhado da cultura do milho, indicam uma redução global de 10% na produção para 2055, o que equivale a perdas de US \$ 2 bilhões por ano.

Para Frizzone & Andrade Jr. (2005), ao se exigir que a função de produção represente o máximo que se pode obter do produto para uma determinada tecnologia adotada, utilizando-se certa combinação de insumos, busca-se uma relação funcional entre os insumos e o produto. Ainda, segundo esses autores, existe uma relação entre os vários fatores e a produção das culturas, característica de cada condição ambiental. Produtores agrícolas podem usar previsões de rendimentos para ajudar na tomada de decisões operacionais diárias; por exemplo, a dosagem e a calendarização dos fatores de produção, irrigação, pesticidas e fertilizantes (Rijks e Baradas, 2000). Previsões de rendimentos podem ser utilizadas por agências de comercialização agrícola para maximizar a eficiência da produção, manipulação e comercialização de grãos (Bannayan et al., 2003). O rendimento máximo de um cultivo é definido como sendo o rendimento obtido de uma variedade de grande produção, bem adaptada ao ambiente edáfico onde se desenvolve, incluindo o tempo necessário para completar sua maturação fisiológica. Em tais condições seu rendimento não está limitado pela água, pelos nutrientes, pelas pragas nem pelas doenças (Doorenbos & Kassan, 1994).

### **3. METODOLOGIA**

#### *3.1. Localização da área de estudo e o clima*

A região Nordeste do Brasil (NEB) abrange uma área de cerca de 1,5 milhões de quilômetros quadrados. Ela é limitada a norte e a leste pelo Oceano Atlântico (Figura 1). A parte semiárida dessa região corresponde a aproximadamente 60% da área total do NEB. Essa extensa área é habitada por mais de 30 milhões de pessoas e a economia é baseada principalmente na agricultura de sequeiro. O NEB é extremamente afetado pelas ações antropogênicas, pois apresenta muitas áreas degradadas principalmente na parte semiárida. Essa região é muito vulnerável às variações climáticas e as periodicidades das secas que afetam especificamente a agricultura de subsistência (Pimenta et al., 1998).

A Figura 2 apresenta a espacialização das 665 estações pluviométricas utilizadas na análise de risco climático das culturas de milho e feijão cultivados no NEB em condições de sequeiro. A grande área do NEB é caracterizada por baixos níveis de precipitação e altas taxas de evaporação (Silva et al., 2009). A precipitação média anual varia de 1800 mm na costa leste a 400 mm no centro do semiárido; enquanto a temperatura do ar varia entre 16,8 a 33,8 °C e a evaporação pode ultrapassar 10 mm d<sup>-1</sup> (Silva et al., 2006). O tipo de vegetação predominante é caatinga e o solo é bastante diversificado, formado principalmente por Latossolo arenoso (Silva, 2004).

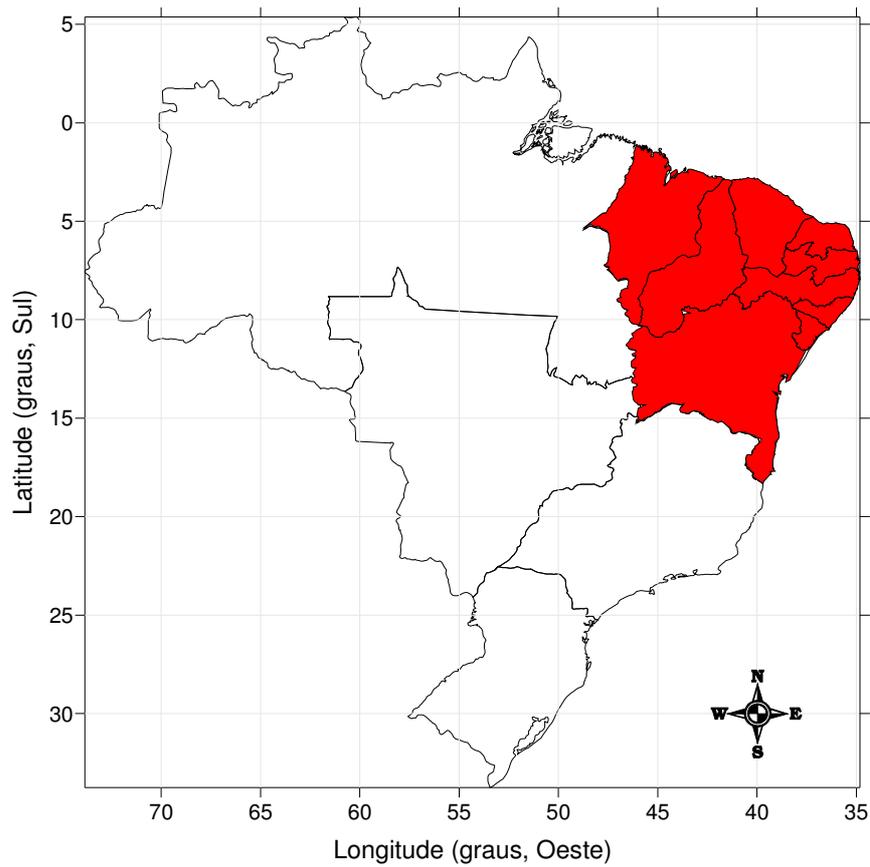


Figura 1. Mapa do Brasil com destaque para a região Nordeste do Brasil representada pela área em vermelho.

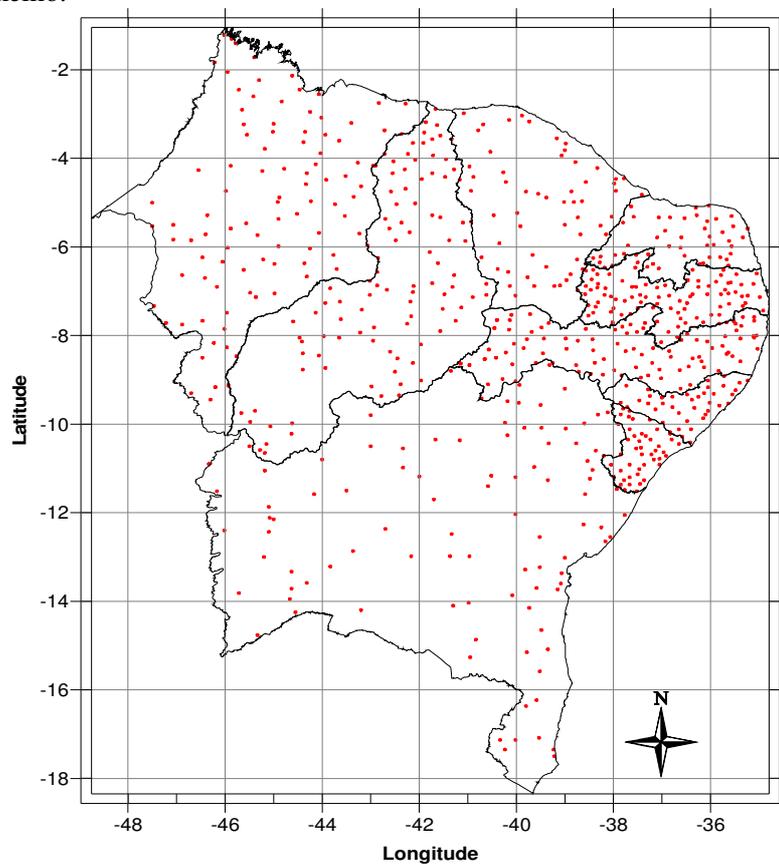


Figura 2. Espacialização das estações meteorológicas utilizadas no estudo

### 3.2. Produtividades das culturas de milho e feijão

As produtividades das culturas de milho e feijão cultivadas em sistema de sequeiro no município de Juazeiro, BA, foram obtidas por meio de modelagem agrometeorológica. Esse município está localizado à margem direita do Rio São Francisco, no extremo norte da Bahia, na zona do sub-médio São Francisco, fazendo divisa com o Estado de Pernambuco e está ligada a Petrolina pela Ponte Presidente Dutra e distante 500 km de Salvador (Figura 3). Segundo a classificação climática de Köppen, essa localidade apresenta clima do tipo BSW<sub>h</sub>, semiárido, com valores médios anuais das seguintes variáveis climatológicas: temperatura do ar 26,5°C, precipitação pluvial 541,1 mm e umidade relativa do ar 65,9%. A precipitação é irregularmente distribuída no espaço e no tempo, concentrando-se nos meses de dezembro a abril. A insolação anual na região é superior a 3.000h e o solo predominante é classificado como Areia Quartzênica (Azevedo et al., 2003).

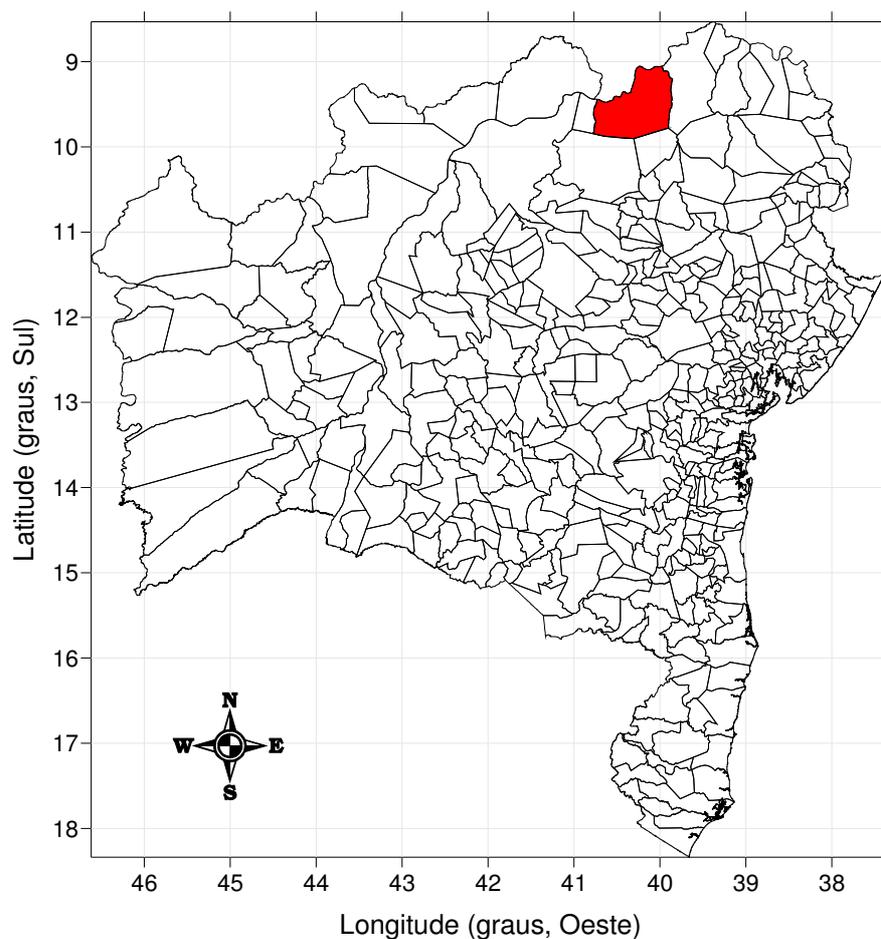


Figura 3. Mapa do Estado da Bahia com o Município de Juazeiro representado pela área em vermelho.

### *3.3. Modelos agrometeorológicos*

Neste estudo foram utilizados dois modelos agrometeorológicos: Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) e o Systeme d'Analyse Regionale des Risques Agroclimatiques (SARRAZON). A possível retração das áreas plantadas com as culturas de feijão e milho, em face do processo de mudança climática de acordo com os prognósticos apresentados pelo IPCC, foi avaliada pelo modelo SARRAZON. Esse modelo pode ser aplicado em escala de tempo diária (Kouressy et al., 2008) e ele também é capaz de analisar os impactos do clima sobre o crescimento e a produtividade das culturas cultivadas em climas seco e tropical (Sultan et al., 2005; Baron et al., 1996). O modelo DSSAT foi utilizado para determinar as produtividades de milho e feijão caupi na localidade de Juazeiro, BA (09°24'S, 40°26'O), utilizando-se dados diários de temperaturas do ar máxima e mínima, precipitação pluvial e radiação solar global, correspondentes ao período de 1979 a 2007.

#### *3.3.1. Descrição dos modelos*

##### *3.3.1.1. Modelo SARRAZON*

#### **Zoneamento do risco climático**

Os riscos climáticos e a época de semeadura das culturas de milho e feijão foram obtidos por intermédio do balanço hídrico da cultura, utilizando-se o modelo SARRAZON (Baron et al., 1996). Esses dados foram espacializados para gerar mapas temáticos do NEB para cada cultura estudada de acordo com os três cenários climáticos estabelecidos neste estudo, utilizando-se o software SURFER versão 8.0 (Câmara et al., 1996).

#### **Variáveis de entrada do modelo**

(i) Precipitação pluvial diária: Foram utilizadas séries temporais de precipitação pluvial com no mínimo 20 anos de dados, sem falhas, e com boa distribuição espacial na região Nordeste do Brasil;

(ii) Evapotranspiração real (ET<sub>r</sub>): O modelo de estimativa da evapotranspiração real (ET<sub>r</sub>) utilizado neste estudo é expresso por uma equação de terceiro grau, que descreve a evolução da ET<sub>r</sub>, em função da evapotranspiração máxima (ET<sub>m</sub>) e da umidade do solo (HR), e pode ser obtida pela seguinte expressão (Eagleman, 1971):

$$ET_r = A + B(HR) - C(HR)^2 + D(HR)^3 \quad (1)$$

em que:

$$A = 0,732 - 0,05 ET_m,$$

$$B = 4,97 ET_m - 0,66 ET_m^2,$$

$$C = 8,57 ET_m - 1,56 ET_m^2,$$

$$D = 4,35 ET_m - 0,88 ET_m^2 \text{ e}$$

HR é a umidade do solo (cm<sup>3</sup>cm<sup>-3</sup>).

(iii) Evapotranspiração máxima (ET<sub>m</sub>): A ET<sub>m</sub> foi estimada pela equação (Doorenbos & Kassam, 1979):

$$ET_m = ET_p \times K_c \quad (2)$$

(iv) Coeficientes decendiais de cultivo (K<sub>c</sub>): Esse coeficiente corresponde à relação entre a evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) e a evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>); os K<sub>c</sub>s foram determinados por médias decendiais para cada fase e gerados pela interpolação dos dados para o período semanal e para as fases fenológicas definidas pela expressão (Doorenbos & Kassam, 1979):

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad (3)$$

(v) Evapotranspiração potencial (ET<sub>p</sub>): Essa variável foi estimada pelo método de Thornthwaite & Mather (1955) e calculada para cada dez dias do ano, expressa por:

$$ET_p = 1,6 \cdot f \cdot \frac{10t^a}{I} \quad (4)$$

em que:

ET<sub>p</sub> é a evapotranspiração decendial

f é o fator de ajuste em função da latitude e mês do ano

t é a temperatura media mensal

I é o índice de calor anual e

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,792 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,49239$$

(vi) Período de simulação: Na simulação dos cenários de aquecimento foi adotado o período compreendido entre 30 dias antes do plantio e 30 dias após a colheita, para os intervalos de plantio de 10 dias.

(vii) Índice de Satisfação da Necessidade de Água para a cultura (ISNA): Esse índice é definido como a relação entre a evapotranspiração real (ETr) e a evapotranspiração máxima (ETr/ETm) ao longo do ciclo, para um determinado ano, numa certa data, num tipo de solo, para uma cultura de ciclo médio. Como o ciclo da cultura está dividido em quatro fases fenológicas e a fase de enchimento dos grãos é o período mais determinante da produtividade final, estima-se o valor de ISNA nessa fase. A partir deste cálculo, estabelece-se a função de frequência do ISNA e seleciona-se a data em que o valor calculado de ISNA coincide com o critério de risco adotado em 80% dos casos. Para a caracterização do risco climático obtido ao longo dos períodos de simulações foram estabelecidas três classes de ISNA, conforme estabelecido por Steinmetz et al. (1985), considerando-se cultivares de milho de ciclo médio (120 dias) e de feijão (70 dias). Nas Tabelas 1 e 2 são exibidas as faixas de variação do ISNA, respectivamente, das culturas do milho e feijão.

Tabela 1. Faixas de variação do ISNA para a cultura do milho, cultivar de ciclo médio (120 dias).

$ISNA \geq 0,55$	a cultura do milho de sequeiro está exposta a baixo risco climático.
$0,45 \leq ISNA < 0,55$	a cultura do milho de sequeiro está exposta a risco climático médio.
$ISNA < 0,45$	a cultura do milho de sequeiro está exposta a alto risco climático.

Tabela 2. Faixas de variação do ISNA para a cultura do feijão caupi, cultivar de ciclo médio (70 dias).

$ISNA \geq 0,50$	a cultura do feijão caupi de sequeiro está exposta a baixo risco climático.
$0,40 \leq ISNA < 0,50$	a cultura do feijão caupi de sequeiro está exposta a risco climático médio.
$ISNA < 0,40$	a cultura do feijão caupi de sequeiro está exposta a alto risco climático.

### 3.3.1.2. Modelos do sistema DSSAT

#### (i) CERES e CROPGRO

A versão 4.0.2.0 do Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT), que inclui os modelos CERES-Maize e CROPGRO-Cowpea, foi utilizada neste estudo para simular as produtividades do milho e do feijão. Esses modelos simulam o desenvolvimento e o crescimento do milho e feijão em função das características do genótipo, das condições meteorológicas e disponibilidade de água e nitrogênio no solo. Eles apresentam resultados com detalhes do crescimento de raízes e brotos, o crescimento e senescência das folhas e caules, biomassa e acúmulo compartmentado entre raízes e brotos, índice de área foliar, raiz, caule, folhas e de crescimento de grãos. A duração de cada estágio é condicionada pelos coeficientes genéticos da cultivar, condições climáticas (temperatura e fotoperíodo) e disponibilidade de água no solo. A produção potencial de matéria seca é calculada como uma função da radiação, do índice de área foliar (IAF) e fatores de redução para temperatura e umidade do solo. A produção de grãos é calculada como o produto do número de plantas por hectare, grãos por planta e do peso por grão. Os modelos do sistema DSSAT requerem dados diários de temperaturas máxima e mínima do ar, precipitação pluvial e radiação solar, além de dados de solo e características da cultura que definem os coeficientes genéticos. Esses modelos da família DSSAT calculam o balanço hídrico no solo para cada uma das camadas do perfil, utilizando o modelo unidimensional desenvolvido por Ritchie (1985), que determina a redistribuição de água devido à irrigação, precipitação pluvial e drenagem, e estima a evapotranspiração potencial, a evaporação do solo e a transpiração da planta. Nesses modelos, o perfil de solo é preenchido por água, camada por camada, até que se atinja o conteúdo correspondente à capacidade de campo, sendo o excesso contabilizado como drenagem profunda ou escoamento superficial.

A infiltração da água de chuva ou da irrigação e o escoamento superficial são estimados pela modificação do método do número da curva de escoamento superficial SCS (*Soil Conservation Service*). A evapotranspiração potencial foi estimada pelo método de Priestley-Taylor, o qual necessita apenas dos dados de temperatura máxima e mínima do ar e da radiação solar. E, ainda, a evapotranspiração é dividida em transpiração da planta e evaporação do solo. A transpiração é proporcional à energia

interceptada pelo dossel da cultura e a evaporação do solo depende da quantidade de energia que atinge a superfície do solo, sendo afetadas pelo índice de área foliar, albedo do solo, e teor de água no solo (Faria et al., 1997). Para a execução do modelo CROPGRO, desenvolvido por Hoogenboom et al. (1994), é necessário o conhecimento dos parâmetros genéticos da cultivar, do solo, de manejo e dos elementos climáticos. Para a obtenção da produtividade das culturas analisadas de acordo com os cenários de aquecimento foram efetuadas simulações ao longo período de 1977 a 2008, utilizando-se o módulo *seasonal* do sistema DSSAT 4.0.2.0. Assim, foram realizadas simulações para a localidade estudada, a fim de se obter as produtividades reais das culturas, com o déficit natural de água no solo dependente da precipitação pluvial. Nesse caso, o suprimento de água foi aquele imposto pela chuva, dependente das condições climáticas da região.

#### 3.4. Descrição dos cenários de mudanças climáticas

Os dois modelos utilizados neste estudo foram operados com cenários de aquecimento global apresentados pelo IPCC com vistas à obtenção da produtividade e o dos riscos climáticos das culturas. Os cenários são de aumento na temperatura média do ar de 1,5; 3 e 5°C.

#### 3.5. Valoração econômica

Com base nos dados de produtividade gerados, foram obtidos os custos de produção e calculados os indicadores econômicos, tais como a receita bruta, margem bruta e relação benefício/custo. Esses indicadores foram utilizados na comparação entre a situação atual e a produtividade das culturas sob os cenários de mudanças climáticas. A descrição dos custos foi baseada no conceito de custo operacional efetivo (COE), que segundo Martin et al. (1998) contempla todos os desembolsos monetários realizados com a cultura em questão. A determinação da eficiência econômica foi realizada com a obtenção da relação benefício/custo ( $RBC_i$ ) de cada um dos cenários traçados, de acordo com a seguinte equação:

$$RBC_i = \frac{RB_i}{CP_i} \quad (5)$$

em que:

$RB_i$  é renda bruta auferida ao cenário  $i$  (R\$  $ha^{-1}$ ) e  
 $CP_i$  é o custo de produção ((R\$  $ha^{-1}$ ).

A renda bruta  $RB_i$  para cada cenário foi obtida através da seguinte expressão:

$$RB_i = P_i \cdot PD_i \quad (6)$$

em que:

$P_i$  é o preço da saca de milho ou feijão (R\$  $sc^{-1}$ ) e

$PD_i$  produção obtida para o cenário  $i$  (Kg  $ha^{-1}$ ).

A renda líquida  $RL_i$  para cada cenário foi obtida através da seguinte expressão:

$$RL_i = P_i \cdot PD_i - CP_i \quad (7)$$

em que:

$P_i$  é o preço da saca de milho ou feijão (R\$  $sc^{-1}$ )

$PD_i$  produção obtida para o cenário  $i$  (Kg  $ha^{-1}$ ) e

$CP_i$  é o custo de produção (R\$  $ha^{-1}$ ).

O custo de produção ( $CP_i$ ) corresponde a todos os custos de produção e foi determinado a partir da seguinte expressão:

$$CP_i = C_{SEM} + C_{MO} \quad (8)$$

em que:

$C_{INS}$  corresponde ao custo das sementes utilizadas e

$C_{MO}$  é o custo de mão de obra

Os preços dos insumos (preços pagos) e dos produtos (preços recebidos) foram obtidos para região de estudo, a partir dos dados disponíveis pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), uma empresa pública do Governo Federal, vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), encarregada de gerir as políticas agrícolas e de abastecimento, que visa assegurar o atendimento das necessidades básicas da sociedade, preservando e estimulando os mecanismos de mercado. Essa Companhia atua em todo território nacional, por meio de suas Superintendências Regionais. A Gerência de Geotecnologia, subordinada à Superintendência de Informações do Agronegócio da Diretoria de Gestão Empresarial da Companhia Nacional de Abastecimento é responsável pela utilização de

geotecnologias e modelos agrometeorológicos para subsídio nas previsões e estimativas de safras e para suporte à logística do agronegócio. Todas atividades pertinentes a essas duas frentes são conduzidas através de dois projetos: o GeoSafras e o SIGABrasil. O GeoSafras tem como finalidade estimar, por meio de uma rede multi-institucional, áreas cultivadas e produtividade agrícola com uso de geotecnologias (sensoriamento remoto, GPS - Global Positioning System e SIG - Sistema de Informações Geográficas). Esse procedimento é acompanhado pela aplicação de modelos agrometeorológicos nos prognósticos de rendimento em decorrência das condições climáticas nos períodos cruciais do desenvolvimento da planta. O projeto é também apoiado por levantamentos de campo.

O SIGABrasil (Sistema de Informações Geográficas da Agricultura Brasileira) trabalha o universo de informações de modo integrado no geoespaço, não apenas sobrepondo camadas de informações mapeadas, mas também permitindo outras operações espacializadas, como a escolha de melhores rotas de escoamento da produção, localização de estoques excedentes ou de regiões de fortes demandas, fluxo de cargas, orientação para investimentos em recuperação e construção da malha viária e da rede armazenadora, escolha de regiões mais adequadas para instalação de agroindústria, gerenciamento de programas sociais. A agricultura brasileira tem crescido a cada safra, aumentando o volume e a complexidade dos trabalhos pertinentes às estimativas da produção. Além da grande extensão territorial, outros fatores também sobrecarregam os trabalhos da Companhia nas estimativas de safras, como a diversidade regional do solo e do relevo, diferentes tratos culturais entre regiões, vocação agrícola variada, ataque de pragas e doenças que podem provocar quebras no rendimento das lavouras, dispersão e variação da dimensão das áreas de cultivo, lavouras consorciadas, rotação de culturas, erradicação de lavouras, períodos de plantio diferentes entre regiões, expansão de áreas de cultivo, novas fronteiras agrícolas; e em especial, as condições climáticas que afetam rapidamente a produtividade das lavouras (CONAB, 2010).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Risco climático para cultura do feijão-caupi

A distribuição espacial do Índice de Satisfação da Necessidade de Água (ISNA) do feijão caupi nas condições climáticas atuais (CCA) e nos cenários de aumento da temperatura 1,5; 3 e 5°C são apresentados nas Figuras 4 a 10. Essas figuras evidenciam áreas favoráveis ao cultivo do feijão na região Nordeste do Brasil (NEB) nas CCA e nos cenários de acréscimo de temperatura. A análise dessas figuras evidencia que muitas áreas da região de estudo são drasticamente reduzidas com a mudança climática simulada, decorrentes, provavelmente, pela irregularidade da oferta hídrica e a capacidade de retenção de água no solo em função de uma maior taxa evaporativa.

Os cenários de mudança climática, demonstrados nessas figuras, evidenciam que a cultura do feijão possui mais áreas favoráveis ao seu cultivo na parte norte do NEB. Essas áreas aptas à semeadura do feijão, além de variar em função do aumento de temperatura do ar, também são afetadas pela época de semeadura. No contexto geral, o aumento da temperatura do ar acarreta uma redução das áreas de baixo risco climático e, conseqüentemente, aumento nas regiões com alto risco. Como o presente estudo é para a agricultura de sequeiro, os cenários simulados compreendem os meses de novembro a maio, haja vista que nesse período incidem os principais sistemas geradores de precipitação pluvial no NEB. Portanto, as análises apresentadas neste estudo são focadas para o segundo decêndio de cada mês, considerado como representativo do período analisado.

O primeiro período simulado foi o segundo decêndio do mês de novembro. Os riscos climáticos do feijão caupi semeado nesse decêndio, para os cenários nas

condições climáticas atuais (CCA) e de acréscimos de temperatura de 1,5; 3,0 e 5,0 °C são apresentadas na Figura 4. Com o aumento na temperatura, verificam-se mudanças nas áreas agricultáveis nas regiões situadas na porção oeste do NEB, principalmente para os cenários com aumento da temperatura de 3 e 5 °C, ocasionando redução nas áreas com baixo risco climático, e conseqüente aumento da área com ISNA indicando alto risco para a semeadura do feijão. Essa figura ainda evidencia algumas áreas com alto risco climático localizadas na parte leste do NEB, tanto nas CCA como nos cenários de mudança climática. No cenário de aumento da temperatura do ar de 1,5 °C (Figura 4 B), os riscos climáticos classificados como baixo e médio são reduzidos na proporção em que o alto risco aumenta. Situações semelhantes também ocorrem com o aumento na temperatura de 3 °C (Figura 4 C) e de 5 ° C (Figura 4 D). A redução de área agricultável é bem mais evidenciada no setor oeste do NEB, principalmente com o baixo risco climático que cede espaço para o aumento dos riscos classificados como médio e alto para o cultivo do feijão na região. Assad et al. (2005), em simulações para a cultura da soja no Brasil em solos arenosos, evidenciaram que para acréscimos extremos de temperatura de 5,8 °C ocorre uma redução média de 50% da área total do país em condições de baixo risco climático para semeadura no período compreendido entre outubro e dezembro. Diante dos cenários de aumento da temperatura do ar simulados, observa-se um aumento das áreas agrícolas com alto e médio riscos climáticos e, conseqüentemente, uma redução nas áreas com baixo risco climático para todos os períodos simulados. Isso indica que a atividade agrícola na região de estudo é muito dependente da variação da temperatura do ar.

A Tabela 3 apresenta a área agrícola do feijão caupi cultivado no NEB para as CCA e para os cenários de aumento de temperatura de 1,5; 3,0 e 5,0 °C. A área total do NEB é 1.558.910 km<sup>2</sup>, mas as áreas agrícolas com baixo risco climático diminuem de 282.849 km<sup>2</sup> nas CCA para 56.921 km<sup>2</sup> no cenário de 5 °C; já no caso do médio risco, houve um aumento da área em 116.709 km<sup>2</sup> e, finalmente, no caso do alto risco climático esse aumento foi de 109.218 km<sup>2</sup>. Ainda quantitativamente, o baixo risco climático é reduzido em 14,49%; enquanto que o risco médio apresenta um aumento de 7,48% e o alto risco de 7,01%.

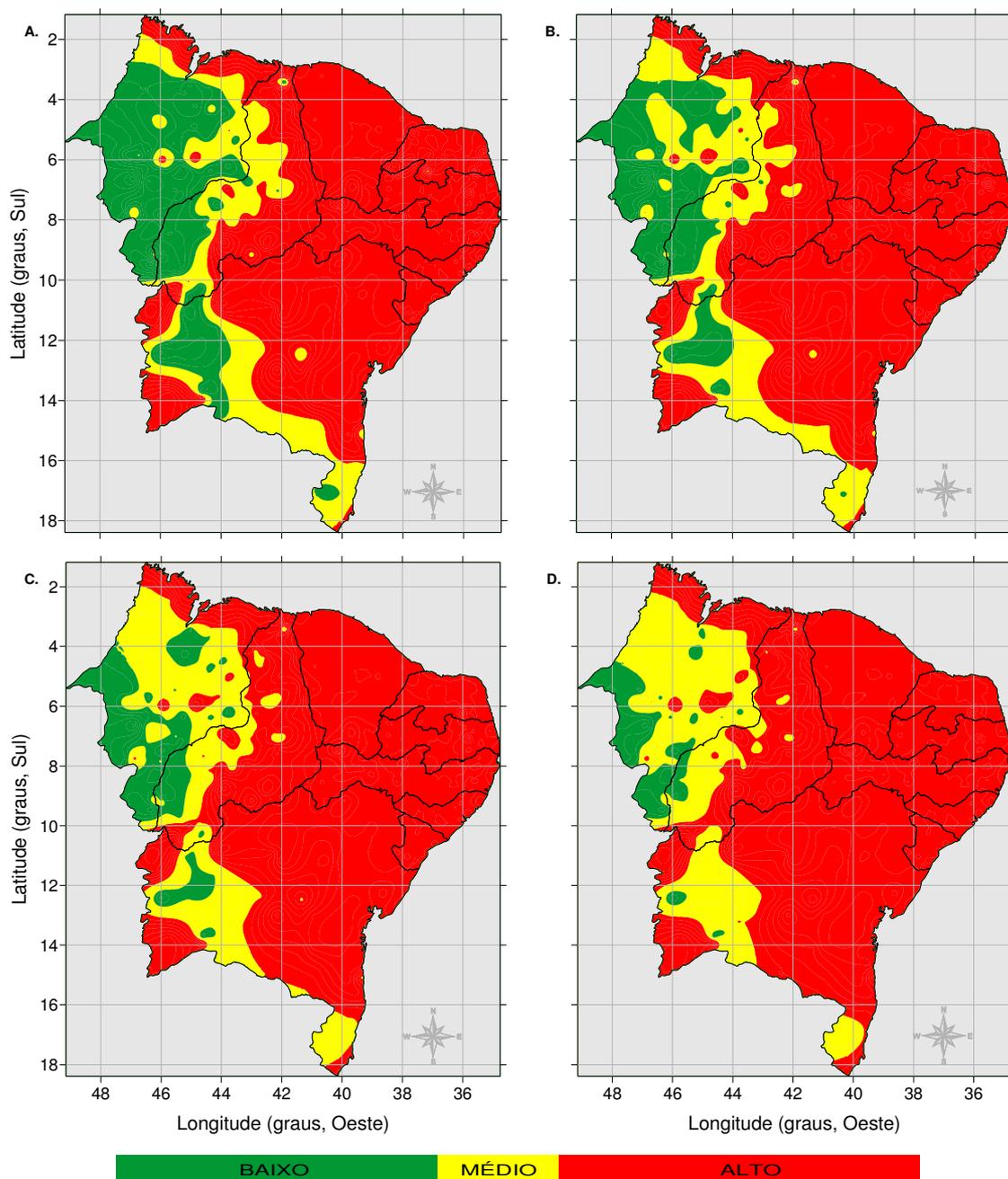


Figura 4. Distribuição espacial do risco climático da cultura do feijão semeada no segundo decêndio de novembro na região Nordeste do Brasil para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (A) e de acréscimos de temperatura de 1,5°C (B), 3°C (C) e de 5°C (D).

Tabela 3. Área agrícola do feijão caupi (km<sup>2</sup>), para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C, aumento de 3°C e aumento de 5°C para o segundo decêndio de novembro na região Nordeste do Brasil.

Risco climático	CCA	1,5 °C	3,0 °C	5,0 °C
Alto	961.230	998.357	1.035.541	1.070.448
Médio	314.831	370.416	400.540	431.540
Baixo	282.849	190.136	122.829	56.921

Ainda com relação à Figura 4, observa-se que as áreas com médio risco climático foram proporcionalmente as que mais aumentaram; porém, é importante ressaltar que essas áreas foram incorporadas às áreas agrícolas com baixo risco climático em quase todos os cenários simulados. Algumas restrições associadas às características fisiológicas da cultura quanto à sensibilidade a altas temperaturas também podem acarretar a redução de áreas com médio e baixo riscos climáticos, pois um dos fatores ambientais que mais interfere no crescimento e no desenvolvimento das culturas é a temperatura do ar (Silva, 2004). Essa variável atmosférica afeta significativamente a fenologia, a expansão foliar, a produção de biomassa e a partição de assimilados em diferentes partes da planta, fazendo com que ela possua uma faixa ideal para seu desenvolvimento (Craufurd et al., 1998). Durante o primeiro período simulado, as áreas agrícolas sob as condições de baixo e médio riscos climáticos ficaram localizadas na porção oeste do NEB. Os resultados ainda indicam a presença de uma grande área com alto risco climático nas regiões central e oriental, em face do período seco sobre tais regiões serem compreendidos entre os meses de setembro a janeiro (Silva et al., 2009). A diminuição da área agrícola apta ao cultivo do feijão caupi foi bastante considerável, quando levando em conta as condições climáticas atuais e o cenário de aquecimento de 1,5°C, cuja redução foi de 92.713 km<sup>2</sup>.

A distribuição espacial do ISNA para o mês de dezembro, indicando os riscos climáticos do feijão caupi nas CCA e nos cenários de aumento de temperatura do ar, é apresentada na Figura 5. Observam-se áreas com alto risco climático em toda parte leste e sul do NEB; enquanto as áreas com riscos médio e baixo ficam localizadas na região noroeste. Com o incremento de 1,5°C (Figura 5 B) e de 3°C (Figura 5 C), os riscos baixo e médio são reduzidos de forma pouco significativa. Por outro lado, com o aumento de 5°C, a redução do baixo risco climático é razoavelmente alta, passando de médio para alto risco climático em toda região de estudo. Na Tabela 4 são apresentadas as variações da área agrícola do feijão com o aumento da temperatura do ar. No mês de dezembro, o alto risco climático variou de 906.004 km<sup>2</sup>, nas CCA, a 1.030.078 km<sup>2</sup> no cenário de aumento de 5°C. Isso corresponde a um acréscimo na área com alto risco climático de 7,96%. A área com médio risco climático também aumentou das CCA para o aumento máximo de temperatura do ar, praticamente na mesma proporção (7,11%). O menor aumento ocorreu entre os cenários de 1,5 e 3,0°C no alto risco climático e entre as CCA e 1,5°C no médio risco climático. Inversamente, o baixo risco climático é decrescente das CCA para o cenário de 5,0°C, de 440.513 km<sup>2</sup> para 205.697 km<sup>2</sup>.

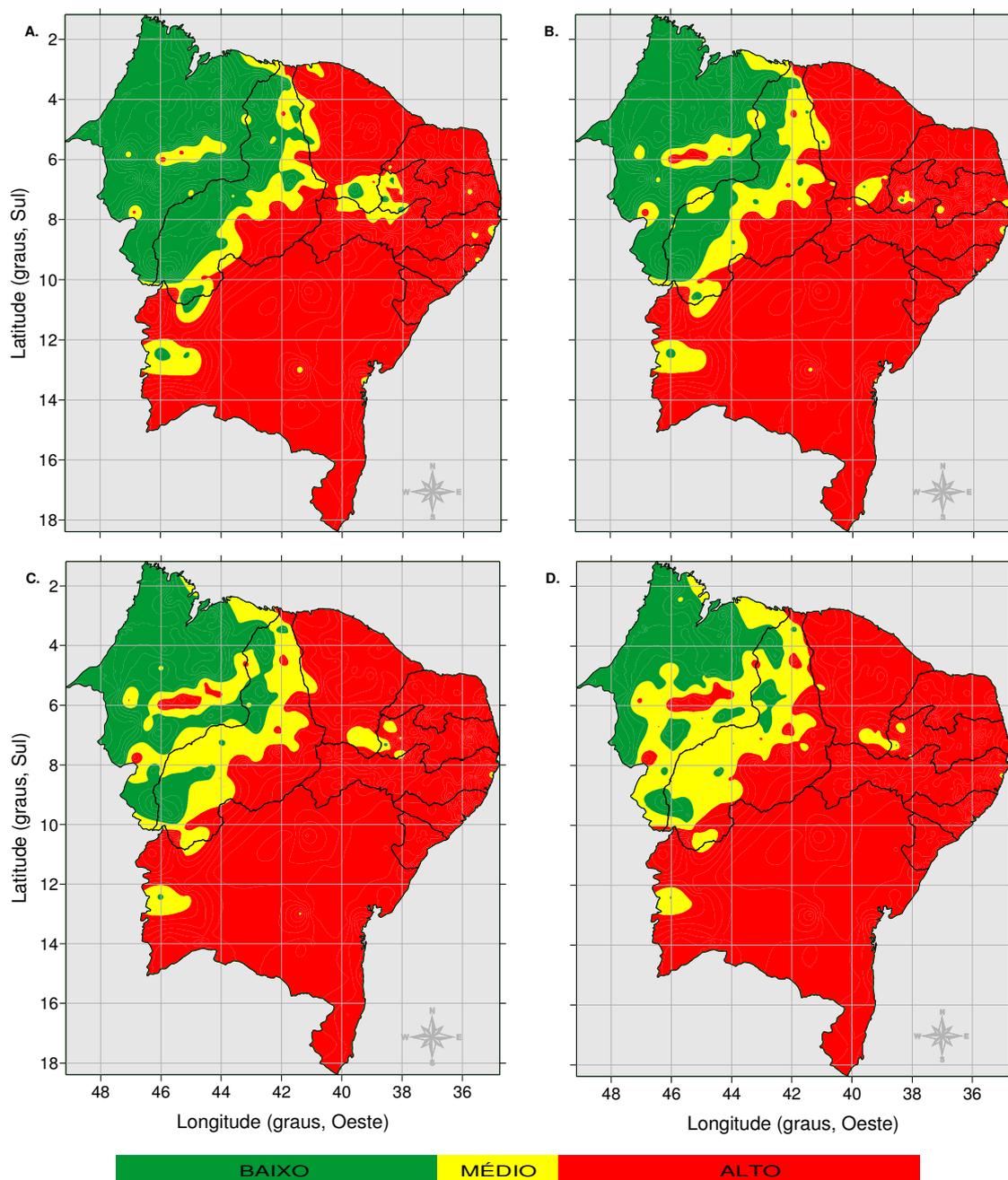


Figura 5. Distribuição espacial do risco climático da cultura do feijão semeada no segundo decêndio de dezembro na região Nordeste do Brasil para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (A) e de acréscimos de temperatura de 1,5°C (B), 3°C (C) e de 5°C (D).

Tabela 4. Área agrícola do feijão caupi (km<sup>2</sup>), para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C, aumento de 3°C e aumento de 5°C para o segundo decêndio de dezembro na região Nordeste do Brasil.

Risco climático	CCA	1,5 °C	3,0 °C	5,0 °C
Alto	906.004	967.684	995.929	1.030.078
Médio	212.392	223.847	269.830	323.134
Baixo	440.513	367.379	293.151	205.697

Portanto, mais da metade da área agricultável da região Nordeste do Brasil com feijão caupi pode ser reduzida com o aumento de 5°C na temperatura do ar. Esse decréscimo mostra-se mais acentuado do cenário de 3,0°C para o de 5°C, apresentando uma redução de 87.454 km<sup>2</sup>.

A Figura 6 exibe o ISNA do feijão caupi cultivado no mês de janeiro na região Nordeste do Brasil nos cenários de temperatura do ar nas CCA e de acréscimos de temperatura de 1,5; 3,0 e de 5°C. Nas CCA são observadas áreas com alto risco climático em toda parte nordeste e sudeste do NEB; sendo os riscos médio e baixo localizados na parte noroeste da região, bem como em alguns pontos no Litoral (Figura 7 A). Com o incremento de 1,5°C, as áreas classificadas como de risco climático baixo e médio são reduzidos com aumento da temperatura do ar (Figura 6 B) e, de forma similar, também com o aumento de temperatura de 3°C (Figura 6 C). Já no caso do aumento da temperatura do ar de 5°C essa relação de redução é bem mais evidenciada no Litoral e na parte noroeste do NEB (Figura 6 D). Nesse caso, o baixo risco cede espaço para os médio e alto riscos climáticos. A razão para os baixo e médio riscos climáticos ficarem localizados na parte norte do NEB está associada à migração da zona de convergência intertropical nesse período do ano. Com o aumento da temperatura do ar, as áreas com baixo e médio riscos climáticos localizados na costa do NEB praticamente desaparecem no cenário de 5°C. Por outro lado, alguns núcleos com áreas agricultáveis localizados no centro do semiárido também são extintos com o aumento da temperatura do ar. Nessas circunstâncias, evidencia-se a necessidade da implantação de novas variedades dessa cultura mais resistentes ao aumento de temperatura.

A Tabela 5 exibe a variação da área agrícola cultivada com feijão caupi no Nordeste do Brasil nos cenários de temperatura do ar nas CCA e de aumentos 1,5; 3,0 e 5,0°C para segundo decêndio de janeiro. As áreas com alto risco climático são aumentadas significativamente das CCA para o cenário de 5°C. Entretanto, as áreas de baixo risco climático praticamente não variou com o aumento da temperatura do ar, chegando a decrescer levemente das CCA para o cenário de 1,5°C e aumentar do cenário de 3,0°C para o cenário de 5,0°C. Entretanto, o baixo risco climático decresceu drasticamente das CCA para o cenário de 5,0°C, chegando até a 184.101 km<sup>2</sup>. Isso corresponde a uma diferença de 11,81%; portanto, bastante inferior daquela observada para o segundo decêndio de dezembro na região Nordeste do Brasil. A menor diferença na redução desse risco climático foi entre os cenários de 3,0 e 5,0°C, com apenas 3,62%; enquanto a maior diferença foi entre as CCA e o cenário de 1,5°C, com 4,59%.

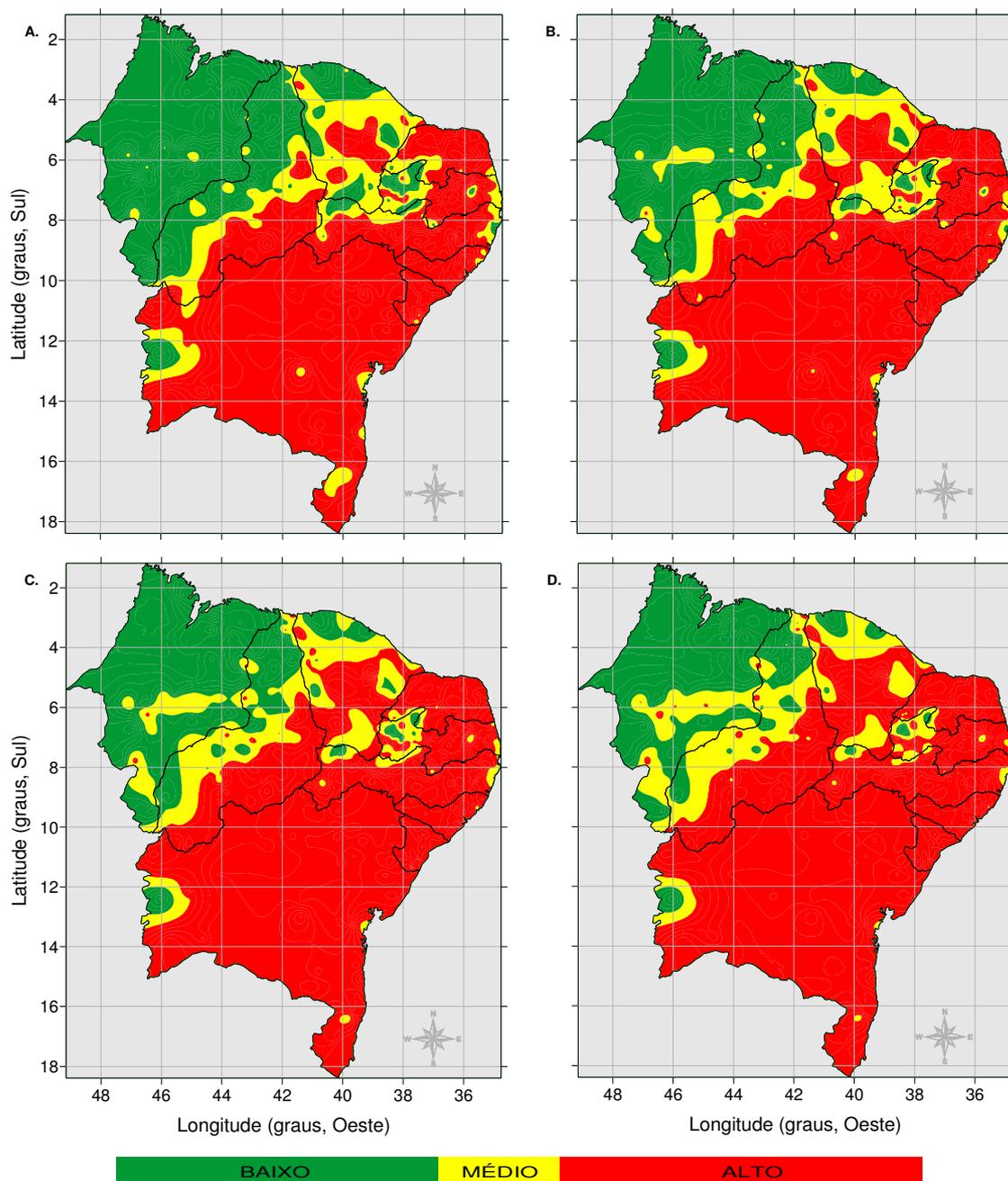


Figura 6. Distribuição espacial do risco climático da cultura do feijão semeada no segundo decêndio de janeiro na região Nordeste do Brasil para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (A) e de acréscimos de temperatura de 1,5°C (B), 3°C (C) e de 5°C (D).

Tabela 5. Área agrícola do feijão caupi (km<sup>2</sup>), para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C, aumento de 3°C, e aumento de 5°C para o segundo decêndio de janeiro na região Nordeste do Brasil.

Risco climático	CCA	1,5 °C	3,0 °C	5,0 °C
Alto	742.147	819.344	879.754	926.163
Médio	319.814	314.130	309.871	319.899
Baixo	496.948	425.435	369.285	312.847

A Figura 7 exibe a distribuição espacial do risco climático da cultura do feijão semeada no segundo decêndio de fevereiro na região Nordeste do Brasil nas CCA e nos cenários de aumento da temperatura do ar. O ISNA para esse mês evidencia baixo risco climático do feijão caupi nas CCA também na parte norte do NEB e alto risco nas partes sul e costa leste da região (Figura 7 A). Os riscos climáticos classificados como baixo e médio são reduzidos, enquanto o alto risco aumenta com o acréscimo da temperatura do ar. Por exemplo, nas CCA o Estado do Ceará é inteiramente ocupado pelos baixo e médio riscos climáticos que são tão intensamente reduzidos com o aumento da temperatura do ar, fazendo com que no cenário de 5°C apenas uma pequena área no norte do estado apresente baixo risco climático. Por outro lado, a costa leste do NEB apresenta vários núcleos com baixo e médio riscos climáticos nas CCA que também são reduzidos drasticamente, chegando até o cenário de 5°C com apenas alguns pontos isolados nas costas dos Estados do R. G. do Norte e Sergipe. As áreas com baixo e médio riscos climáticos, localizadas na parte central do NEB, são substituídas pelo alto risco com o aumento da temperatura do ar, fazendo com que as áreas com esses riscos climáticos, localizadas na parte oeste dos Estados do R. G. do Norte e Paraíba, praticamente desapareçam mediante o cenário de 5°C. A variação da área agrícola cultivada com feijão caupi na região Nordeste do Brasil nas CCA e para os cenários de aumento da temperatura do ar é exibida na Tabela 6. O alto risco climático varia de 697.132 km<sup>2</sup> nas CCA para 943.616 km<sup>2</sup> no cenário de 5°C, que corresponde um acréscimo de 15,81%. O maior incremento foi das CCA para o cenário de 1,5°C (6,42%), enquanto que entre os cenários de 1,5°C e de 3,0°C o aumento foi de 3,94%. A análise quantitativa dos efeitos do aumento da temperatura do ar no cultivo do feijão caupi no NEB também indica que praticamente não houve variação na área plantada nas condições de médio risco climático, muito embora levemente decrescente de 23,0% nas CCA para 21,73 no cenário de 5°C. Isso corresponde a um decréscimo de apenas 33.757 km<sup>2</sup> entre esses dois cenários climáticos. O maior acréscimo da área com alto risco climático é acompanhado com o decréscimo do baixo risco climático. Por exemplo, o baixo risco climático do caupi cultivado nessa época do ano decresceu de 489.197 km<sup>2</sup> nas CCA para 276.471 km<sup>2</sup> no cenário de 5°C. Isso corresponde a um decréscimo de 13,65%, ou de 212.726 km<sup>2</sup> entre as CCA e o cenário de 5°C. O maior decréscimo ocorreu entre as CCA e o cenário de 5°C (6,37%), enquanto nos cenários de 1,5°C para 3°C e de 3°C para 5°C os decréscimo foram de 3,94 e 3,34%, respectivamente.

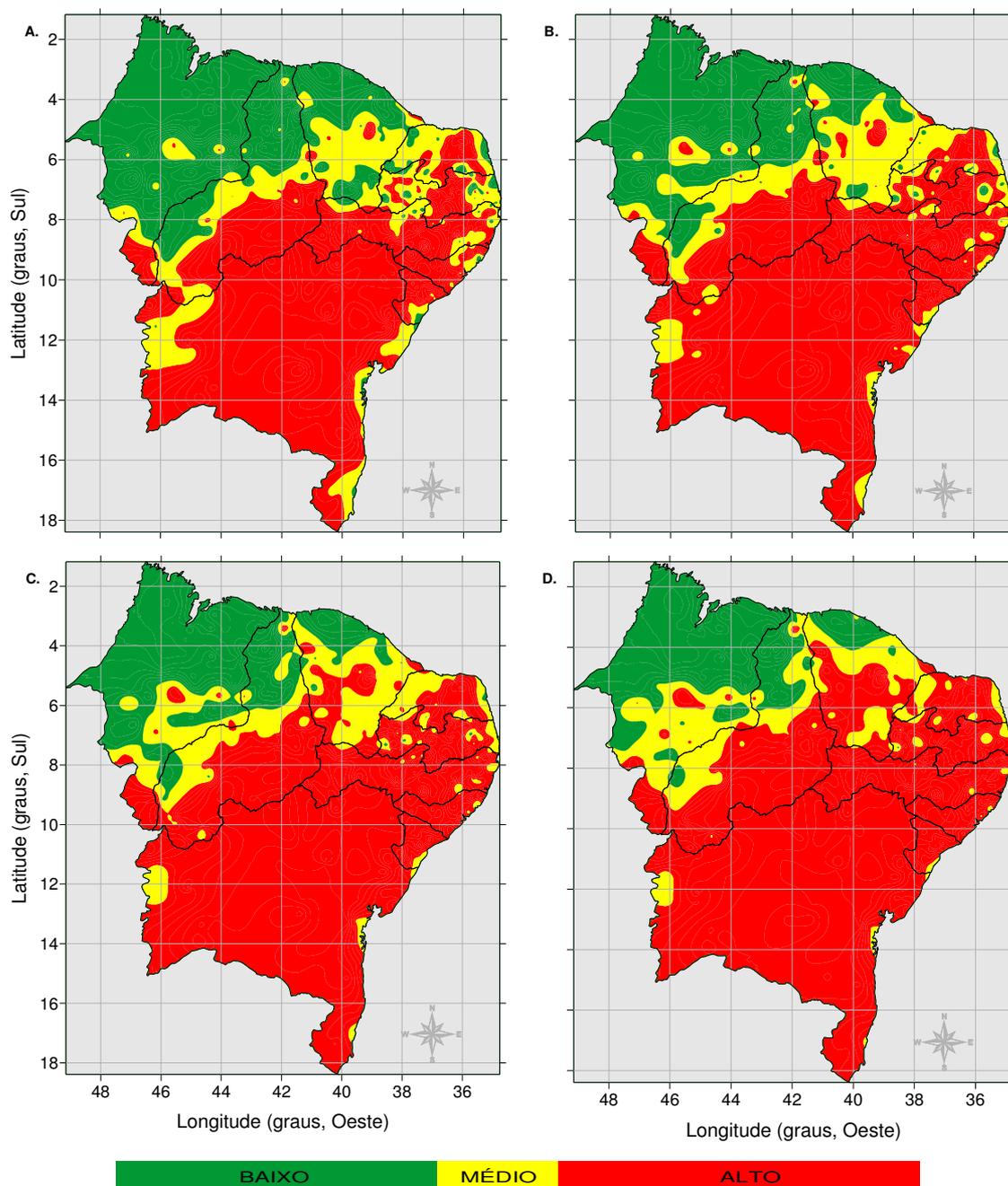


Figura 7. Distribuição espacial do risco climático da cultura do feijão semeada no segundo decêndio de fevereiro na região Nordeste do Brasil para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (A) e de acréscimos de temperatura de 1,5°C (B), 3°C (C) e de 5°C (D).

Tabela 6. Área agrícola do feijão caupi (km<sup>2</sup>), para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C, aumento de 3°C e aumento de 5°C para o segundo decêndio de fevereiro na região Nordeste do Brasil.

Risco climático	CCA	1,5 °C	3,0 °C	5,0 °C
Alto	697.132	797.270	869.933	943.616
Médio	372.580	371.792	360.516	338.823
Baixo	489.197	389.847	328.460	276.471

A distribuição espacial do risco climático da cultura do feijão cultivado no segundo decêndio de março na região Nordeste do Brasil nas CCA e nos cenários de aumento de temperatura do ar é exibida na Figura 8. O ISNA para o mês de março nas CCA demonstra áreas de alto risco em toda região sul e central do NEB, bastante superior aquelas observadas no decêndio de fevereiro. Inversamente, os baixo e médio riscos climáticos localizados na parte norte do NEB são menores do que aqueles do segundo decêndio de fevereiro. Isso é causado pelo distanciamento da época chuvosa nessa parte do Nordeste do Brasil. As áreas agricultáveis localizadas na parte norte do NEB variam relativamente pouco com o aumento da temperatura do ar. Apenas as áreas com médio risco climático na região centro sul do Estado do Ceará são reduzidas drasticamente quando comparadas com aquelas do cenário de 5°C. Os núcleos com médio risco climático no interior do Estado da Bahia, bem como a faixa do litoral leste da região são também reduzidos com o aumento da temperatura do ar. O Estado do Rio Grande do Norte, que apresentava pequena parte do oeste do estado com ISNA indicando médio risco climático, e pequeno núcleo na costa leste com baixo risco climático nas CCA, sofreu fortes reduções na sua área agricultável com o aumento da temperatura do ar, principalmente quando comparadas com aquelas do cenário de 5°C.

Na Tabela 7 é apresentada a variação da área agrícola do feijão caupi cultivado nas CCA e nos cenários de aumento de temperatura do ar. No segundo decêndio de março, a área agrícola com alto risco climático ocupa 59,82% do NEB nas CCA. Com o aumento da temperatura do ar, essa área é aumentada para 75,14% da área total da região de estudo. Efetivamente, a área com alto risco climático aumentou de 932.596 km<sup>2</sup> nas CCA para 1.171.348 km<sup>2</sup> no cenário de 5°C. Portanto, o aquecimento pode aumentar 238.752 km<sup>2</sup> a área com alto risco climático para o cultivo do caupi plantado nesse decêndio, correspondendo um incremento de 15,3%. Por outro lado, para o equilíbrio do balanço dos ganhos e perdas de área agrícola, enquanto o risco climático aumenta, os médio e baixo riscos climáticos diminuem 4,7 e 10,6%, respectivamente. O médio risco climático decresce de 18,7% nas CCA para 13,9% no cenário de 5°C. O menor decréscimo é entre as CCA e o cenário de 1,5°C, de apenas 0,6%; enquanto que o maior decréscimo de área com médio risco climático para o cultivo do feijão caupi na região é de 2,4% entre os cenários de 3 e 5°C. Por outro lado, o baixo risco climático dessa cultura também decresceu com o aumento da temperatura do ar, de 334.500 km<sup>2</sup> nas CCA para 169.670 km<sup>2</sup> no cenário de 5°C. Essa diferença representa 10,6%, contra 4,7% entre as CCA e o cenário de 5°C para o médio risco climático.

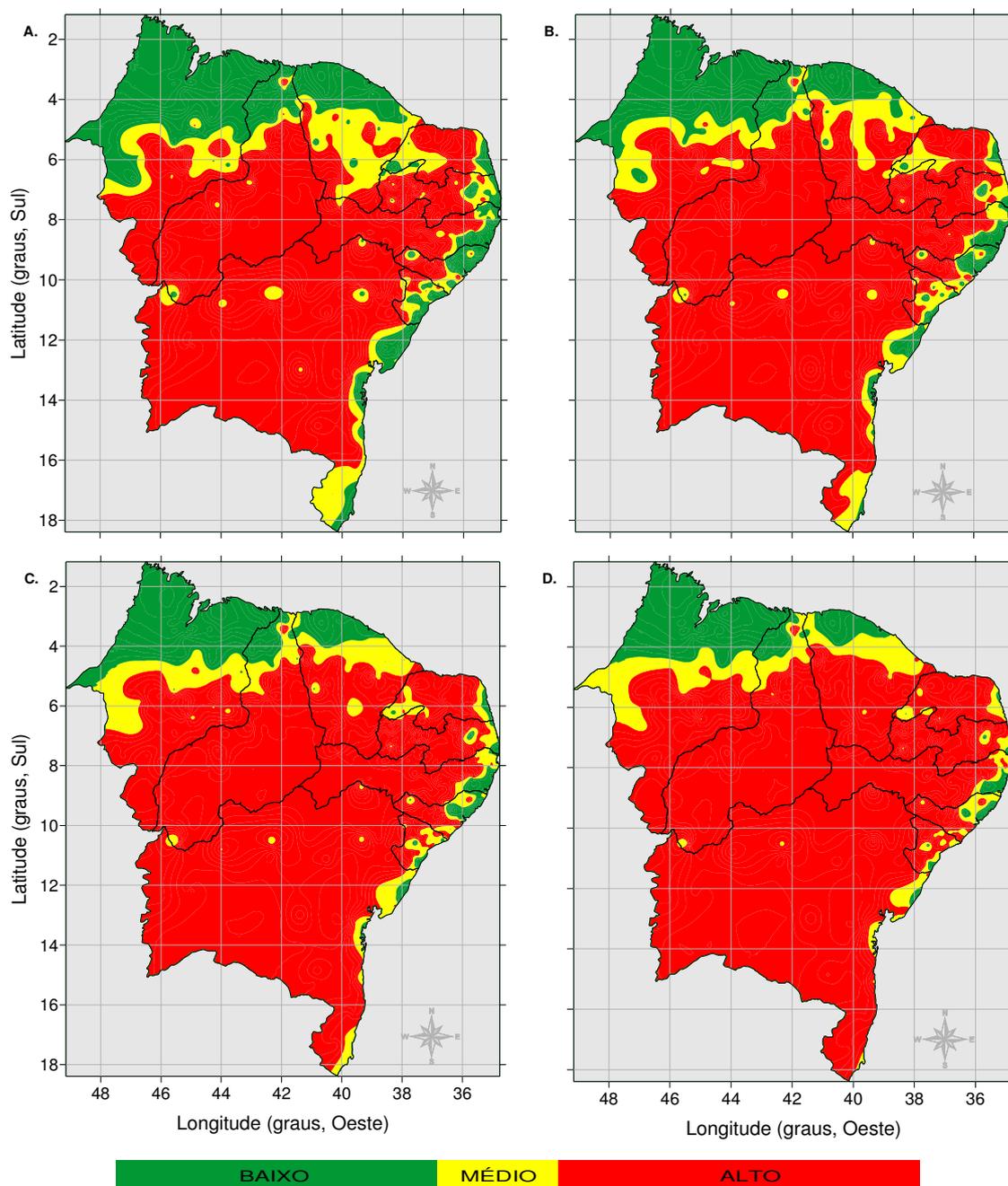


Figura 8. Distribuição espacial do risco climático da cultura do feijão semeada no segundo decêndio de março na região Nordeste do Brasil para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (A) e de acréscimos de temperatura de 1,5°C (B), 3°C (C) e de 5°C (D).

Tabela 7. Área agrícola do feijão caupi (km<sup>2</sup>), para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C, aumento de 3°C, e aumento de 5°C para o segundo decêndio de março na região Nordeste do Brasil.

Risco climático	CCA	1,5 °C	3,0 °C	5,0 °C
Alto	932.596	1.029.090	1.103.390	1.171.348
Médio	291.814	282.799	255.772	217.892
Baixo	334.500	247.020	199.748	169.670

Portanto, a área com baixo risco é maior do que com médio risco climático para o cultivo do feijão no NEB nesse decêndio do ano apenas nas CCA; enquanto que para os cenários de acréscimo de temperatura a situação é inversa.

A Figura 9 exibe a distribuição espacial do risco climático da cultura do feijão caupi semeada no segundo decêndio de abril na região Nordeste do Brasil nas CCA e para os cenários de aumento de temperatura do ar. As áreas com médio e baixo riscos climáticos estabelecidas nas CCA no norte do NEB nos decêndios anteriores são reduzida mais ainda para o cultivo do feijão caupi no segundo decêndio de abril (Figura 9A). A distribuição espacial do ISNA para esse decêndio é semelhante daquela para o segundo decêndio de março, exceto pelo acréscimo da área com baixo e médio riscos climáticos na costa leste do NEB. Tal como nas análises anteriores, essas áreas agricultáveis são reduzidas com o aumento da temperatura do ar. No cenário de 5°C (Figura 9C) as áreas com baixo e médio riscos climáticos localizadas no sudeste do Estado da Bahia nas CCA desaparecem quase que completamente. Similarmente, algumas áreas isoladas com esses riscos climáticos localizadas na parte semiárida do NEB também são fortemente reduzidas quando comparadas com o cenário de 5°C. As áreas agricultáveis localizadas no sudeste do NEB são mais influenciadas com o aumento da temperatura do ar do que aquelas localizadas nas costas dos Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Sergipe.

A variação da área agrícola do feijão caupi nas CCA e mediante os cenários de temperatura do ar nas CCA e de aumento da temperatura no segundo decêndio de abril no NEB é apresentada na Tabela 8. Nesse decêndio o alto risco climático aumentou relativamente pouco, de 1.222.656 km<sup>2</sup> nas CCA para 1.366.521 no cenário de 5°C, isso representa 9,2% que corresponde a 143.865 km<sup>2</sup>. A maior aumento foi entre os cenários de 3 e 5°C (3,9%) e o menor foi entre os cenários de 1,5 e 3°C (2,3%). Inversamente, os médios e baixos riscos climáticos foram decrescente para o cultivo do feijão caupi no NEB, como forma compensatória do aumento do alto risco climático. O médio risco climático decresceu de 139.929 km<sup>2</sup> nas CCA para 113.489 no cenário de 5°C, que corresponde uma redução de área agricultável de 26.440 km<sup>2</sup>. Entretanto, nos cenários de 1,5 e 3°C, o médio risco climático foi levemente crescente com 0,06 e 0,3%, respectivamente. O maior decréscimo foi entre os cenários de 3 e 5°C, de 2,12%, ou seja, maior do que quando comparado com as CCA. Por outro lado, o baixo risco climático foi decrescente em todos os cenários climáticos, incluindo-se as CCA. Ele decresceu de 196.325 km<sup>2</sup> nas CCA para 78.900 km<sup>2</sup> no cenário de 5°C.

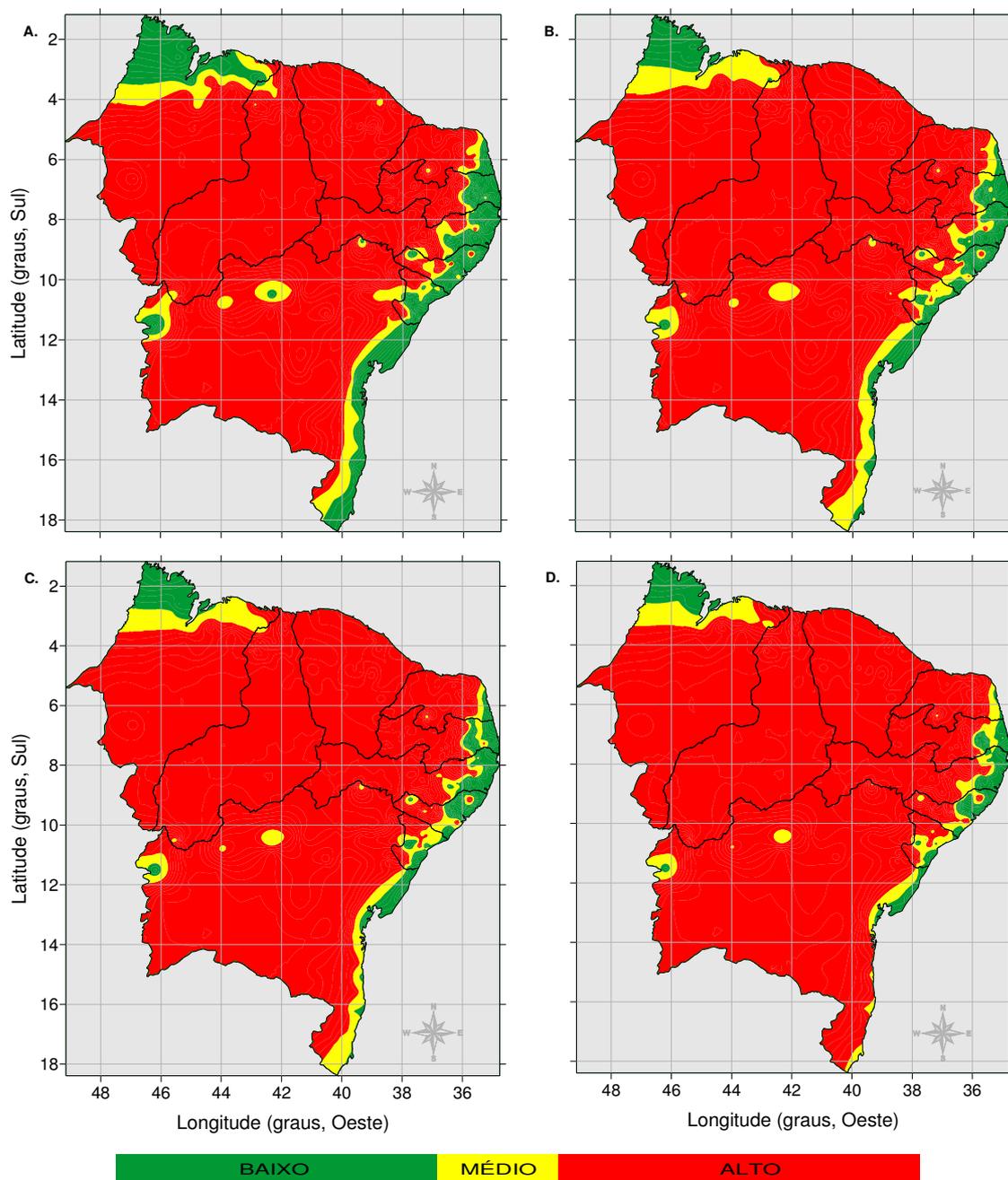


Figura 9. Distribuição espacial do risco climático da cultura do feijão semeada no segundo decêndio de abril na região Nordeste do Brasil para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (A) e de acréscimos de temperatura de 1,5°C (B), 3°C (C) e de 5°C (D).

Tabela 8. Área agrícola do feijão caupi (km<sup>2</sup>), para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C, aumento de 3°C, e aumento de 5°C para o segundo decêndio de abril na região Nordeste do Brasil.

Risco climático	CCA	1,5 °C	3,0 °C	5,0 °C
Alto	1.222.656	1.269.488	1.305.220	1.366.521
Médio	139.929	140.857	146.504	113.489
Baixo	196.325	148.564	107.185	78.900

Isso corresponde a uma redução de 7,5% na área cultivada com o feijão caupi no NEB nesse risco climático. O menor decréscimo foi entre os cenários de 3 e 5°C, de 1,8%; enquanto o maior foi entre o cenário de 1,5°C e as CCA, de 3,1%. Campos et al. (2010) também encontraram reduções significativas para o cultivo do feijão caupi no Estado da Paraíba com o aumento da temperatura do ar.

Finalmente, a Figura 10 exibe a distribuição espacial do risco climático da cultura do feijão semeada no segundo decêndio de maio na região Nordeste do Brasil nas CCA e nos cenários de aumento de temperatura do ar. Nas CCA a área localizada no nordeste do Estado do Maranhão decresceu ainda mais quando comparada com aquelas dos meses anteriores em face do distanciamento da época chuvosa na região (Figura 10A). O principal mecanismo produtor de chuvas nessa parte do NEB é a ITCZ, que tem maior frequência de incidência nos primeiros meses do ano (Silva, 2004). Por outro lado, os núcleos agricultáveis com a cultura do feijão localizados ao norte e nordeste do Estado da Bahia se tornam maiores, principalmente na região de Irecê, certamente, em face da chegada da estação chuvosa na região. Pela mesma razão, uma faixa maior no litoral leste do NEB se apresenta com baixo e médio riscos climáticos, que cobre totalmente o Estado de Sergipe e grande parte do Estado de Alagoas. Essa faixa agricultável com riscos toleráveis ao cultivo do feijão na região também ocupa toda zona da mata e brejo dos Estados de Pernambuco e Paraíba, além de uma pequena faixa do litoral leste do Estado do Rio Grande do Norte. Todas essas áreas agricultáveis nas CCA são reduzidas com o aumento da temperatura do ar, principalmente quando comparadas com aquelas no cenário de 5°C. Os núcleos agricultáveis localizados no norte de nordeste do Estado da Bahia são reduzidos com o aumento da temperatura do ar; porém, ao contrário dos meses anteriores, eles não desaparecem totalmente no cenário de 5°C. A Tabela 9 exibe a variação da área agrícola do feijão caupi cultivado nas CCA e nos cenários de aumento de temperatura do ar nesse decêndio. O alto risco climático para o cultivo do caupi no NEB aumentou de 1.216.768 km<sup>2</sup> nas CCA para 1.380.121 km<sup>2</sup> no cenário de 5°C. Isso corresponde a um acréscimo de 163.353 km<sup>2</sup>, ou seja, de 105%. O maior acréscimo foi entre os cenários de 3 e 5°C e o menor entre as CCA e o cenário de 1,5°C. Os médio e baixo riscos climáticos foram decrescentes em todos os cenários climáticos, exceto entre as CCA e o cenário de 1,5°C no médio risco climático, onde houve um pequeno acréscimo de 7.438 km<sup>2</sup>, ou seja de 0,48%. Por outro lado, o baixo risco climático decresceu com o aumento da temperatura do ar, de 196.064 km<sup>2</sup> nas CCA para 70.089 km<sup>2</sup> no cenário de 5°C.

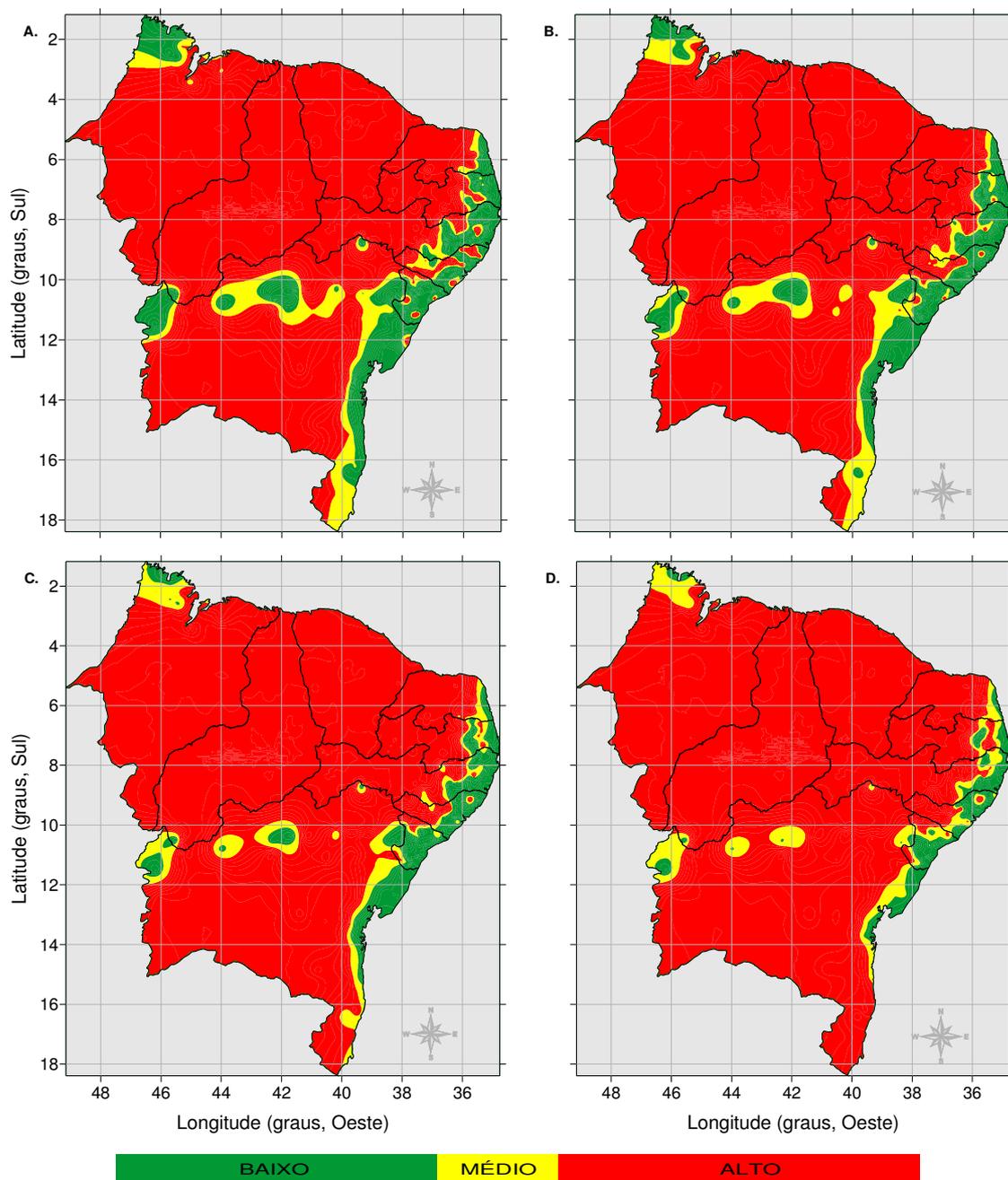


Figura 10. Distribuição espacial do risco climático da cultura do feijão semeada no segundo decêndio de maio na região Nordeste do Brasil para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (A) e de acréscimos de temperatura de 1,5°C (B), 3°C (C) e de 5°C (D).

Tabela 9. Área agrícola do feijão caupi (km<sup>2</sup>), para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C, aumento de 3°C, e aumento de 5°C para o segundo decêndio de maio na região Nordeste do Brasil.

Risco climático	CCA	1,5 °C	3,0 °C	5,0 °C
Alto	1.216.768	1.255.148	1.306.883	1.380.121
Médio	146.078	153.516	138.505	108.700
Baixo	196.064	150.245	113.522	70.089

Esse decréscimo corresponde a 8,1%; enquanto que o maior deles foi entre as CCA e o cenário de 1,5°C, ou seja de 2,9%. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva et al. (2010) quando analisaram os riscos climáticos do feijão caupi cultivado no NEB mediante os impactos do aquecimento.

As análises anteriores evidenciam o aumento das áreas agrícolas com alto e médio riscos climáticos e, conseqüentemente, uma redução nas áreas com baixo risco climático para todos os meses analisados. Esses resultados sugerem que o cultivo do feijão caupi no NEB é muito dependente da variação da temperatura, além de fortemente influenciada pela precipitação pluvial. Nessas circunstâncias, ocorre uma retração das áreas agricultáveis na parte norte e uma expansão no litoral leste do NEB, como resultado do deslocamento temporal dos sistemas produtores de chuvas nessa região. Por outro lado, as áreas com médio risco climático foram as que proporcionalmente mais aumentaram com o aquecimento. Parte das áreas agrícolas com baixo risco climático foi transformada em médio risco climático em quase todos os cenários simulados. As variações dos riscos climáticas podem ser associadas à irregularidade da precipitação na região Nordeste do Brasil, pois os sistemas atmosféricos que atuam no período estudado variam no tempo e no espaço (Brito & Braga, 2005; Araújo, 2008; Souza, 2005). Dentre os principais sistemas que atuam na região se destacam os vórtices ciclônicos de ar superior (Kousky e Gan, 1981); os sistemas frontais (Kousky, 1979); a zona de convergência intertropical (Uvo, 1989) e os distúrbios de leste (Espinoza, 1996). Mesmo considerando as CCA, ainda se verifica redução da área agrícola com a variação da data de plantio. Isso resulta num impacto negativo bastante significativo para a região, devido ao fato que cultivo do feijão em sistema de sequeiro apresentar grande importância no contexto na agricultura familiar e do agronegócio da região Nordeste do Brasil.

#### *4.2. Risco climático para cultura do milho*

As distribuições espaciais do Índice de Satisfação da Necessidade de Água (ISNA) dessa cultura para as condições climáticas atuais (CCA) e para os cenários de aumento da temperatura de 1,5; 3 e 5 °C, nos mesmos decêndios anteriormente analisados para a cultura do feijão caupi, são apresentadas nas figuras 11 a 17, como discutidas a seguir.

A distribuição espacial dos riscos climáticos da cultura do milho semeada no segundo decêndio de novembro na região Nordeste do Brasil nas CCA e nos cenários de aumento de temperatura do ar é exibida na Figura 11. Para a cultura do milho, nesse decêndio, as áreas com baixo e médio riscos climáticos nas CCA ficam localizadas na parte noroeste do NEB, envolvendo todo o Estado do Maranhão e parte do Estado do Piauí. Ressalta-se que esses riscos climáticos para a cultura do feijão nesse decêndio ocupam todo oeste do NEB. Verifica-se que essas áreas praticamente não são expandidas ou retraídas com o aumento da temperatura do ar. Entretanto, as áreas com baixo risco climático nas CCA (Figura 11A) são substituídas por aquelas com médio risco climático, deixando o alto risco climático para cultivo do milho nesse decêndio praticamente invariável em todos os cenários climáticos. Apenas alguns núcleos com alto risco climático nessa área aumentam de tamanho, principalmente no cenário de 5°C.

A variação da área agrícola cultivada com milho no NEB nas CCA e nos cenários de acréscimo de temperatura do ar é apresentada na Tabela 10. As áreas da região nordeste com alto risco climático para o cultivo dessa cultura no segundo decêndio de novembro aumentam de 1.033.752 km<sup>2</sup> nas CCA para 1.124.686 km<sup>2</sup> no cenário de 5°C. Isso representa um aumento de 5,8%; enquanto que o menor aumento da área com alto risco climático na região nesse decêndio foi entre os cenários de 3 e 5°C, de apenas 1,5%. O médio risco climático da cultura do milho nesse mês também cresceu com o aumento da temperatura do ar, inclusive com uma taxa superior daquela observada para o alto risco climático, cuja diferença entre as CCA e o cenário de 5°C foi de 11,8%. A área agricultável com esse risco climático na região aumentou significativamente, de 191.112 km<sup>2</sup> nas CCA para 375.639 km<sup>2</sup> no cenário de 5°C. Essa diferença de 184.527 km<sup>2</sup> é bastante superior daquela do aumento alto risco climático que foi de 90.934 km<sup>2</sup>. A menor acréscimo de área com médio risco climático foi também entre os cenários de 3 e 5°C (2,5%). Por outro lado, como esperado, o baixo risco climático foi decrescente em função do aumento da temperatura do ar. Ele decresceu de 334.045 km<sup>2</sup> nas CCA para 58.585 km<sup>2</sup> no cenário de 5°C, representando uma redução de 17,7%. Portanto, o baixo risco climático para o cultivo de milho no NEB nesse decêndio nas CCA é maior do que o médio risco, cuja diferença é de 142.933 km<sup>2</sup>.

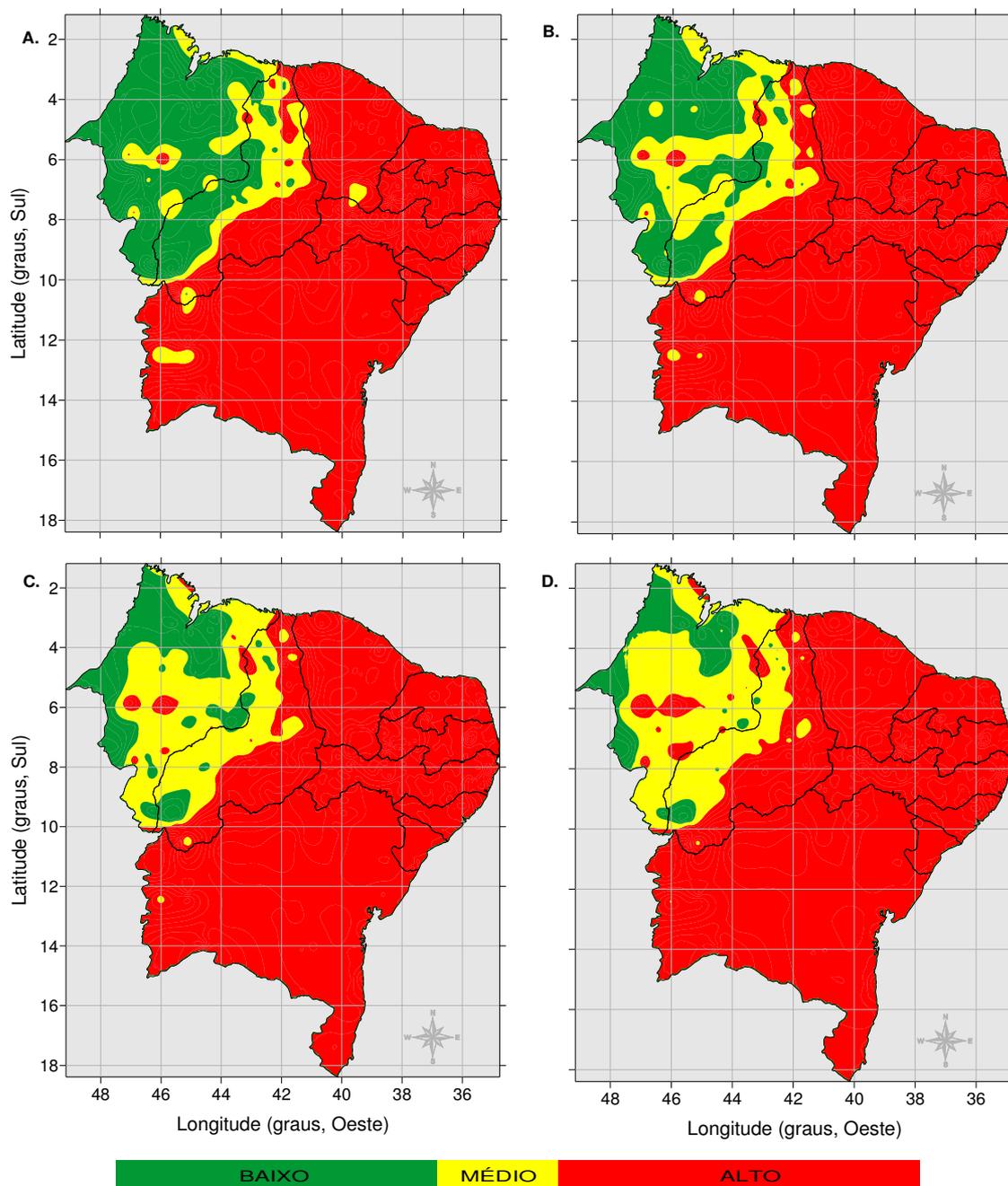


Figura 11. Distribuição espacial do risco climático da cultura do milho semeada no segundo decêndio de novembro na região Nordeste do Brasil para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (A) e de acréscimos de temperatura de 1,5°C (B), 3°C (C) e de 5°C (D).

Tabela 10. Área agrícola do milho (km<sup>2</sup>), para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C, aumento de 3°C e aumento de 5°C para o segundo decêndio de novembro na região Nordeste do Brasil.

Risco climático	CCA	1,5 °C	3,0 °C	5,0 °C
Alto	1.033.752	1.074.898	1.101.196	1.124.686
Médio	191.112	279.898	336.628	375.639
Baixo	334.045	204.113	121.085	58.585

Nos três cenários de aquecimento, o médio risco climático foi sempre superior ao baixo risco, porém menor do que o alto risco. Tal como para os riscos climáticos alto e médio, o menor decréscimo do baixo risco climático ocorreu entre os cenários de 3 e 5°C. Entre esses cenários a diferença entre área agricultáveis foi de 62.500 km<sup>2</sup>, contra 82.028 km<sup>2</sup> entre os cenários de 1,5 e 3°C e de 129.993 km<sup>2</sup> entre as CCA e o cenário de 1,5°C.

A Figura 12 exibe a distribuição espacial do risco climático da cultura do milho semeada no segundo decêndio de dezembro no NEB nas CCA e nos cenários de aumento de temperatura do ar. Nesse decêndio, as áreas com ISNA indicando baixo e médio riscos climáticos nas CCA aumentam consideravelmente quando comparadas com aquelas cultivadas com o milho no mês de novembro (Figura 12A). A razão disso pode está associada à proximidade da estação chuvosa na parte norte do NEB. Isso pode ser comprovado com o início do aparecimento de um núcleo com esses riscos climáticos localizados ao norte do Estado do Ceará, que no decêndio anterior não existia. Também, nesse decêndio, surgem alguns núcleos com baixo e médio riscos climáticos localizados no centro da região semiárida e no noroeste do Estado Bahia. Evidentemente, tal como nos casos anteriores, essas áreas são reduzidas com o aumento da temperatura do ar. Entretanto, essa redução é menos acentuada do que aquela observada para a cultura do feijão no mesmo decêndio. No cenário de 5°C as áreas agricultáveis com a cultura do milho com esses riscos climáticos no norte do Estado do Ceará praticamente desaparecem, restando apenas um pequeno núcleo com médio risco climático muito próximo ao litoral norte do NEB (Figura 12D).

A variação da área agrícola da cultura do milho cultivado no NEB sob as CCA e nos cenários de aumento de temperatura do ar é exibida na Tabela 11. O alto risco climático da cultura do milho cultivada no segundo decêndio de dezembro no NEB foi crescente de acordo com aumento da temperatura do ar. Esse risco climático ocupou uma área que varia de 939.420 km<sup>2</sup> nas CCA para 1.124.231 km<sup>2</sup> no cenário de 5°C, que corresponde a um aumento de 11,9%. Nesse decêndio, o alto risco climático nas CCA ocupou 60,3% da área do NEB; enquanto que no decêndio anterior o risco climático foi 66,3%. Por outro lado, no cenário de 5°C essa diferença é muito pequena, ou seja, no decêndio de dezembro foi de 72,12% e no de novembro foi de 72,15%. A área agrícola com médio risco climático praticamente não variou no mês de dezembro, com valores oscilando 0,9 e -0,6% da área total do NEB.

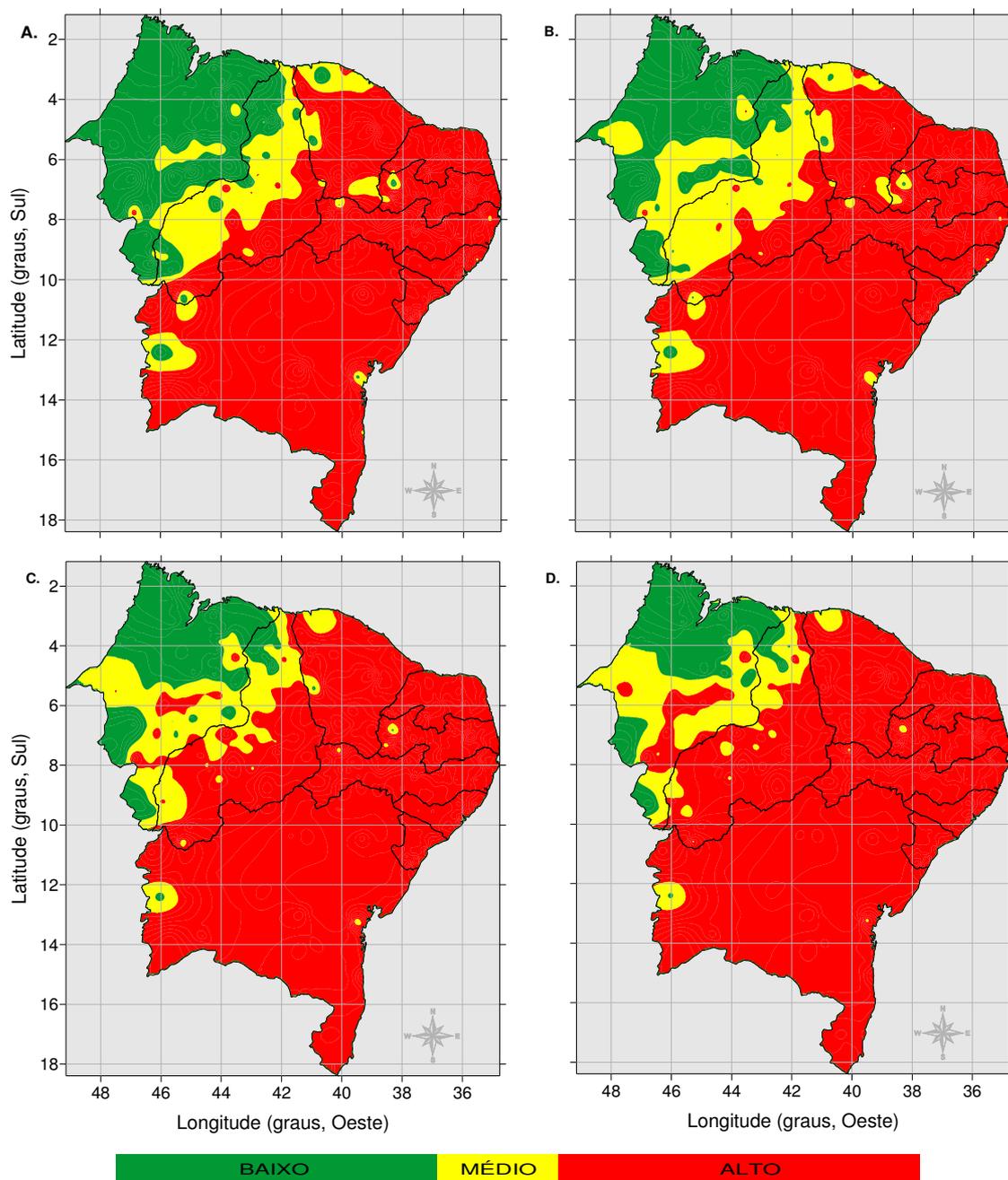


Figura 12. Distribuição espacial do risco climático da cultura do milho semeada no segundo decêndio de dezembro na região Nordeste do Brasil para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (A) e de acréscimos de temperatura de 1,5°C (B), 3°C (C) e de 5°C (D).

Tabela 11. Área agrícola do milho (km<sup>2</sup>), para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C, aumento de 3°C e aumento de 5°C para o segundo decêndio de dezembro na região Nordeste do Brasil.

Risco climático	CCA	1,5 °C	3,0 °C	5,0 °C
Alto	939.420	1.014.493	1.074.806	1.124.231
Médio	281.035	295.030	293.555	284.174
Baixo	338.454	249.387	190.549	150.505

Em valores absolutos, a área do NEB com médio risco climático nas CCA foi de 281.035 nas CCA e 284.174 km<sup>2</sup> no cenário de 5°C. Os resultados ainda indicam que houve um aumento de 0,9% entre as CCA e o cenário de 1,5%, que corresponde a uma área de apenas 3.139 km<sup>2</sup>, e uma redução de 0,1% entre os cenários de 1,5 e 3°C e de 0,6% entre os cenários de 3 e 5°C. O ISNA da cultura do milho indicou uma área com baixo risco climático de 338.554 km<sup>2</sup> nas CCA no decêndio de dezembro e de 334.045 km<sup>2</sup> no decêndio de novembro. Entretanto, o baixo risco climático foi significativamente superior no mês de novembro, de 150.505 km<sup>2</sup>, quando comparado com o mês de dezembro, que foi de 58.585 km<sup>2</sup>. O baixo risco climático da cultura de milho no decêndio de dezembro foi decrescente em todos os cenários de aquecimento. Ele decresceu de 21,7% nas CCA para 9,6% da área total do NEB no cenário de 5%.

A distribuição espacial do risco climático da cultura do milho semeada no segundo decêndio de janeiro na região Nordeste do Brasil nas CCA e nos cenários de aumento na temperatura do ar é exibida na Figura 13. Nesse decêndio, praticamente todo parte norte do NEB apresenta riscos climáticos classificados como médio ou baixo nas CCA (Figura 13A), em face do deslocamento da ITCZ para o Hemisfério Sul nesse período. Nessa época do ano, todo o Estado do Ceará, bem como as partes oeste dos Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, apresentam áreas agricultáveis para a cultura do milho com tais riscos climáticos, exceto para alguns pontos isolados com alto risco. Assim como nas análises anteriores, o aumento da temperatura do ar provoca uma redução na área agricultável e um aumento na área com alto risco climático. Isso se torna mais evidente quando se observa o cenário de 3°C (Figura 13C) que apresenta um núcleo com médio risco climático no oeste do Estado da Bahia bastante reduzido quando comparado às CCA. Curiosamente, esse mesmo núcleo é aumentado no cenário de 5°C (Figura 13D), enquanto as demais áreas parecem sofrer pequenas alterações quando comparadas com o cenário anterior. Os núcleos com médio risco climático localizados nas costas dos Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco permanecem mesmo com o aumento da temperatura do ar. A variação da área agrícola da cultura do milho cultivado nesse decêndio nas CCA e nos cenários de aumento de temperatura do ar é descrita na Tabela 12. O alto risco climático também é crescente com o aumento da temperatura do ar, cuja área variou de 829.565 km<sup>2</sup> nas CCA para 1.048.187 km<sup>2</sup> no cenário de 5°C. Isso representa um acréscimo de 14% da área total do NEB com alto risco climático para o cultivo do milho.

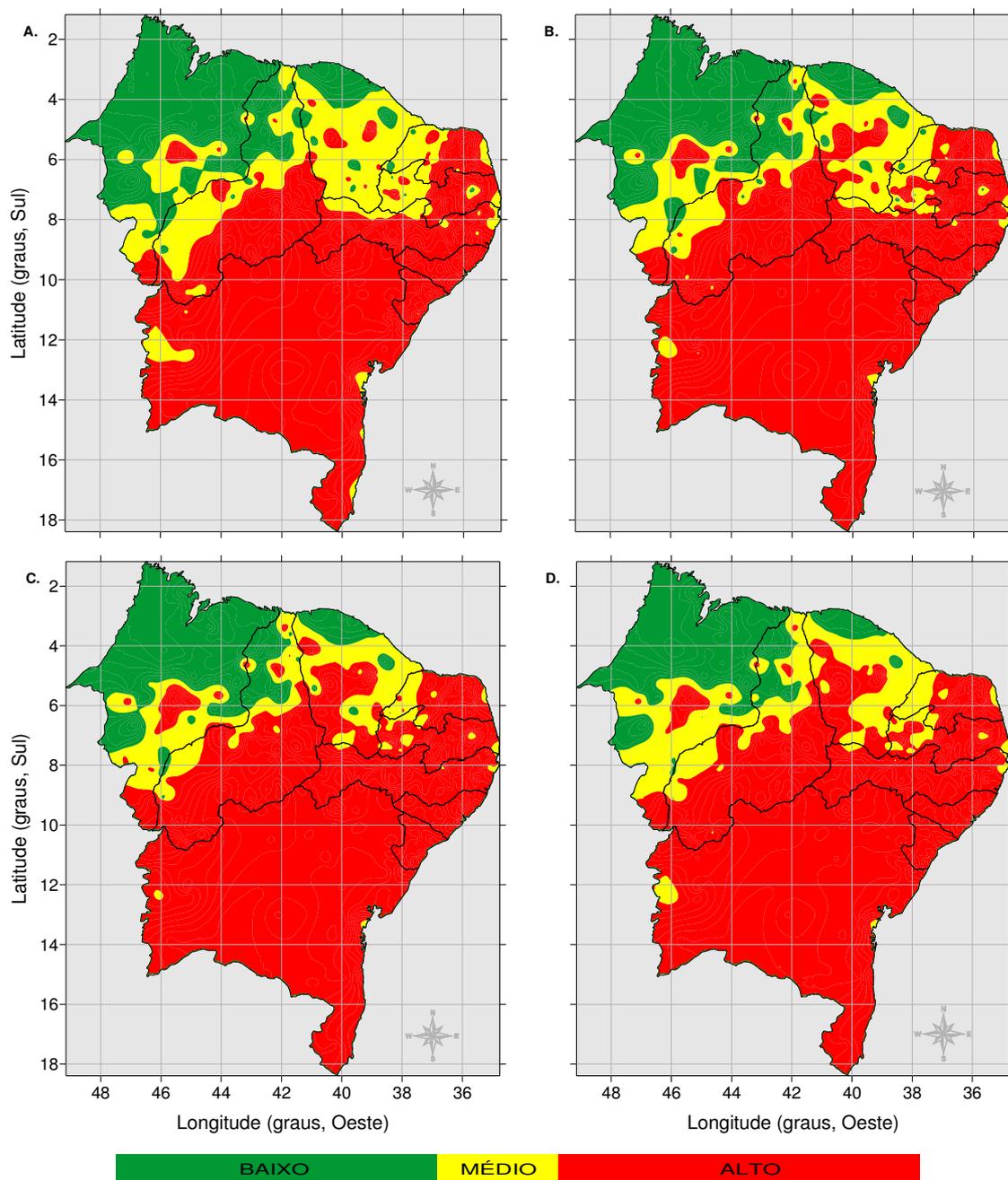


Figura 13. Distribuição espacial do risco climático da cultura do milho semeada no segundo decêndio de janeiro na região Nordeste do Brasil para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (A) e de acréscimos de temperatura de 1,5°C (B), 3°C (C) e de 5°C (D).

Tabela 12. Área agrícola do milho (km<sup>2</sup>), para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C, aumento de 3°C e aumento de 5°C para o segundo decêndio de janeiro na região Nordeste do Brasil.

Risco climático	CCA	1,5 °C	3,0 °C	5,0 °C
Alto	829.565	906.928	983.004	1.048.187
Médio	332.900	343.608	301.143	269.873
Baixo	396.444	308.374	274.763	240.849

Tal como no caso anterior, a área com esse risco climático nas CCA diminuiu com relação ao mês anterior, sendo que no mês de janeiro ela representa 53,2% e no mês de dezembro 60,3% da área total do NEB. Entretanto, o médio risco climático para a cultura do milho foi decrescente com o aumento da temperatura, exceto entre as CCA e o cenário de 1,5°C que apresentou um pequeno acréscimo de 0,7%. O baixo risco climático foi decrescente em todos os cenários de aumento de temperatura, variando de 396.444 km<sup>2</sup> nas CCA a 240.849 km<sup>2</sup> no cenário de 5°C. Essa redução corresponde a quase 10%, um pouco menor daquela observada para o mês de dezembro, que foi de 12,1%. As áreas com baixo e médio riscos climáticos nesse decêndio foram maiores do que no mês de dezembro, sendo de 3,3% para médio risco e de 3,7 para baixo risco climático.

Na Figura 14 é exibida a distribuição espacial do risco climático da cultura do milho semeada no segundo decêndio de fevereiro no NEB nas CCA e nos cenários de aumento da temperatura do ar. Nesse decêndio, ocorreu uma retração da área agricultável com a cultura do milho na parte norte do NEB quando comparada com aquela do mês janeiro, tanto nas CCA quanto nos cenários de acréscimo de aumento de temperatura do ar. Isso se torna mais evidente quando se compara a área agricultável do Estado do Ceará nas CCA com aquelas do decêndio anterior. Essa área foi praticamente reduzida à metade, restando apenas um núcleo com baixo risco climático bem ao norte do estado, além da área com médio risco climático localizada no centro do estado (Figura 14A). Inversamente, as áreas com baixo e médio riscos climáticos localizadas na costa leste do NEB têm aumentado com os cenários de aquecimento, em comparação ao mês de janeiro. Isso pode estar associada à incidência de vórtices ciclônicos nessa época do ano no litoral da região. Entretanto, no cenário de aquecimento de 5°C, essas áreas são reduzidas (Figura 14D), quando comparadas com às CCA, principalmente o núcleo com médio risco climático localizado no extremo sul do Estado da Bahia. A variação da área agrícola da cultura do milho cultivada no mês de fevereiro nas CCA e nos cenários de aumento da temperatura do ar é exibida na Tabela 13. Nesse decêndio, inversamente ao que vinha ocorrendo, o alto risco climático para essa cultura no NEB foi maior do que no decêndio anterior, com diferença de 9,5%. Também, como nos casos anteriores, o alto risco climático foi crescente em função do aumento de temperatura do ar, variando de 976.991 km<sup>2</sup> nas CCA a 1.255.503 km<sup>2</sup> no cenário de 5°C. Essa diferença representa 17,9% da área do NEB, superior àquela observada no decêndio anterior que foi de 14%.

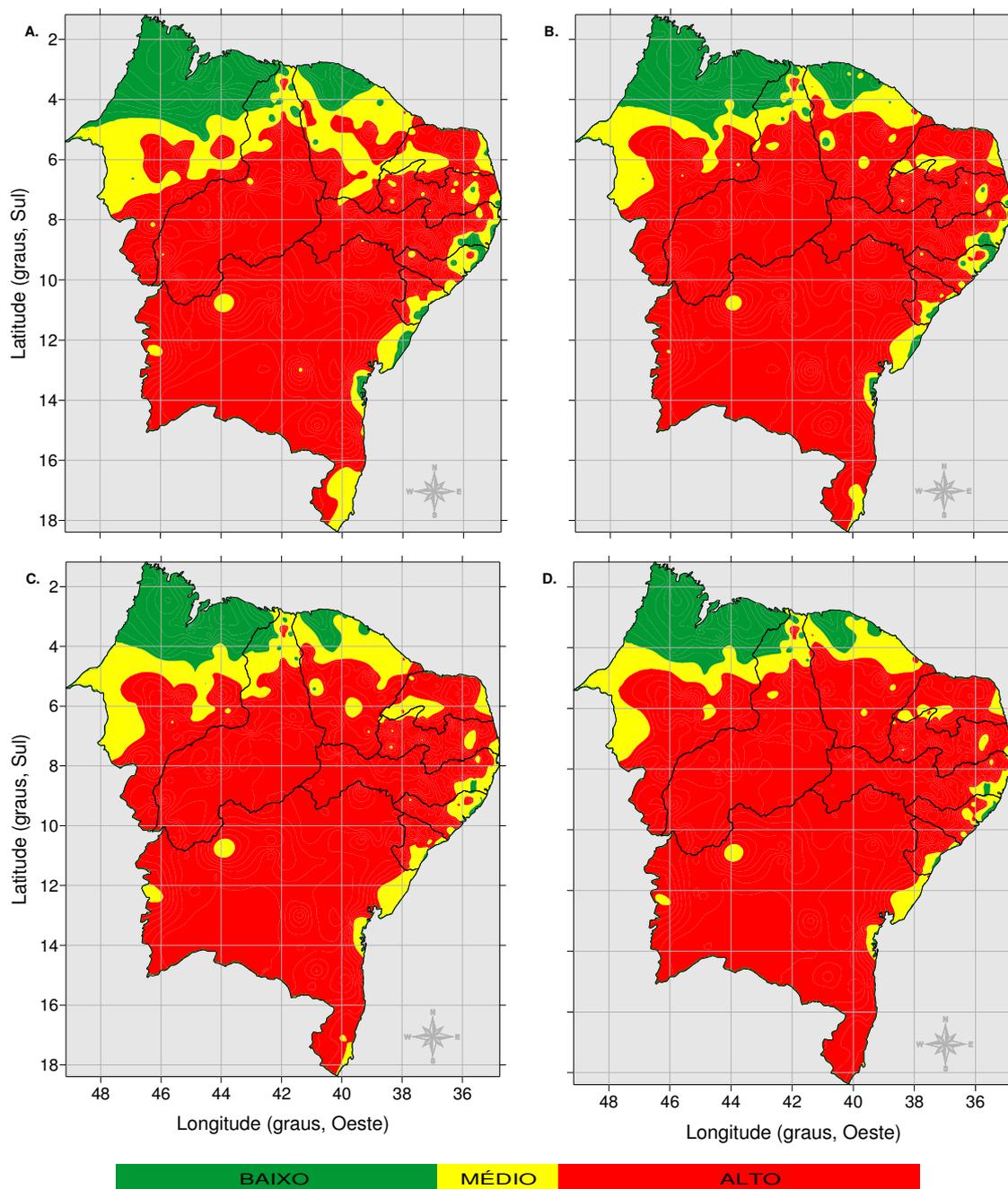


Figura 14. Distribuição espacial do risco climático da cultura do milho semeada no segundo decêndio de fevereiro na região Nordeste do Brasil para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (A) e de acréscimos de temperatura de 1,5°C (B), 3°C (C) e de 5°C (D).

Tabela 13. Área agrícola da cultura do milho (km<sup>2</sup>), para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C, aumento de 3°C e aumento de 5°C para o segundo decêndio de fevereiro na região Nordeste do Brasil.

Risco climático	CCA	1,5 °C	3,0 °C	5,0 °C
Alto	976.991	1.106.624	1.193.828	1.255.503
Médio	342.378	273.275	221.368	182.260
Baixo	239.541	179.010	143.713	121.147

O maior aumento foi entre as CCA e o cenário de 1,5°C, de 8,3%,; enquanto o menor foi entre os cenários de 3 e 5°C, com quase 4%. Por outro lado, o médio risco climático foi decrescente em todos os cenários de aquecimento, ocupando uma área variando de 342.378 nas CCA a 182.260 km<sup>2</sup> no cenário de 5°C. Essa diferença representa 10,3% da área do NEB, bastante superior daquela observada no mês anterior que foi pouco maior do que 4%. A maior redução foi entre as CCA e o cenário de 1,5°C, de 4,4%, enquanto a menor foi entre os cenários de 3 e 5°C. Similarmente, o baixo risco climático ao cultivo de milho no NEB também foi decrescente em função do aumento da temperatura do ar. A área agricultável com esse risco climático variou de 239.541 km<sup>2</sup> nas CCA a 121147 km<sup>2</sup> no cenário de 5°C, cuja diferença representa 7,6% da área da região de estudo. Nesse decêndio, o baixo risco ao cultivo do milho climático ocupou uma área menor do que aquelas dos meses de dezembro e janeiro.

A Figura 15 exhibe a distribuição espacial do risco climático da cultura do milho semeada no segundo decêndio de março no NEB nas CCA e de acréscimo de temperatura do ar. Nesse decêndio, as áreas agricultáveis com essa cultura nas CCA foram ainda mais reduzidas quando comparadas com aquelas dos decêndios anteriores (Figura 15A). Nessas condições climáticas, apenas uma pequena área ao norte do Estado do Maranhão permaneceu com baixo e médio riscos climáticos. Em compensação, a área com esses riscos climáticos aumentaram levemente na costa leste do NEB. Observa-se, ainda, pequeno decréscimo da área agricultável na parte norte da região com o aumento da temperatura do ar, principalmente entre as CCA e o cenário de 1,5°C, sendo ele mais acentuado quando comparado com o cenário de 5°C (Figura 15D). Entretanto, a área agricultável localizada na costa leste do NEB sofreu significativas reduções com o aumento da temperatura do ar, restando apenas alguns núcleos na zona da mata dos Estados de Pernambuco e Paraíba. A variação da área agrícola cultivada com a cultura do milho nas CCA e nos cenários analisados de aumento de temperatura do ar é exibida na Tabela 14. O alto risco climático para essa cultura aumentou de 83,1% nas CCA para 91,8% de toda área do NEB no cenário de 5°C. Esse aumento é acompanhado pelos decréscimos dos baixo e médio riscos climáticos. Por exemplo, o médio risco climático decresceu de 133.918 km<sup>2</sup> nas CCA para 93,613 km<sup>2</sup> no cenário de 5°C, representado uma redução de apenas 2,6%. Entretanto, quando comparada com o decêndio anterior nas CCA, a diferença foi bastante significativa, superior a 13% de toda área do NEB.

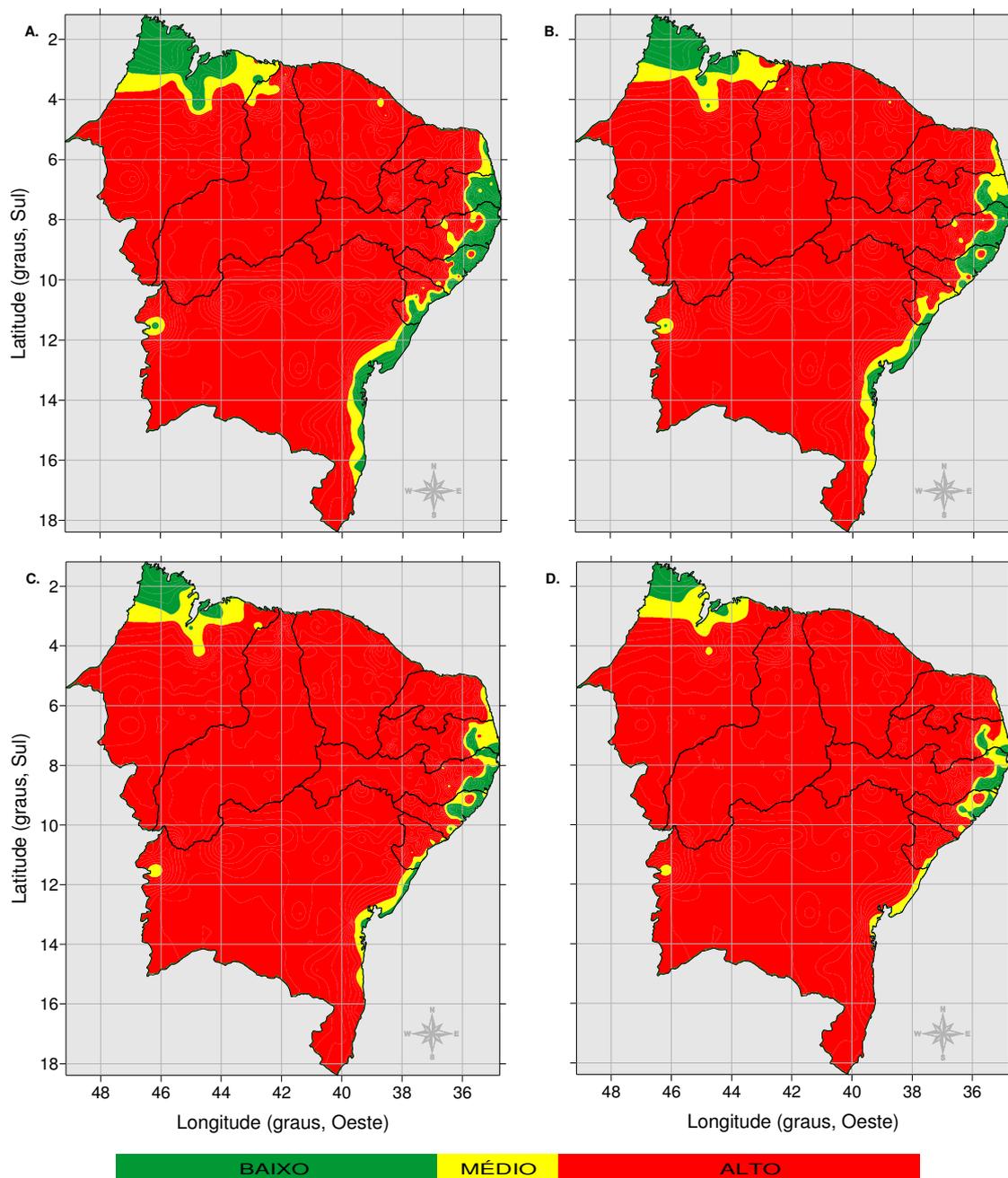


Figura 15. Distribuição espacial do risco climático da cultura do milho semeada no segundo decêndio de março na região Nordeste do Brasil para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (A) e de acréscimos de temperatura de 1,5°C (B), 3°C (C) e de 5°C (D).

Tabela 14. Área agrícola da cultura do milho (km<sup>2</sup>), para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C, aumento de 3°C e aumento de 5°C para o segundo decêndio de março na região Nordeste do Brasil.

Risco climático	CCA	1,5 °C	3,0 °C	5,0 °C
Alto	1.295.705	1.349.142	1.396.989	1.431.674
Médio	133.918	117.660	103.601	93.613
Baixo	129.287	92.108	58.319	33.622

A distribuição espacial do risco climático da cultura do milho semeada no segundo decêndio do mês de abril no NEB nas CCA e nos cenários de acréscimo de temperatura do ar é exibida na Figura 16. De forma geral, o alto risco climático da cultura do milho ocupou a maior parte da região durante o segundo decêndio de abril em todos os cenários climáticos e nas CCA. Os riscos climáticos classificados como baixo e médio sofreram pequenas reduções com o aumento da temperatura do ar, mantendo nessas condições o litoral leste da região de estudo. Por exemplo, todo o Estado de Sergipe apresenta baixo risco climático nas CCA. Entretanto, no cenário de 5°C a área agricultável é reduzida praticamente à metade. Também, o núcleo com riscos climáticos médio de baixo localizado no noroeste do Estado do Maranhão nas CCA é reduzido drasticamente com o aumento da temperatura do ar. Essas áreas também são reduzidas com o avanço da data de plantio da cultura ao longo do ano. Por exemplo, as áreas agricultáveis nesse decêndio são menores do que aquelas cultivadas nos decêndios anteriores. A razão para isso está associada à redução dos níveis pluviométricos nesse estado na escala intra anual. Similarmente, as áreas agricultáveis do Estado da Bahia também são reduzidas nessas circunstâncias, restando apenas alguns pequenos núcleos com médio risco climático no cenário de 5°C. A variabilidade das áreas agrícolas no NEB é mais bem analisada de forma quantitativa, como descrita na Tabela 15. Essa tabela descreve a variabilidade da área agrícola da cultura do milho nas CCA e nos cenários de aumento de temperatura do ar. Tal como para o decêndio anterior, o alto risco climático para a cultura do milho é altíssimo em todos os cenários climáticos, variando de 82,7% nas CCA a 91,5% no cenário de 5°C. Essa diferença corresponde a apenas 48.292 km<sup>2</sup> de toda a área do NEB, enquanto que a área da região com alto risco climático nesse cenário é de 1.426.694 km<sup>2</sup>. A taxa de acréscimo da área com alto risco climático entre as CCA e o cenário de 5°C foi de 8,8%. O maior acréscimo na área com alto risco climático foi entre as CCA e o cenário de 1,5°C e o menor foi entre os cenários de 1,5 e 3°C. Por outro lado, o médio risco climático foi decrescente, de 131.988 km<sup>2</sup> nas CCA para 84.141 km<sup>2</sup> no cenário de 5°C, que corresponde uma variação de 8,5 a 5,4% da área do NEB entre essas condições climáticas. O maior decréscimo foi entre as CCA e o cenário de 1,5°C e o menor entre os cenários 3°C e de 5°C, que foram, respectivamente, de 1,5 e 0,8% da área do NEB. Já a diferença entre as CCA e o cenário de 5°C foi de 3,1%. O ISNA indicando baixo risco climático para cultivo do milho no NEB também foi decrescente, com valores semelhantes daqueles obtidos para o médio risco climático.

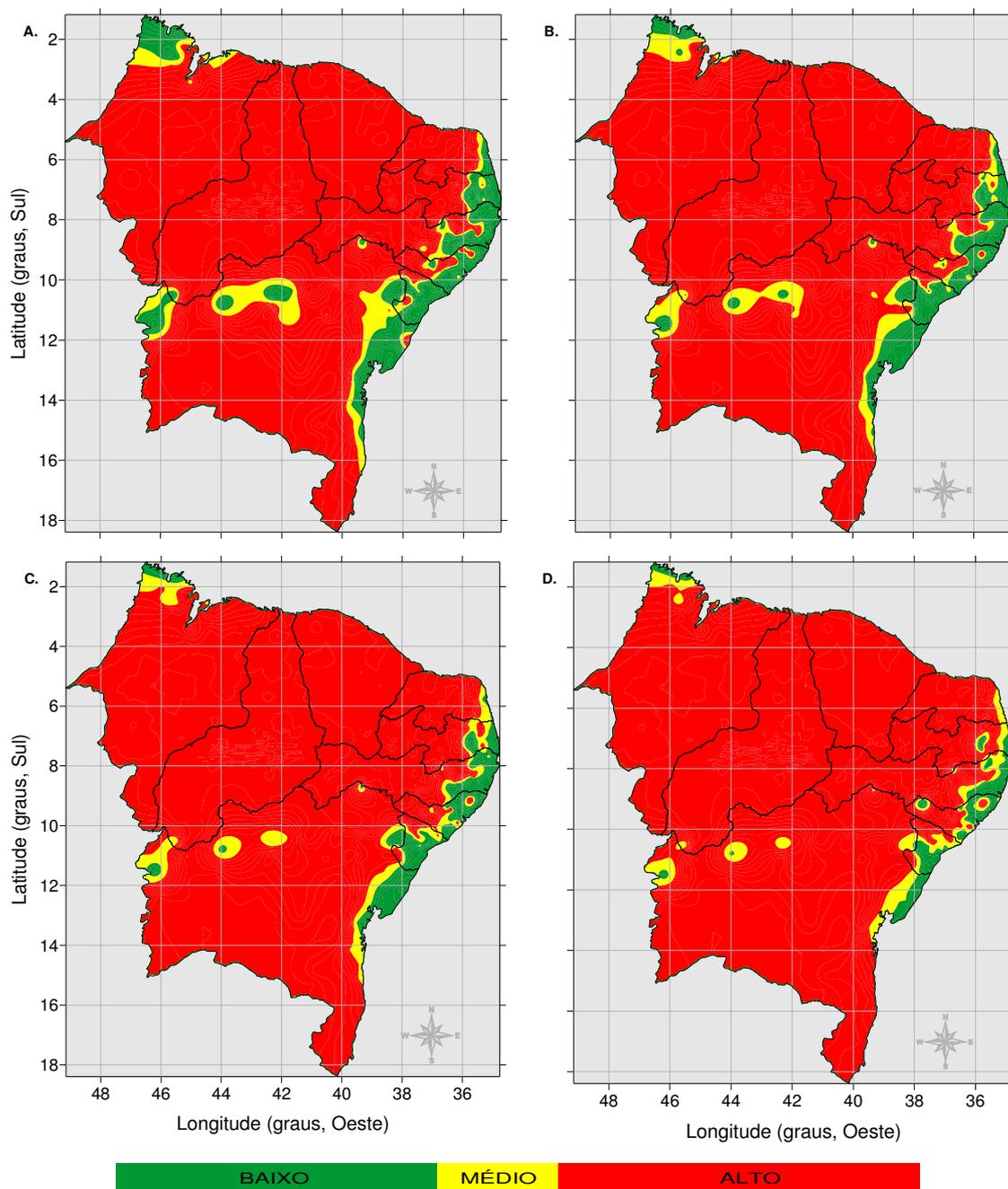


Figura 16. Distribuição espacial do risco climático da cultura do milho semeada no segundo decêndio de abril na região Nordeste do Brasil para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (A) e de acréscimos de temperatura de 1,°C (B), 3°C (C) e de 5°C (D).

Tabela 15. Área agrícola do milho (km<sup>2</sup>), para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C, aumento de 3°C e aumento de 5°C para o segundo decêndio de abril na região Nordeste do Brasil.

Risco climático	CCA	1,5 °C	3,0 °C	5,0 °C
Alto	1.289.634	1.340.495	1.378.402	1.426.694
Médio	131.988	109.168	96.269	84.141
Baixo	137.288	109.246	84.238	48.075

Por exemplo, o baixo risco climático decresceu de 137.288 km<sup>2</sup> nas CCA para 48.075 km<sup>2</sup> no cenário de 5°C, que corresponde a variação de 8,8 a 3,1% de toda a área agricultável da região. A diferença de áreas com baixo risco climático entre as CCA e o cenário de 5°C foi 5,7%.

Finalmente, a Figura 17 exhibe o ISNA da cultura do milho semeada no segundo decêndio de maio no NEB nas CCA e nos cenários de aumento de temperatura do ar. As áreas com baixo e médio riscos climáticos nas CCA ficaram localizadas no extremo norte da região e ao longo da costa do NEB, além de alguns pontos isolados com médio risco climático no Estado da Bahia (Figura 17A). No cenário de 1,5°C, as áreas com baixo e médio riscos climáticos praticamente não variaram, com exceção da retração da área do extremo norte do NEB e dos núcleos do Estado da Bahia. Efetivamente, em todos os cenários climáticos, incluindo-se as CCA, o alto risco climático para a cultura do milho afetou praticamente toda o NEB durante o mês de maio, com exceção das CCA e do cenário de 1,5°C na costa leste da região. A razão disso é que durante esse período ainda chove no litoral da região, podendo a estação chuvosa estender-se até o mês de julho (Silva, 2004).

A variação da área agrícola cultivada com milho no segundo decêndio de maio no NEB nas CCA e nos cenários de acréscimo de temperatura do ar é exibida na Tabela 16. Nesse decêndio, mesmo nas CCA, o alto risco para o cultivo de milho é muito alto, atingindo 86,12% de toda área do NEB; enquanto que nos cenários climáticos de 1,5; 3,0 e de 5,0°C, esse risco climático representa 88,7; 91,5 e 94,4%, respectivamente, da área total da região. Por outro lado, o médio risco climático é levemente decrescente das CCA para o cenário de 5,0°C, além de representar pouco mais de 6% da área do NEB nas CCA. No cenário de 5,0°C, esse risco climático ocupou uma área de 68.005 km<sup>2</sup>, bastante semelhante daquela do cenário de 3,0°C que foi de 76.219 km<sup>2</sup>. O decréscimo desse risco climático entre as CCA e o cenário de 5,0°C foi de apenas 1,75%, representado uma diferença de 8.214 km<sup>2</sup>. Similarmente, o baixo risco climático na região de estudo também é decrescente com o aumento da temperatura do ar como compensação do acréscimo da área com alto risco climático. Entretanto, o decréscimo desse risco climático é mais acentuado do que o médio risco climático, haja vista que ele decresce de 120.454 km<sup>2</sup> nas CCA para 18.738 km<sup>2</sup> no cenário de 5,0°C. As áreas com baixo risco climático são maiores em todos os cenários climáticos do que daquelas com médio risco climático. Por exemplo, nas CCA o médio risco climático representa 6,1%, enquanto o baixo risco representa 7,7% de toda área do NEB.

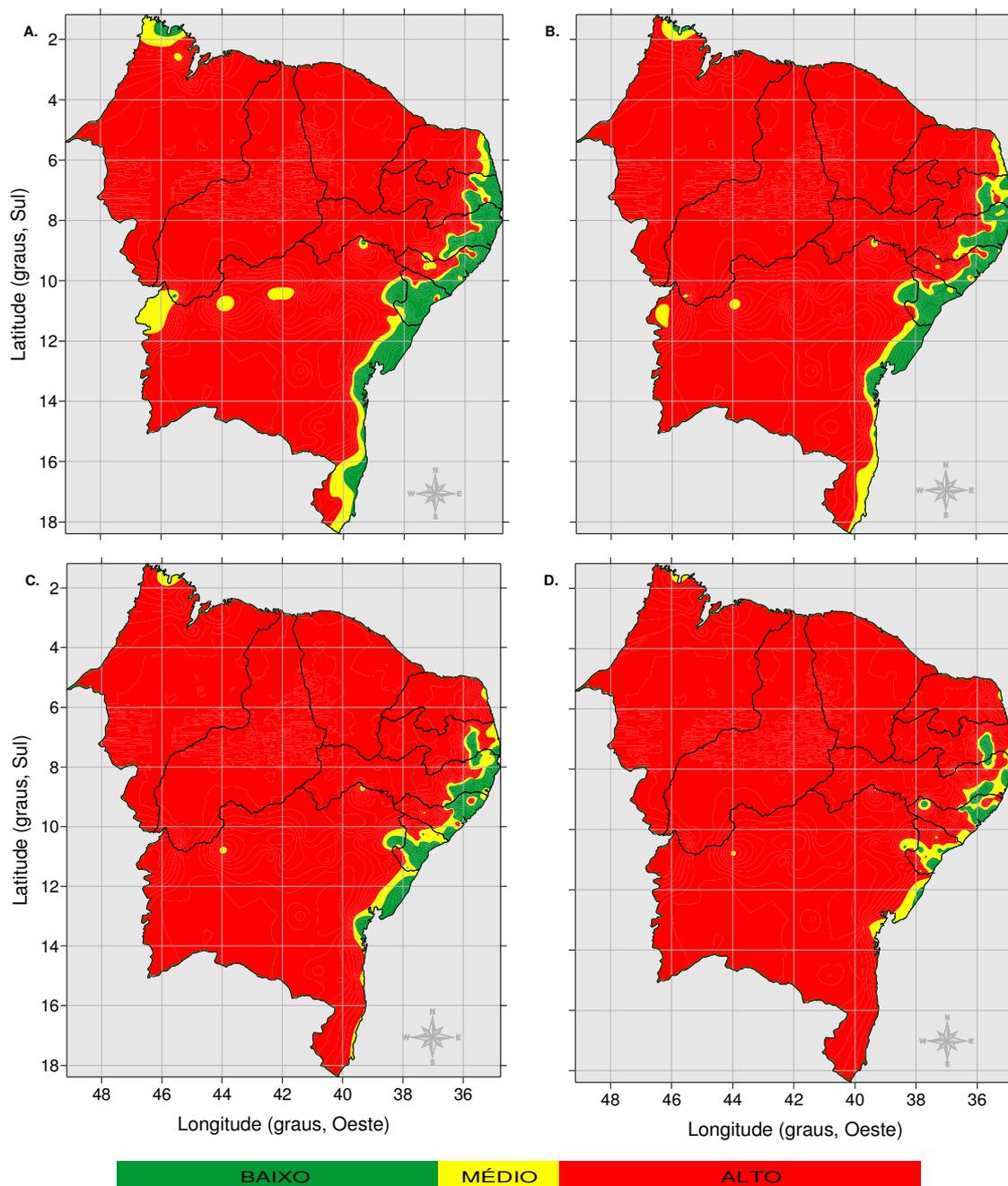


Figura 17. Distribuição espacial do risco climático da cultura do milho semeada no segundo decêndio de maio na região Nordeste do Brasil para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (A) e de acréscimos de temperatura de 1,5°C (B), 3°C (C) e de 5°C (D).

Tabela 16. Área agrícola do milho (km<sup>2</sup>), para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C, aumento de 3°C e aumento de 5°C para o segundo decêndio de maio na região Nordeste do Brasil.

Risco climático	CCA	1,5 °C	3,0 °C	5,0 °C
Alto	1.343.135	1.385.251	1.425.745	1.472.167
Médio	95.321	86.780	76.219	68.005
Baixo	120.454	86.879	56.945	18.738

Entretanto, essa região tem apenas 1,2% de sua área agricultável com baixo risco climático no cenário de 5,0°C. Os resultados ainda indicam que o cultivo da cultura de milho no NEB durante essa época do ano é inteiramente inviável sob o ponto de vista econômico. As variações dos riscos climáticos são associadas à irregularidade da precipitação na região Nordeste do Brasil para o cultivo do milho, pois os sistemas que atuam durante os períodos estudados possuem grande variabilidade temporal e espacial (Silva, 2004). Mesmo considerando os cenários mais otimistas para o plantio da cultura do milho, ainda se observa grande redução da área agrícola na região, que resulta num impacto negativo bastante significativo para a sua economia. A razão disso é que o cultivo do milho também tem grande importância na agricultura familiar e no agronegócio da região Nordeste do Brasil.

#### *4.3. Estimativa da produtividade de grãos*

Os valores médios mensais das produtividades de grãos da cultivar verde Brasil de feijão caupi, utilizando o modelo CROPGRO-cowpea para o município de Juazeiro, BA, no período de 1977 a 2008 mediante os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA) e de aumentos da temperatura do ar para segundo decêndio de cada mês, encontram-se na Tabela 17. As maiores produtividades médias dessa cultura em Juazeiro nas CCA foram obtidas para meses de novembro a fevereiro, sendo a maior delas no segundo decêndio do mês de janeiro com 471 kg ha<sup>-1</sup>. Por outro lado, a menor produtividade foi para o plantio no segundo decêndio de agosto, com valor médio de apenas 56 kg ha<sup>-1</sup>. Esse baixo valor de produtividade está associado aos baixos índices pluviométricos registrados nesse período na região de Juazeiro, BA. Em relação ao acréscimo de temperatura, das CCA para o cenário de 5°C no segundo decêndio de janeiro, verificou-se uma redução significativa na produtividade do feijão de 292 kg ha<sup>-1</sup>, que corresponde a 62%. O decréscimo da produtividade em função do aumento da temperatura do ar pode ser atribuído ao fato que a translocação de fotoassimilados é bastante reduzida às temperaturas elevadas. A diminuição da produtividade de grãos devido às temperaturas elevadas (>33°C) é comum na cultura do feijão caupi (Craufurd et al., 1998).

No modelo CROPGRO-cowpea, a função de desenvolvimento da cultura é quadrática, ou seja, cresce até um determinado ponto e decresce em seguida até atingir a senescência. Além disso, o modelo assume que a taxa de crescimento reprodutivo é

muito pequena, contribuindo para simular baixos valores da produtividade quando utilizados os acréscimos de temperatura do ar. Os valores médios anuais da produtividade do caupi nas CCA e nos cenários de aumento de temperatura de 1,5; 3,0 e 5,0°C foram, respectivamente, 205, 178, 140 e 112 kg ha<sup>-1</sup>. A produtividade média do feijão caupi no Brasil é de 366 kg ha<sup>-1</sup>; enquanto que na região Nordeste essa produtividade é ainda menor (328 kg ha<sup>-1</sup>), em função do baixo nível tecnológico empregado no cultivo e da irregularidade na pluviometria (Campos et al., 2010). Entretanto, os Estados de Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso apresentam produtividades dessa leguminosa superiores a 1.000 kg ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2008). O zoneamento do risco climático identificou o mês de janeiro o mais apropriado para o cultivo do feijão caupi na região Nordeste. Pontualmente, o modelo CROPGRO-cowpea também identifica esse mês com maior produtividade para essa leguminosa em Juazeiro, no Estado da Bahia. Esse resultado sugere a capacidade do DSSAT em estimar satisfatoriamente a produtividade de culturas, principalmente quando se utiliza um maior número de anos na simulação dos resultados.

Tabela 17. Estimativa da produtividade média mensal do feijão caupi para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C, aumento de 3°C e aumento de 5°C para o segundo decêndio do mês de janeiro em Juazeiro, BA

Mês	CCA (Kg ha <sup>-1</sup> )	1,5 (Kg ha <sup>-1</sup> )	3,0 (Kg ha <sup>-1</sup> )	5,0 (Kg ha <sup>-1</sup> )
Janeiro	471	418	318	179
Fevereiro	330	262	174	113
Março	198	162	90	69
Abril	127	107	67	58
Maiο	107	90	52	50
Junho	86	72	35	34
Julho	67	54	31	20
Agosto	56	46	40	35
Setembro	121	114	104	92
Outubro	204	187	169	155
Novembro	311	279	264	249
Dezembro	377	346	337	289
Anual	205	178	140	112

O curso anual da produtividade simulada do feijão caupi e do milho, cultivados no segundo decêndio de janeiro, e a precipitação média anual no período de 1977 a 2008, bem como a classificação dos eventos El Niño e La Niña nesse período é exibido na Figura 18. O modelo indicou para o feijão caupi a maior produtividade no ano de 1996, com  $1.046 \text{ kg ha}^{-1}$ , e a menor em 1987, com  $74 \text{ kg ha}^{-1}$  (Figura 18A). No ano de 1996 ocorreu o fenômeno La Niña que é associado com chuvas no NEB; enquanto que o ano de 1987 foi classificado como neutro, ou seja, sem nenhuma anomalia positiva na temperatura do oceano Pacífico na área do Niño 3. Entretanto, os primeiros três meses desse ano apresentaram desvio negativo de precipitação, justamente no período de cultivo de feijão na região de Juazeiro (Figura 18C). Evidentemente, isso foi determinante para a redução da produtividade dessa leguminosa. Por outro lado, o fenômeno El Niño de 1982-1983 (Figura 18D), classificado como forte, provocou baixos níveis de produtividade, porém superiores daqueles observados no ano de 1987. Portanto, a intensidade da anomalia de temperatura no Pacífico não é determinante para o aumento ou redução da produtividade, desde que no período de cultivo o solo esteja suficientemente abastecido de água para satisfazer as necessidades hídricas da cultura. Craufurd et al. (1998) avaliaram a sensibilidade do feijão caupi ao calor e constataram que um período de 10 a 14 dias de elevadas temperaturas durante o florescimento (estádio mais sensível) reduziu em aproximadamente 95% a produção de vagens, comparado à testemunha.

A Figura 18B exibe o curso anual da produtividade do milho cultivado no segundo decêndio de janeiro e a precipitação média anual no período de 1977 a 2008, bem como a classificação dos eventos El Niño e La Niña nesse período. A menor produtividade do milho durante o período estudado foi em 1997, com  $948 \text{ kg ha}^{-1}$ , e a maior em 2007, com a produtividade de  $8.340 \text{ kg ha}^{-1}$ . Também para essa cultura, os máximos valores de produtividade do milho tendem a ocorrer nos períodos de La Niña e os menores durante os anos de El Niño. Como a presente pesquisa foi realizada com base na agricultura de sequeiro, infere-se que as variações da produtividade de grãos, principalmente com a menor estimativa no ano de 1997, foram devidas ao estresse hídrico, uma vez que, para o modelo, a taxa de crescimento é bastante sensível a falta de água. A época de semeadura de janeiro a março se apresenta menos afetada pelos cenários de aquecimento do que a semeadura

nos meses de novembro e dezembro ou de abril e maio, provavelmente em face da regularidade dos padrões da ITCZ na maior parte do NEB.

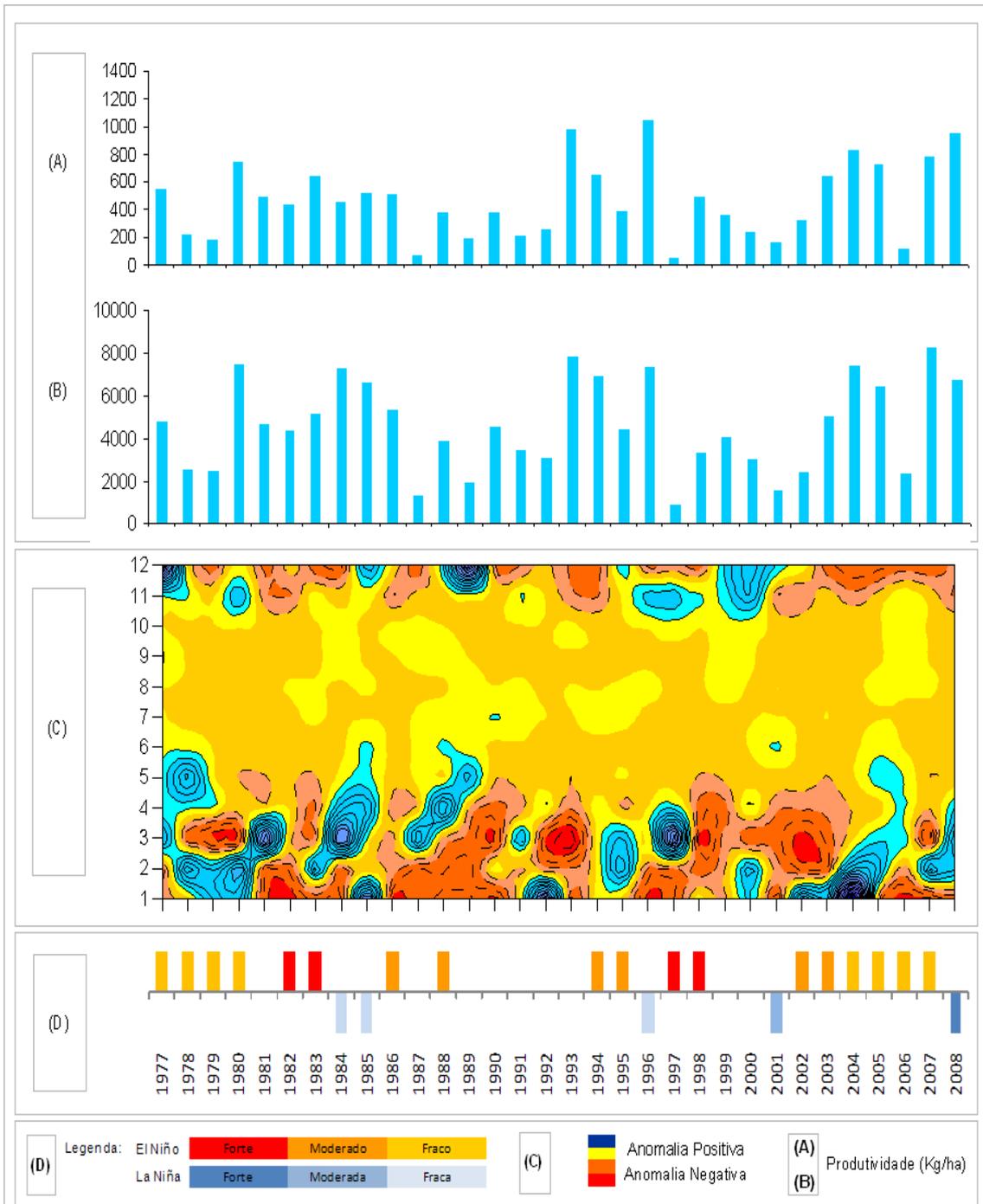


Figura 18. Curso anual da produtividade do feijão caupi (A) e do milho (B), anomalia de precipitação média mensal (C) e a classificação dos anos com os eventos El Niño e La Niña (D).

Os resultados deste trabalho indicam ainda que, mediante os cenários de aquecimento, a duração da estação de cultivo e a produtividade serão drasticamente reduzidos como consequência do decréscimo em área agricultável com as culturas de milho e feijão. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva et al. (2010) quando

analisaram os efeitos do aquecimento global sobre o cultivo do feijão caupi na região Nordeste do Brasil.

Os valores médios mensais das produtividades de grãos do milho, cultivar BR201, utilizando o modelo CERES-maize para Juazeiro, BA, no período de 1977 a 2008, nas condições climáticas atuais (CCA) e de aumento de temperatura do ar são apresentados na Tabela 18. Esses valores de produtividade estimados para os 12 meses do ano foram baseados na semeadura no segundo decêndio de cada mês, sem nenhum fertilizante ou irrigação.

Tabela 18. Estimativa da produtividade média mensal do milho para os cenários de temperatura do ar nas condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5°C, aumento de 3°C e aumento de 5°C para segundo decêndio do mês de janeiro em Juazeiro, BA.

Mês	CCA (Kg ha <sup>-1</sup> )	1,5 (Kg ha <sup>-1</sup> )	3,0 (Kg ha <sup>-1</sup> )	5,0 (Kg ha <sup>-1</sup> )
Janeiro	4.617	3.972	3.305	2.377
Fevereiro	2.785	2.586	2.449	2.162
Março	1.426	1.360	1.291	1.072
Abril	1.047	991	898	712
Mai	937	933	832	677
Junho	811	827	766	622
Julho	870	822	718	561
Agosto	1.011	843	691	500
Setembro	1.838	1.420	1.022	725
Outubro	2.358	2.014	1.688	1.208
Novembro	3.032	2.457	2.049	1.495
Dezembro	3.930	3.454	2.932	2.130
Anual	2.055	1.807	1.553	1.187

Tal como para o feijão, a maior produtividade foi obtida quando o milho foi plantado no segundo decêndio de janeiro, com 4.617 kg ha<sup>-1</sup> nas CCA. Os resultados constataam a sensibilidade do modelo na estimativa da produtividade do milho com o acréscimo de temperatura do ar. Por outro lado, a produtividade diminuiu significativamente com o aumento da temperatura do ar para todos os meses do ano.

A menor produtividade ocorreu durante o mês de junho, justamente no período seco da região, com 811 kg ha<sup>-1</sup> nas CCA e de 622 kg ha<sup>-1</sup> no cenário de 5°C. Na base anual, os valores médios da produtividade do milho nas CCA e nos cenários

de 1,5, 3,0, e 5°C foram 2.055, 1.807, 1.553 e 1.187 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A Embrapa Milho e Sorgo destacou em 2006 uma produtividade média do milho de 3.198 kg ha<sup>-1</sup>, e ressalta que esse valor é inferior ao que potencialmente a cultura pode alcançar em condições de sequeiro no NEB. A agricultura de sequeiro é caracterizada pela ausência da utilização de cultivares melhoradas, de insumos e irrigação, o que acarreta baixos níveis de produtividade. Entretanto, com a elevação do nível tecnológico com cultivos irrigados, obtém-se até 8.000 kg ha<sup>-1</sup> em plantios comerciais (Lira et al. 1997). Alguns autores têm observado que uma mesma cultivar, sob condições semelhantes de fertilidade do solo, água e luz, pode ter grandes variações na produtividade de um ano para outro devido às mudanças da temperatura do ar (Sivakumar et al., 1996).

#### *4.4. Análise de sensibilidade*

A sensibilidade do modelo DSSAT às variações de temperatura do ar e precipitação em função das produtividades do feijão e do milho cultivados em Juazeiro, BA foi também avaliada neste estudo. A Figura 19 exibe a variação das produtividades do feijão e do milho cultivados em Juazeiro, BA, em função das alterações da temperatura do ar, durante o período de 1977 a 2008. Em todos os anos do período de simulação, com data de semeadura no segundo decêndio de janeiro, as produtividades do feijão (Figura 19A) e do milho (Figura 19B) foram extremamente sensíveis às variações de temperatura do ar. As produtividades dessas culturas foram sempre decrescentes das CCA para o cenário de 5°C. No período de 1977 a 2008, os valores da produtividade média do feijão nas CCA, e para os cenários de 1,5; 3,0 e 5°C foram 471, 418, 318 e 179 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente; enquanto que para o milho esses valores da produtividade foram 4.617, 3.972, 3.305, 2.377 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para as CCA e os mesmos cenários de aumento de temperatura.

Para ambas as culturas, a maior diferença foi entre os cenários de 3,0 e 5,0°C, sendo de 139 kg ha<sup>-1</sup> para o feijão e de 928 kg ha<sup>-1</sup> para o milho. Por outro lado, a menor diferença foi entre as CCA e o cenário de 1,5°C, de 42 kg ha<sup>-1</sup> para o feijão e de 645 kg ha<sup>-1</sup> para a cultura do milho. Portanto, a análise de sensibilidade sugere a eficiência do modelo DSSAT em modelagem agrometeorológica, especialmente na

avaliação dos efeitos da variação de temperatura do ar sobre o crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas aqui analisadas.

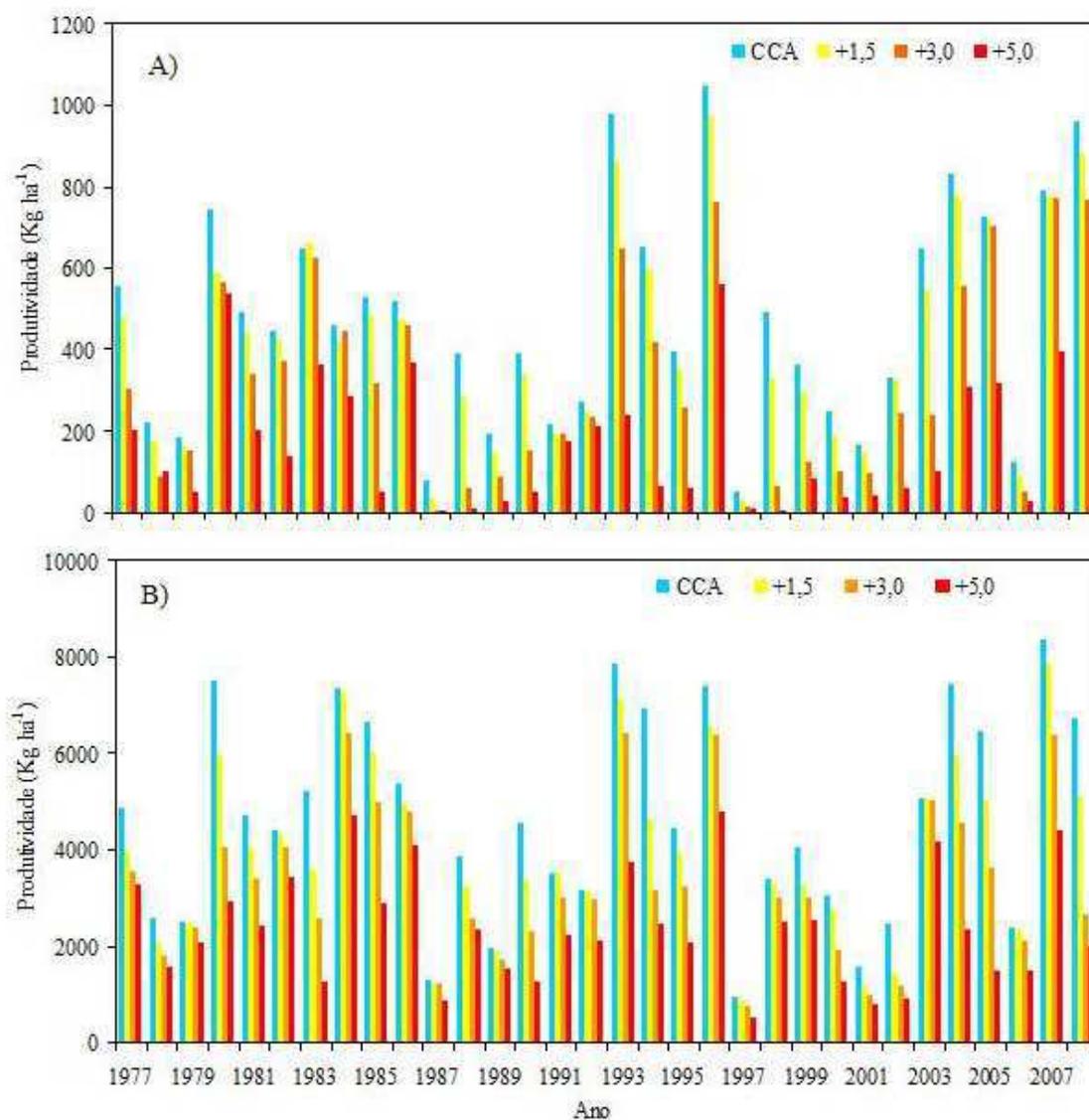


Figura 19. Avaliação da sensibilidade do modelo DSSAT à temperatura do ar em função da produtividade do feijão (A) e do milho (B) cultivados em Juazeiro, BA.

A Figura 20 exibe o curso temporal das produtividades do feijão e do milho cultivados em Juazeiro, BA, no segundo decênio de janeiro, quando analisada a sensibilidade da precipitação. Tal como para a temperatura do ar, as produtividades das culturas do feijão (Figura 21 A) e do milho (Figura 21B) foram afetadas pelas variações da precipitação durante o período analisado. Em todos os anos de simulação, a redução da precipitação em 25% provocou redução na produtividade das duas culturas; enquanto o aumento de 25% da precipitação produziu um aumento na produtividade.

A produtividade média do feijão em Juazeiro, BA, no período de 1977 a 2008, sem variação na precipitação, foi de 471 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto que com os desvios negativos e positivos de 25% na precipitação foi de 386 e 521 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A produtividade média do milho nesse mesmo período sem anomalias de chuvas foi de 4.617 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto que para os desvios negativos e positivos de 25% foi de 3.661 e 5.104 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Portanto, os eventos El Niño e La Niña, que são associados, respectivamente, com desvios negativos e positivos de precipitação, exercem forte influência na produtividade das culturas de feijão e milho na região estudada.

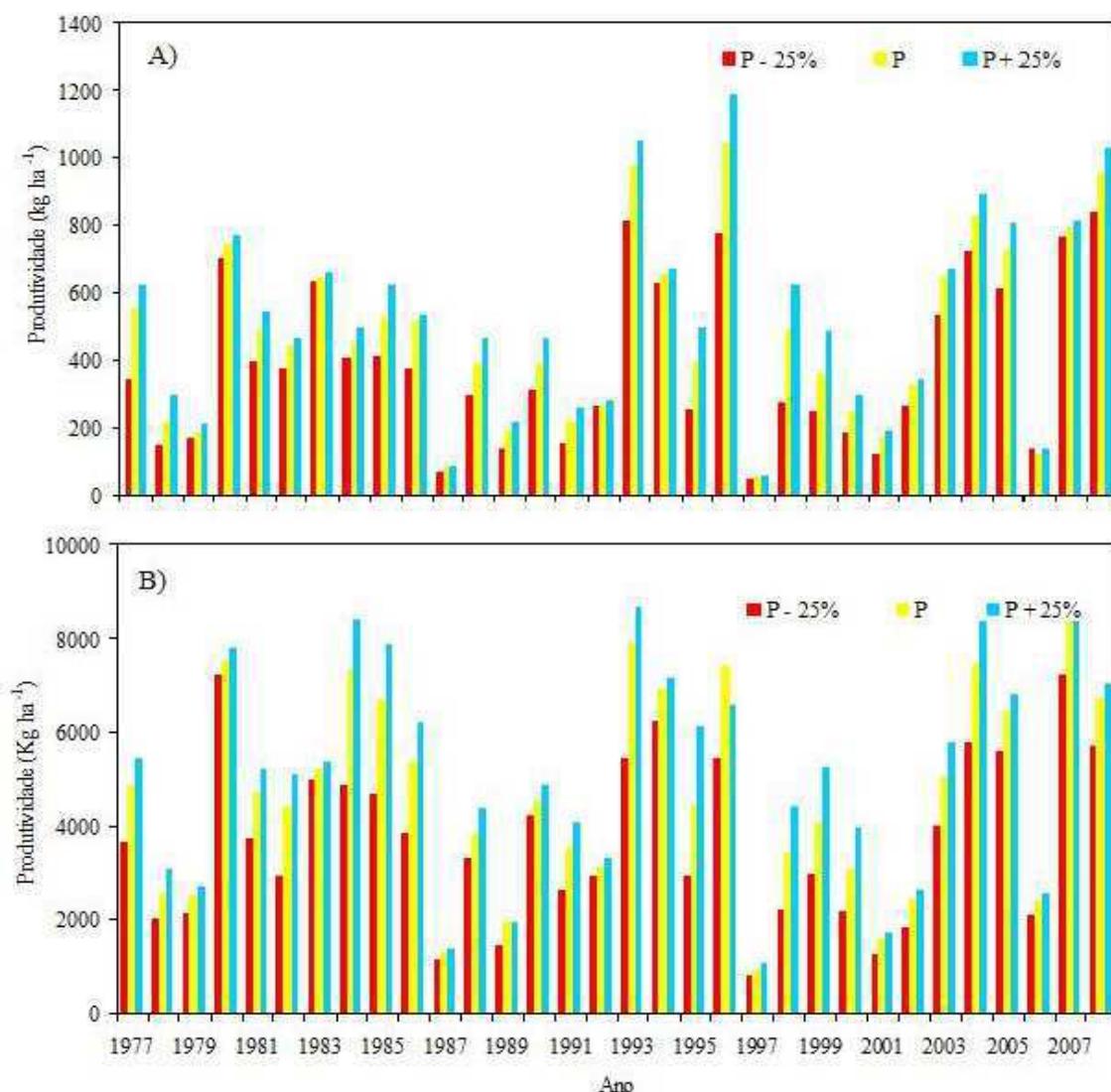


Figura 20. Avaliação da sensibilidade do modelo DSSAT à precipitação em função da produtividade do feijão (A) e do milho (B) cultivados em Juazeiro, BA.

O aumento na temperatura do ar das CCA para o cenário de 5°C produziu um decréscimo da produtividade média durante o período analisado de 62% para o feijão e

de 48,5% para o milho. A produtividade média do milho aumentou 10,5% com o aumento de 25% da precipitação e reduziu 20,7% com a diminuição da precipitação de 25%. A produtividade do feijão aumentou 10,7% com o aumento de precipitação e reduziu 18% com o decréscimo de chuva. Portanto, as produtividades das culturas de feijão e milho modeladas com o DSSAT para a região de Juazeiro, BA, são mais sensíveis a temperatura do ar extremas do que as anomalias positivas/negativas da precipitação provocadas pelos fenômenos El Niño e La Niña.

#### *4.5. Valoração econômica das culturas de milho e feijão*

O decreto nº 6.557, de 8 de setembro de 2008, da Presidência da República fixou os preços mínimos para sementes e produtos agrícolas para as safras de verão dos produtos regionais de 2008/2009 para as regiões Norte e Nordeste do Brasil. No presente estudo, foram utilizados os preços mínimos das sacas (60 kg) de feijão caupi e milho em R\$ 53,00 e R\$ 19,00, respectivamente, conforme estabelecidos nesse decreto.

As Tabelas 19 e 20 exibem a análise econômica das culturas de feijão caupi e milho cultivadas no NEB sob condições climáticas atuais, nos cenários de aumento de temperatura do ar e desvios de precipitação, em Juazeiro, BA, para o segundo decênio de janeiro. Tendo em vista que os custos de produção na cultura do feijão caupi são os mesmos para as CCA, bem como para todos os cenários climáticos, verifica-se a maior renda líquida para o desvio positivo de precipitação, com R\$ 120,34. Entretanto, para os incrementos de temperatura de 3,0 e 5,0°C, observam-se receitas líquidas negativas, gerando prejuízo 58,85 e R\$ 182,02, respectivamente (Tabela 19). Nas CCA, com a produtividade média de 471 kg ha<sup>-1</sup>, a renda líquida é muito baixa e, menor ainda, no cenário de 1,5°C, com R\$ 29,57. Essa renda pode ser maior em cultivos de agricultura familiar, haja vista que o custo operacional efetivo seria reduzido com a exclusão dos custos com a mão de obra. No Brasil, a agricultura familiar responde por sete de cada 10 empregos no campo e por cerca de 40% da produção agrícola. Atualmente, cerca de 35% dos alimentos que compõem a cesta alimentar distribuída pela CONAB se originam na agricultura familiar e, ainda, a maior parte dos alimentos que abastecem a mesa dos brasileiros vem das pequenas propriedades (CONAB, 2010). Como esperado, a relação benefício/custo do feijão caupi se mostrou maior com desvio positivo de precipitação e nas CCA, haja vista, que nessas condições climáticas ocorreram os

maiores valores de produtividade, e o custo de produção é o mesmo para todos os cenários.

Tabela 19. Indicadores econômicos da cultura de feijão caupi cultivado nas condições climáticas atuais (CCA), nos cenários de aumento de temperatura do ar e nos desvios de precipitação de -25 e +25% (Prec.) em Juazeiro, BA, no segundo decênio de janeiro.

Parâmetros	CCA	1,5°C	3,0°C	5,0°C	-25%Prec	+25%Prec
Produtividade média (Kgha <sup>-1</sup> )	471	418	318	179	386	521
Renda Bruta (R\$ ha <sup>-1</sup> )	415,67	369,38	280,96	157,79	340,75	460,15
Custo de produção (R\$ ha <sup>-1</sup> )*	339,81	339,81	339,81	339,81	339,81	339,81
Renda Líquida(R\$ ha <sup>-1</sup> )	75,86	29,57	-58,85	-182,02	0,94	120,34
Relação benefício/custo	1,22	1,09	0,83	0,46	1,00	1,35

\* Fonte: Conab (2010)

Para a cultura do milho, verifica-se situação semelhante à cultura do feijão caupi, ou seja, com o aumento da temperatura do ar e redução da precipitação ocorrem reduções dos indicadores econômicos (Tabela 20). Entretanto, como a produtividade média da cultura do milho é bastante alta, quando comparada com aquela do feijão, e os custos de produção das duas culturas são os mesmos, a renda líquida e a relação benefício custo da cultura do milho são bem maiores do que para a cultura do feijão.

Tabela 20. Indicadores econômicos da cultura de milho cultivado nas condições climáticas atuais (CCA), nos cenários de aumento de temperatura do ar e nos desvios de precipitação de -25 e +25% (Prec.) em Juazeiro, BA, no segundo decênio de janeiro.

Parâmetros	CCA	1,5°C	3,0°C	5,0°C	-25%Prec	+25%Prec
Produtividade média (Kgha <sup>-1</sup> )	4.617	3.972	3.305	2.377	3.661	5.104
Renda Bruta (R\$ ha <sup>-1</sup> )	1.462,09	1.257,78	1.046,53	752,80	1159,46	1.616,38
Custo de produção (R\$ ha <sup>-1</sup> )*	264,39	264,39	264,39	264,39	264,39	264,39
Renda Líquida(R\$ ha <sup>-1</sup> )	1.197,70	993,39	782,14	488,41	895,07	1.351,99
Relação benefício/custo	5,53	4,76	3,96	2,85	4,39	6,11

\* Fonte: Conab (2010).

Os resultados apresentados nas tabelas 19 e 20 indicam, ainda, que os aumentos na temperatura do ar e o decréscimo da precipitação de 5°C e de 25%, respectivamente, não provocam prejuízos com a exploração das culturas de feijão e milho. Esse resultado deve ser visto com cautela, porque, possivelmente, o modelo não respondeu corretamente às variações climáticas para essa cultura em face da ausência de dados para a sua calibração em campo.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados das análises do ISNA na avaliação dos riscos climáticos das culturas de milho e feijão cultivadas em sistema de sequeiro na região Nordeste do Brasil utilizando o SARRAZON, bem como da estimativa da produtividade dessas culturas numa localidade do semiárido dessa região com base no “software” DSSAT permitem concluir o seguinte:

1. O aumento na temperatura do ar pode afetar significativamente a disponibilidade de área agricultável das cultivares de feijão e milho no Nordeste do Brasil.
2. O acréscimo de 5°C na temperatura do ar provoca redução média, no período de novembro a março, nas áreas agricultáveis com as culturas de feijão e milho de 51,9 e 60,4%, respectivamente. Inversamente, o alto risco climático nesse mesmo período aumenta em torno de 11% entre as CCA e o cenário de 5°C para as duas culturas analisadas;
3. Mediante os cenários de aquecimento, a duração da estação de cultivo e a produtividade serão drasticamente reduzidos como consequência da redução da área agricultável das culturas de milho e feijão;
4. A época de semeadura de janeiro a março se apresenta menos afetada pelos cenários de aquecimento do ar do que a semeadura nos meses de novembro e dezembro ou de abril e maio, provavelmente em face da regularidade dos padrões da ITCZ na maior parte do NEB;
5. O médio risco climático permanece praticamente invariável dentro dos cenários de aquecimento para as duas culturas. A área cultivada com

feijão caupi oscilou entre 16,6% e 17,2% da área total do NEB; enquanto que a cultura do milho variou entre 13,8% nas CCA a 12,4% da área total do NEB no cenário de 5°C;

6. A época mais apropriada para o cultivo das culturas do milho e feijão no NEB é o segundo decêndio de janeiro, haja vista que a maior área com baixo risco e a menor com alto risco climático apresenta-se nesse período. As áreas com baixo risco climático estão localizadas na parte norte do NEB para a cultura do milho e para a cultura do feijão nas partes norte e oeste da região;
7. Em todos os cenários de aquecimento, bem como nas CCA a cultura do feijão apresenta maior área agricultável com baixo risco climático do que a cultura do milho. Essa diferença representa em média 104.447 km<sup>2</sup> nas CCA, ou seja, 6,8% de toda área do NEB;
8. O aumento da temperatura do ar ou a redução da precipitação provoca reduções significativas nos indicadores econômicos das culturas de feijão e milho cultivadas em sistema de sequeiro na região Nordeste do Brasil.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFONSI, R. R. Agrometeorologia e sua importância para uma agricultura racional. Boletim Climatológico. UNESP, Presidente Prudente, 1996.
- ANDRESEN, J. A., ALAGARSWAMY, G., ROTZ, C. A., RITCHIE, J. T., LEBARON, A. W. Weather impacts on maize, soybean, and alfalfa production in the Great Lakes region, 1895–1996. *Agronomy Journal*, v. 93, 1059–1070. 2001.
- ARAUJO, L. E. et al. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do Rio Paraíba. *Rev. bras. meteorol.* [online]. vol.23, n.2, pp. 162-169, 2008.
- ASSAD, E. D. ; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J.; FONSECA, M. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento de riscos climáticos para a cultura da soja no Brasil. In: XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Campinas: SBAGRO, 2005.
- ATTRI, S. D., RATHORE, L. S. Simulation of impact projected climate change on wheat in India. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, v.23, 693–705. 2003.
- AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B.; SILVA, V. P. R. Water requirements of irrigated mango orchards in Northeast Brazil. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.58, n.1, p.241-254. 2003.
- BANNAYAN, M., CROUT, N.M.J., HOOGENBOOM, G. Application of the CERES-Wheat model for within-season prediction of winter wheat yield in the United Kingdom. *Agronomy Journal*, v.95, 114–125. 2003.

- BARON, C.; PEREZ, P.; MARAUX, F. SARRAZON. Bilan hydrique applique au zonage. Paris, França. CIRAD, 1996. 26p.
- BERNARDO, S. Manual de irrigação. 6. ed. Viçosa: UFV, 1995. 656p.
- BRAGA, R. P.; CARDOSO, M. J.; COELHO, J. P. Crop model based decision support for maize (*Zea mays* L.) silage production in Portugal. *European Journal of Agronomy*, v.28, p. 224–233. 2008.
- BRITO, J. I. B & BRAGA, C. C. Chuvas no Estado da Paraíba em 2004. *Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia*. Vol. 28, p. 27 a 32. 2005.
- CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. *Computers and Graphics*, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.
- CAMPOS, J. H. B. da C.; 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*. vol.14, n.4, pp. 396-404, 2010.
- COELHO, A. M., FRANÇA, G. E. Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1995. 9p.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Avaliação da safra agrícola 2004/2005: sexto levantamento agosto de 2005. <http://www.conab.gov.br> (10 de abril de 2008).
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Avaliação da safra agrícola 2009/2010. <http://www.conab.gov.br> (01 de junho de 2010).
- CRAUFURD, P.Q.; BOJANG, M.; WHEELER, T.R.; SUMMERFIELD, R.J. Heat tolerance in cowpea: effect of timing and duration of heat stress. *Annals of Applied Biology*, v.133, p.257-267, 1998.
- DOORENBOS, J. & KASSAM, A. H. – Yield response to water. Rome. FAO, 1979. 197p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 33).
- DOORENBOS, J., KASSAM, A. H. Efeito da água no rendimento das culturas. *Estudos FAO – Irrigação e Drenagem* 33, Campinas Grande, UFPB, 1979. 306p.
- DOURADO-NETO, D.; TERUEL, D.A.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D.R.; FRIZZONE, J.A.; BACCHI, O.O.S. Principles of crop modeling and simulation. I.

- Uses of mathematical models in agricultural science. *Scientia Agricola*, v.55, p.46-50, 1998.
- EAGLEMAN, A. M. An experimentally derived model for actual evapotranspiration. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v.8, n.4/5, p.385-409, 1971.
- ELY, D. F.; ALMEIDA, I. R. de; SANT'ANNA NETO, J. L. Implicações políticas e econômicas, variabilidade climática e o rendimento da cultura do milho no estado do Paraná. In: *Revista do Departamento de Geociências*, Londrina: UEL. Londrina, v. 12, n. 1, 2003.
- ESPINOZA, E. S. Distúrbios nos ventos de leste no Atlântico tropical. Dissertação de Mestrado. São José dos Campos, INPE, 1996.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. Produção de milho. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.
- FARIA, R. T. DE; FOLEGATTI, M. V.; FRIZZONE, J. A.; SAAD, A. M. Determination of a long-term optimal irrigation strategy for dry beans in Parana state, Brazil. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.54, p.155-164, 1997. (Número especial).
- FIGUEIREDO JÚNIOR, L. G. M. de. Modelo para estimação da produtividade de grãos de milho no Estado de São Paulo, 2004. 68p. Tese (doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de Planejamento de irrigação: análise de decisão de investimento. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2005. Cap. 7, p. 283-314.
- HOEFT, R. G. Desafios para obtenção de altas produtividades de milho e soja nos EUA. *Informações Agronômicas*, v.104, p.1-4, 2003.
- HOOGENBOOM, G.; JONES, J. W.; WILKENS, P. W.; BATCHELOR, W. D.; BOWEN, W. T.; HUNT, L. A.; PICKERING, N. B.; SINGH, U.; GODWIN, D. C.; BAER, B.; BOOTE, K. J.; RITCHIE, J. T.; WHITE, J. W. CROPGRO. In: TSUJI, G.Y.; UEHARA, G.; BALAS, S. (Eds.). *Crop models: DSSAT v 3*. Honolulu: University of Hawaii, 1994. v.2, p.95-281.
- IBGE. LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA. Rio de Janeiro. v. 16-20, 2004-2008.

- IPCC, 2001. *Climate Change: The scientific basis*, IPCC third assessment report, Cambridge, University press, 944 pp.
- IPCC, 2007. *Climate Change: Summary for policymakers*. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- JAGTAP, S. S., JONES, J. W. Adaptation and evaluation of CROPGRO-Soybean model to predict regional yield and crop production. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.93, 73–85. 2002.
- JONES, J. W.; & J. R. RITCHIE. Crop growth models. In: G.J. Hoffman, T.A. Howell, and K.H. Solomon (ed.) *Management of farm irrigation systems*. Am. Soc. of Agric. Eng., St. Joseph, MI. p. 63-89. 1990.
- JONESA, P. G. & THORNTON, P. K. The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. *Global Environmental Change*, v.13, p.51-59. 2003.
- KANEMASU, E. T. Agrometeorological research in developing strategies for improved food production. In: ICRISAT (International Crops Research Institute for Semi-Arid Tropics. Niamey, Niger.p.23-30, 1996.
- KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R.; VANDERLIP, R. L.; ATWOOD, J. D.; REICOSKY, D. C.; MULLIKEN, J.; COX, W. J.; MASCANI Jr., H. J.; HOLLINGER, S. E.; WIEBOLD, W. J. Evaluation of two maize models for nine U. S. locations. *Agronomy Journal*, Madison, v.89, p.421-426, 1997.
- KOURESSY, M.; DINGHUN, M.; VAKSMAN, M.; HEINEMANN, A.B. Adaptation to diverse semi-arid environments of sorghum genotypes having different plant type and sensitivity to photoperiod. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.148, p.357-371, 2008.
- KOUSKY, V. E.; Frontal influences on northeast Brazil, *Monthly Weather Review*, v.107, n° 9, p. 1140-1153, 1979.
- KOUSKY, V. E.; GAN M. A. Upper tropospheric cyclones vórtices in the tropical south atlantic. *Tellus*, 33: 538-551. 1981.

- LASCH, P., LINDNER, M., ERHARD, M., SUCKOW, F., WENZEL, A. Regional impact assessment on forest structure and functions under climate change-the Brandenburg case study. *Forest Ecology and Management* 5909, 1–14. 2002.
- LÁZARO, R., RODRIGO, F. S., GUTIERREZ, F. D., PUIGDEFABREGAS, J. Analysis of a 30-year rainfall record (1967–19997) in semi-arid SE Spain for implications on vegetation. *Journal of Arid Environments* 48, 373–395. 2001.
- LIMA, M. G. Calibração e validação do modelo CERES-Maize em condições tropicais do Brasil. Piracicaba, 1995. 119p. Tese (doutorado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- LIRA, M. A.; AMORIM, J. R. A. DE, TORRES, J. F.; MEDEIROS, J. D. F. DE; GUEDES, F. X. Comportamento de cultivares de milho sob condições irrigadas. Natal: EMPARN, 1997. (EMPARN. Comunicado Técnico, 24).
- MACHADO, M. A. M. & MARENGO, A. J., Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos Sobre a Agricultura Brasileira. NewsLetter do projeto GOF-UK-CPTEC. Ano 1, v 2, p. 4-6. 2006.
- MAIA, F. M. M. Composição e caracterização nutricional de três cultivares de *Vigna unguiculata* (L.) Walp: EPACE-10, Olho de ovelha e IPA-206. Fortaleza: UFC, 1996. 87p. Dissertação Mestrado.
- MARENGO, J. 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. *Biodiversidade* 26, Brasília, Ministério do Meio Ambiente. 212p. 2006.
- MARTIN, N. B.; SERRA, R.; OLIVEIRA, M. D. M.; ÂNGELO, J. A.; OKAWA, H. Sistema integrado de custos agropecuários – CUSTAGRI. *Informações Econômicas*, São Paulo, v. 28, n. 1, 22p, 1998.
- MERA, R. J., NIYOGI, D., BUOL, G. S., WILKERSON, G. G., SEMAZZI, F. H. M. Potential individual versus simultaneous climate change effects on soybean (C3) and maize (C4) crops: An agrotechnology model based study. *Global and Planetary Change*, v.54, p.163–182. 2006.
- MERICO, L. F. K. Introdução à economia ecológica. In: NOGUEIRA, J. M.; MEDEIROS, M. A. A. & ARRUDA, F. S. T. *Valoração Econômica do Meio*

- Ambiente: Ciência ou Empiricismo? 50a Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), Natal-RN. 21p. 1998.
- MORRISON, J., QUICK, M. C., FOREMAN, M. G. G. Climate change in the Fraser River watershed: flow and temperature projections. *Journal of Hydrology* 263, 230–244. 2002.
- NIMER, E. Desertificação: realidade ou mito. *Revista Brasileira de Geografia* 50 (1), 1-39. OMM, 1992. Cambios climaticos, medio ambiente y desarrollo. Opiniones de dirigentes del mundo. Secretaria de la Organización Meteorológica Mundial, Ginebra (OMM, 772) 171p. 1988.
- NOBRE, C. A. Mudanças Climáticas Globais: Possíveis Impactos nos Ecossistemas Brasileiros, *Parcerias Estratégicas*, n. 12, setembro, 2001.
- NOBRE, C. A.; LAPOLA, D.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. F.; CARDOSO, M. & OYAMA, M. 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. Relatório No. 6. Mudanças Climáticas e possíveis alterações nos Biomas da América do Sul. Ministério do Meio Ambiente – MMA. Brasília – DF, 27p. 2007.
- OLIVEIRA, D. de, CARAMORI, P. H., GRODZKI, L.. Mudanças globais do clima: IAPAR e SEAB em busca de soluções. Londrina: IAPAR, 2007. 22 p.
- ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL - OMM. Cambios climáticos, medio ambiente y desarrollo. Opiniones de dirigentes del mundo. Secretaria de la Organización Meteorológica Mundial, Ginebra (OMM, 772) 171 p. 1992.
- ORTIZ R. A. Valoração Econômica Ambiental, In: MAY, P. et al. *Economia do Meio Ambiente* - Rio de Janeiro: Elsevier. 2003.
- PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA NO CLIMA - IPCC - Mudança do Clima 2007: a Base das Ciências Físicas. Sumário para os Formuladores de Políticas. Paris, 25p. 2007.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTENHAS, P. S. *Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas*. Cuiabá: Agropecuária, 2002. 208p.
- PESSOA, M. C. P. Y.; LUCHIARI JUNIOR, A.; Fernandes, E.N.; Lima, M.A. de. Principais modelos matemáticos e simuladores utilizados para a análise de impactos

- ambientais das atividades agrícolas. Jaguariúna: Embrapa-CNPMA, 1997. 83p. (Embrapa-CNPMA. Documentos, 8).
- PIMENTA, M. T.; SANTOS, M. J.; RODRIGUES, R. A. Susceptibilidade a Desertificação. *Revista Florestal* 11 (1), 27–33. 1998.
- POTGIETER, A. B., EVERINGHAM, Y. L., HAMMER, G. L. On measuring quality of a probabilistic commodity forecast for a system that incorporates seasonal climate forecasts. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, v.23, 1195–1210. 2003.
- POTGIETER, A.B., HAMMER, G.L., DOHERTY, A., de VOIL, P. A simple regional-scale model for forecasting sorghum yield across North-Eastern Australia. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.132, 143–153. 2005.
- QUIN, F. M. Introduction. In: Sing, B. B.; Mohan Raj, D. R.; Dashiel, K. E.; Jackal, L. E. N. (Ed.) *Advances in cowpea research*. Ibadan: IITA-JIRCAS, 1997. p. ix-xv.
- QUIRING, S. M.; LEGATES, D. R. Application of CERES-Maize for within-season prediction of rainfed corn yields in Delaware, USA. *Agricultural and Forest Meteorology*. (2008), doi:10.1016/j.agrformet.2008.01.09.
- RIJKS, D., BARADAS, M. W. The clients for agrometeorological information. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.103, 27–42. 2000.
- RITCHIE, J.T. A user orientated model of the soil water balance in wheat. In: Fry, E.; Atkin, T.K. (Eds.). *Wheat growth and modeling*. New York: NATO-ASI Ser., 1985. p. 293-305.
- RITCHIE, J.T., GODWIN, D.C., SINGH, U. Soil and weather inputs for the IBSNAT crop models. In: Proc. IBSNAT Symp.: Decision Support System for Agrotechnology Transfer, Las Vegas, NV.p. 16-18 october 1989.Par I: Symposium Proceedings. Honolulu : Dep. of Agronomy and soil Science. College of Tropical Agric. and Human Resources Univ. of Hawaii, 1990.
- SCHWALM, C. R., EK, A. R. Climate change and site: relevant mechanisms and modeling techniques. *Forest Ecology and Management* 150, 241-257. 2001.
- SILVA, V. P. R., CORREIA, A. A., COELHO, M. S. Análise de tendências das séries temporais de precipitação pluvial do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 2, 111-114. 1998.

- SILVA, V. P. R. On climate variability in Northeast of Brazil. *Journal of Arid Environment* 58, 575-596. 2004.
- SILVA, V. P. R ; AZEVEDO, P. V. de ; SILVA, B. B. da . Seasonal Patterns of the Energy Balance Components in a Mango (*Mangifera indica* L.) Orchard grown in Northeast Brazil. *Agricultural Journal, Pakistan*, v. 1, n. 1, p. 18-23, 2006.
- SILVA, V. P. R ; CAMPOS, J. H. B. C. ; AZEVED, Pedro V. de . Water-use efficiency and evapotranspiration of mango orchard grown in northeastern region of Brazil. *Scientia Horticulturae*, v. 102, p. 467-472, 2009.
- SILVA, V. P. R.; CAMPOS, J. H. B. da C.; SILVA, M. T.; AZEVEDO, P. V. de. Impact of global warming on cowpea bean cultivation in northeastern Brazil. *Agricultural Water Management*. 2010.
- SIQUEIRA, O. J. W., STEINMETZ, S., FERREIRA, M. F., COSTA, A.C., WOZNIAK, M.A. 2000. Mudanças climáticas projetadas através dos modelos GISS e reflexos na produção agrícola brasileira. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.8, n.2, p.311-320, 2000.
- SIVAKUMAR, M.V.K.; NTARE, B.R.; ROBERTS, J.M. Growth, yield and plant-water relations of four cowpea (*Vigna unguiculata*) cultivars in the Sahel. *Journal of Agricultural Science*, v.126, p.183-190, 1996.
- SOLER, C. M. T. Uso do Modelo Ceres-Maize para Previsão de Safra de Milho “Safrinha”. Piracicaba, 2004. 132p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- SOMBROEK, W. G.; GOMES, R. The climate change-Agriculture conundrum. In: Bazzaz, F.; Sombroek, W. *Global climate change and agricultural production*. New York: John Wiley & Sons Cap.1, p.1-14, 1996.
- SOUZA, W. M.; LACERDA, F. F. Análise das Precipitações Observadas no período de 1912 a 2004 no Alto Sertão Pernambucano. In: IX Congresso Argentino de Meteorología, 2005, Buenos Aires. *Tiempo, Clima, Agua y Desarrollo Sostenible*, 2005.
- STEINMETZ, S.; REYNIERS, F.N.; FOREST, F. Evaluation of the climatic risk on upland rice in Brazil. In: Colloque “Resistance A La Sécheresse En Milieu Intertropicale: Quelles Recherches Our Le Moyen Terme?”, Dakar. *Proceedings...* Paris: CIRAD. 43-54p., 1985

- SULTAN, B., BARON, C., DINGKUHN, M., SARR, B., JANICOT, S.. Agricultural impacts of large-scale variability of the West African monsoon. *Agr. Forest. Meteorol.* 128, 93-110p, 2005
- THORNTHWAITE, C. W., MATHER, R.J. The water Balance. New Jersey : Laboratory of Climatology, v. 8, 1955, 104 p. (Publication in Climatology).
- UVO, C. R. B. A zona de convergência intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação na região norte e nordeste brasileiro. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. INPE. São José dos Campos, 1989.
- VIANELO, R. L. & ALVES, A. R. Meteorologia Básica e Aplicações. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária 1991.
- WALKER, N. J., SCHULZE, R. E. Climate change impacts on agro-ecosystem sustainability across three climate regions in the maize belt of South Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.124, p. 114–124. 2008.
- WIT, C. T. de. Simulation of assimilation, respiration, and transpiration of crops. Wageningen: Centre for Agricultural Publishing and Documentation, 1978. 141p.
- WOSSINK, G. A. A. & ROSSING, W. A. H. On increasing returns and discrete choice: integrating production ecological principles in economic analysis of crop management. *Journal of Environmental Management*. 1998 54, p. 233–247, 1998.
- WUTKE, E. B.; ARRUDA, F. B.; FANCELLI, A. L.; PEREIRA, J. C V. N. A.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; AMBROSANO, G. M. B. Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.24, n.3, 2000.
- YIN, X. Quantifying the effects of temperature and photoperiod on phenological development to flowering in rice. Thesis (Ph.D.) - Wageningen Agricultural University, Wageningen. 173p, 1996.