



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



**GIRLENE FIGUEIREDO MACIEL**

**IMPACTOS ECONÔMICO-FINANCEIROS DAS VARIAÇÕES  
CLIMÁTICAS SOBRE OS CULTIVOS DE ARROZ E SOJA NO  
ESTADO DO TOCANTINS**

Área de Concentração: Processos Ambientais

Linha de Pesquisa: Climatologia Aplicada a Recursos Naturais

Campina Grande

2010

**Girlene Figueiredo Maciel**

**IMPACTOS ECONÔMICO-FINANCEIROS DAS VARIAÇÕES  
CLIMÁTICAS SOBRE OS CULTIVOS DO ARROZ E DA SOJA  
NO ESTADO DO TOCANTINS**

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

Orientadores: Prof. Dr. Pedro Vieira de Azevedo  
Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior

Campina Grande

2010

Girlene Figueiredo Maciel

**IMPACTOS ECONÔMICO-FINANCEIROS DAS VARIAÇÕES  
CLIMÁTICAS SOBRE OS CULTIVOS DO ARROZ E DA SOJA  
NO ESTADO DO TOCANTINS**

Banca Examinadora

---

Prof. Dr. Pedro Vieira de Azevedo (orientador)

---

Prof. Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior (orientador)

---

Prof. Dr. Gesinaldo Ataíde Cândido

---

Prof. Dr. Vicente de Paula Rodrigues da Silva

---

Prof. Dr. Mário de Miranda Villas Boas Ramos Leitão

---

Prof. Dr. Waldecy Rodrigues

Aos meus queridos pais,  
Antonio Mariano Maciel e  
Terezinha Figueiredo Maciel

DEDICO

A minha esposa Ana Alice  
e ao meu filho lúri

OFEREÇO

## **AGRADECIMENTOS**

Ao nosso grande Arquiteto do universo pela força espiritual para superar os momentos de angústia.

Aos Professores Dr. Pedro Vieira de Azevedo e Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior, pela orientação e amizade.

A Capes pelo incentivo financeiro concedido através da bolsa.

A Universidade Federal do Tocantins (UFT) pelo apoio na minha formação.

Ao colegiado de Engenharia Ambiental pela amizade e incentivo.

Aos colegas e amigos professores Torquato (in memória), Aurélio, Juan e Fernán pela amizade, incentivo e apoio.

Ao colega e amigo Professor Erich Collichio pelo incentivo, sugestões e contribuição ao revisar partes do trabalho.

Ao colega e amigo prof. Adriano Firmino pelas sugestões e incentivo.

Ao colega e amigo Prof. Joel Carlos Zukowski Junior pela presteza em ajudar na formatação final do trabalho.

Aos colegas do doutorado Gildarte, Maria José, Lincoln, João Hugo, Karina, Kalliana, Edimar, Luciano, Luiza, Mozaniel, Gonzaga, Israel, Josely e Waleska pela amizade e companheirismo.

A secretária Cleide pela amizade e gentileza no atendimento.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para o término desse trabalho o meu muito obrigado e minha gratidão.

## LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

$\delta$  – é o parâmetro de refinamento.

$\beta$  – é o peso da potência (o parâmetro potência); e

**AP** – Área Plantada

**BACEN** – Banco Central do Brasil

**CAD** – Capacidade de Água Disponível

**CMN** – Conselho Monetário Nacional

$d_{ij}$  – é a distância entre o ponto de grade “j” e o ponto mais próximo “i”;

**DPA** – Déficit Potencial de Água

**ET<sub>M</sub>** – Evapotranspiração Máxima

**ET<sub>R</sub>** – Evapotranspiração Real

$h_{ij}$  – é a separação efetiva entre o ponto de grade “j” e o ponto mais próximo “i”;

**IAC** – Índice Acumulado de Crescimento

**IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**Ih** – Índice Hídrico

**Im** – Índice de umidade

**IPCC** – Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas

**IPEA** – Instituto de Pesquisas Econômicas Agrícolas

**ISNA** – Índice de Satisfação da Necessidade de Água

**MAPA** – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

**MDA** – Ministério do Desenvolvimento Agrário

**PIB** – Produto Interno Bruto

**PROAGRO** – Programa de Garantia da Atividade Agropecuária

**PrecM** – Preço Médio Pago ao Produtor

**ProdM** – Produtividade Média

**RPE<sub>i</sub>** – Receita Potencial Estimada

**RPE<sub>CA</sub>** – Receita Potencial Estimada para o Cenário Climático Atual

**SARRA** – Sistema de Análise Regionais dos Riscos Agroclimáticos

**SARRAMET** – Módulo do SARRA para digitação dos dados

**SARRAZON** – Módulo do SARRA que realiza o balanço hídrico e calcula os ISNA’s

**SCA** – Situação Climática Atual

**SEAGRO** – Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento

**SIG** – Sistema de Informações Geográficas

**VRPE** – Variação da Receita Potencial Estimada

$Z_i$  – é o ponto mais próximo;

$\hat{Z}_j$  – é o valor interpolado para o ponto de grade “j”;

## RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo principal avaliar os impactos econômico-financeiros das possíveis variações climáticas sobre a área apta aos cultivos de soja e arroz de sequeiro no Estado do Tocantins. Utilizou-se como ponto de partida as projeções de aumento de temperatura do ar apresentadas pelo IPCC(2007), através dos cenários: o otimista–B1(+1,8°C), o intermediário–A1B(+2,8°C) e o pessimista–A1F1(+4,0°C). Em função das fortes incertezas sobre o padrão de precipitação considerou-se uma variação de  $\pm 10\%$  associada a esses cenários. A metodologia se fundamentou em três distintas etapas. A primeira foi delimitar e quantificar a área apta a partir do balanço hídrico e técnicas de geoprocessamento; a segunda foi determinar a receita bruta potencial com base nos dados de produtividade média, preço médio e área apta (baixo risco climático); e a terceira foi estimar os possíveis impactos econômico-financeiros obtidos pela diferença da receita bruta potencial estimada entre os cenários de aumento da temperatura e a situação climática atual. De acordo com os resultados percebe-se que as possíveis variações climáticas podem mudar o panorama agrícola do Tocantins, dependendo da intensidade da variação. Constata-se que o aumento da oferta hídrica em alguns casos pode inibir os efeitos provocados por alguns aumentos de temperatura do ar sobre a área apta aos cultivos em solos de textura média. Portanto, devem-se buscar por práticas agrícolas que melhorem a capacidade de retenção hídrica dos solos. Os resultados mostram ainda que os impactos econômico-financeiros (perdas econômicas) foram mais acentuados para semeadura no início e final da estação de cultivo.

**Palavras-chave:** Variação climática, balanço hídrico, estação de cultivo, cenários climáticos, receita bruta potencial

## ABSTRACT

The main objective of this research has been to evaluate the economic-financial impacts of possible climatic variations on the area fit for the cultivation of soybean and dryland rice in the State of Tocantins. As starting point we utilized the air temperature increase projections presented by IPCC(2007), through the scenarios: optimistic–B1(+1.8°C), intermediate–A1B(+2.8°C) and pessimistic–A1F1(+4.0°C). As a function of the strong uncertainties about the rainfall standard, a variation of  $\pm 10\%$  was considered, associated to such scenarios. The methodology was based on three distinct stages. The first one was to delimitate and quantify the fit area from the hydrologic balance and geoprocessing techniques; the second was to determine the potential gross revenue based on mean productivity data, mean price and fit area (low climatic risk); and the third one was to estimate the possible economic-financial impacts obtained by the difference of the estimated potential gross revenue between the temperature increase scenarios and the present climatic situation. According to the results, one perceives that the possible climatic variations may change the agricultural outlook of Tocantins, depending on the intensity of the variation. One verifies that the increase of the offer of water resources may in some cases inhibit the effects caused by some air temperature increases on the area fit for cultivation in mean texture soils. Therefore, agricultural practices should be sought that improve the soils' capacity of retaining water resources. The results further show that the economic-financial impacts (economic losses) have been stronger for sowing at the beginning and end of the cultivation season.

**Key-words:** Climatic variation, hydrologic balance, cultivation season, climatic scenarios, potential gross revenue

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Localização da área de estudo .....	41
<b>Figura 2</b> – Delimitação das Regiões Fitoecológicas do Estado do Tocantins.....	43
<b>Figura 3</b> – Distribuição espacial dos tipos de solos do Tocantins .....	45
<b>Figura 4</b> – Espacialização do tipos climáticos (regionalização climática) do Estado do Tocantins .....	47
<b>Figura 5</b> – Espacialização da temperatura média anual do estimada para o Estado do Tocantins. ....	49
<b>Figura 6</b> – Distribuição espacial do total médio anual da precipitação no Estado do Tocantins para o período entre 1961-1990.....	50
<b>Figura 7</b> – Distribuição espacial das estações pluviométricas. ....	53
<b>Figura 8</b> – Esquema da simulação do balanço hídrico e cálculo do ISNA (período de enchimento de grãos). ....	57
<b>Figura 9</b> – Espacialização dos riscos climáticos, para o arroz de terras altas em solos tipo1 nas semeaduras de 15 a24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), para a SCA, no Estado do Tocantins.....	60
<b>Figura 10</b> – Espacialização dos riscos climáticos, para o arroz de terras altas em solos tipo2 nas semeaduras de 15 a24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), para a SCA, no Estado do Tocantins.....	61
<b>Figura 11</b> – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário climático otimista, para o arroz de terras altas em solos tipo 1, nas semeaduras de 15 a24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), para a SCA, no Estado do Tocantins.....	64
<b>Figura 12</b> – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário climático otimista, para o arroz de terras altas em solos tipo 2, nas semeaduras de 15 a24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins. ....	64
<b>Figura 13</b> – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário otimista – primeiro caso, para o arroz de terras altas em solos tipo 1, nas semeaduras de 15	

a24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins.....	66
<b>Figura 14</b> – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário otimista – primeiro caso, para o arroz de terras altas em solos tipo 2, nas semeaduras de 15 a24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins.....	67
<b>Figura 15</b> – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário otimista segundo caso, para o arroz de terras altas em solos tipo 1, nas semeaduras de 15 a24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins.....	69
<b>Figura 16</b> – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário otimista segundo caso, para o arroz de terras altas em solos tipo 2, nas semeaduras de 15 a24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins.....	70
<b>Figura 17</b> – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário intermediário, para o arroz de terras altas em solos tipo 1, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins. ....	72
<b>Figura 18</b> – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário intermediário, para o arroz de terras altas em solos tipo 2, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins. ....	73
<b>Figura 19</b> – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário climático intermediário primeiro caso, para o arroz de terras altas em solos tipo 1, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins. ....	75
<b>Figura 20</b> – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário climático intermediário primeiro caso, para o arroz de terras altas em solos tipo 2, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins. ....	76

<b>Figura 21</b> – Espacialização dos riscos climáticos, nas condições do cenário climático intermediário segundo caso, para o arroz de terras altas em solos tipo 1, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins .....	78
<b>Figura 22</b> – Espacialização dos riscos climáticos, nas condições do cenário climático intermediário segundo caso, para o arroz de terras altas em solos tipo 2, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins .....	79
<b>Figura 23</b> – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário climático pessimista, para o arroz de terras altas em solos tipo 1, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins. ....	81
<b>Figura 24</b> – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário climático pessimista, para o arroz de terras altas em solos tipo 2, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins .....	82
<b>Figura 25</b> – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário climático pessimista primeiro caso, para o arroz de terras altas em solos tipo 1, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins .....	83
<b>Figura 26</b> – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário climático pessimista primeiro caso, para o arroz de terras altas em solos tipo 2, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins .....	84
<b>Figura 27</b> – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário climático pessimista segundo caso, para o arroz de terras altas em solos tipo 1, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins .....	85
<b>Figura 28</b> – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário climático pessimista segundo caso, para o arroz de terras altas em solos tipo 2, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins. ....	86

- Figura 29** – Mapas de risco climático para a soja, sob as condições da SCA, em solos tipo 1, para as semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins..... 88
- Figura 30** – Mapas de risco climático para a soja, sob as condições da SCA, em solos tipo 2, para as semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins..... 88
- Figura 31** – Mapas de risco climático para a soja, em solos tipo 1, para o cenário climático otimista nas épocas de semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins. .... 90
- Figura 32** – Mapas de risco climático para a soja, em solos tipo 2, para o cenário climático otimista nas épocas de semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins. .... 91
- Figura 33** – Mapas de risco climático para a soja, em solos tipo 1, para o cenário climático otimista primeiro caso nas épocas de semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins. .... 92
- Figura 34** – Mapas de risco climático para a soja, em solos tipo 2, para o cenário otimista primeiro caso nas épocas de semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins..... 93
- Figura 35** – Mapas de risco climático para soja em solos tipo 1, nas épocas de semeadura de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D) para o cenário climático otimista segundo caso, no Estado do Tocantins..... 94
- Figura 36** – Mapas de risco climático para a soja em solos tipo 2, nas épocas de semeadura de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D) para o cenário climático otimista segundo caso, no Estado do Tocantins..... 95
- Figura 37** – Mapas de risco climático para a soja em solos tipo 1, nas épocas de semeadura de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D) para o cenário climático intermediário, no Estado do Tocantins..... 96
- Figura 38** – Mapas de risco climático para a soja em solos tipo 2, nas épocas de semeadura de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D) para o cenário climático intermediário, no Estado do Tocantins..... 97

- Figura 39** – Mapas de risco climático para a soja em solos tipo 1, nas épocas de semeadura de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D) para o cenário climático intermediário primeiro caso, no Estado do Tocantins..... 98
- Figura 40** – Mapas de risco climático para a soja em solos tipo 2, nas épocas de semeadura de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D) para o cenário intermediário primeiro caso, no Estado do Tocantins. .... 99
- Figura 41** – Mapas de risco climático para a soja em solos tipo 1, nas épocas de semeadura de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D) para o cenário climático intermediário segundo caso, no Estado do Tocantins. .... 100
- Figura 42** – Mapas de risco climático para a soja em solos tipo 2, nas épocas de semeadura de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D) para o cenário climático intermediário segundo caso, no Estado do Tocantins. .... 101
- Figura 43** – Mapas de risco climático para a soja em solos tipo 1, nas épocas de semeadura de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D) para o cenário climático pessimista, no Estado do Tocantins..... 102
- Figura 44** – Mapas de risco climático para a soja em solos tipo 2, nas épocas de semeadura de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D) para o cenário climático pessimista, no Estado do Tocantins..... 103
- Figura 45** – Mapas de risco climático para a soja em solos tipo 1, nas épocas de semeadura de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D) para o cenário climático pessimista primeiro caso, no Estado do Tocantins..... 104
- Figura 46** - Mapas de risco climático para a soja em solos tipo 2, nas épocas de semeadura de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D) para o cenário climático pessimista primeiro caso, no Estado do Tocantins..... 105
- Figura 47** – Mapas de risco climático para a soja em solos tipo 1, nas épocas de semeadura de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D) para o cenário climático pessimista segundo caso, no Estado do Tocantins. .... 106
- Figura 48** – Mapas de risco climático para a soja em solos tipo 2, nas épocas de semeadura de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D) para o cenário climático pessimista segundo caso, no Estado do Tocantins. .... 107

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Características dos principais tipos de zoneamento.....	30
<b>Tabela 2</b> – Coeficiente de cultura (Kc) por decêndio para a cultura da soja e do arroz .....	53
<b>Tabela 3</b> – Reserva útil de água no solo (mm). .....	55
<b>Tabela 4</b> – Áreas aptas com baixo risco climático (km <sup>2</sup> ) para cultivo do arroz de terras altas, de ciclo precoce (110 dias), sob as condições climáticas do cenário atual e os respectivos percentuais em relação à área do Estado do Tocantins.....	62
<b>Tabela 5</b> – Receita bruta potencial estimada proveniente do cultivo de arroz de terras altas no Estado do Tocantins, para a SCA. ....	62
<b>Tabela 6</b> – Áreas aptas com baixo risco climático (km <sup>2</sup> ) para cultivo do arroz de terras altas, de ciclo precoce (110 dias), sob as condições climáticas do cenário otimista e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à SCA no Estado do Tocantins. ....	65
<b>Tabela 7</b> – Variação da receita bruta potencial estimada ou impacto econômico-financeiro (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção de arroz de terras altas no Estado do Tocantins, para o <i>cenário otimista</i> em relação a SCA.....	65
<b>Tabela 8</b> – Áreas aptas (km <sup>2</sup> ) para cultivo do arroz de terras altas, de ciclo precoce (110 dias), para o <i>cenário otimista primeiro caso</i> e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à SCA, no Estado do Tocantins. ....	68
<b>Tabela 9</b> – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção de arroz de terras altas no Estado do Tocantins, para o cenário otimista primeiro caso, em relação à SCA, para solos e épocas de semeaduras distintas.....	68
<b>Tabela 10</b> – Áreas aptas (km <sup>2</sup> ) para cultivo do arroz de terras altas, de ciclo precoce (110 dias), para o cenário otimista segundo caso e os respectivos percentuais de área, em relação à SCA, no Estado do Tocantins. ....	71
<b>Tabela 11</b> – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção de arroz de terras altas no Estado do Tocantins, para o cenário otimista segundo caso, em relação a SCA. ....	71

- Tabela 12** – Áreas aptas (km<sup>2</sup>) para cultivo do arroz de terras altas, de ciclo precoce (110 dias), sob as condições do cenário intermediário e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à SCA, para tipos de solos e época de semeadura distintas, no Estado do Tocantins. .... 74
- Tabela 13** – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção de arroz de sequeiro no Estado do Tocantins, para o cenário intermediário, em relação à SCA. .... 74
- Tabela 14** – Áreas aptas (km<sup>2</sup>) para cultivo do arroz de terras altas, de ciclo precoce (110 dias), sob as condições do cenário intermediário primeiro caso e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à SCA em tipos de solos e época de semeaduras distintas, no Estado do Tocantins ..... 76
- Tabela 15** – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção de arroz de terras altas no Estado do Tocantins, para o cenário intermediário, em relação a SCA. .... 77
- Tabela 16** – Áreas aptas com baixo risco climático (km<sup>2</sup>) para cultivo do arroz de terras altas, de ciclo precoce (110 dias), sob as condições climáticas do cenário intermediário: segundo caso e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à situação atual, no Estado do Tocantins ..... 79
- Tabela 17** – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 em valores atuais) proveniente da produção de arroz de terras altas no Estado do Tocantins, para o cenário intermediário segundo caso, em relação a SCA. .... 80
- Tabela 18** – Áreas aptas (km<sup>2</sup>) para cultivo do arroz de terras altas, de ciclo precoce (110 dias), sob as condições do cenário pessimista e os respectivos percentuais, em relação a SCA, no Estado do Tocantins. .... 82
- Tabela 19** – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção de arroz de terras altas no Estado do Tocantins, para o cenário pessimista, em relação a SCA. .... 82
- Tabela 20** – Áreas aptas (km<sup>2</sup>) para cultivo do arroz de terras altas, de ciclo precoce (110 dias), sob as condições do *cenário* pessimista primeiro caso e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à SCA, no Estado do Tocantins. .... 84

<b>Tabela 21</b> – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção de arroz de terras altas no Estado do Tocantins, para o cenário pessimista primeiro caso, em relação a SCA. ....	85
<b>Tabela 22</b> – Áreas aptas (km <sup>2</sup> ) para cultivo do arroz de terras altas, de ciclo precoce (110 dias), sob as condições do cenário pessimista segundo caso e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à SCA, no Estado do Tocantins. ....	86
<b>Tabela 23</b> – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção potencial bruta de arroz de terras altas no Estado do Tocantins, para o cenário pessimista segundo caso, em relação a SCA, considerando os distintos tipos de solos e épocas de semeadura. ....	87
<b>Tabela 24</b> – Áreas aptas (km <sup>2</sup> ), para cultivo de soja sob as SCA e os respectivos percentuais em relação à área do Estado do Tocantins. ....	89
<b>Tabela 25</b> – Receita bruta potencial estimada (R\$ bilhões) proveniente da produção de soja, no Estado do Tocantins, para a SCA. ....	89
<b>Tabela 26</b> – Áreas aptas (km <sup>2</sup> ) para cultivo da soja, de ciclo precoce (110 dias), sob as condições do cenário otimista e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à SCA, no Estado do Tocantins. ....	90
<b>Tabela 27</b> – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção de soja, no Estado do Tocantins, para o cenário climático otimista, em relação à SCA, para os distintos tipos de solos e épocas de semeadura. ....	91
<b>Tabela 28</b> – Áreas aptas (km <sup>2</sup> ) para o cultivo da soja, de ciclo precoce (110 dias), sob as condições climáticas do cenário otimista primeiro caso e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à SCA, no Estado do Tocantins. ....	93
<b>Tabela 29</b> – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção de soja, no Estado do Tocantins, para o cenário otimista primeiro caso, em relação à SCA. ....	93
<b>Tabela 30</b> – Áreas aptas (km <sup>2</sup> ) para cultivo da soja, de ciclo precoce (110 dias), sob as condições do cenário otimista segundo caso e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à SCA, no Estado do Tocantins. ....	95

<b>Tabela 31</b> – Variação da receita bruta potencial (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção de soja, no Estado do Tocantins, para o cenário otimista segundo caso, em relação a SCA.....	95
<b>Tabela 32</b> – Áreas aptas (km <sup>2</sup> ) para o cultivo da soja, sob as condições do cenário intermediário, e os respectivos percentuais de diminuição em relação a SCA. ...	97
<b>Tabela 33</b> – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção de soja, no Estado do Tocantins, para o cenário intermediário, em relação à SCA.....	97
<b>Tabela 34</b> – Áreas aptas (km <sup>2</sup> ) para cultivo da soja, sob as condições do cenário intermediário primeiro caso e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à SCA, no Estado do Tocantins. ....	99
<b>Tabela 35</b> – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 reais em valores atuais) proveniente do cultivo soja, no Estado do Tocantins, do cenário climático intermediário primeiro caso em relação ao <i>cenário climático atual</i> , considerando os distintos tipos de solos e épocas de semeadura.....	99
<b>Tabela 36</b> – Áreas aptas (km <sup>2</sup> ) para cultivo de soja, sob as condições do cenário intermediário segundo caso, e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à SCA, no Estado do Tocantins.....	101
<b>Tabela 37</b> – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção de soja, no Estado do Tocantins, para o cenário climático intermediário segundo caso em relação à SCA.....	102
<b>Tabela 38</b> – Áreas aptas (km <sup>2</sup> ) para cultivo da soja, sob as condições do cenário climático pessimista e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à SCA, no Estado do Tocantins.....	103
<b>Tabela 39</b> – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção de soja, no Estado do Tocantins, para o cenário climático pessimista, em relação à SCA. ....	104
<b>Tabela 40</b> – Áreas aptas (km <sup>2</sup> ) para cultivo da soja, sob as condições climáticas do cenário pessimista primeiro caso e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à SCA, no Estado do Tocantins. ....	105

- Tabela 41** – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção de soja, no Estado do Tocantins, para o cenário climático intermediário primeiro caso, em relação à SCA..... 106
- Tabela 42** – Áreas aptas (km<sup>2</sup>) para cultivo da soja, sob as condições climáticas do cenário climático pessimista segundo caso, e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à SCA, no Estado do Tocantins..... 107
- Tabela 43** – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção de soja, no Estado do Tocantins, do cenário climático pessimista segundo caso, em relação à SCA, considerando os distintos tipos de solos e épocas de semeadura ..... 108

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	22
1.1	Problemática e Justificativa .....	24
1.2	Objetivos .....	24
1.2.1	Geral.....	24
1.2.2	Específicos.....	25
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	26
2.1	Mudanças Climáticas e Agricultura .....	26
2.2	Os principais tipos de zoneamento agrícola e importância.....	29
2.3	Zoneamento agrícola de risco climático .....	32
2.4	Valoração e economia ambiental. ....	34
2.5	Exigências climáticas das culturas da soja e do arroz .....	36
2.5.1	Soja .....	36
2.5.2	Arroz .....	37
2.6	Calendário agrícola para o arroz e a soja no Estado do Tocantins.....	38
2.6.1	Arroz .....	39
2.6.2	Soja .....	39
3	METODOLOGIA .....	40
3.1	Localização da área de estudo.....	40
3.2	Caracterização da região de estudo. ....	40
3.2.1	Vegetação.....	40
3.2.2	Solos.....	44
3.2.3	Relevo .....	44
3.2.4	Clima.....	46
3.3	Procedimentos metodológicos .....	50
3.3.1	Zoneamento de risco climático.....	52
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	60
4.1	Distribuição dos riscos climáticos para o cultivo do arroz de terras altas .....	60
4.1.1	Situação climática Atual .....	60
4.1.2	Cenário Otimista.....	63
4.1.3	Cenário Otimista PRIMEIRO CASO .....	66
4.1.4	Cenário Otimista SEGUNDO CASO .....	68

4.1.5	Cenário Intermediário .....	72
4.1.6	Cenário Intermediário PRIMEIRO CASO.....	75
4.1.7	Cenário Intermediário SEGUNDO CASO.....	77
4.1.8	Cenário Pessimista.....	80
4.1.9	Cenário Pessimista PRIMEIRO CASO .....	83
4.1.10	Cenário Pessimista SEGUNDO CASO .....	85
4.2	Distribuição dos riscos climáticos para o cultivo da soja.....	87
4.2.1	Cenário Climático Atual .....	87
4.2.2	Cenário Otimista.....	89
4.2.3	Cenário Otimista PRIMEIRO CASO .....	91
4.2.4	Cenário Otimista SEGUNDO CASO .....	94
4.2.5	Cenário Intermediário .....	96
4.2.6	Cenário Intermediário PRIMEIRO CASO.....	98
4.2.7	Cenário Intermediário SEGUNDO CASO.....	100
4.2.8	Cenário Pessimista.....	102
4.2.9	Cenário Pessimista PRIMEIRO CASO .....	104
4.2.10	Cenário Pessimista SEGUNDO CASO .....	106
5	CONCLUSÕES .....	109
	REFERÊNCIAS .....	110

## 1 INTRODUÇÃO

O Estado do Tocantins apresenta uma vocação econômica voltada ao agronegócio e alicerçada na pecuária e agricultura, e ao longo da última década vem despontando como uma promissora fronteira agrícola no país. Segundo a Secretaria da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Tocantins – SEAGRO (2007), o Estado encontra-se em franca ocupação agrícola, favorecido por fatores, como: i) área disponível para a exploração comercial de diversas culturas; ii) relativa vantagem da localização geográfica para o escoamento da produção, e iii) condições edafo-climáticas predominantes favoráveis.

Estes fatores, aliados às ações desenvolvidas pelo governo estadual, no âmbito da infra-estrutura, têm contribuído para um aumento expressivo na produção agrícola do Estado. Ainda, de acordo com dados da SEAGRO (2007), o Tocantins tem como atividade econômica expressiva a criação de gado bovino de corte, seguida pela produção de soja e arroz. Neste sentido, as culturas da soja e arroz têm significado determinante para a economia tocantinense.

A soja, por sua vez, tem liderado o “ranking” das exportações e da produção de grãos no Estado sendo que na safra 2008/2009 foi cultivada numa área de 288.670 hectares cuja produção foi de 800.136 toneladas (IBGE, 2007). Já para o arroz de terras altas, na safra 2008/2009 a área cultivada foi de 75.948 hectares, correspondendo a uma produção de 139.275 toneladas (IBGE, 2007).

A agricultura, portanto, constitui um dos alicerces da economia tocantinense, sobretudo na geração de trabalho e renda para o setor agroindustrial e receita para o Estado por meio das exportações.

Apesar de sua importância para o Estado, a agricultura, dentre todos os setores econômicos, é a que apresenta maior dependência das condições ambientais, especialmente as climáticas. Dessa forma, a grande variabilidade interanual dos principais componentes climáticos, na região dos cerrados tocantinense, torna a agricultura uma atividade de alto risco.

Segundo Castro *et al.*(1994), dos componentes climáticos, a precipitação pluviométrica é um dos fatores que mais afetam a produção agrícola, devido ao seu caráter aleatório, aumentando, conseqüentemente, os riscos na programação das atividades agrícolas.

Esta variabilidade pode tornar-se, ainda mais forte, é o que mostram os resultados do Quarto Relatório de Avaliação das Mudanças Climáticas Globais (AR4) divulgados pelo IPCC, em fevereiro de 2007. De acordo com esses resultados, pode ocorrer um aumento médio global

das temperaturas entre 1,8°C e 4,0°C até 2100 (IPCC, 2007). Esse aumento pode ser ainda maior (6,4°C), se a população e a economia continuarem crescendo rapidamente e se for mantido o consumo intenso dos combustíveis fósseis. Entretanto, a estimativa mais confiável indica um aumento médio de 3°C, assumindo que os níveis de dióxido de carbono se estabilizem em 45% acima da taxa atual (AVILA, 2007).

Em relação à precipitação pluvial, embora exista uma compreensão cada vez melhor dos padrões projetados de precipitação, ainda assim, é grande a discordância no que diz respeito ao sinal e ao percentual da mudança, enquanto alguns modelos apontam para anomalias positivas de precipitação sobre a Amazônia e Nordeste Brasileiro, outros apontam para anomalias negativas (GIORGI e FRANCISCO, 2000; OYAMA, 2002, apud NOBRE *et al.*, 2007).

Essa combinação de aquecimento do planeta e mudanças no padrão de distribuição da precipitação pluvial indica menos água disponível, o que tem um forte impacto na agricultura e nos recursos hídricos (NOBRE *et al.*, 2007).

Assim, é de se esperar que diante de um quadro que aponta para possíveis e significativas alterações ambientais provocadas por essa combinação, os países em desenvolvimento, por terem uma baixa capacidade de se adaptarem mais rapidamente a nova situação, sejam os mais duramente atingidos pelos seus efeitos.

Para o Brasil, isso é reforçado pela sua economia fortemente dependente dos recursos naturais diretamente ligados ao clima na agricultura, na geração de energia hidroelétrica, dentre outros setores (MUDANÇA DO CLIMA, 2005; FISCHER *et al.*, 2005; PELLEGRINO, 2007; NOBRE, 2008a).

Neste contexto, percebe-se a vital importância do desenvolvimento de pesquisas que visem um melhor entendimento dos efeitos do aquecimento global sobre a agricultura e que venham subsidiar/criar mecanismos de adaptação e mitigação desse fenômeno.

Com esse intuito, vários estudos simulando os impactos do aquecimento global sobre a agricultura por meio de modelos matemáticos foram apresentados por Siqueira *et al.* (2001) para o trigo, milho e soja; por Marengo (2001); Assad *et al.* (2004) para o café; por Nobre *et al.* (2005) para o milho, feijão, arroz, soja e café e por Zullo Júnior *et al.* (2006) para milho, feijão, arroz, soja e café. Estes autores apresentam ainda as perdas econômicas anuais provocadas pelo aumento de 1°C na temperatura, chegando a valores de 375 milhões de dólares para o café, somando os Estados de Minas Gerais, Paraná e São Paulo, e 61 milhões de dólares para o milho em São Paulo.

Portanto, sendo o Tocantins um Estado cuja economia é alicerçada pelas atividades agropecuárias, torna-se cada vez mais imperativo que pesquisas sejam realizadas no intuito de

conhecer a vulnerabilidade ambiental aos cultivos do arroz e da soja de sequeiro, diante das possíveis mudanças climáticas (IPCC, 2007), com base em ferramentas como o zoneamento de risco climático das culturas.

## **1.1 Problemática e Justificativa**

A agricultura é uma atividade altamente dependente das variáveis climáticas, tais como temperatura, pluviosidade, umidade do solo e radiação solar. Os principais efeitos das alterações dessas variáveis sobre a agricultura, sem dúvida, produzem reflexos na produtividade e no manejo das culturas, como irrigação, controle de pragas e doenças, etc., bem como nos sistemas sócio-econômicos. A temperatura do ar é, entre os elementos climáticos, o que promove maiores efeitos diretos e significativos sobre muitos processos fisiológicos que ocorrem em plantas e animais; portanto, seu conhecimento é fundamental nos estudos de planejamento agrícola e em análises de adaptação de culturas em diferentes regiões.

Para que haja uma redução dos riscos climáticos para a agricultura e consequente diminuição das perdas para os agricultores, tornou imprescindível identificar, quantificar e mapear as áreas mais favoráveis ao plantio das culturas do arroz e da soja de sequeiro no Estado do Tocantins, levando-se em conta a oferta climática e, mais especificamente, a distribuição das chuvas.

Diante da escassez de informações voltadas exclusivamente para as condições agroambientais do Tocantins, realizou-se esse estudo no sentido de avaliar a influência não só no que diz respeito à quantificação das áreas de riscos climáticos, das mais indicadas ao plantio das culturas do arroz e da soja de sequeiro. Além disso buscou-se responder como as mudanças climáticas decorrentes do aquecimento global, podem alterar o zoneamento de risco climático dessas culturas, bem como quantificar os possíveis impactos econômico-financeiros deste fenômeno.

## **1.2 Objetivos**

### *1.2.1 Geral*

Analisar o impacto econômico-financeiro das variações climáticas sobre os cultivos de arroz e de soja de sequeiro no Estado do Tocantins, a partir do zoneamento de risco climático.

### 1.2.2 *Específicos.*

- Delimitar as áreas de riscos climáticos para os cultivos do arroz e da soja sob as condições climáticas dos vários cenários considerados;
- Quantificar os impactos das variações climáticas sobre as áreas de baixo risco climático para os cultivos de arroz e soja;
- Quantificar em termos econômicos os possíveis impactos das variações climáticas sobre a área apta a esses cultivos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Mudanças Climáticas e Agricultura

Segundo Nobre et al. (2008b), ainda, são poucos os estudos que tem tratado da questão dos impactos das mudanças climáticas na agricultura brasileira a partir de cenários futuros de mudanças climáticas fundamentados em modelos climáticos globais, e destaca as pesquisas desenvolvidas por Siqueira et al. (1994), Siqueira et al. (2000 e 2001) e Travassos et al. (2004) para os cultivos de trigo, milho e soja. Outros estudos que avaliaram os impactos das mudanças sobre a agricultura, com base em modelagem matemática já foram realizados com várias culturas em diversas regiões brasileiras (ASSAD et al., 2004; STRECK e ALBERTO, 2006 e GONDIM et al., 2008).

Uma tentativa de identificar os impactos das mudanças do clima na produção regional foi feita por Pinto et al. (2001), que simularam os efeitos da elevação da temperatura e incremento do volume pluviométrico no zoneamento do café para os Estados de São Paulo e Goiás. O estudo previu uma drástica redução nas áreas com aptidão agroclimática, o que poderia condenar a produção de café nestas regiões. Assad et al (2004, 2007 e 2008), Zullo Jr et al (2006, 2008) e Nobre et al (2005) elaboraram estudos detalhados sobre o futuro da agricultura brasileira em função dos cenários previstos nos relatórios do IPCC para o clima regional. Recentemente, estudos realizados para o nordeste brasileiro por Silva et al. (2010) e por Campos et al. (2009) para o cultivo de feijão caupi e por Campos (2010) para os cultivos de feijão caupi e milho, avaliaram os impactos das alterações climáticas sobre esses cultivos e concluíram que o aumento da temperatura causa drástica redução da área de baixo risco e, conseqüentemente, diminuição de produtividade em toda a região, podendo dificultar a implementação de políticas públicas de segurança alimentar.

Esses impactos também foram evidenciados por Maciel et al., (2009) ao simularem os efeitos do aumento de temperatura e diminuição da precipitação diária no zoneamento da soja de sequeiro para o Estado do Tocantins e constataram que a área com baixo risco climático foi reduzida em 88% em relação ao cenário climático atual.

As possíveis mudanças climáticas tem estimulado a realização muitas pesquisas que visem avaliar os seus impactos sobre uma agricultura que depende, exclusivamente da oferta hídrica natural, em particular, para as regiões do mundo onde a disponibilidade hídrica é fator limitante para o seu desenvolvimento (SULTAN et al, 2005;. LOBELL et al, 2006; THORNTON et al, 2009 e SILVA et al. 2010).

Em condições de escassez hídrica, Binder (2006) recomenda detalhar os cenários das mudanças climáticas para a escala de bacia hidrográfica utilizando-se, também, modelos hidrológicos, afim de se estudar seus impactos nos recursos hídricos.

Pelos relatórios do IPCC (2001b, 2007) existe uma grande probabilidade de ocorrer degradação de recursos naturais como solo e água, devido a mudanças na temperatura e pluviosidade, com conseqüências negativas para a agricultura, como uma possível redivisão do mapa da produção agrícola.

As projeções apresentadas no quarto relatório de avaliação das mudanças climáticas do IPCC (2007) enfatizam que o setor econômico mais diretamente afetado deverá ser o agropecuário, pois é muito dependente dos padrões de distribuições regulares da temperatura e da precipitação.

No entanto, para Lima e Alves (2008) poucos e incipientes tem sido os experimentos de mensuração em campo desses padrões com vistas à avaliação dos efeitos de mudança do clima sobre a agricultura, sendo os mesmos de grande importância para a validação de modelos de simulação utilizados para estimativa dos impactos nos solos agrícolas, culturas e atividades agropastoris.

Usando modelos de circulação geral e de produção agrícola, Siqueira et al. (1994, 2001) simularam projeções sobre os efeitos potenciais da mudança climática global na agricultura brasileira, tomando como referência 13 diferentes locais do país e as culturas de trigo, milho e soja.

Sendo, amplamente, dependente de fatores climáticos a agricultura brasileira face as possíveis mudanças climáticas vislumbra ameaças de provável queda da produtividade e diminuição de áreas adequadas à condução de lavouras (LIMA & ALVES, 2008).

Para Assad et al., (2008) a diminuição das áreas adequadas (com baixo risco) para os cultivos, tendo como causa as mudanças climáticas, normalmente estão associadas as alterações do ciclo hidrológico.

A agricultura tende a ser mais vulnerável aos extremos hidrológicos e de temperatura, já que este setor depende fortemente dos recursos naturais. O crescimento de culturas e a qualidade da produção podem ser relativamente mais sensíveis a eventos climáticos extremos de curta duração, tais como temperaturas muito elevadas, geadas severas, chuvas de granizo, e seca persistente, situações essas verdadeiramente temidas pelos agricultores (LIMA e ALVES, 2008).

As condições de tempo e clima afetam os sistemas agrícolas de diversas maneiras, podendo diretamente alterar a distribuição geográfica das culturas assim como questões sócio-

econômicas, portanto, os impactos das mudanças climáticas na agricultura podem adicionar desafios ainda maiores à garantia de um crescimento e desenvolvimento que promovam segurança alimentar e redução da pobreza (MACHADO & MARENGO, 2006).

A economia brasileira é potencialmente vulnerável as mudanças climáticas, pois tem forte dependência dos recursos naturais renováveis e mais de 50% do PIB estão associados a esses, principalmente, por intermédio da agricultura, hidroeletricidade, biocombustíveis, bioenergia, energia eólica, energia solar, entre outros (NOBRE, 2008a).

Do ponto de vista da produção de alimentos para exportação, o Brasil também se encontra numa situação vulnerável, uma vez que os cenários futuros para as mudanças climáticas globais indicam queda da produção agrícola, notadamente nas zonas tropicais. Isso pode ser uma ameaça ao nosso Produto Interno Bruto que depende atualmente do agronegócio (CERRI et al. 2007).

Os impactos diretos do clima sobre a produção e a distribuição da produção agrícola no país são apenas alguns dos efeitos econômicos causados pelo fenômeno do aquecimento global. A atividade agrícola, afetada diretamente pelas mudanças climáticas, repercute sobre diversos setores econômicos (DOMINGUES, et al., 2008 e BENHIN, 2008).

Assad et al. (2005) simularam os efeitos dos aumentos de temperatura do ar de 1, 3 e 5,8°C sobre o cultivo do arroz no Brasil e observaram que o maior impacto ocorre quando a cultura é cultivada em solo arenoso, no qual a área potencialmente produtiva apresentou uma redução de 51%, caso ocorra um aumento seja de 5,8°C.

Para Nobre et al. (2007), os modelos climáticos globais do IPCC/AR4 e os modelos regionais de mudança climática apontam para cenários climáticos futuros de aumento da temperatura superficial de 2 a 4°C na América do Sul. No entanto, quanto à precipitação, ainda não há consenso em relação ao sinal das anomalias para a Amazônia e o Nordeste brasileiro.

Mudanças na agricultura que promovam a cobertura do solo e alta produção de resíduos, através dos sistemas de plantio direto e cultivo mínimo com rotação de culturas, além de reduzir nas perdas ajudam na fixação do carbono no solo, aumento da umidade e fertilidade dos solos e, ainda, contribui na mitigação dos efeitos do aquecimento global (CERRI et al, 2007).

No Brasil, a agricultura compreende o maior setor da economia, representando uma significativa parcela do PIB e próximo dos 50% das exportações. Portanto, a compreensão dos possíveis impactos das variações climáticas sobre a agricultura é um ponto essencial para os tomadores de decisões governamentais, a fim de não comprometer a produção alimentar interna e das exportações agrícolas. Como a agricultura é totalmente dependente do clima se nada for

feito, poderá em pouco tempo, haver uma grave causada pela falta de água potável e de alimentos. Assim, torna-se imperativo a realização constante de pesquisas que possam propiciar um melhor entendimento dos processos e padrões atmosféricos presentes e futuros, na busca de novas tecnologias de adaptação e mitigação dos efeitos do aquecimento global.

## **2.2 Os principais tipos de zoneamento agrícola e importância**

Quanto mais informações ambientais e derivadas da fenologia das culturas forem usadas mais refinados serão os resultados dos zoneamentos praticados atualmente. De forma geral, as principais variáveis meteorológicas que afetam o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas são a precipitação pluviométrica, a temperatura do ar e a radiação solar (HOOGENBOOM, 2000; AZEVEDO e SILVA, 2007), havendo ainda a influência do fotoperíodo, da umidade do ar e do solo, da velocidade e da direção do vento (PEREIRA et al., 2002; MAVI E TUPPER, 2004).

O Brasil por ser um país continental e possuir condições adequadas para o desenvolvimento agrícola (solos e clima), destaca-se atualmente como um dos principais produtores e exportadores de diversos produtos agrícolas. Entretanto, devido à sua grande extensão territorial, é comum que ocorra no país adversidades climática que podem interferir direta ou indiretamente nos sistemas de produção dos mais variados produtos agrícolas, tais como secas, granizo, geadas, vendavais, chuvas em excesso, dentre outras (MAPA, 2008).

Das atividades econômicas, a agricultura é, sem dúvida, aquela com maior dependência das condições do tempo e do clima. As condições atmosféricas afetam todas as etapas das atividades agrícolas, desde o preparo do solo para semeadura até a colheita, o transporte, o preparo, e o armazenamento dos produtos (PEREIRA et al., 2002; LIMA e ALVES, 2008; IPCC, 2007 e CARVALHO, 2009).

Para que haja uma redução dos riscos climáticos para a agricultura e conseqüente diminuição das perdas para os agricultores, tornou imprescindível identificar, quantificar e mapear as áreas mais favoráveis ao plantio das culturas do arroz e da soja de sequeiro no Estado do Tocantins, levando-se em conta a oferta climática e, mais especificamente, a distribuição das chuvas (ASSAD et al., 2004; ASSAD et al., 2007).

Assim, diante dessas adversidades e da interferência negativa que elas podem causar na produção agrícola e na economia do país, instituições de pesquisas passaram, a partir da década de 70, a desenvolver mecanismos que permitissem indicar, com margem de segurança mais confiável, o local e as datas mais apropriadas para o cultivo de determinada cultura, nas

mais diversas regiões brasileiras, como também a cultivar mais indicada para essas regiões (MAPA, 2008).

Os principais mecanismos desenvolvidos pelos pesquisadores podem ser citados o zoneamento de aptidão agrícola, o zoneamento agroclimático, o zoneamento agrícola e o zoneamento agrícola de risco climático, cujas características principais são apresentadas na Tabela 1 (MAPA e MDA, 2008).

**Tabela 1** – Características dos principais tipos de zoneamento

<b>TIPO DE ZONEAMENTO</b>				
	<b>Aptidão Agrícola</b>	<b>Agroclimático</b>	<b>Agrícola</b>	<b>Agrícola de Risco Climático</b>
<b>Análise de risco</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencial do:               <ul style="list-style-type: none"> <li>* clima</li> <li>* solo</li> <li>* fatores sócio-econômicos (locais/regionais)</li> </ul> </li> <li>• Potencial edafoclimático</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identifica áreas de maiores e menores riscos climáticos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baseado no tipo de solo, clima local, e ciclo fenológico da planta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Considera o balanço hídrico (relação clima, solo e planta)</li> <li>• O risco quantificado, através de análises probabilísticas e frequenciais.</li> </ul>
<b>Tipo de indicativo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Área apta</li> <li>• Área marginal</li> <li>• Área inapta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Define melhor época de plantio</li> <li>• Identifica áreas com maior potencial de produtividade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Define melhor época de plantio</li> <li>• Indica cultivares habilitados para o local</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Por município, tipo de solo e ciclo da cultivar.</li> </ul>
<b>Problemas encontrados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mapas para as culturas em grande escala</li> <li>• Indicativos aproximados</li> <li>• Estudos não consideram ocorrência de riscos toleráveis (secas e geadas)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudos não consideram ocorrência de riscos toleráveis (secas e geadas)</li> <li>• Potencial climático para o estabelecimento das culturas agrícolas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudos não consideram ocorrência de riscos toleráveis (secas e geadas)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudos não consideram informações referentes à micro-climas</li> <li>• Interpolação de dados</li> </ul>

Fonte: MAPA (2006)

De acordo com Assad et al. (2008) esses quatro tipos podem-se fundir em zoneamento de potencial agrícola – usa como base dados meteorológicos expressos em valores médios e, normalmente, utilizam as informações sobre chuva, temperatura e os derivados do balanço hídrico que indicam as deficiências e os excedentes de água para as culturas agrícolas, e o zoneamento agrícola de risco climático propriamente dito – avalia a aptidão de uma

determinada região a um tipo de cultura, não só com dados meteorológicos de chuva e temperatura, mas também com índices específicos desenvolvidos para apontar a sensibilidade das culturas a eventos extremos que possam ocorrer em fases fenológicas críticas da planta.

O zoneamento agrícola pode ser empregado não somente para a delimitação de áreas aptas, marginais ou inaptas às culturas, como realizado por Camargo et al. (1974) para o Estado de São Paulo, mas também para o estabelecimento das melhores épocas de semeadura, com base em informações probabilísticas (ALFONSI et al., 1995), das zonas de maturação de frutos (SENTELHAS et al., 1995), do risco climático associado aos impactos do déficit hídrico nas culturas (FARIAS et al., 2001), de áreas de escape de doenças (ORTOLANI et al., 1986), do potencial produtivo e da qualidade dos produtos (ORTOLANI, 2001). Como se vê, há uma variedade de informações que podem ser organizadas pelo método do zoneamento, que nada mais é que a espacialização de uma ou mais informações combinadas. Dada sua importância, o zoneamento agrometeorológico vem sendo empregado por bancos e seguradoras, para subsidiar as ações de financiamento e seguro agrícolas (ROSSETTI, 2001).

A utilização dos indicativos do Zoneamento Agrícola de Risco Climático do MAPA para enquadramento do custeio agrícola no PROAGRO, conforme determinação do CMN, teve início com a Resolução nº 2.422/1997 do BACEN, o que permitiu a redução das perdas nas lavouras e, conseqüentemente, das indenizações do Programa por efeitos climáticos adversos, a inibição de fraudes, além da diminuição de aportes de recursos do Tesouro Nacional (MAPA, 2008).

Conforme Keller et al. (2005) o MAPA instituiu, em outubro de 1995, o Projeto de Redução de Riscos Climáticos na Agricultura, como fase inicial de implantação do Programa de Zoneamento Agrícola do Brasil com a finalidade de reduzir o risco climático na agricultura e diminuir as perdas de safra.

Como se vê existem diversos tipos de zoneamentos, cada um com suas particularidades e finalidades. No entanto, o zoneamento de riscos climáticos para a agricultura é uma ferramenta utilizada atualmente como política pública do governo federal com a finalidade de racionalizar o uso de recursos para financiamento do plantio e do seguro agrícola. Na realidade isto, simplesmente, significa indicar ao próprio governo e aos agricultores “o que plantar, onde plantar e quando plantar” com probabilidade igual ou menor do que 20% de ocorrer perda econômica da produção. Por essa razão que desde 1996, no Brasil, desde 1996, por determinação do Conselho Monetário Nacional, somente têm acesso ao crédito e ao seguro rural os agricultores de municípios que optam por plantio de determinada cultura, que esteja definida como adequada pelo zoneamento de riscos climáticos. Assim, o zoneamento permitiu que os

pesquisadores e o próprio governo tomassem conhecimento detalhado da distribuição das culturas agrícolas no país, ou seja, da geografia agrícola brasileira. Zoneamento agrícola de risco climático como instrumento de política agrícola.

### **2.3 Zoneamento agrícola de risco climático**

No planejamento e programação das atividades agrícolas direcionadas ao cultivo de culturas, o zoneamento de risco climático tornou-se ferramenta indispensável nas tomadas de decisões. De acordo com Collicchio (2009), para um bom desempenho de uma cultura, as condições climáticas devem ser observadas, pois não basta que existam solos favoráveis e tecnologias adequadas se o risco climático for alto pouco valerá para atenuar essa vulnerabilidade.

Ressaltando, ainda, a importância desta ferramenta, o zoneamento de riscos climáticos, é só olhar o plano do governo de aumentar a produção de biocombustíveis. Como a cultura canavieira não pode se expandir por áreas protegidas ou de produção de alimentos, é necessário um planejamento detalhado da produção de grãos, com base no conhecimento do potencial produtivo regional, para apoiar o projeto de expansão (ASSAD, 2008 e COLLICCHIO, 2009).

Segundo Assad (1998) o zoneamento agroclimático auxilia na tomada de decisão dos produtores rurais, que visam um melhor aproveitamento dos recursos naturais da propriedade, além de orientar ações de prefeituras que pretendam incentivar a agropecuária em seu município.

Zullo Júnior et al., (2001); Silva e Azevedo, (2000) o zoneamento agrícola de risco permite, a partir do conhecimento das variabilidades climáticas locais (como precipitação e evapotranspiração de referência) e de sua espacialização regional por meio de um SIG, definir regiões de aptidão climática e épocas mais adequadas de semeadura como forma de diminuir os efeitos causados pela má distribuição das chuvas.

Teixeira e Azevedo (1994) estudaram o potencial agroclimático da cultura da acerola para o Estado de Pernambuco, com base no índice de umidade (Im) de Thornthwaite & Mather como limitadores hídricos e uma CAD de 125 mm. Consideraram como áreas de aptidão hídrica plena, as que possuíam Im entre -15 e 55%; as de aptidão regular com Im entre -25 e -15%; restrita com Im superior a 55% e as áreas inaptas as que possuíam Im inferior a -25%.

Alfonsi et al. (1981) realizaram um zoneamento agroclimático para a cultura da soja com base na temperatura média anual (Ta) e no índice hídrico anual (Ih). Consideraram que as

regiões aptas ao cultivo  $T_a > 17^\circ\text{C}$  e  $0 < I_m < 60$ , as regiões consideradas aptas a moderadas  $T_a > 17^\circ\text{C}$  e  $60 < I_m < 100$  e as regiões marginais com  $T_a > 17^\circ\text{C}$  e  $I_m > 100$ , e as inaptas  $T_a < 17^\circ\text{C}$ .

Em zoneamentos de aptidão climática das culturas, as informações das condições térmicas regionais são elementos imprescindíveis e sua escassez sobre os dados meteorológicos em grandes áreas limita, muitas vezes, estudos suficientemente detalhados sobre os tipos climáticos de grande parte do território nacional (SEDIYAMA & MELO JÚNIOR, 1998).

Com a finalidade de indicação das épocas de semeadura com menores riscos climáticos à cultura, o zoneamento de riscos climáticos é efetuado no sentido de estabelecer as áreas e períodos mais convenientes à utilização econômica dessa cultura, visando propiciar condições ambientais favoráveis às cultivares em uso (AMORIM NETO et al., 2001; ANDRADE JÚNIOR et al., 2007).

Assim, os conhecimentos do regime de chuvas associado ao monitoramento da umidade do solo permitem o estabelecimento do início, duração e término do período chuvoso de determinada região. Esse conhecimento permite também a determinação da estação de cultivo, época de plantio/semeadura com menor risco climático e a elaboração do calendário agrícola, tanto para a agricultura de sequeiro quanto para projetos de irrigação (AZEVEDO e SILVA, 2007).

Estudos de zoneamento de aptidão climática e de risco climático possibilitam uma sensível redução dos riscos da atividade agrícola, permitindo o adequado ordenamento territorial, planejamento e execução de políticas públicas e de seguridade agrícola, possibilitando um desenvolvimento sustentável regional (ANDRADE JÚNIOR et al., 2001 e 2007).

Para o zoneamento de riscos climáticos, não importa apenas a época nas quais as condições do ambiente são mais favoráveis ao desenvolvimento dos cultivos ou as tradições de cada local, mas sim as épocas de semeaduras que apresentam os menores riscos de perdas de produtividade (SILVA et al. 2010; CAMPOS et al. 2010; ANDRADE JÚNIOR et al., 2007).

Além disso, a semeadura nos períodos em que as condições climáticas são adequadas às necessidades da cultura reduz os riscos de perdas por excesso ou déficit de chuvas nos estádios críticos e contribui para otimizar o controle das infestações de pragas e doenças (AMORIM NETO et al., 2001).

Azevedo e Silva (2007) realizaram para o nordeste brasileiro o zoneamento de risco climático para o cultivo do algodoeiro sob as condições de irrigação e sequeiro e com base no IAC estabeleceram o potencial de rendimento e através do DPA determinaram os riscos climáticos para a cultura.

No Brasil vários trabalhos utilizando-se um modelo de simulação de balanço hídrico associado com técnicas de geoprocessamento foram realizados no intuito de identificar as melhores épocas de semeadura para as culturas da soja e milho no Estado do Piauí (ANDRADE JÚNIOR et al., 2001), para o arroz de terras altas nos Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Tocantins e Bahia (SILVA e ASSAD, 2001), para a soja no Distrito Federal (SOUSA et al., 2003), para o arroz de terras altas no Estado do Mato Grosso do Sul (SOARES e SILVA, 2006), para o cultivo do feijão-caupi no Estado do Ceará (ANDRADE JÚNIOR et al., 2007), para o algodão herbáceo no Estado da Bahia (AMARAL e SILVA, 2007), para o cultivo do algodoeiro no nordeste do Brasil (AZEVEDO e SILVA, 2007), para a cultura da soja no Estado do Tocantins (MACIEL et al., 2009), para o cultivo de feijão-caupi na região nordeste do Brasil (CAMPOS, et al. 2009 e SILVA et al., 2010) para os cultivos de feijão-caupi e milho, no nordeste brasileiro (CAMPOS, 2010), entre outros etc..

Das atividades econômicas, a agricultura é, em dúvida, aquela que apresenta alto grau de vulnerabilidade e maior dependência das condições do tempo e do clima. A dinâmica atmosférica afeta todas as etapas das atividades agrícolas, desde o preparo do solo para semeadura até a colheita, o transporte, o preparo, e o armazenamento dos produtos. As consequências de situações meteorológicas adversas podem levar a constantes e graves impactos sociais, e a enormes prejuízos econômicos. Portanto, não é mais permitido que uma atividade que, naturalmente, já é de risco seja desenvolvida sem adequado planejamento das mesmas. Portanto, a delimitação dos riscos climáticos para as culturas é fundamental para responder questões como: o que plantar? como plantar? E onde plantar?

## **2.4 Valoração e economia ambiental.**

O crescimento descontrolado da população e a expansão das grandes indústrias, baseada no uso abusivo dos combustíveis fósseis, abriram caminho para uma expansão inédita da escala das atividades humanas, pressionando a base limitada e cada vez mais escassa dos recursos naturais do planeta. A crescente preocupação com a escassez dos recursos naturais e com o futuro das próximas gerações fez surgir o conceito de desenvolvimento sustentável, uma solução conciliadora entre crescimento econômico e o uso sustentável dos recursos naturais (MAIA et al, 2004).

Os negócios privados, na região amazônica, tornaram-se lucrativos por si sós (como a extração de madeira de lei, a mineração, a pecuária e, sobretudo, o agronegócio da soja). Esse deslocamento do público em direção ao privado é o principal vetor por trás da expansão da atual

fronteira agrícola nessa região como um todo (MAGULIS, 2003 e ALENCAR et al., 2004, Apud SALATI et al., 2006).

O valor econômico de um recurso ambiental normalmente não é observado no mercado por intermédio do sistema de preços. No entanto, como os demais bens e serviços presentes no mercado, seu valor econômico deriva de seus atributos, com a peculiaridade de que estes atributos podem estar ou não associados a um uso (ELETROBRÁS, 2000).

O uso da função dose resposta permite que seja estabelecida uma relação que outros métodos não alcançam. Segundo Sala (1999), no método de valoração contingente, as pessoas podem não responder com o devido rigor sobre a disposição a pagar pela diminuição da poluição, ou a disposição a aceitá-la por não saberem exatamente quais são os danos envolvidos. Enquanto que a função dose-resposta fornece essa relação.

A economia ambiental tem como foco de preocupação os “efeitos externos”, e procura fixar o emprego da “monetização” para responder à questão do uso de recursos renováveis e não-renováveis. (CHEMIN, 2004, Apud CARVALHO, 2005).

Os métodos indiretos de valoração podem ser aplicados quando a produção ou o consumo de um bem ou serviço privado for afetado pela variação da quantidade e/ou qualidade de bens e serviços ambientais (ELETROBRÁS, 2000).

A questão fundamental da chamada Economia Ambiental está basicamente relacionada com a necessidade de fazer escolha entre produzir e consumir mais com perda na qualidade ambiental ou melhorar a qualidade ambiental com privação na disponibilidade de bens e serviços (CARVALHO, 2005).

Os métodos baseados na Função de Produção consideram o meio ambiente e os recursos associados como insumo para a produção, seja ela de subsistência ou voltada para o mercado. Assume-se que a causa-efeito dos impactos ambientais, aqui entendidos como causadora de mudanças nas disponibilidades dos recursos ambientais é conhecida (KITAMURA, 2003).

Historicamente, 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. (HUFSCHMIDT et al., 1983). Nesse particular, 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. (MÉRICO, 1996).

De acordo com Nogueira et al. (1998), uma justificativa para a importância da análise do referencial teórico dos métodos de valoração econômica ambiental é que esse procedimento

confere um rigor científico aos trabalhos, criando um ambiente propício à discussão e ao aprimoramento das técnicas.

## **2.5 Exigências climáticas das culturas da soja e do arroz**

### *2.5.1 Soja*

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) que hoje é cultivada mundo afora, é muito diferente dos ancestrais que lhe deram origem: espécies de plantas rasteiras que se desenvolviam na costa leste da Ásia, principalmente ao longo do Rio Amarelo, na China a mais de cinco mil anos.

A introdução da soja no Brasil ocorreu na Bahia em 1882, sem sucesso. Em 1890, foram testada e aprovada no Rio Grande do Sul e em 1891 novos genótipos foram testados em São Paulo. A partir da década de 1980, houve uma expansão para a região Centro-Oeste (ZANCOPÉ e NASSER, 2005). Na safra 2007/2008, a produção brasileira de soja alcançou os 60 milhões de toneladas (CONAB, 2008).

As condições proporcionadas pela variação dos elementos meteorológicos são dependentes da região, do tipo de solo, da época de semeadura e do ciclo da cultura (FEHR e CAVINESS, 2007)

De todos os fatores inerentes a produção agrícola, o clima é o de mais difícil controle, exercendo maior ação limitante às máximas produtividades.

A água constitui aproximadamente 90% do peso da planta, atuando em, praticamente, todos os processos fisiológicos e bioquímicos.

A disponibilidade de água é importante, principalmente, em dois períodos de desenvolvimento da soja: germinação – emergência e floração – enchimento de grãos. Durante o primeiro período, tanto o excesso quanto a falta de água é prejudicial ao estabelecimento da cultura (FARIAS et al. 2009).

A necessidade de água na cultura da soja vai aumentando com o desenvolvimento da planta, atingindo o máximo durante a floração-enchimento de grãos (7 a 8 mm/dia), decrescendo após este período. Déficits hídricos expressivos, durante a floração e enchimento de grãos, provocam alterações fisiológicas na planta, como o fechamento estomático e o enrolamento de folhas (FARIAS et al., 2007).

Os maiores rendimentos de grãos de soja foram obtidos com 650 a 700 mm de água, distribuídos em todo o ciclo (EMBRAPA SOJA, 2008).

As condições ótimas de temperatura para a cultura da soja estão entre 20°C e 30°C, sendo 30°C a temperatura ideal para seu desenvolvimento. A faixa de temperatura do solo adequada para semeadura varia de 20°C a 30°C, sendo 25°C a temperatura ideal para rápida e uniforme emergência das plântulas (FARIAS et al., 2007). O crescimento vegetativo da soja é pequeno ou nulo em temperaturas menores ou iguais a 10°C. Temperaturas acima de 40°C têm efeito adverso na taxa de crescimento, provocam danos na floração e diminuem a capacidade de retenção de vagens. Estes problemas se acentuam com a ocorrência de déficits hídricos (EMBRAPA SOJA, 2008)

A radiação solar é um importante componente ambiental que, além de fornecer energia luminosa para a fotossíntese, também fornece sinais ambientais para uma gama de processos fisiológicos da planta (THOMAS, 1994).

### 2.5.2 Arroz

O arroz pertence a família das Poaceae, gênero *Oryza*, composto por 22 espécies (VAUGHAN et al., 2003). Entre essas espécies, destaca-se a *Oryza sativa* L., por ser a mais cultivada, tendo duas subespécies, indica e japônica.

Embora seja uma planta de dias curtos, o arroz se adapta a diversas condições climáticas, por ser cultivado há muito tempo.

O ciclo de vida da planta do arroz pode ser dividido em três distintas fases: fase vegetativa, reprodutiva e maturação dos grãos. A primeira é a principal responsável pela duração do ciclo total da cultura, sendo afetada, basicamente, pela temperatura do ar e pelo comprimento do dia (VERGARA e CHANG, 1985).

Após a emergência pode-se considerar, como ciclos curto, médio e longo, cultivares com até 120, 135 e acima de 135 dias, respectivamente. As cultivares utilizadas no sistema de cultivo de terras altas são basicamente as de ciclos curto e médio, apresentando pouca ou nenhuma sensibilidade ao fotoperíodo (EMBRAPA, 1977).

A fase reprodutiva, que vai da diferenciação da panícula ao florescimento, possui duração relativamente constante entre as cultivares, variando de 30 a 35 dias (PINHEIRO, 2006).

A fase de maturação de grãos, etapa final do ciclo de vida da planta, vai do florescimento à maturação dos grãos, tendo duração de 30 a 35 dias, podendo, ainda, ser dividido em estádios de grão leitoso, ceroso e maduro (PINHEIRO, 2006).

Para o cultivo em terras altas, a quantidade e a distribuição da precipitação pluvial são muito importantes, pois o arroz de terras altas é altamente sensível à deficiência hídrica e ao

efeito do estresse, cuja gravidade depende da coincidência entre o período da ocorrência e os processos fisiológicos determinantes da produtividade (STEINMETZ et al., 2006).

Nos cultivos do arroz de terras altas o estresse hídrico é considerado moderado quando conseqüente redução na produtividade é inferior a 50%, acima deste percentual, o estresse é considerado severo (JONGDEE et al., 2006).

A necessidade total de água, para o cultivo do arroz de terras altas, varia em torno de 400 a 700 mm, dependendo da cultivar, da região do país, da época de semeadura e do manejo do solo, entre outros (STONE et al., 1979).

Do ponto de vista agroclimático existem, basicamente, duas alternativas para se diminuir a influência da deficiência hídrica no arroz de terras altas: a) identificação das épocas de semeadura com menores riscos de ocorrência de deficiência hídrica durante o ciclo e, principalmente, durante a fase reprodutiva da cultura; b) identificação, através do zoneamento agroclimático, das regiões com menores riscos de ocorrência de deficiência hídrica (STEINMETZ, et al., 2006).

A temperatura do ar é um dos elementos climáticos de maior importância para o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade da cultura do arroz. Cada fase fenológica tem sua temperatura crítica ótima, mínima e máxima (HEINEMANN, 2009).

A temperatura ótima para o desenvolvimento do arroz situa-se entre 20 e 35°C. Em geral, a cultura exige temperaturas relativamente elevadas da germinação à maturação, uniformemente crescentes até a floração e, decrescentes, porém sem abaixamentos bruscos, após a floração (YOSHIDA e PARAO, 1976). A planta do arroz não tolera temperaturas excessivamente baixas, nem excessivamente altas. Entretanto, a sensibilidade da cultura varia, tanto para uma quanto para outra, em função da fase fenológica.

## **2.6 Calendário agrícola para o arroz e a soja de sequeiro, de ciclo precoce, no Estado do Tocantins**

De acordo com informações da Secretaria da Agricultura do Estado do Tocantins o calendário agrícola, para os cultivos do arroz e da soja de sequeiro, segue as orientações apresentadas pelo MAPA através do zoneamento agrícola de risco climático destas culturas no Estado.

### 2.6.1 Arroz

As orientações para a semeadura do arroz de sequeiro no Estado foram apresentadas pela Portaria Nº 63, de 16 de maio de 2008, publicada no Diário Oficial da União de 19/05/2008, Seção 1, Página 12, a qual aprova o zoneamento agrícola de risco climático para a cultura do arroz de sequeiro no Estado do Tocantins, ano-safra 2008/2009. Conforme essa portaria para plantio em solos tipo 1 (baixa retenção de água) e cultivar de ciclo precoce a época de semeadura indicada para os municípios que possuem condições ambientais favoráveis é de 01/10 a 21/12. Por outro lado, para o cultivo em solos tipo 2 (média retenção de água) e cultivar também de ciclo precoce, a época de semeadura recomendada é de 01/10 a 31/12.

### 2.6.2 Soja

Para cultivo da soja de sequeiro no Estado as orientações de semeadura foram apresentadas pela Portaria Nº 128, de 27 de junho de 2008, publicada no Diário Oficial da União de 01/07/2008, Seção 1, Página 18, que aprova o zoneamento agrícola de risco climático para a cultura de soja no Estado do Tocantins, ano-safra 2008/2009. Segundo essa portaria para plantio em solos tipo 1 (baixa retenção de água) não há recomendação para nenhuma época de semeadura. Já para o cultivo em solos tipo 2 (média capacidade de retenção de água) e cultivar de ciclo precoce a época de semeadura com menor risco é de 01/10 a 31/01 indicada para os municípios do Estado estão entre 01/10 e 21/12.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Localização da área de estudo.

O Estado do Tocantins é o mais novo das 27 unidades federativas do Brasil, possui uma área de 278.846,9 km<sup>2</sup> e representa 3,27% do território brasileiro. O Estado foi criado por determinação da Constituição de 1988, a partir da divisão do Estado de Goiás (parte norte e central). Está localizado a sudeste da Região Norte do Brasil e, compõe a Amazônia Legal. Limita-se com o Maranhão a nordeste, o Piauí a leste, a Bahia a sudeste, o Goiás a sul, Mato Grosso a sudoeste e o Pará a noroeste (Figura 1). O Estado do Tocantins está inserido entre os paralelos 5° 10' 06" e 13° 27' 59" de latitude sul, e entre os meridianos 45° 44' 46" e 50° 44' 33" de longitude oeste. Caracterização da região de estudo.

#### 3.2 Caracterização da região de estudo.

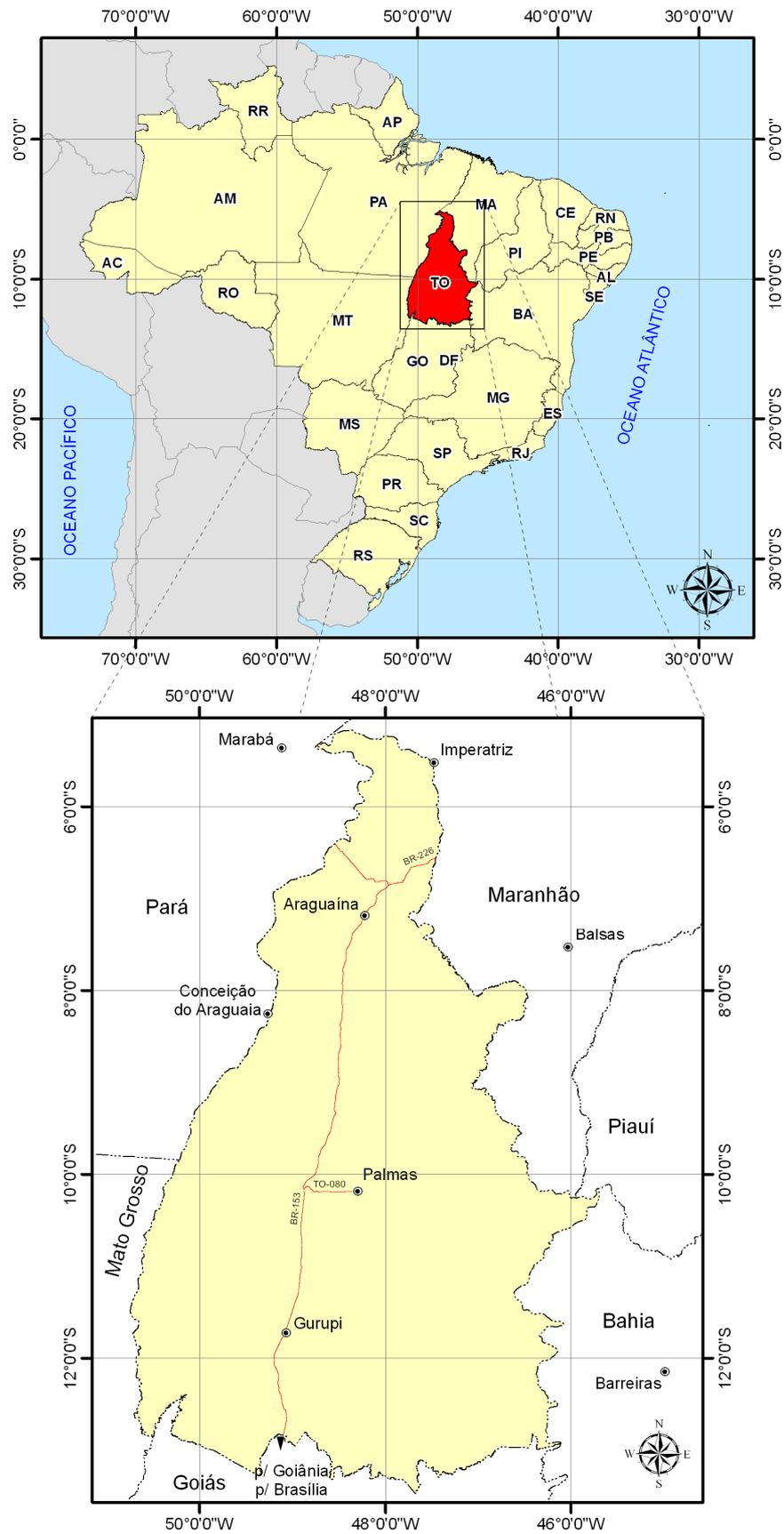
A caracterização será realizada por meio de uma breve descrição sobre os seguintes elementos que definem o ambiente do local de estudo:

##### 3.2.1 Vegetação

A vegetação do Tocantins é bastante variada. Apresenta desde o campo cerrado, cerradão, campos limpos ou rupestres, a floresta equatorial de transição, sob forma de "mata de galeria", extremamente variada.

Em termos da dimensão da área ocupada, o cerrado está em primeiro lugar no Estado do Tocantins. As árvores do cerrado estão adaptadas à escassez de água durante uma estação do ano. Caracteriza-se por uma vegetação campestre, com árvores e arbustos esparsos, útil à criação extensiva do gado, por ser uma vegetação de campos naturais, em espécie vegetal dos diferentes tipos de Cerrado

- **Cerrado** – Árvores de pequeno porte, poucas folhagens, raízes longas adequadas à procura de água no subsolo, folhas pequenas duras e grossas, caindo grande parte na estação seca;
- **Campo Sujo** – Uma divisão do cerrado, que apresenta árvores bastante espaçadas uma das outras e, às vezes, em formação compacta;



**Figura 1** – Localização da área de estudo

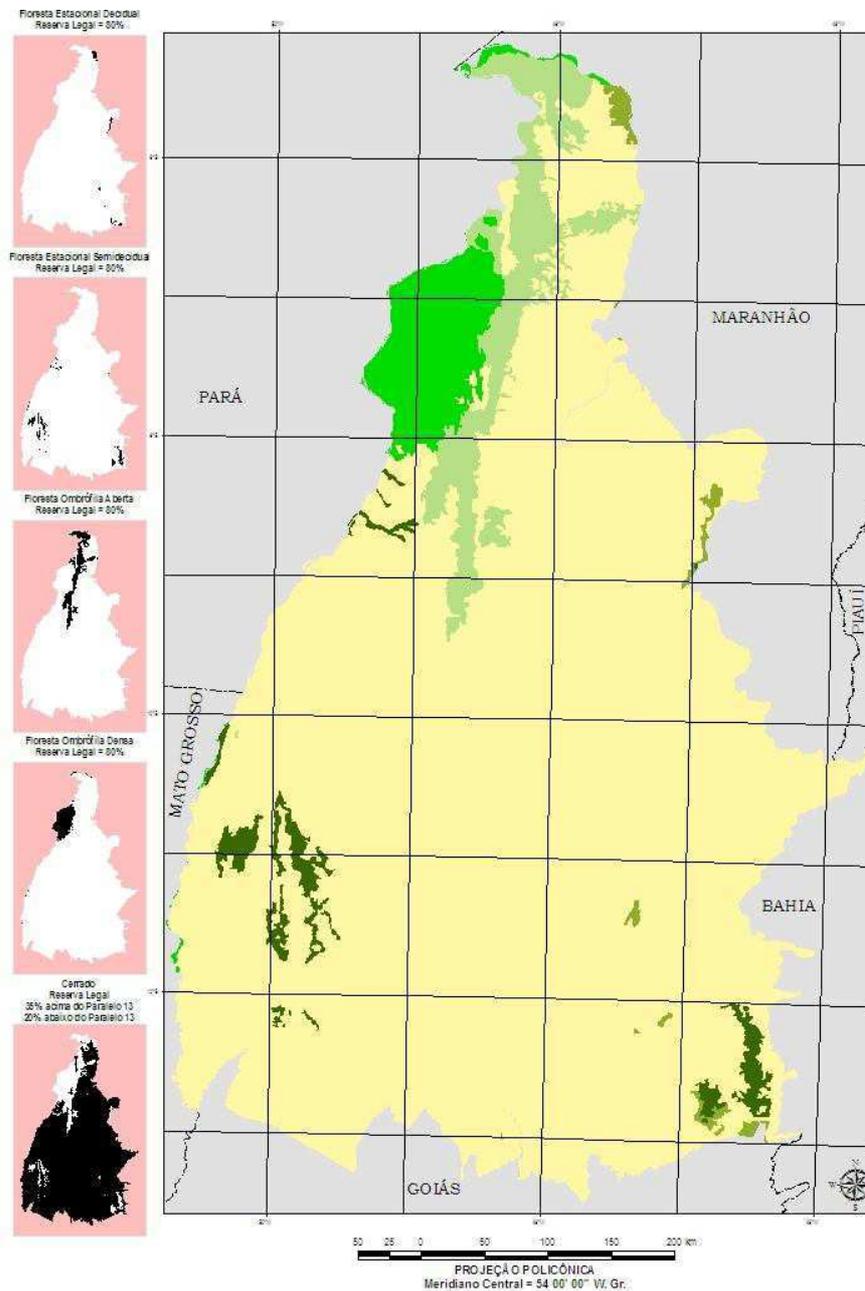
- **Campo Limpo** – Caracteriza-se por constituir uma formação tipicamente herbácea, com feição de estepes, quando isoladas; se em tubas deixam parcelas de terrenos descobertas, sob a forma de pradarias; quando é contínua, reveste densamente o terreno;
- **Floresta Equatorial** – Aparece de modo contínuo no norte do Estado, próximo ao paralelo de 5°, e acompanha o curso dos rios, sob forma de "mata de galeria". Essa formação em área de altas temperaturas e elevada pluviosidade propicia o aparecimento de uma forma densa bastante estratificada, composta de espécies variadas;
- **Floresta Tropical** – Características de regiões cuja temperatura é permanentemente alta com chuvas superiores a um total de 1500 mm anual;

Resultantes da interação entre altitudes, latitudes, relevo, solo, hidrografia e o clima, o Estado pode ser dividido nas seguintes regiões fitoecológicas (SEPLAN, 2005): (Figura 2).

- **Região da floresta ombrófila densa:** sua característica ecológica principal reside nos ambientes ombrófilos que marcam a região florística florestal amazônica;
- **Região da floresta estacional decidual:** essa região apresenta um tipo de vegetação com grandes áreas descontínuas, localizadas do norte para o sul, entre a Floresta Ombrófila Aberta e a Savana; e de leste para oeste, entre a Floresta Estacional Semidecidual e a Savana Estépica (caatinga) onde o caráter decíduo da vegetação é acentuado pela disponibilidade hídrica do substrato;
- **Região da floresta estacional semidecidual:** é um tipo de vegetação predominantemente constituída por fanerófitos com gemas foliares protegidas da seca por escamas, tendo folhas adultas esclerófilas ou membranáceas decíduais;
- **Região da floresta ombrófila aberta:** este tipo de vegetação representa uma área de transição entre a floresta amazônica e as regiões extra-amazônicas caracterizando uma diminuição gradativa de densidade de recobrimento;
- **Região do cerrado:** ocorre em quase todo o Estado, preferencialmente em clima estacional (mais ou menos 6 meses secos), sendo encontrada também em clima ombrófilo, quando obrigatoriamente reveste solos lixiviados e/ou aluminizados, com vegetação xeromorfa.

De maneira geral, pode-se afirmar que a cobertura vegetal predominante no Tocantins é de cerrado, perfazendo um percentual de 87,8%. O cerrado, por lei, tem como reserva legal as seguintes condições: i) acima do paralelo 13, o percentual de 35% do imóvel rural; ii) abaixo do paralelo 13, apenas 20% do imóvel agrário. O restante é composto por

florestas esparsas e por zonas de transição entre dois ecossistemas (ecótono), que se caracteriza como zona de união ou um cinturão de tensão que poderá ter extensão linear considerável.



**Figura 2** – Delimitação das Regiões Fitoecológicas do Estado do Tocantins

**Legenda:**

	Floresta Estacional Decidual (1.756,9 km <sup>2</sup> – 0,6%)
	Floresta Estacional Semidecidual (5.272,0 km <sup>2</sup> – 1,9%)
	Aberta (15.195,5 km <sup>2</sup> – 5,4%) – 5,4%
	Floresta Ombrófila Densa (11.836,4 km <sup>2</sup> – 4,3%)
	Cerrado (244.359,9 km <sup>2</sup> – 87,8%)

### 3.2.2 Solos

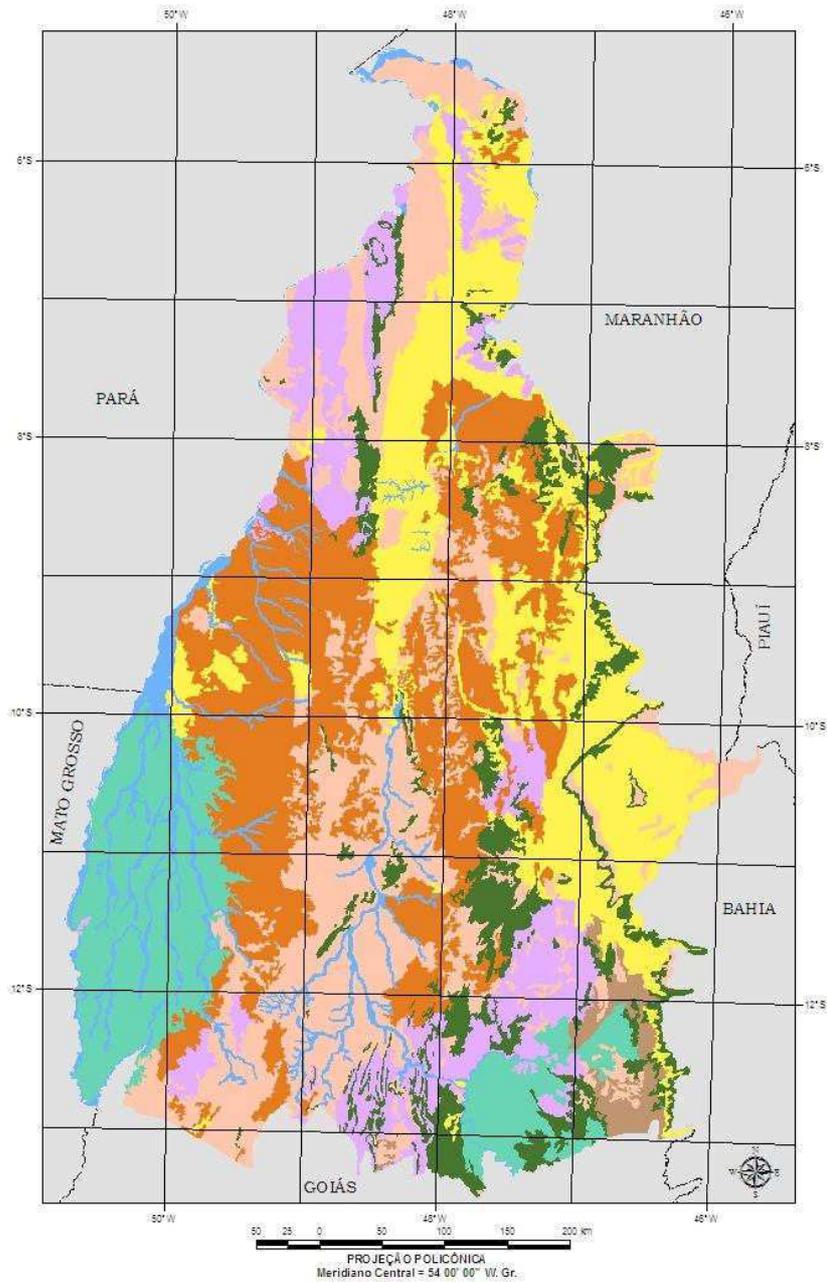
Os solos das paisagens do território tocantinense são predominantemente representados pelas grandes ordens dos Plintossolos, Neossolos e Latossolos (Embrapa 1999). A extensão territorial dessas ordens totaliza, aproximadamente, 80% de suas terras (IBGE, 2007; SEPLAN, 2009). Nestas ordens as variações do relevo e material de origem imprimiram uma gama de associações de subordens, com destaque para os Plintossolos Pétricos Concessionários (FFc), os Neossolos Quartzarênicos Órticos (RQo) e os Latossolos Vermelho Amarelo (LVA). Ainda, na maioria das associações de subordens dos Plintossolos e Latossolos prevalece maior frequência da classe textural média e média cascalhenta (Figura 3).

Os Neossolos Quartzarênicos são por natureza de textura arenosa, sobretudo por desenvolverem em ambientes de sedimentos muito arenosos, de onde adquirem suas características físicas e químicas tais como: são profundos, uniformes e soltos, compostos quase que exclusivamente de quartzo, apresentam teor de argila inferior a 15% no horizonte A e nas camadas subjacentes. Somente essa subordem ocupa quase 16% das terras do Estado do Tocantins (Figura 3).

Em termos de fertilidade os solos da região do cerrado em geral, tem um alto nível de acidez com frequente toxidez de alumínio, corrigível com a aplicação de calcário (SEAGRO-TO, 2007).

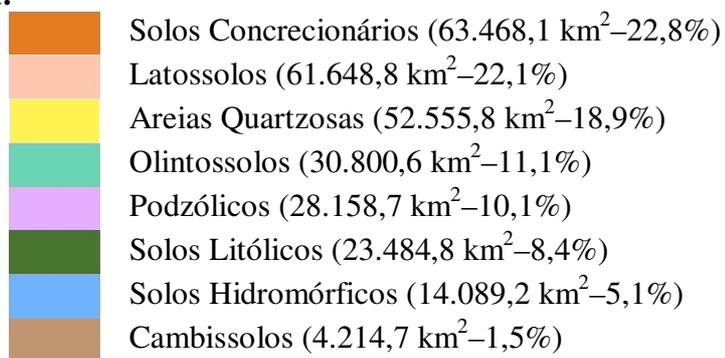
### 3.2.3 Relevo

O Estado do Tocantins exhibe uma variada gama de feições morfológicas, resultante da evolução dos fatores morfoclimáticos e, em alguns casos, de adaptação às diversidades litológicas e/ou a condicionamentos estruturais a que submeteram. A interação desses fatores resultou na presença de diversas superfícies distribuídas em níveis altimétricos diferenciados, constituindo quatro grandes compartimentos ou unidades geomorfológicas, como segue (SEPLAN-TO, 2008):



**Figura 3** – Distribuição espacial dos tipos de solos do Tocantins

**Legenda:**



### **3.2.3.1 Planaltos da Bacia Sedimentar São Franciscana**

Esta unidade de relevo refere-se a uma estreita e alongada faixa disposta em sentido norte-sul, acompanhando quase toda a fronteira leste do Estado do Tocantins. Compreende uma superfície que se prolonga para o Estado da Bahia e delimita-se a oeste com as depressões do Araguaia-Tocantins, por meio de escarpas desdobradas que formam patamares escalonados, que dão acesso à Chapada das Mangabeiras.

### **3.2.3.2 Depressões do Araguaia – Tocantins**

Essa unidade de relevo representa a união das depressões abertas pelas drenagens dos rios Araguaia e Tocantins. Abrangem grande área do Estado e encontram-se delimitadas por escarpas, ressaltos topográficos e/ou superfícies rebaixadas por erosão dos planaltos que as circundam, entre eles, o planalto dos Parecis (a oeste), planaltos da bacia sedimentar do Paraná (a sudeste), planaltos da bacia sedimentar do São Francisco (a leste) e planalto Goiano (a sul), com o qual se interpenetra.

### **3.2.3.3 Planície do Bananal**

A denominação dessa unidade de relevo está circunscrita à ampla faixa que abrange os depósitos quaternários recentes consolidados da formação Bananal, e os sedimentos inconsolidados holocênicos, revestidos pelas tradicionais pastagens naturais que sustentam a pecuária extensiva local.

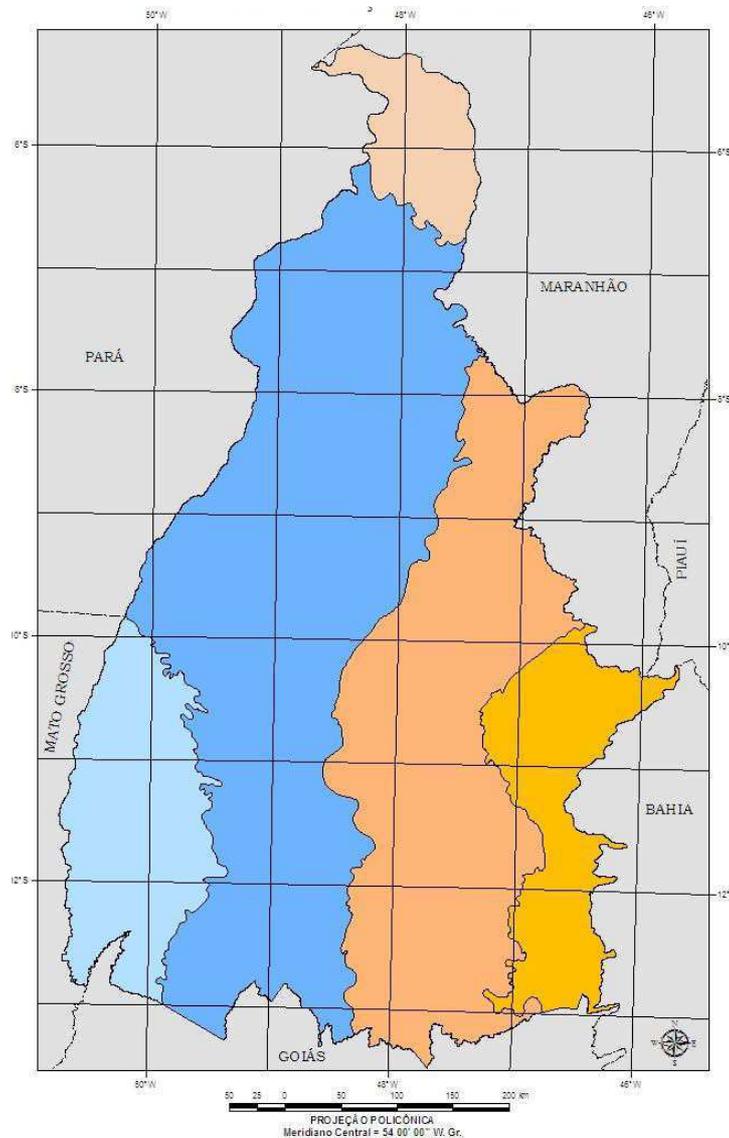
### **3.2.3.4 Planaltos Residuais do Interflúvio Araguaia-Tocantins**

Essa unidade de relevo representa o conjunto de diversos residuais de altitude média entre 360 e 600 metros, interpostos nos interflúvios Araguaia-Tocantins (serras do Estrondo, Lajeado, do Carmo, Malhada Alta, Maria Antônio e do Paraíso).

## **3.2.4 Clima**

Diversos fatores físico-geográficos (localização continental, extensão latitudinal e relevo) e dinâmicos (circulação atmosférica, decorrente do posicionamento dos centros de alta e de baixa pressão) explicam o comportamento do clima no Estado do Tocantins (SEPLAN-TO, 2008). Segundo o método de classificação climática proposto por Thornthwaite e Mather (1955), o Estado do Tocantins apresenta faixas de climas bem distintas, a saber: a) A faixa dos climas úmidos; b) A zona dos climas úmidos subúmidos e c) área com o subúmido seco (Figura 4). O clima tocantinense possui duas estações bem definidas uma seca (entre os meses de maio e

setembro) e a outra chuvosa (compreendida entre os meses de outubro e abril). Mais de 90% das chuvas se concentram na estação chuvosa.



**Figura 4** – Espacialização do tipos climáticos (regionalização climática) do Estado do Tocantins

**Legenda:**

**CLIMA ÚMIDO**

**B1wA' a'** – Clima úmido com moderada deficiência hídrica

**B2rA' a'** – Clima úmido com pequena deficiência hídrica

**CLIMAS ÚMIDO SUBÚMIDO**

**C2rA' a'** – Clima úmido subúmido com pequena deficiência hídrica

**C2wA' a'** – Clima úmido subúmido com moderada deficiência hídrica

**CLIMAS SUBÚMIDO SECO**

**C1dA' a'** – Clima subúmido seco com moderada deficiência hídrica

#### **3.2.4.1 Ventos**

De duas fontes sopram, durante todo o ano, ventos responsáveis por tempo bom ou estável: 1º - ventos de NE a LE do anticiclone tropical semifixo do Atlântico Sul; 2º - ventos de direção variável (geralmente do Norte). Os primeiros, pela sua bem caracterizada subsidência e inversão de temperatura superior, são garantias de bom tempo, são muito comuns no inverno, enquanto que os segundos são mais frequentes no verão.

No Tocantins, as situações de estabilidade, com tempo ensolarado, muito quente no verão e ameno no inverno, não estão muito sujeitas às bruscas mudanças acarretadas pela invasão de distintos sistemas de circulação atmosférica ou correntes perturbadas de diversas direções.

#### **3.2.4.2 Temperatura**

A distribuição espacial da temperatura média do ano reflete a influência dos diversos fatores climáticos. O grande afastamento em relação ao Oceano Atlântico reduz em muito as influências marítimas na região, e permite que a ampla extensão latitudinal defina as linhas de variação espacial da temperatura.

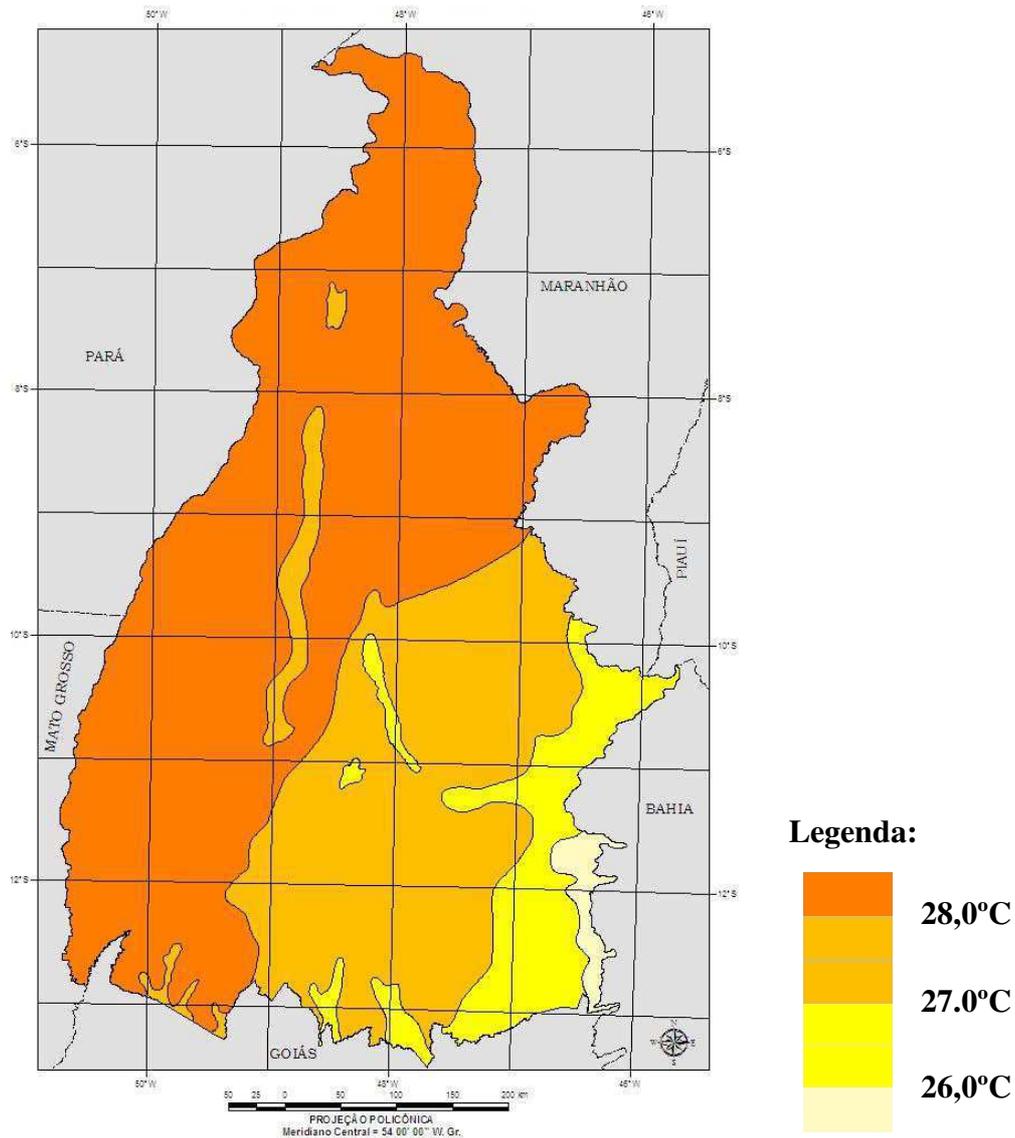
O posicionamento físico-geográfico, predominantemente tropical, e a ausência de invasões de ar frio de origem polar durante o semestre primavera-verão acarretam temperaturas elevadas quase que diariamente nessa época, sobretudo na primavera, ocasião em que o sol passa pelos paralelos da região, dirigindo-se para o sul e a estação chuvosa ainda não se iniciou. Durante a primavera, é comum o forte calor em todo o Estado, sendo bem frequentes máximas diárias próximas de 40°C.

#### **3.2.4.3 Precipitação pluvial**

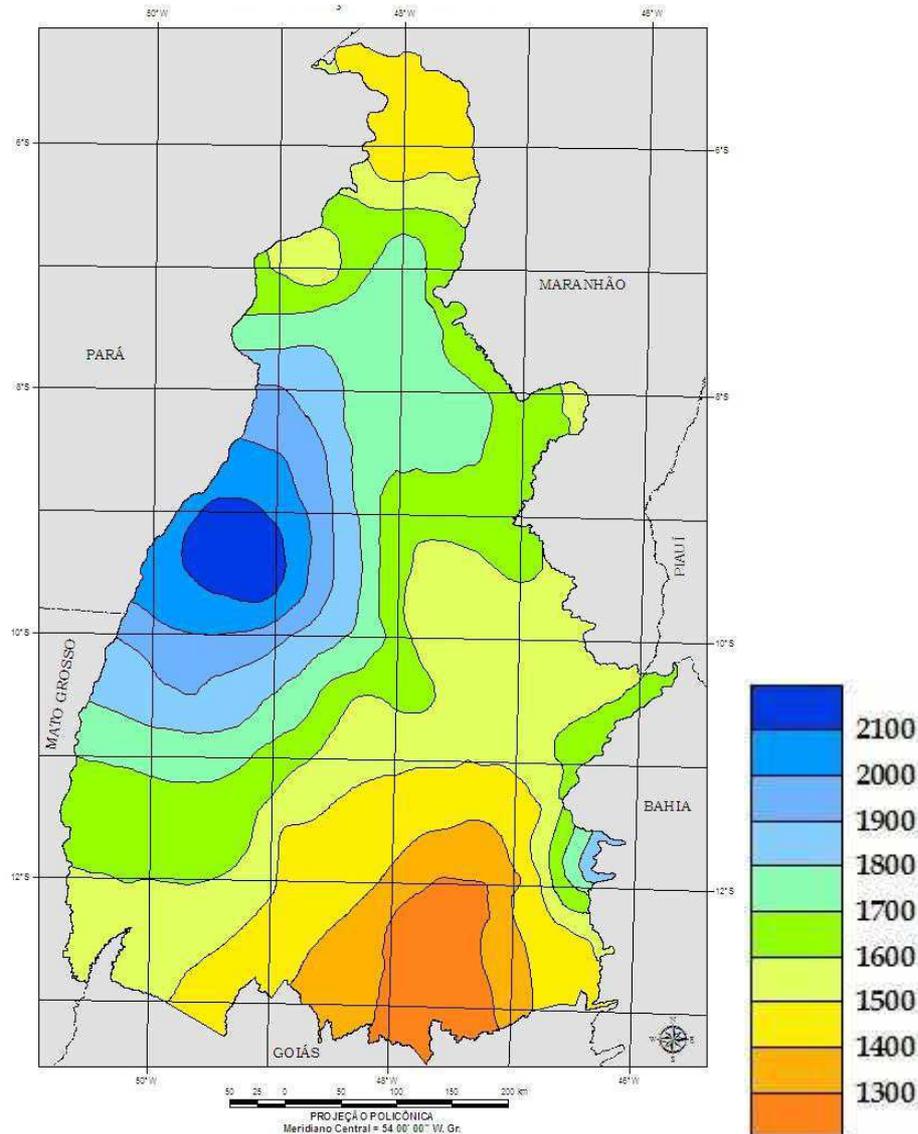
O caráter do regime de chuvas no Estado se deve quase que exclusivamente aos sistemas regionais de circulação atmosférica. A influência do relevo regional sobre o regime e sobre a distribuição espacial da precipitação é de tão pouca importância que não chega a interferir nas tendências gerais determinadas pelos fatores dinâmicos.

Em razão disso, o volume pluviométrico anual apresenta uma distribuição geográfica muito simples. No entanto, as chuvas não são distribuídas de forma equitativa ao longo do ano. Seu regime sazonal é tipicamente tropical, com acentuada máxima no verão e mínima no inverno. Mais de 70% do total de chuvas acumuladas durante o ano se precipitam normalmente de novembro a março, sendo mais chuvoso o trimestre janeiro, fevereiro e março. Esse regime

muito concentrado decorre da frequência quase que diária do principal fenômeno causador de chuva no Estado (linhas de instabilidade tropical), e sua ausência quase absoluta no inverno. O inverno, ao contrário, é seco. Nessa época do ano, junho, julho e agosto, as chuvas são muito raras, normalmente, quatro a cinco dias de ocorrência desse fenômeno por mês. É comum, ainda, a ausência completa de chuva durante pelo menos trinta dias.



**Figura 5** – Espacialização da temperatura média anual do estimada para o Estado do Tocantins.



**Figura 6** – Distribuição espacial do total médio anual da precipitação no Estado do Tocantins para o período entre 1961-1990.

### 3.3 Procedimentos metodológicos

Esta pesquisa foi realizada considerando a projeção de três cenários de aquecimento global apresentados pelo IPCC (2007), além do cenário climático atual, como segue:

- a) Cenário otimista (B1) – a temperatura média global teria um aumento de 1,8°C;
- b) Cenário intermediário (A1B) – o aumento seria de 2,8°C na temperatura média do planeta;
- c) Cenário pessimista (A1F1) – o aumento seria de 4,0°C na temperatura média do planeta.

Em função das fortes incertezas, tanto no sinal quanto na magnitude da mudança, sobre o padrão de distribuição da precipitação, evidenciadas através dos mais diversos modelos utilizados pelo IPCC (2007), optou-se por associar a cada um dos cenários anteriormente apresentados a possibilidade de variação do volume pluviométrico diário em torno de  $\pm 10\%$ . Dessa forma, considerando essas variantes passou-se de três para nove cenários, descritos a seguir:

### **CENÁRIO OTIMISTA**

- a) **Cenário otimista (B1)** – caracterizado pelo aumento de  $1,8^{\circ}\text{C}$  da temperatura global e o volume pluviométrico diário sem alteração, ou seja, o padrão atual;
- b) **Cenário otimista (B1) primeiro caso** – caracterizado pelo aumento de  $1,8^{\circ}\text{C}$  da temperatura global e o volume pluviométrico diário  $10\%$  menor que o atual;
- c) **Cenário otimista (B1) segundo caso** – caracterizado pelo aumento de  $1,8^{\circ}\text{C}$  da temperatura global e o volume pluviométrico diário  $10\%$  maior que o atual.

### **CENÁRIO INTERMEDIÁRIO**

- a) **Cenário intermediário (A1B)** – definido pelo aumento de  $2,8^{\circ}\text{C}$  da temperatura global e o volume pluviométrico diário o atual;
- b) **Cenário intermediário (A1B) primeiro caso** – definido pelo aumento de  $2,8^{\circ}\text{C}$  da temperatura global e o volume pluviométrico diário  $10\%$  menor que o atual;
- c) **Cenário intermediário (A1B) segundo caso** – definido pelo aumento de  $2,8^{\circ}\text{C}$  da temperatura global e o volume pluviométrico diário  $10\%$  maior que o atual;

### **CENÁRIO PESSIMISTA**

- a) **Cenário pessimista (A1F1)** – definido pelo aumento de  $4,0^{\circ}\text{C}$  da temperatura global e o volume pluviométrico diário o atual;
- b) **Cenário pessimista (A1F1) primeiro caso** – definido pelo aumento de  $4,0^{\circ}\text{C}$  da temperatura global e o volume pluviométrico diário  $10\%$  menor que o atual;
- c) **Cenário intermediário (A1F1) segundo caso** – definido pelo aumento de  $2,8^{\circ}\text{C}$  da temperatura global e o volume pluviométrico diário  $10\%$  maior que o atual;

### 3.3.1 *Zoneamento de risco climático*

#### 3.3.1.1 **Base de dados**

A série de dados base utilizados nesta pesquisa, em sua maior parte, foram repassados pelo Sistema Agritempo (Rede Nacional de Agrometeorologia) e, integram uma série homogênea de totais diários de chuva de 55 estações pluviométricas localizadas no Estado do Tocantins e de outras 15 estações localizadas nos Estados de Goiás (sete), Bahia (duas), Maranhão (duas), Pará (duas) e Mato Grosso (duas) totalizando 70 estações para o período compreendido entre 1963–2006 (Figura 7).

No entanto, em função das variações de temperatura e precipitação estabelecidas para os diferentes cenários analisados, novas séries de dados foram geradas de acordo com a condição específica de cada cenário. Para tal, utilizou-se de um programa desenvolvido na linguagem de programação php para se obter as novas séries diárias de precipitação pluviométrica acrescida e diminuída em 10% do volume atual.

Em relação aos dados de temperatura as séries mensais de dez localidades, sendo seis dentro do Estado e outras quatro em pontos de divisa com os Estados do Pará e Maranhão, foram obtidas junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

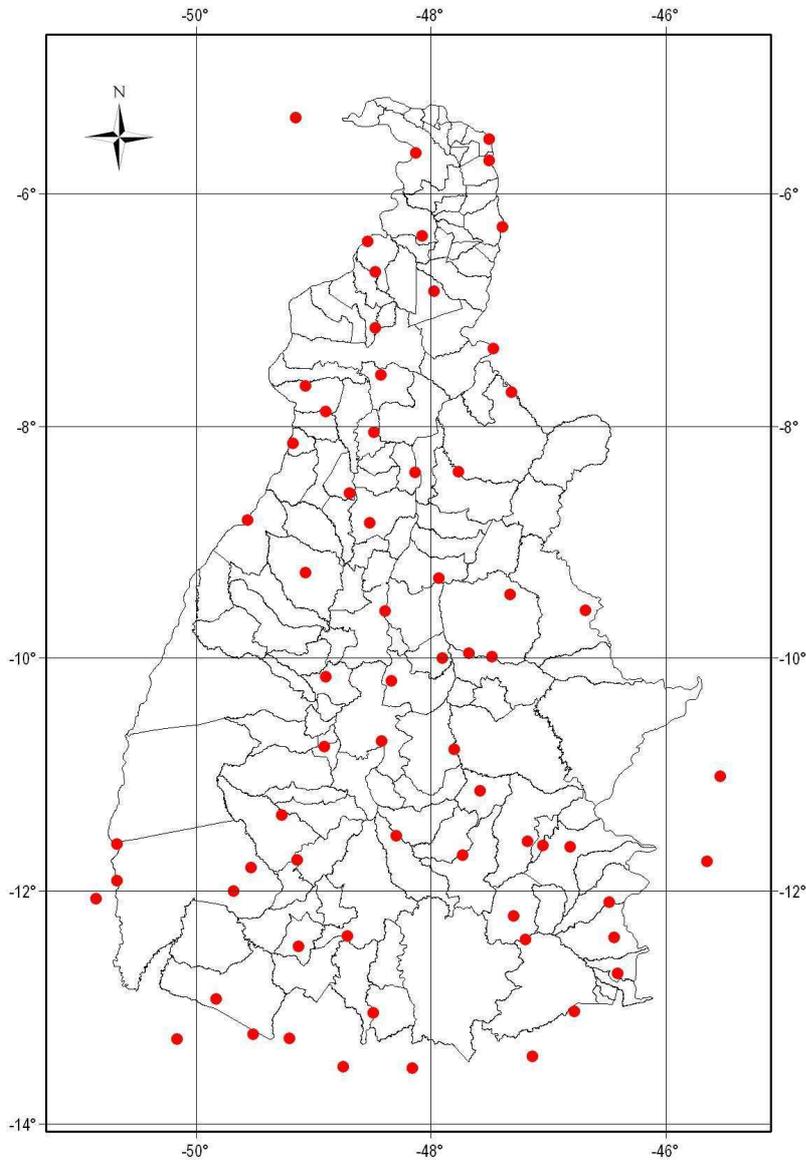
#### 3.3.1.2 **Organização dos dados**

Verificou-se que, durante alguns procedimentos, as informações, principalmente, referentes às coordenadas geográficas das estações meteorológicas e/ou postos pluviométricos tiveram seus valores alterados e, portanto, podendo ocasionar sérios erros durante a simulação do balanço hídrico. Dessa forma, utilizou-se de um dos módulos do Sistema de Análise Regional dos Riscos Agroclimáticos (SARRA) o SARRAMET, desenvolvidos por Baron & Clopes (1995), para efetuar as devidas correções, organizar e preparar os dados no formato que permita a execução da etapa seguinte, que é a simulação do balanço hídrico do solo.

#### 3.3.1.3 **Simulação dos balanços hídricos diários para as culturas do arroz e da soja ambas de ciclo precoce (de 110 dias) para períodos decendiais**

Para a simulação do balanço hídrico do solo, considerando as culturas do arroz e da soja, foi utilizado outro módulo do SARRA o SARRAZON, também desenvolvido por Baron & Clopes (1995). O modelo utiliza simplificações na estimativa da evapotranspiração real que apresenta uma margem de erro pequena, inferior a 10%, quando comparadas às medições da

umidade do solo obtidas através de sondagem a partir da sonda de nêutrons e pelo método aerodinâmico do balanço de energia (ASSAD, 1987 apud SILVA, 2001).



**Figura 7** – Distribuição espacial das estações pluviométricas.

As principais variáveis de entrada do SARRAZON são:

- **Precipitação pluviométrica diária:** ver item 3.3.1.1;

**Tabela 2** – Coeficiente de cultura (Kc) por decêndio para a cultura da soja e do arroz

Cultura	Ciclo (dias)	Decêndio											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Soja	110	0,50	0,60	0,70	0,80	1,00	1,15	1,00	0,80	0,70	0,60	0,50	0,50
Arroz	110	0,60	0,80	1,02	1,10	1,20	1,20	1,20	1,18	1,12	0,90	0,80	0,76

**Fonte:** Andrade Júnior et al. (2007).

- **Coefficientes de cultura (K<sub>C</sub>):** foram usados valores de K<sub>C</sub> decendiais ao longo do ciclo das culturas do arroz e da soja, mostrados pela Tabela 1;
- **Evapotranspiração de referência (ET<sub>O</sub>):** utilizou-se o método proposto por Thorthwaite e Mather (1955) na estimativa da ET<sub>O</sub>;

O Método de Thorthwaite e Mather (1955):

a) Quando a temperatura média do ar está no intervalo:  $0 < T_a < 26,5^\circ\text{C}$

$$ET^* = 16 \left( \frac{10 T_a}{I} \right) \quad (1)$$

T<sub>a</sub> = temperatura média do ar do mês “n” (°C);

I = índice térmico anual ou índice de calor anual;

i<sub>n</sub> = índice térmico do mês “n”;

a = constante que varia em função da latitude;

ET<sub>O</sub> = evapotranspiração de referência (mm/dia) para um mês de 30 dias;

b) Quando a temperatura média do ar é:  $T_a \geq 26,5^\circ\text{C}$

$$ET^* = -415,85 + 32,24 T_a - 0,43 T_a^2 \quad (2)$$

$$I = \sum_{n=1}^{12} i_n \quad (3)$$

$$i_n = \left( \frac{T_{a_n}}{5} \right)^{1,514} \quad (4)$$

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

Assim, efetuam-se as devidas correções e estima-se a ET<sub>O</sub> mensal como segue:

$$ET_O = \frac{(ET^* \times N)}{(30 \times 12)} \quad (6)$$

Onde:

ET<sub>O</sub> = evapotranspiração de referência (mm/mês);

ET\* = valor calculado pelas expressões (1) ou (2).

- **Análise de Sensibilidade:** são dados relacionados à umidade do solo, na qual até 30 mm de precipitação se verifica completa infiltração da água no solo (chuva limite), acima deste volume pluviométrico 20% é transformado em escoamento superficial e o valor restante infiltra;

- **Capacidade de água disponível (CAD):** variou em função do tipo de solo e da cultura, cujos valores encontram-se na Tabela 2. Foram considerados três tipos de solos com diferentes capacidades de armazenamento de água, são eles:

**Tipo 1:** solos com baixa capacidade de armazenamento de água (30 mm) - Areia Quartzosa e solos Aluviais Arenosos teor de argila maior que 10% e menor ou igual a 15%, com profundidade igual ou superior a 50 cm;

**Tipo 2:** solos com média capacidade de armazenamento de água (50 mm) – Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo teor de argila entre 15 e 35% e menos de 70% de areia, com profundidade igual ou superior a 50 cm.

Salienta-se, portanto, que ao longo do ciclo das culturas a CAD foi considerada constante.

**Tabela 3** – Reserva útil de água no solo (mm).

Cultura	Tipo de solo	
	Tipo 1	Tipo 2
Soja	20	40
Arroz	30	50

**Fonte:** MAPA (2008).

- **Profundidade do sistema radicular:** adotou-se como 50 cm a profundidade máxima na qual o sistema radicular das culturas do arroz e da soja ainda possui considerável capacidade de absorção;
- **Cultivares:** admitiu-se cultivares hipotéticas, adaptadas às condições ambientais da região em estudo, com ciclo de 110 dias (precoce) e período crítico (floração/enchimento de grãos) de 35 dias, o qual está compreendido entre o 65° e o 100° dia após a emergência;
- **Datas de Simulação:** Para a simulação foram estipuladas datas precedentes em 30 dias ao plantio e 30 dias pós-colheita para as doze datas de semeadura espaçadas em 10 dias (de 5 de outubro a 04 de fevereiro), proporcionando ao modelo de simulação maior confiabilidade. Foram simulados balanços hídricos para todos os anos compreendidos entre 1963 e 2006 para todas as estações.

Os balanços hídricos foram determinados para o período compreendido entre 05 de outubro e 04 de fevereiro, considerando-se primeiro, segundo e terceiro decêndio de cada mês.

O módulo SARRAZON apresenta as seguintes variáveis respostas, ou seja, de saída do sistema:

- i. Evapotranspiração Máxima ( $ET_M$ ) – estimada pelo produto  $ET_o \cdot K_c$ ;
- ii. Evapotranspiração Real ( $ET_R$ );
- iii. Índice de Satisfação da Necessidade da Cultura (ISNA) – expresso pela relação entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima ( $ET_R/ET_M$ ), indicando a quantidade de água que a planta irá consumir e o total necessário para garantir a sua máxima produtividade. Esse índice reflete a sensibilidade da cultura ao déficit hídrico, cujo índice de penalização oscila entre 0 e 1.

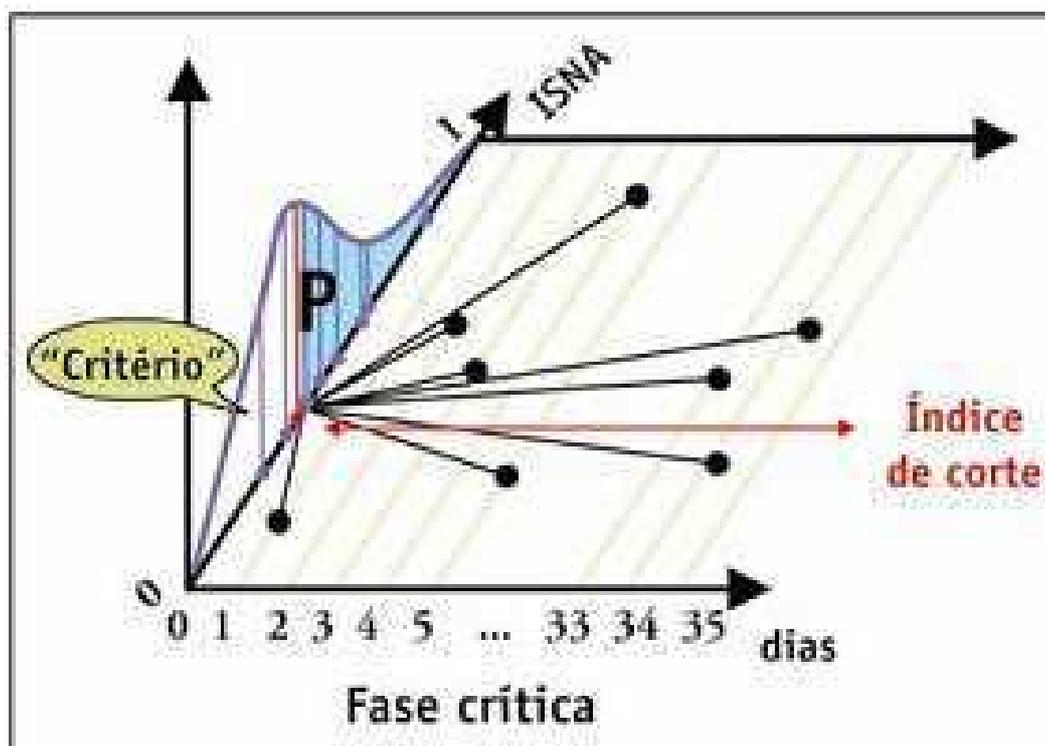
Para a caracterização do risco climático aos cultivos do arroz e da soja de sequeiro foram estabelecidas três classes de  $ET_R/ET_M$ , conforme STEINMETZ *et al.* (1985), para o período de enchimento de grãos que é o mais determinante da produtividade final:

- $ET_R/ET_M \geq 0,65$  – as culturas do arroz e da soja de sequeiro estão expostas a um baixo risco climático;
- $0,65 > ET_R/ET_M \geq 0,55$  – as culturas do arroz e da soja de sequeiro estão expostas a um risco climático médio;
- $ET_R/ET_M < 0,55$  – as culturas do arroz e da soja de sequeiro estão expostas a um alto risco climático.

A simulação do balanço hídrico permitiu, então, estimar a relação  $ET_R/ET_M$  (ISNA) ao longo do ciclo das culturas. Assim, para uma determinada localidade, define-se o tipo de solo, o ciclo da cultura, as fases fenológicas da planta e uma data de plantio. A partir dessa data é identificado, após o plantio, qual o período em que não pode faltar água. Nesse período, calcula-se para cada dia da fase fenológica crítica a evapotranspiração real ( $ET_R$ ) e a evapotranspiração máxima ( $ET_M$ ). Ao final da fase, calcula-se o valor médio da relação  $ET_R/ET_M$ . Como os cálculos são feitos para cada ano da série de chuva (mínimo de 25 anos), o procedimento é refeito para o primeiro ano, segundo ano, terceiro ano, até o último ano da série de dados, gerando então  $n$  valores que foram utilizados no estabelecimento de uma função de probabilidade (Figura 8).

A hipótese será aceita se em 80% dos casos o índice ISNA for maior que um critério capaz de garantir que, para aquela data de plantio, não haverá deficiência hídrica na fase fenológica mais sensível ao stress hídrico e determinante da produtividade agrícola. Se a hipótese não for comprovada, desloca-se a data do plantio em dez dias e recomeçam-se os cálculos.

Esse procedimento é feito para pelo menos três tipos de solos (baixa, média e alta capacidade de armazenamento de água), doze datas de semeadura (período entre 05 de outubro e 01 de fevereiro – estação de cultivo) e para o ciclo precoce das culturas do arroz e da soja no Estado do Tocantins.



**Figura 8** – Esquema da simulação do balanço hídrico e cálculo do ISNA (período de enchimento de grãos).

**Fonte:** ASSAD et al., (2008).

### 3.3.1.4 Espacialização dos ISNA's e determinação das áreas de baixo, médio e alto riscos climáticos para os cenários considerados na pesquisa

Ao final do procedimento anterior, foram obtidos os ISNA's médios correspondentes às várias fases fenológicas das culturas em estudo.

Para espacialização dos resultados foram adotados os seguintes procedimentos: digitação de arquivos de pontos em planilha do Surfer, organizados em três colunas, com latitude, longitude e valores da relação  $ET_r/ET_m$  com 80% de frequência de ocorrência; transformação das coordenadas geográficas em coordenadas de projeção cartográfica utilizadas (no caso, projeção policônica); leitura do arquivo de pontos; organização das amostras; e geração de uma grade regular (grade retangular, regularmente espaçada de pontos, em que o valor da cota de cada ponto é estimado a partir da interpolação de um número de vizinhos mais próximo).

Por se tratar, basicamente, de uma análise bidimensional, na qual as variações de  $ET_R/ET_M$  foram espacializadas em função do tempo, desconsiderou-se os efeitos orográficos. O processo de interpolação que definiu as isolinhas base para a confecção dos mapas que mostram as áreas de baixo, médio e alto riscos climáticos ao cultivo das culturas do arroz e da soja no Tocantins foi também realizado através do Surfer 7.0, no qual o método de interpolação usado foi o *inverso da distância a uma potência*, onde o peso da potência de melhor ajuste foi  $\beta=5$ , conforme o modelo que segue:

$$\hat{Z} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{h_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{h_{ij}^\beta}} \quad (7)$$

$$h_{ij} = \sqrt{d_{ij}^2 + \delta^2} \quad (8)$$

### 3.3.1.5 Confeção dos mapas de zoneamento de risco climático para as culturas do arroz e da soja no Estado do Tocantins

Convertidos os dados e feitas as transformações necessárias, a imagem foi fatiada e reclassificada. Isto consiste em classificar os valores interpolados, ou seja, agrupar em classes os valores da relação  $ET_R/ET_M$  calculados pelo balanço hídrico. Verificados os erros e ajustados os valores das interpolações, foram confeccionadas 720 figuras (360 para o arroz e 360 para a soja), identificando-se as regiões de menor ou maior risco climático aos cultivos do arroz e da soja no Estado do Tocantins.

### 3.3.1.6 Quantificação dos impactos econômico-financeiros do aquecimento global às áreas de baixo risco climático para cultivo do arroz e da soja em relação a situação atual

Nessa etapa foram realizadas as seguintes ações: determinação da área de reserva legal instituída pelo código florestal brasileiro para a região do bioma cerrado que é de 35% e exclusão da mesma da área considerada apta nos mapas de risco climático; levantamento da área plantada e determinação dos valores médios da produtividade e do preço pago ao produtor nos últimos cinco anos (levantamento feito junto ao IBGE - agência de Palmas).

De posse dessas informações foram realizados os cálculos da receita bruta potencial estimada (RPE) para cada um dos cenários em estudo, considerando os distintos tipos de solos, conforme expressão que segue:

$$RPE_i = AP \times PrecM \times ProM \quad (9)$$

Onde:

RPE<sub>i</sub> – Receita potencial estimada para o cenário i;

AP – Área plantada (ha);

PrecM – Preço médio pago ao produtor (R\$);

ProM – Produtividade média das regiões do Estado do Tocantins (ton/ha).

O passo seguinte foi o de determinar a variação da receita potencial estimada, ou seja, quantificar os possíveis impactos econômico-financeiros oriundos do aquecimento global sobre as áreas consideradas aptas, com baixo risco climático, ao cultivo das culturas do arroz e da soja. Para tal, utilizou-se da expressão abaixo:

$$VRPE_i = RPE_i - RPE_{ca} \quad (10)$$

Onde:

VRPE<sub>i</sub> – Variação da receita bruta potencial estimada para o cenário “i” (impacto econômico-financeiro);

RPE<sub>i</sub> – Receita potencial estimada para o cenário “i”;

RPE<sub>CA</sub> – Receita bruta potencial estimada para o cenário climático atual.

Os impactos econômico-financeiros estimados para o final do ano 2100 foram convertidos em valores presente (atuais) pela expressão que segue:

$$VP = \frac{R}{(1+i)^t} \quad (11)$$

Onde:

VP – Valor presente ou atual;

R – Receita;

i – taxa de juros nominal;

t – tempo.

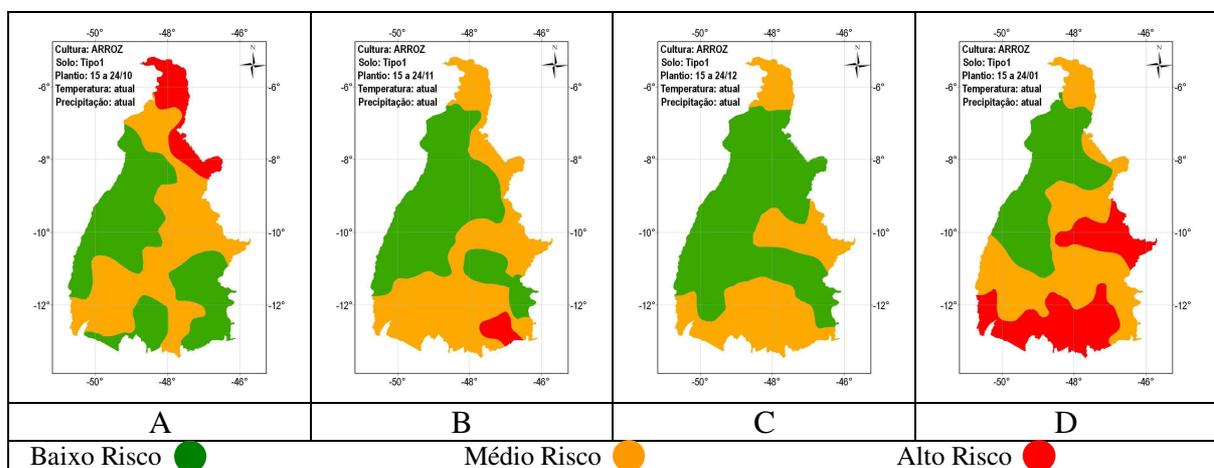
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Distribuição dos riscos climáticos para o cultivo do arroz de terras altas

#### 4.1.1 Situação climática atual

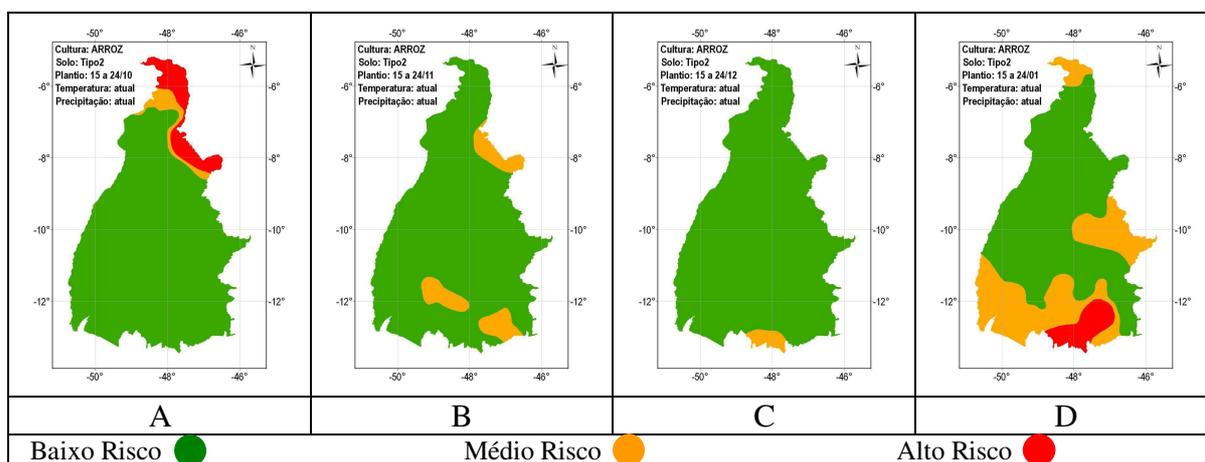
As Figuras 9 e 10 mostram a espacialização dos riscos climáticos para a cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) de terras altas, no Tocantins, em solos de texturas arenosa (tipo 1) e média (tipo 2), respectivamente, para semeadura de 15 a 24 de cada mês do período de cultivo (outubro a janeiro).

Percebe-se pela Figura 4 uma tendência de aumento da área apta do início do período de cultivo (Figura 9 A) até a semeadura de 15 a 24/12 (Figura 9 C) e tende a diminuir para plantios tardios, ou seja, próximos do final desse período. Nesse período de semeadura, a área apta representa 60,5% das terras do Estado (Tabela 4), isto equivale a aproximadamente 169 mil km<sup>2</sup>. Dessa forma, esse período de semeadura (15 a 24/12) é o que evidencia, para os solos de textura arenosa, as condições mais adequadas para o plantio, pois não apresenta nenhuma área com alto risco climático e sem condições favoráveis ao cultivo apenas as áreas acima do paralelo de 7° e abaixo do paralelo de 12° e em parte da região centro-leste. Ainda, pela Figura 9, pode-se observar que para semeaduras tardias (Figura 9 D) a área considerada apta passou a corresponder com apenas algo em torno de 84 mil km<sup>2</sup>, que significa uma diminuição de aproximadamente 50% em relação ao período de semeadura anterior. As simulações realizadas por Soares e Silva (2006) apresentaram que quanto mais o plantio seja tardiamente realizado maior será o risco climático que a cultura estará exposta, concorrendo para decréscimos no rendimento da cultura.



**Figura 9** – Espacialização dos riscos climáticos, para o arroz de terras altas em solos tipo 1 nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), para a SCA, no Estado do Tocantins.

Pela Figura 10, nota-se que o aumento da capacidade de retenção hídrica do solo promove um acentuado aumento da área apta para as épocas de semeadura do período de cultivo. Vê-se que as áreas com médios e altos riscos climáticos ficaram restritas, basicamente, aos períodos de semeadura do início (Figura 10 A) e final (Figura 10 D) da estação de cultivo, mesmo assim, no mínimo 64% das terras do Estado apresentam condições favoráveis com baixo risco climático ao cultivo desse cereal. Ainda pela Figura 10, percebe-se que a época de semeadura que mostra menos risco ao cultivo é de 15 a 24/12 (Figura 10 C), portanto, a mais adequada como indicativo de plantio para o agricultor, na qual a área com probabilidade de sucesso na colheita de no mínimo de 80% atinge a quase totalidade do território tocantinense, ou seja, mais de 98% (Tabela 4) está coberto pela condição de baixo risco climático, que representa aproximadamente 274 mil quilômetros quadrados.



**Figura 10** – Espacialização dos riscos climáticos, para o arroz de terras altas em solos tipo2 nas semeaduras de 15 a24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), para a SCA, no Estado do Tocantins.

Comparando as Figuras 9 e 10 em conjunto com a Tabela 1, percebe-se o acentuado aumento de área apta à medida que, mudou-se de um solo de baixa retenção hídrica (solo tipo 1; Figura 9), para um de média capacidade de armazenamento de água (solo tipo 2; Figura 10). De acordo com estudos realizados por Maciel et al. (2009) e Andrade Júnior (2007) para o cultivo de soja, por Andrade Júnior (2001) para os cultivos de soja e de milho e por Soares e Silva (2006) e Silva e Assad (2001) para o cultivo de arroz, ambos para condições de sequeiro, mostraram que quanto menor a CAD maiores são os riscos climáticos para essas culturas.

Pelos resultados da Tabela 4 observa-se que a época de semeadura mais adequada ao plantio de arroz de terras altas, no Estado do Tocantins está entre 15 e 24/12, independente do tipo de solo. Percebe-se, ainda, que a área considerada apta que era de aproximadamente 169 mil

quilômetros quadrados para o plantio em solos do tipo 1, foi aumentada em 37,6% e passou para algo em torno de 274 mil quilômetros quadrados quando o plantio foi realizado em solos tipo 2.

**Tabela 4** – Áreas aptas com baixo risco climático (km<sup>2</sup>) para cultivo do arroz de terras altas, de ciclo precoce (110 dias), sob as condições climáticas do cenário atual e os respectivos percentuais em relação à área do Estado do Tocantins.

SOLO	Áreas Aptas (km <sup>2</sup> )			
	Semeadura			
	15/out.	15/nov.	15/dez.	15/jan.
<b>Tipo 1</b>	128.616,4	111.628,9	168.670,6	83.902,7
%	46,1	40	60,5	30,1
<b>Tipo 2</b>	250.168,7	253.418,8	273.589,1	178.854,4
%	89,7	90,9	98,1	64,1

A Tabela 5 mostra para as condições do cenário climático atual a receita potencial estimada com a produção de arroz de terras altas em função do tipo de solo cultivado e da época de semeadura. Como discutido anteriormente percebe-se, aqui também, duas situações bem distintas: a) uma quando o plantio é realizado em solos tipo 1, onde a receita bruta potencial com a produção de arroz oscilou entre R\$ 8,4 bilhões (plantio de 15 a 24/12) e R\$ 4,2 bilhões (plantio de 15 a 24/01); b) para o cultivo em solos tipos 2, a receita bruta potencial ficou entre R\$ 13,6 e 8,9 bilhões, para plantio realizado entre 15 e 24/12 e entre 15 e 24/01, respectivamente.

**Tabela 5** – Receita bruta potencial estimada proveniente do cultivo de arroz de terras altas no Estado do Tocantins, para a SCA.

SOLO	Receita Bruta Potencial Estimada (R\$ bilhões)			
	Semeadura			
	15/out.	15/nov.	15/dez.	15/jan.
<b>Tipo 1</b>	6,4	5,5	8,4	4,2
<b>Tipo 2</b>	12,4	12,6	13,6	8,9

Obs.: Estimativas baseadas no valor médio pago por tonelada de arroz e na produtividade média da cultura, no Estado do Tocantins, de acordo com o IBGE (2009)

#### 4.1.2 *Cenário Otimista*

Nas situações climáticas do cenário otimista, no qual a temperatura média do planeta teria um aumento de 1,8°C e as chuvas teriam o mesmo padrão pluviométrico atual, as Figuras 11 e 12 mostram a espacialização dos riscos climáticos para a cultura do arroz de terras altas, no Tocantins, em solos de texturas arenosa (tipo 1) e média (tipo 2), respectivamente, para semeadura de 15 a 24 de cada mês do período de cultivo (outubro a janeiro).

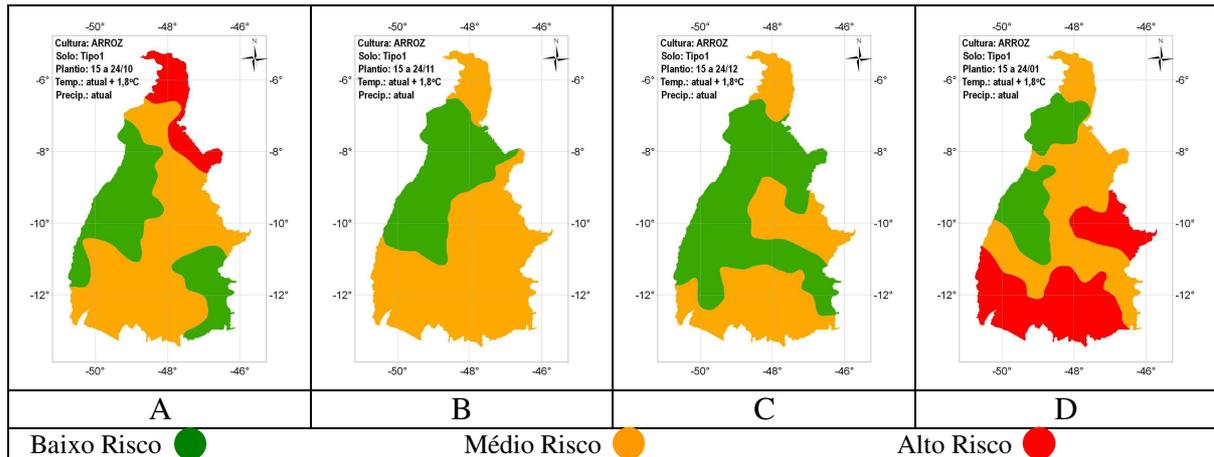
Percebe-se que para os solos de baixa capacidade de retenção hídrica (Figura 11), caso ocorra o aumento de 1,8°C na temperatura global, a região centro-oeste do Estado, independente da data de semeadura, apresenta condições de baixo risco climático para a cultura do arroz de terras altas, por outro lado, as regiões centro-leste e extremo norte apresentam condições de médio e alto risco climático.

Em relação à situação atual percebe-se que houve diminuição de área com baixo risco climático (apta) para as épocas de semeadura e tipos de solos considerados, no entanto, foram mais acentuadas para os plantios realizados nas épocas de início e final da estação de cultivo. Contudo, ainda, manteve como melhor indicativo de plantio as épocas entre 15 e 24/12, nas quais a área com baixo risco é a maior de todo o período de cultivo.

De acordo com a Figura 11 e a Tabela 6 verifica-se um aumento da área apta para o plantio entre 15/10 e 24/12. No entanto, em comparação com a SCA ocorreu uma diminuição dessa área de 28,9% e 12,1%, respectivamente. A diminuição foi ainda maior quando o plantio foi realizado entre 15 e 24/01, que chegou a 32,2%. Estudos realizados por Campos (2010) mostram que o aumento da temperatura em 1,5°C no nordeste brasileiro promoveu uma diminuição da área apta de 32,8% e 38,9% respectivamente, para os cultivos do feijão caupi e do milho.

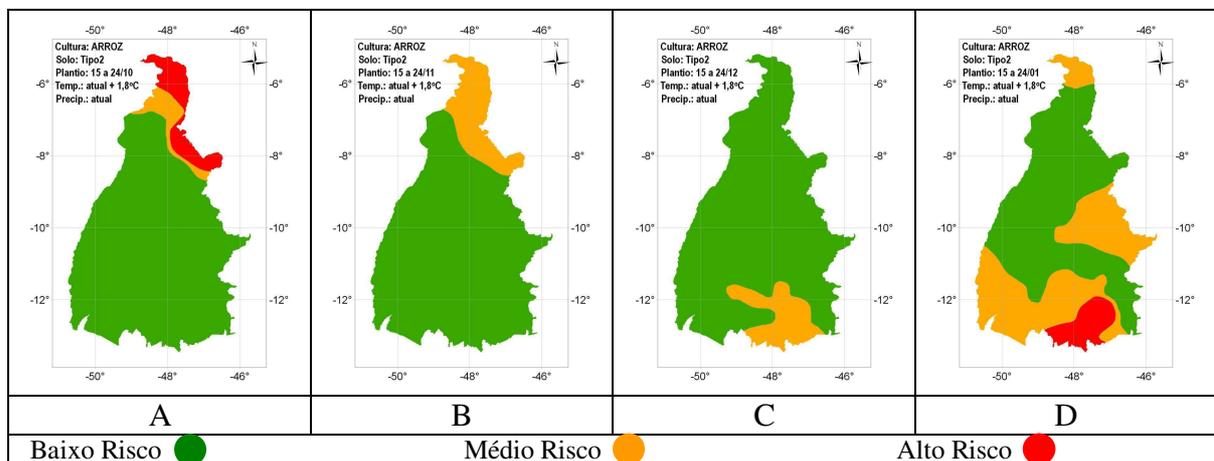
Sendo os solos de textura média (Figura 12), observa-se que para semeadura entre 15 e 24 dos meses de outubro e novembro, apenas a região do extremo norte e parte das regiões centro-norte e nordeste mostram riscos climáticos de médio a alto e a área apta representa algo em torno de 88% e 91% respectivamente, das terras do Estado.

Os resultados da Tabela 6 em relação aos obtidos para a SCA mostram que as épocas de plantio entre 15 e 24/11 apresentam as menores diminuições (0,02%) de área apta para o cultivo do arroz de terras altas no Tocantins. No entanto, para plantio de 15 a 24/12 a área com baixo risco climático (apta) representa aproximadamente 91% das terras do Estado o que equivale a algo em torno de 253 mil quilômetros quadrados.



**Figura 11** – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário climático otimista, para o arroz de terras altas em solos tipo 1, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), para a SCA, no Estado do Tocantins.

Já para semeadura entre 15 e 24/01 a área considerada apta foi reduzida em mais de 13% quando comparamos as verificadas na SCA, totalizando mais de 155 mil quilômetros quadrados o que equivale a um percentual de pouco mais de 55% das terras do Estado (Tabela 6). Para Assad et al. (2005) o aumento da CAD, em alguns casos, atenua os efeitos provocados pela elevação da temperatura.



**Figura 12** – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário climático otimista, para o arroz de terras altas em solos tipo 2, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins.

**Tabela 6** – Áreas aptas com baixo risco climático (km<sup>2</sup>) para cultivo do arroz de terras altas, de ciclo precoce (110 dias), sob as condições climáticas do cenário otimista e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à SCA no Estado do Tocantins.

SOLOS	Áreas Aptas (km <sup>2</sup> )			
	Semeadura			
	15/out.	15/nov.	15/dez.	15/jan.
<b>Tipo 1</b>	91.469,3	91.620,7	148.229,5	56.920,4
%	-28,9	-17,9	-12,1	-32,2
<b>Tipo 2</b>	245.645,5	249.064,2	253.363,3	155.271,1
%	-6,0	-0,02	-7,0	-13,2

De acordo com a Tabela 7 os impactos econômico-financeiros foram todos negativos e oscilaram entre R\$ 6.300.000,00 e R\$ 9.500.000,00 para os períodos de semeadura de 15 a 24/12 e de 15/10 a 24/11, respectivamente, considerando que os solos são de textura arenosa. Percebe-se também, que essas perdas econômicas foram mais acentuadas para épocas de semeadura do início e final da estação de cultivo. Ainda pela Tabela 7, mas para o cultivo em solos de textura média verificou-se que os impactos econômico-financeiros negativos foram menores ao longo de todas as datas de semeadura e variou de R\$ 15.000,00 para plantio de 15 a 24/11 a mais de seis milhões de reais para o plantio realizado entre 15 e 24/01. Percebe-se que o aumento da CAD dos solos tipo 1 para os do tipo 2, a data de plantio com melhor indicativo para o agricultor tenha sido antecipada em pelo menos trinta dias.

**Tabela 7** – Variação da receita bruta potencial estimada ou impacto econômico-financeiro (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção de arroz de terras altas no Estado do Tocantins, para o *cenário otimista* em relação a SCA.

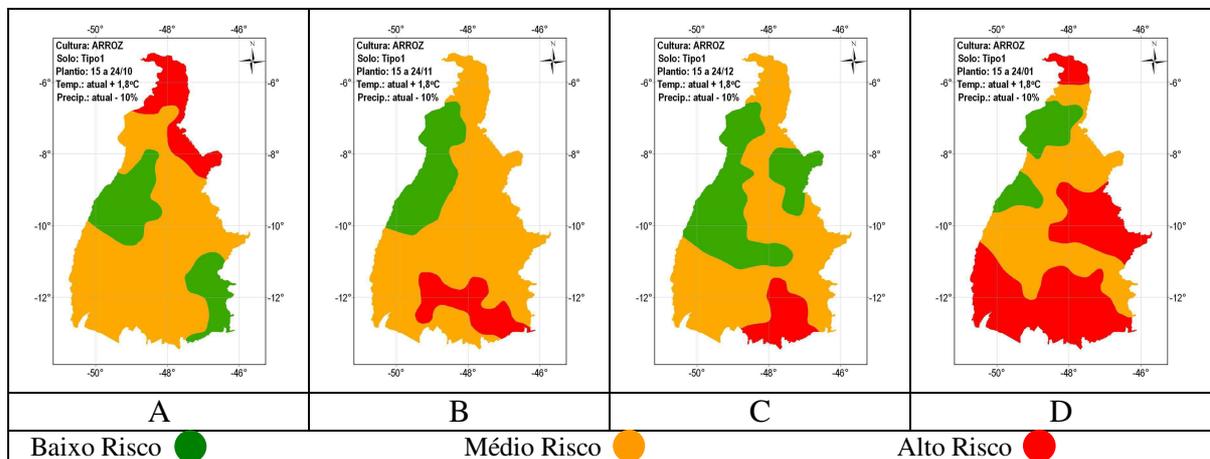
SOLO	Variação de Receita Estimada (x1000 reais)			
	Semeadura			
	15/out.	15/nov.	15/dez.	15/jan.
<b>Tipo 1</b>	9.500,	9.500,	6.300,	6.900,
<b>Tipo 2</b>	1.200,	15,00	5.300,	6.300,

Obs.: Estimativas baseadas no valor médio pago por tonelada de arroz e na produtividade média da cultura, no Estado do Tocantins, de acordo com o IBGE (2009)

### 4.1.3 Cenário Otimista PRIMEIRO CASO

As Figuras 13 e 14 mostram a espacialização dos riscos climáticos para a cultura do arroz de terras altas, no Estado do Tocantins, em solos de texturas arenosa (tipo 1), e média (tipo 2), respectivamente, para semeadura de 15 a 24 dos meses do período de cultivo considerado (outubro a janeiro).

Considerando que os solos são de textura arenosa e diminuição da oferta hídrica, observa-se pela Figura 13 que a área apta foi fortemente reduzida ao longo das épocas de semeadura do período de cultivo, quando em comparação a SCA. No plantio de 15 a 24/12 a área apta com baixo risco é de quase 90 mil quilômetros quadrados, que equivale a uma redução de aproximadamente 47%. Por outro lado, para semeadura de 15 a 24/01 essa área não atinge 32 mil quilômetros quadrados, onde o percentual de diminuição ultrapassa os 62% (Tabela 8). Nesse tipo de solo o Estado do Tocantins não possui 32% de suas terras sob condições favoráveis (baixo risco) ao cultivo do arroz. Dessa forma, percebe-se que os solos de textura arenosa são muito sensíveis a elevação da temperatura e, ainda, ocorrendo redução da oferta hídrica, torna-se praticamente inviável a atividade agrícola com o cultivo do arroz de sequeiro para algo em torno de 89% dos municípios tocantinenses.

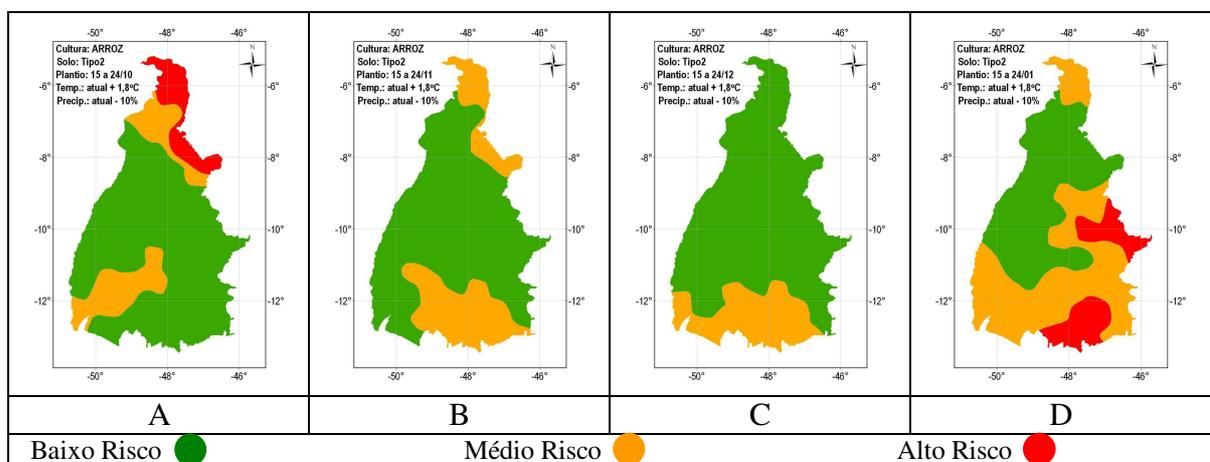


**Figura 13** – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário otimista – primeiro caso, para o arroz de terras altas em solos tipo 1, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins.

No plantio em solos de textura média (Figura 14), o aumento da CAD dos solos tipo 1 para os de tipo 2 conduziu para a expansão da área apta nas diferentes épocas de semeadura da estação de cultivo. A área apta para plantio entre 15 e 24/12 mostrou-se cobrindo uma extensão de aproximadamente 80% do território tocantinense e caiu para quase 43% no plantio foi de 15 a

24/01. Nessas épocas de semeadura a área com baixo risco foi de 222.756 km<sup>2</sup> (-18,6% que a área da SCA) e de 118.885 km<sup>2</sup> (-33,5% que a área da SCA), respectivamente (Tabela 8). Ainda pela mesma Tabela, as demais épocas de semeadura mostraram área apta em torno de 202 mil quilômetros quadrados ( $\approx 20\%$  menor que a área da SCA).

Percebe-se que para a grande maioria dos municípios do Estado (>83%) a melhor época de semeadura é a de 15 a 24/12, pelo fato de apenas parte da área abaixo do paralelo de 12° não está totalmente coberta pela condição de baixo risco climático ao cultivo do arroz (Figura 14).



**Figura 14** – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário otimista – primeiro caso, para o arroz de terras altas em solos tipo 2, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins.

Pelos resultados da Tabela 8, percebe-se a área apta (verde) é maior para plantio de 15 a 24/12 tanto nos solos tipo 1 como nos tipo 2. Por outro lado, nota-se que para semeaduras em quaisquer outras épocas, ou seja, diferente da de 15 a 24/12, a área com baixo risco climático diminui para esses mesmos tipos de solos. Vale salientar, portanto, que a diminuição é mais acentuada para épocas de semeadura mais próximas do final da estação de cultivo.

**Tabela 8** – Áreas aptas (km<sup>2</sup>) para cultivo do arroz de terras altas, de ciclo precoce (110 dias), para o *cenário otimista primeiro caso* e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à SCA, no Estado do Tocantins.

SOLOS	Áreas Aptas (km <sup>2</sup> )			
	Semeadura			
	15/out.	15/nov.	15/dez.	15/jan.
<b>Tipo 1</b>	60.716,3	48.001,2	89.760,8	31.590,4
%	-52,8	-57,0	-46,8	-62,3
<b>Tipo 2</b>	202.683,6	201.614,8	222.755,8	118.884,5
%	-19,0	-20,4	-18,6	-33,5

De acordo com os resultados da Tabela 9, as perdas econômicas (impactos econômico-financeiros negativos) oriundas das possíveis variações climáticas foram de aproximadamente R\$ 14 milhões e R\$ 21 milhões nas épocas de semeadura de 15 a 24/01 e de 15 a 24/12, respectivamente, para o cultivo em solos de textura arenosa. No cultivo em solos de textura média as perdas econômicas oscilaram em torno de R\$ 13 milhões e R\$ 16 milhões, para as épocas de semeadura de 15 a 24/10 e entre 15 a 24/01, respectivamente.

**Tabela 9** – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção de arroz de terras altas no Estado do Tocantins, para o *cenário otimista primeiro caso*, em relação à SCA, para solos e épocas de semeaduras distintas.

SOLO	Variação da Receita Bruta Estimada			
	Semeadura			
	15/out.	15/nov.	15/dez.	15/jan.
<b>Tipo 1</b>	17.945,	16.889,	20.584,	13.722,
<b>Tipo 2</b>	12.667,	13.722,	13.195,	15.834,

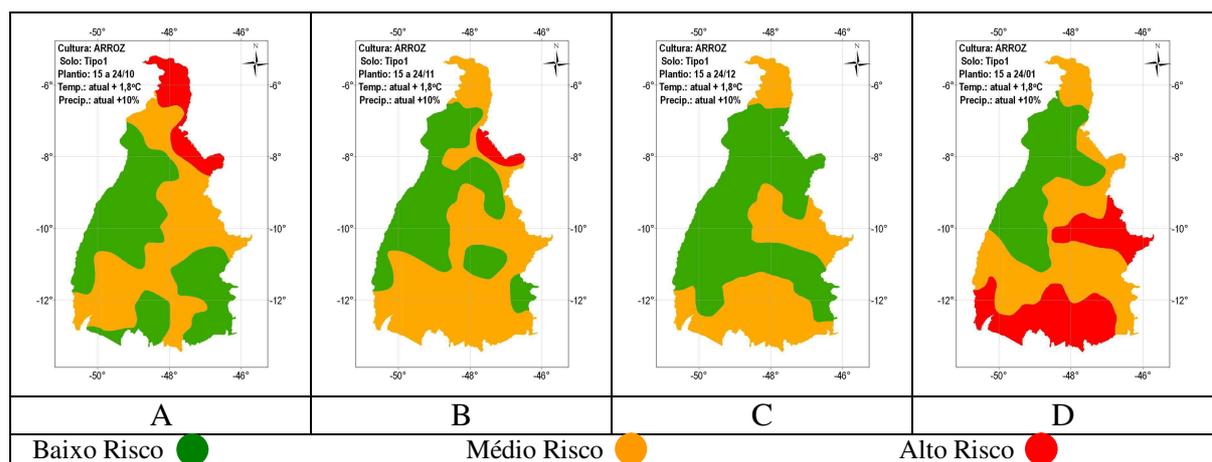
Obs.: Estimativas baseadas no valor médio pago por tonelada de arroz e na produtividade média da cultura, no Estado do Tocantins, de acordo com o IBGE (2008)

#### 4.1.4 Cenário Otimista SEGUNDO CASO

As Figuras 15 e 16 mostram a espacialização dos riscos climáticos para a cultura do arroz de terras altas, no Estado do Tocantins, em solos de texturas arenosa (tipo 1) e média (tipo 2), respectivamente, para semeadura de 15 a 24 de cada mês do período de cultivo (outubro a janeiro).

Pela Figura 15 observa-se a distribuição das áreas com baixo risco para o cultivo do arroz no Tocantins, e que para semeadura em 15 a 24/10, áreas de baixo risco climático cobrem totalmente a região centro-oeste e partes das regiões centro-norte, centro-leste, sudeste e sudoeste do Estado. Nesse período de plantio, a área com baixo risco é de 128.473,8 km<sup>2</sup>, que

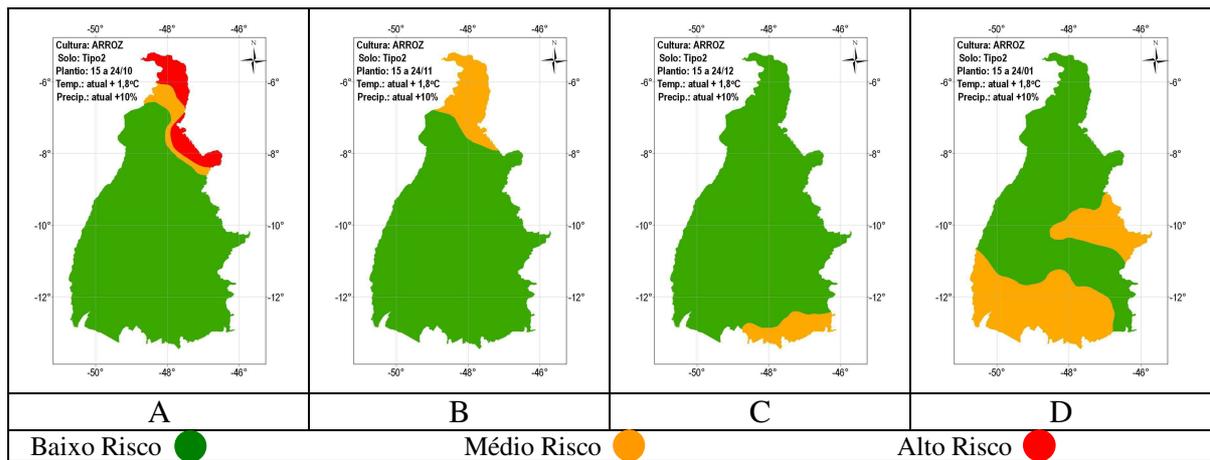
correspondem a 46% das terras do Tocantins e em comparação a área atual é 0,1% menor (Tabela 10). Para a semeadura realizada de 15 a 24/11, percebe-se áreas com baixo riscos climáticos isoladas nas regiões nordeste, centro-leste, sudeste e sudoeste, cobrindo total e parcialmente as regiões centro-oeste e centro-norte, respectivamente, o que corresponde a aproximadamente 39% da área do Estado (108.676,4 km<sup>2</sup>). Caso o plantio ocorra cerca de um mês depois, ou seja, de 15 a 24/12, quase toda parte oeste do Tocantins é tomada pelas áreas com baixo risco climático, a região nordeste e partes das regiões sudeste e sudoeste (161.670,3 km<sup>2</sup>), que representa em torno de 58% de todo Estado em comparação com o cenário atual é 4,2% menor. Já para semeadura de 15 a 24/01, apenas 28,8% do Estado apresentam condições favoráveis ao cultivo do arroz com baixo risco climático, em áreas das regiões centro-oeste, centro-norte e nordeste. Ainda pela Figura 15 nota-se que a região do extremo norte, independentemente da época de semeadura não apresenta áreas com baixo risco climático.



**Figura 15** – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário otimista segundo caso, para o arroz de terras altas em solos tipo 1, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins.

De acordo com a Figura 16 pode-se observar uma situação interessante no que diz respeito a distribuição dos riscos climáticos ao longo do Estado. Caso a semeadura seja realizada de 15 a 24/10 ou de 15 a 24 /11, as áreas com médio e alto risco climático concentram-se na porção mais a norte do Tocantins, provavelmente ocorra devido a fraca atuação dos principais sistemas responsáveis pelas chuvas nessa região (Convergência Intertropical e a Massa Equatorial Continental) (extremo norte, parte do nordeste e centro-norte) (NIMER, 1979). Nessas épocas de semeadura 82,8% (230.808,2 km<sup>2</sup>) e 90,5% (252.234,4 km<sup>2</sup>) do Estado apresentam baixo risco climático para o arroz de sequeiro, respectivamente (Tabela 10). Por outro lado, para o plantio de 15 a 24/12 (Figura 11 C) ou de 15 a 24/01 (Figura 16D), as áreas com médio risco climático concentram-se em parte da região sudeste e nas regiões sudoeste e

centro-leste do Estado. Provavelmente, isto ocorra em função das chuvas começarem mais cedo nas regiões mais ao sul do Tocantins, devido principalmente à atuação das frentes frias, as quais a partir de meados de janeiro apresentam mais irregularidades, ocasionando sérios transtornos para o plantio do arroz. Para essas últimas épocas de semeadura, a área com baixo risco representam 94,4% (263.211,6 km<sup>2</sup>) e 56,5% (157.517,3 km<sup>2</sup>) do território estadual, respectivamente (Tabela 10).



**Figura 16** – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário otimista segundo caso, para o arroz de terras altas em solos tipo 2, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins.

Observando a Figura 16 percebe-se ainda que o semeio de 15 a 24/12, representa a melhor indicação de plantio para mais de 94% dos municípios do Tocantins, sendo que o restante dos municípios não possuem histórico com plantio de arroz, como Arraias e Paraná (IBGE, 2007).

Mesmo com aumento da oferta hídrica, percebe-se uma leve tendência de diminuição da área apta com baixo risco climático, a medida que a época de semeadura é deslocada do início da estação de cultivo para datas mais próximas do final da mesma, considerando que os solos são do tipo 1 (Tabela 10).

Com o plantio realizado em solos do tipo 2 e no período de 15 a 24/11, observa-se que a área com potencial produtivo do arroz é de 252.234,4 km<sup>2</sup>, ou seja, 90,5% das terras do Estado apresentam condições favoráveis ao cultivo, em relação ao cenário atual, representando uma diminuição de apenas 0,5% (Tabela 10).

**Tabela 10** – Áreas aptas (km<sup>2</sup>) para cultivo do arroz de terras altas, de ciclo precoce (110 dias), para o cenário otimista segundo caso e os respectivos percentuais de área, em relação à SCA, no Estado do Tocantins.

SOLOS	Áreas Aptas (km <sup>2</sup> )			
	Semeadura			
	15/out.	15/nov.	15/dez.	15/jan.
<b>Tipo 1</b>	128.473,8	108.676,4	161.670,3	80.382,9
%	-0,1	-2,6	-4,2	-4,2
<b>Tipo 2</b>	230.808,2	252.234,4	263.211,6	157.517,3
%	-7,7	-0,5	-3,8	-11,9

Quando comparadas as tabelas 8 e 10 verifica-se que com aumento da oferta hídrica (cenário otimista – segundo caso), as áreas aptas ao cultivo da cultura do arroz aumentam significativamente, para todos os tipos de solos e períodos de sementeira, com exceção apenas da época de 15 a 24/12, que permanecem inalterada.

A perda econômica oscilou aproximadamente entre R\$ 790 mil e R\$ 5,9 milhões, para sementeira entre 15 e 24/11 e de 15 a 24/01, respectivamente, para o cultivo em solos de baixa capacidade de armazenamento de água (tipo 1). No plantio em solos de textura média (tipo 2), verifica-se que a variação de receita foi em torno de R\$ 306 mil (plantio de 15 a 24/11) e de aproximadamente R\$ 1,85 milhões (sementeira de 15 a 24/12). Essa situação deve-se ao fato de que a diminuição das áreas com potencial produtivo do arroz foi mais acentuada nos solos do tipo 2 em relação a situação atual. Percebe-se, portanto, que a perda econômica tende a aumentar quando o plantio é realizado mais tardiamente, ou seja, nas épocas próximas do final da estação de cultivo.

**Tabela 11** – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção de arroz de terras altas no Estado do Tocantins, para o cenário otimista segundo caso, em relação a SCA.

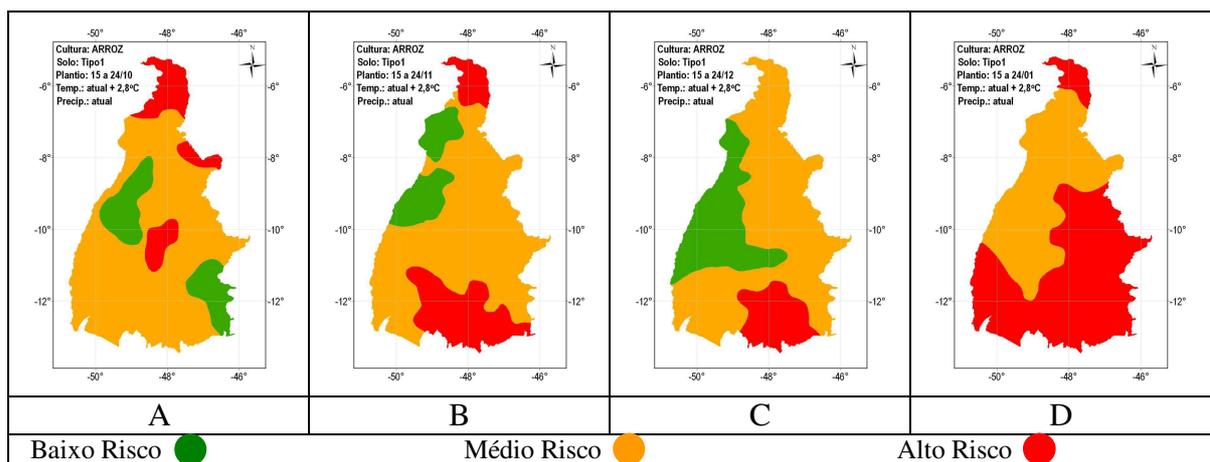
SOLO	Variação de Receita Bruta Estimada			
	Semeadura			
	15/out.	15/nov.	15/dez.	15/jan.
<b>Tipo 1</b>	5.066,91	791,70	2.744,58	5.805,84
<b>Tipo 2</b>	369,46	306,13	1.847,31	897,27

Obs.: Estimativas baseadas no valor médio pago por tonelada de arroz e na produtividade média da cultura, no Estado do Tocantins, de acordo com o IBGE (2008)

#### 4.1.5 Cenário Intermediário

A espacialização dos riscos climáticos é mostrada pelas Figuras 17 e 18 para a cultura do arroz de terras altas, no Estado do Tocantins, em solos de texturas arenosa (tipo 1) e média (tipo 2), respectivamente, para semeadura de 15 a 24 de cada mês do período de cultivo (outubro a janeiro).

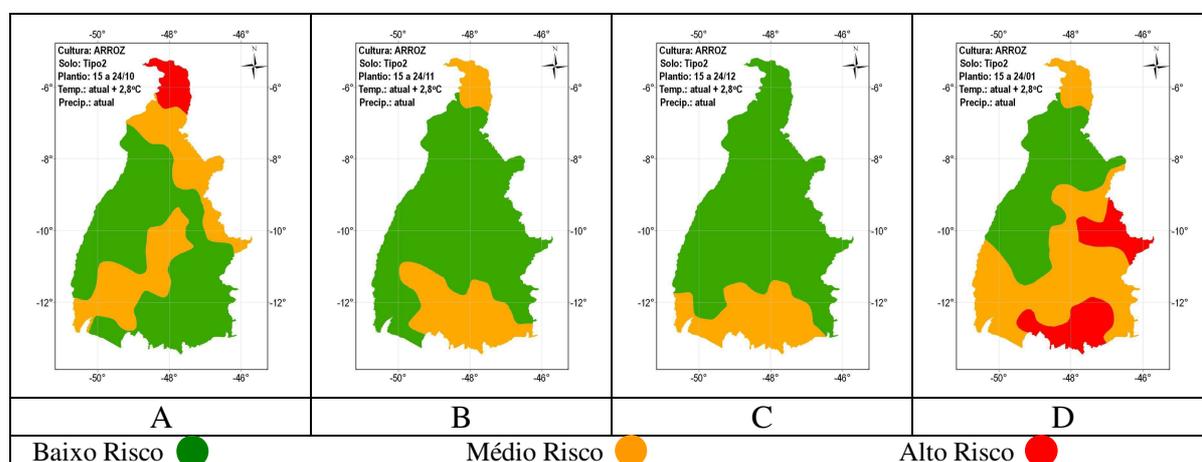
Conforme os mapas da Figura 17 percebe-se que para o cultivo do arroz em solos de baixa capacidade de retenção hídrica (tipo 1), as terras do Estado estão, em sua maior parte, tomadas pelas áreas de médio e alto risco climático. Por outro lado, pode-se observar duas pequenas áreas com baixos riscos climáticos localizadas em partes das regiões sudeste, centro-oeste e centro-norte para plantio de 15 a 24/10 e em partes das regiões centro-oeste e centro-norte para plantio de 15 a 24/11, representando 14,9% e 12,3% da área do Estado, respectivamente. Para o plantio um mês depois, ou seja, de 15 a 24/12, a área com baixo risco climático apresenta uma pequena expansão, passando a ocupar 23,7% do território estadual e tendência de migração para a porção oeste do Estado, onde se localiza a zona de maior pluviosidade (Maciel et al., 2009). Ainda, pela Figura 17 nota-se que com aumento da temperatura de 2,8°C, nesse tipo de solo, pode ocorrer um encurtamento do período de cultivo do arroz, visto que para plantio a partir de 15 a 24/01 aumenta o risco climático em todas as regiões do Estado.



**Figura 17** – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário intermediário, para o arroz de terras altas em solos tipo 1, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins.

Considerando que as atividades agrícolas do cultivo do arroz de terras altas realizadas em solos de textura média (Figura 18), observa-se que para semeadura de 15 a 24/10, a região do extremo norte está totalmente coberta com áreas de alto risco climático, enquanto, as

regiões centro-oeste e sudeste mostram-se completamente favoráveis ao cultivo do arroz. As demais regiões apresentam áreas tanto de baixo, quanto de médios riscos climáticos. Nessa época de plantio, a área com baixo risco climático representa 61% da área do Estado. Para semeadura de 15 a 24/11 e 15 a 24/12 as áreas com baixos riscos climáticos totalizam 74,2% e 79,2% do Estado, respectivamente. Percebe-se, ainda, pela Figura 18 que a área de baixo risco climático tende a diminuir à medida que o plantio é realizado tardio, ou seja, cai de 79,2% para aproximadamente 38% (plantio de 15 a 24/01). Pelas épocas de semeadura analisadas, vê-se que o cultivo do arroz de terras altas em solos do tipo 1 apresenta algo em torno de 39% da área do Estado sob condições favoráveis ao seu cultivo (Tabela 12), levando a fortes restrições na maioria das terras do Estado.



**Figura 18** – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário intermediário, para o arroz de terras altas em solos tipo 2, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins.

Para o cultivo do arroz em solos do tipo 2, verifica-se que o menor impacto sobre a área de baixo risco climático para o cultivo do arroz ocorre quando o plantio é realizado de 15 a 24/11 e, representa uma diminuição de 18,1% em relação o cenário atual. Para esse período de plantio o Estado encontra-se com 74,4% (207.482 km<sup>2</sup>) de suas terras em condições favoráveis ao cultivo do arroz (Tabela 12).

**Tabela 12** – Áreas aptas (km<sup>2</sup>) para cultivo do arroz de terras altas, de ciclo precoce (110 dias), sob as condições do cenário intermediário e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à SCA, para tipos de solos e época de semeadura distintas, no Estado do Tocantins.

SOLOS	Áreas Aptas (km <sup>2</sup> )			
	Semeadura			
	15/out.	15/nov.	15/dez.	15/jan.
<b>Tipo 1</b>	41443,6	34371,4	66014,5	0,0
	-67,8	-69,2	-60,9	-100,0
<b>Tipo 2</b>	169962,0	207482,0	220858,6	102266,4
	-32,1	-18,1	-19,3	-42,8

Sob as condições climáticas deste cenário e plantio em solos de baixa capacidade de armazenamento de água (tipo 1), estima-se que a perda econômica, ao final desse século, oscile em torno de R\$ 20 milhões e R\$ 27 milhões para plantio entre 15/11 e 24/12, respectivamente. Semeadura em épocas após 24/12 aumenta a probabilidade de insucesso de colheita. O plantio em solos de média capacidade de armazenamento (tipo 2) apresenta impactos econômico-financeiros negativos menores e variando aproximadamente de R\$ 12 milhões a R\$ 20 milhões para semeadura de 15 a 24/11 e de 15 a 24/01, respectivamente (Tabela 13).

Constata-se, então, que o aumento de 2,8°C da temperatura média do Estado e o padrão pluviométrico diário mantendo-se o atual, apenas o aumento da capacidade do solo de armazenar água, não é suficiente para suportar o aumento da demanda evapotranspirativa da cultura e conseqüentemente o estresse hídrico provocados pelas possíveis variações climáticas (SILVA et al., 2010; CAMPOS, 2009 e 2010).

**Tabela 13** – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção de arroz de sequeiro no Estado do Tocantins, para o cenário intermediário, em relação à SCA.

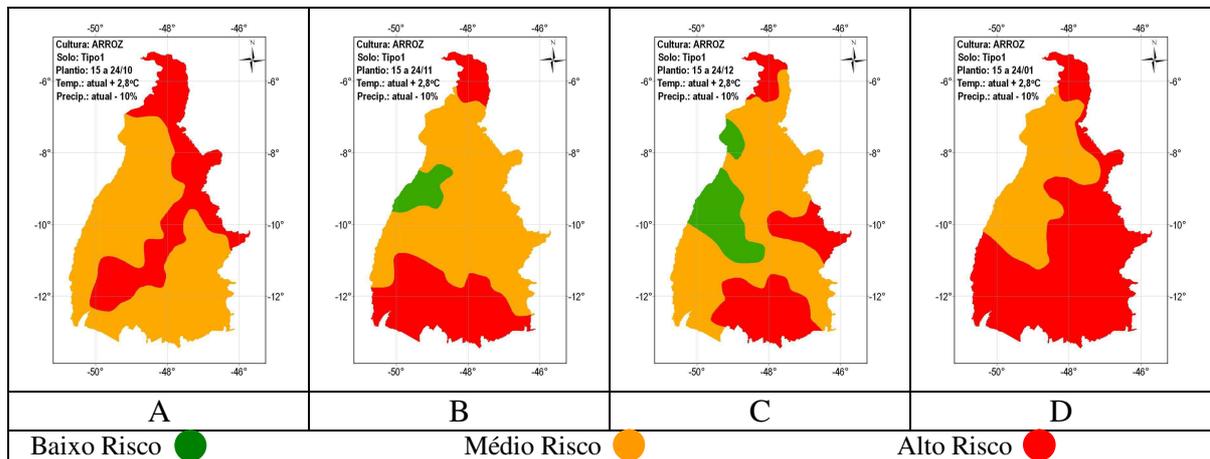
SOLO	Variação de Receita Estimada			
	Semeadura			
	15/out.	15/nov.	15/dez.	15/jan.
<b>Tipo 1</b>	22.695,54	20.056,53	26.917,97	22.167,74
<b>Tipo 2</b>	21.112,13	12.139,48	13.722,89	20.056,53

Obs.: Estimativas baseadas no valor médio pago por tonelada de arroz e na produtividade média da cultura, no Estado do Tocantins, de acordo com o IBGE (2008).

#### 4.1.6 Cenário Intermediário PRIMEIRO CASO

Sob as condições climáticas desse cenário as Figuras 19 e 20 mostram a espacialização dos riscos climáticos para a cultura do arroz de terras altas, no Tocantins, em solos de texturas arenosa (tipo 1) e média (tipo 2), respectivamente, para semeadura de 15 a 24 de cada mês do período de cultivo (outubro a janeiro), ao final do século em curso.

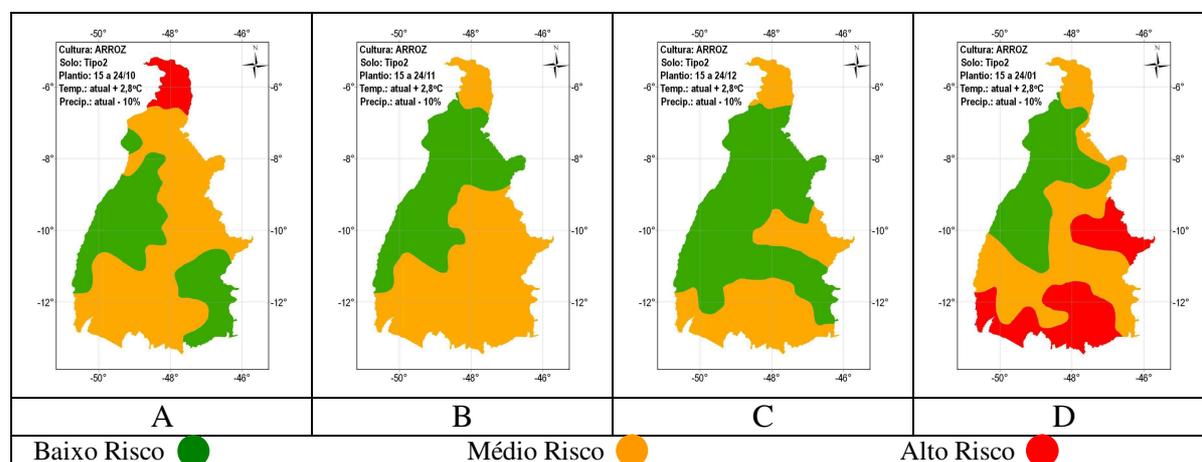
Os mapas da Figura 19 mostram forte diminuição da área apta para as épocas de semeadura analisadas em relação à SCA. Pelos mesmos vê-se que para o início (Figura 19 A) e final (Figura 19 D) da estação de cultivo ausência total das áreas com baixo risco climático e, que para plantio de 15 a 24/11 (Figura 19 C) e de 15 a 24/12 (Figura 19 D) são vistas pequenas áreas com condições favoráveis ao cultivo do arroz com aproximadamente 15 mil (-86,3% que a SCA e pouco mais de 5% da área do Estado) e 40 mil (-76,3% que a SCA e em torno de 14 da área do Estado) quilômetros quadrados, respectivamente. Constata-se, portanto, que para as épocas de semeaduras de 15 a 24/10 e de 15 a 24/01, em solos tipo 1, todo o território tocantinense apresenta-se sob condições de médio e alto risco climático para a atividade orizícola, tornando-se pouco provável o cultivo desse cereal nesses períodos. Segundo Assad et al., (2008) a elevação da temperatura média em 3°C reduziria no Brasil a área apta, ao cultivo do arroz, em aproximadamente 16%.



**Figura 19** – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário climático intermediário primeiro caso, para o arroz de terras altas em solos tipo 1, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins.

Em solos de textura média e época de semeadura de 15 a 24/12 a área de baixo risco representa pouco mais de 61% das terras do Estado e, comparada a SCA é em torno de 38% menor (Figura 20 e Tabela 14). No entanto, para semeadura em outra época da estação de cultivo

a área apta tem acentuada diminuição, chegando a ser quase 61% menor que as obtidas para a SCA, que representa 35,3% da área do Estado, ou seja, 98.549,7 km<sup>2</sup>. A época de plantio entre 15 e 24/12 é a que mostra melhores condições para indicativo de calendário agrícola.



**Figura 20** – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário climático intermediário primeiro caso, para o arroz de terras altas em solos tipo 2, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins.

Comparando as Figuras 19 e 20, percebe-se que o efeito das possíveis variações climáticas sobre a área apta, foi relativamente atenuado com o aumento da CAD. Efeito também evidenciado pelos estudos desenvolvidos para o arroz de sequeiro nos Estados do Mato Grosso, Goiás, Tocantins e Bahia por Soares e Silva (2006) e por Silva e Assad (2001).

**Tabela 14** – Áreas aptas (km<sup>2</sup>) para cultivo do arroz de terras altas, de ciclo precoce (110 dias), sob as condições do cenário intermediário primeiro caso e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à SCA em tipos de solos e época de semeaduras distintas, no Estado do Tocantins

SOLOS	Áreas Aptas (km <sup>2</sup> )			
	Semeadura			
	15/out.	15/nov.	15/dez.	15/jan.
<b>Tipo 1</b>	0,0	15266,9	39986,2	0,0
	-100,0	-86,3	-76,3	-100,0
<b>Tipo 2</b>	98549,7	106287,1	170876,8	81896,5
	-60,6	-58,1	-37,5	-54,2

Estima-se que as perdas econômicas sejam em torno de R\$ 34 milhões (plantio de 15 a 24/10 e de 15 a 24/12) e R\$ 22 milhões (plantio entre 15 e 24/01), para o cultivo em solos tipo 1 (Tabela 15).

O cultivo do arroz em solos de textura média os possíveis impactos econômico-financeiros foram de aproximadamente R\$ 25 milhões (semeadura entre 15 e 24/01) e R\$ 40 milhões (semeadura entre 15 e 25/10).

**Tabela 15** – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção de arroz de terras altas no Estado do Tocantins, para o cenário intermediário, em relação a SCA.

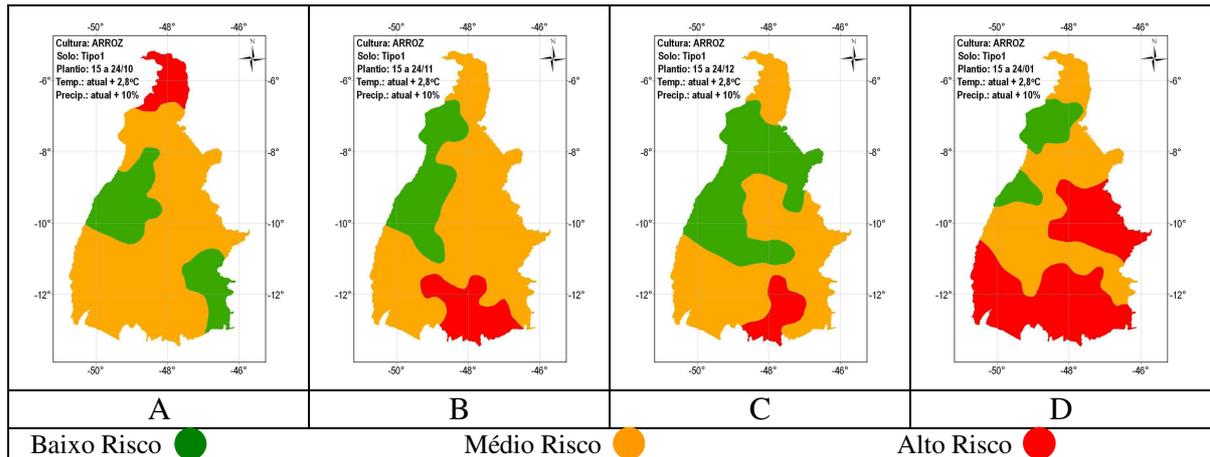
SOLO	Variação de Receita Estimada			
	Semeadura			
	15/out.	15/nov.	15/dez.	15/jan.
<b>Tipo 1</b>	33.779,41	25.334,56	33.779,41	22.167,74
<b>Tipo 2</b>	39.585,25	38.529,64	26.917,97	25.334,56

Obs.: Estimativas baseadas no valor médio pago por tonelada de arroz e na produtividade média da cultura, no Estado do Tocantins, de acordo com o IBGE (2008)

#### 4.1.7 Cenário Intermediário SEGUNDO CASO

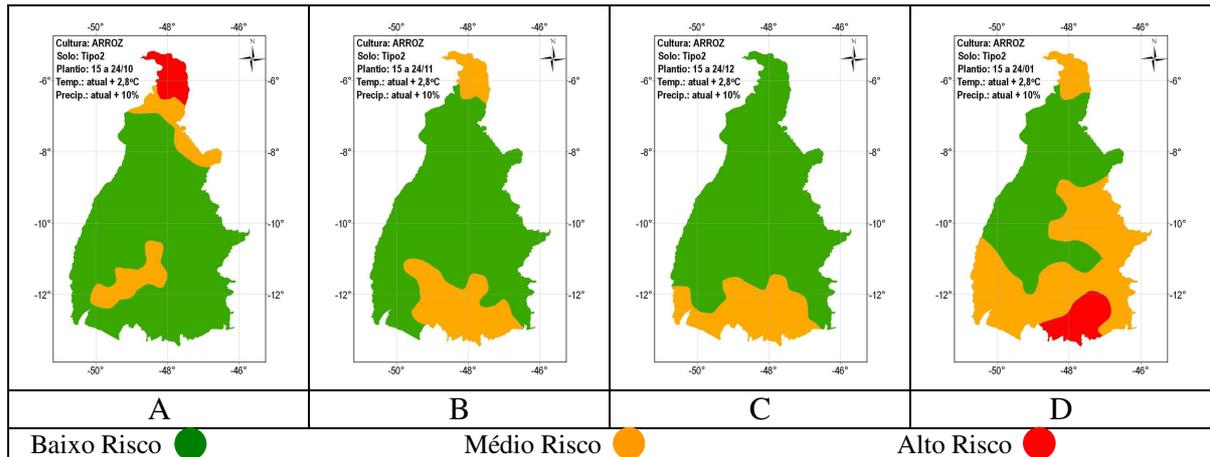
A espacialização dos riscos climáticos é mostrada pelas Figuras 21 e 22 para a cultura do arroz de terras altas, no Estado do Tocantins, em solos de texturas arenosa e média, respectivamente, para semeadura de 15 a 24 de cada mês do período de cultivo (outubro a janeiro).

No plantio em solos tipo 1 as áreas com baixo risco climático ocuparam em torno de 11% (plantio entre 15 e 24/01; Figura 21 D) e de 37% (plantio entre 15 e 24/12; Figura 21 C) da área do Estado, o que equivale a 30.033 km<sup>2</sup> e 102.159 km<sup>2</sup>, respectivamente (Tabela 16). O aumento em 10% no volume pluviométrico diário, não foi suficiente para inibir os efeitos provocados pela elevação da temperatura média do Estado em 2,8°C sobre a área apta ao cultivo do arroz. Assim, pela Figura 21 pode-se observar uma forte redução da área apta ao longo das épocas de semeadura entre 39,4% e 64,2% (Tabela 16), quando comparadas aos mapas da SCA.



**Figura 21** – Espacialização dos riscos climáticos, nas condições do cenário climático intermediário segundo caso, para o arroz de terras altas em solos tipo 1, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins.

Considerando que os solos são de textura média, portanto, uma capacidade de armazenamento de água desse solo maior e, ainda, um aumento da oferta hídrica natural, nota-se pela Figura 22 uma moderada expansão da área de baixo risco climático para as épocas de semeadura analisadas, embora, quando comparada as da Figura 10 (SCA) sejam menores. Com esta expansão a área apta oscila entre 45% (125.227 km<sup>2</sup>, isto é 30% menor que a área da SCA, Tabela 16) e 82% (227.522 km<sup>2</sup>, ou seja, 9,1% menor que a área da SCA; Tabela 16) da área do Estado, para semeadura de 15 a 24/01 e de 15 a 24/10, respectivamente. Vale salientar que o risco climático tende a aumentar para semeaduras tardias, ou seja, para semeadura em épocas posteriores a 15/12. Pela distribuição e ocupação da área apta no Estado o plantio de 15 a 24/12 representa a melhor época de semeadura, pois com médio risco climático apenas parte da área abaixo da latitude de 12°, o restante da área do Estado está coberta pela condição de baixo risco climático (Figura 22 C).



**Figura 22** – Espacialização dos riscos climáticos, nas condições do cenário climático intermediário segundo caso, para o arroz de terras altas em solos tipo 2, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins

**Tabela 16** – Áreas aptas com baixo risco climático (km<sup>2</sup>) para cultivo do arroz de terras altas, de ciclo precoce (110 dias), sob as condições climáticas do cenário intermediário: segundo caso e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à situação atual, no Estado do Tocantins

SOLOS	Áreas Aptas (km <sup>2</sup> )			
	Semeadura			
	15/out	15/nov	15/dez	15/jan
<b>Tipo 1</b>	62.314,7	54.311,0	102.159,0	30.033,1
	-51,5	-51,3	-39,4	-64,2
<b>Tipo 2</b>	227.521,5	217.558,8	224.256,6	125.227,6
	-9,1	-14,2	-18,0	-30,0

No plantio em solos do tipo 1 os impactos econômico-financeiros negativos ficaram entre R\$ 14 milhões (semeadura de 15 a 24/01) e aproximadamente R\$ 17,5 milhões para plantio de 15 a 24/10 e de 15 a 24/12. Por outro lado, no plantio em solos do tipo 2 as perdas econômicas foram menores e variaram de R\$ 5,8 milhões (plantio de 15 a 24/10) até valores em torno de R\$ 14,3 milhões (Tabela 17).

**Tabela 17** – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 em valores atuais) proveniente da produção de arroz de terras altas no Estado do Tocantins, para o cenário intermediário segundo caso, em relação a SCA.

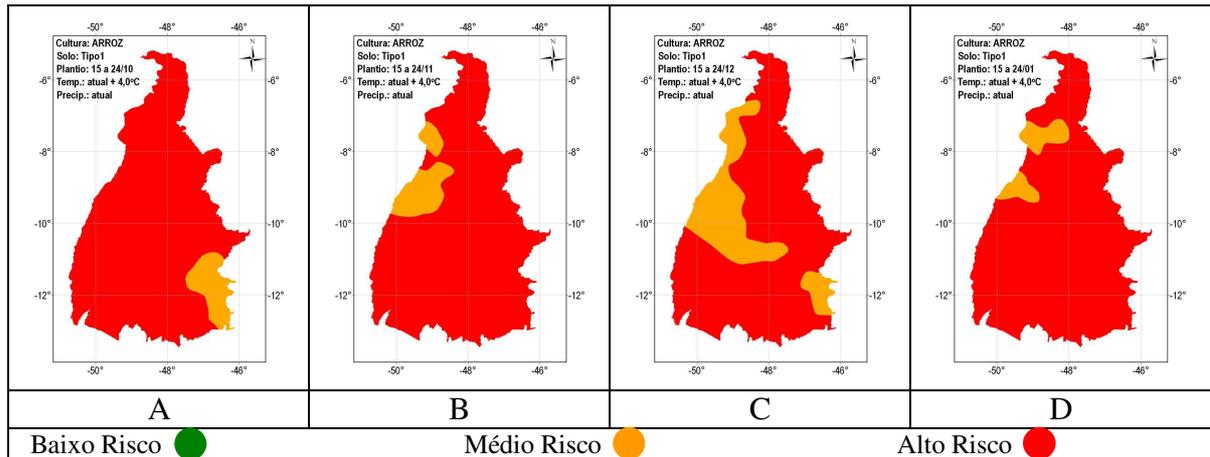
SOLO	Variação de Receita Estimada			
	Semeadura			
	15/out	15/nov	15/dez	15/jan
<b>Tipo 1</b>	17.417,51	14.778,49	17.417,51	14.250,69
<b>Tipo 2</b>	5.805,84	9.500,46	13.195,08	14.250,69

Obs.: Estimativas baseadas no valor médio pago por tonelada de arroz e na produtividade média da cultura, no Estado do Tocantins, de acordo com o IBGE (2008)

#### 4.1.8 Cenário Pessimista

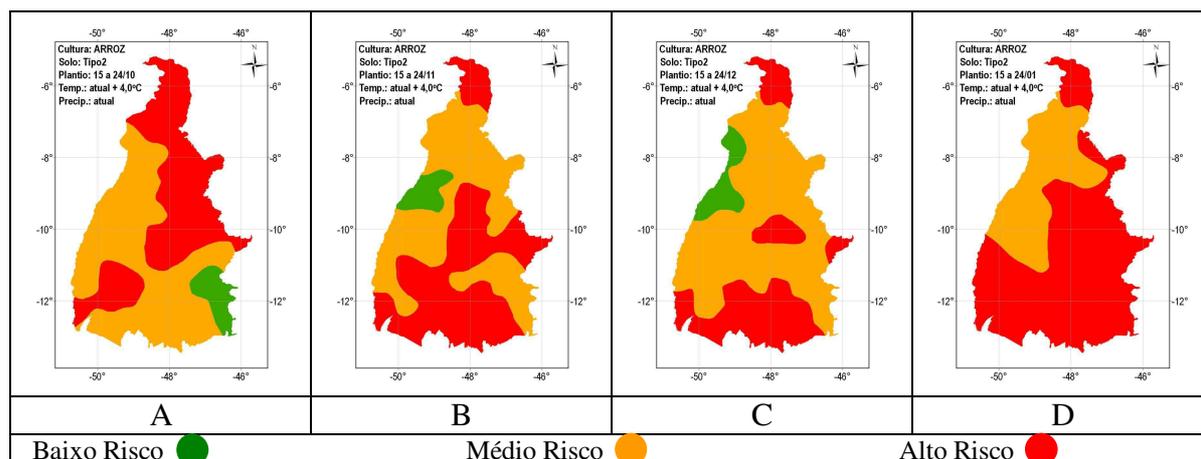
A distribuição espacial dos riscos climáticos é mostrada pelas Figuras 23 e 24 para o cultivo de arroz de terras altas, no Estado do Tocantins, em solos de texturas arenosa e média, respectivamente, para semeadura de 15 a 24 de cada mês do período de cultivo (outubro a janeiro).

A atividade agrícola naturalmente já é de risco, portanto, se nas condições climáticas deste cenário o cultivo seja em solos de baixa capacidade de retenção hídrica (tipo1), esse risco natural é potencializado, aumentando as possibilidades de fracasso com o cultivo do arroz de sequeiro no Estado do Tocantins. De acordo com Rossetti (2001), totalmente inviável para os seguros agrícolas, tanto por parte do governo como do setor privado não aceitam correr tamanho risco (superior a 65%). Pela Figura 23 observa-se que as terras do Estado estão totalmente tomadas pelas condições de médio e alto risco climático. A área com alto risco climático para plantio de 15 a 24/12 representa em torno de 78% das terras do Estado e para semeadura de 15 a 24/10 (Figura 23 A) e de 15 a 24/01 (Figura 23 D) correspondem a percentuais próximos de 94% da área estadual do Tocantins.



**Figura 23** – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário climático pessimista, para o arroz de terras altas em solos tipo 1, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins.

No plantio em solos tipo 2 (Figura 24), nota-se que parte da área de alto risco climático foi substituída por médio risco e a ocorrência de área com baixo risco muito insignificante, ou seja, em nenhuma época de semeadura chega a ocupar 6,5% da área do Estado e, ainda, vale salientar que para plantio entre 15/10 e 24/12 (Figuras 24 A, B e C) nenhuma dessas áreas aptas estão localizadas em municípios com histórico de produtor de arroz (IBGE, 2009). Pode-se observar que o plantio de 15 a 24/10, a área apta ficou reduzida a parte da região sudeste do Estado (15.620 km<sup>2</sup>, 93,8% menor que a da SCA), para semeadura de 15/11 a 24/12 (Figuras 24 B e C) a área apta foi em média de 15.600 km<sup>2</sup> e comparadas a SCA é em torno de 94% menor (Tabela 18). Simulações feitas por Assad, et al., (2007 e 2008) para diversas culturas e variados aumentos de temperatura, por exemplo, 3,0°C e 5,8°C vai promover uma acentuada demanda da evapotranspiração e, como conseqüência, estabelecerá um aumento da deficiência hídrica, provocando uma expressiva diminuição na área considerada apta (com baixo risco climático).



**Figura 24** – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário climático pessimista, para o arroz de terras altas em solos tipo 2, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins

**Tabela 18** – Áreas aptas (km<sup>2</sup>) para cultivo do arroz de terras altas, de ciclo precoce (110 dias), sob as condições do cenário pessimista e os respectivos percentuais, em relação a SCA, no Estado do Tocantins.

SOLOS	Áreas Aptas (km <sup>2</sup> )			
	Semeadura			
	15/out.	15/nov.	15/dez.	15/jan.
<b>Tipo 1</b>	0,0	0,0	0,0	0,0
	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0
<b>Tipo 2</b>	15620,1	13185,5	18075,2	0,0
	-93,8	-94,8	-93,4	-100,0

As perdas econômicas ficaram entre R\$ 22 milhões (plantio de 15 a 24/01) e pouco mais de R\$ 44 milhões (plantio de 15 a 24/12), para o cultivo em solos de textura arenosa. Já para o cultivo em solos tipo 2, os impactos econômico-financeiros foram também negativos e variaram de R\$ 46,9 milhões (semeadura entre 15 e 24/01) a pouco mais de R\$ 67 milhões (semeadura de 15 a 24/12) (Tabela 19).

**Tabela 19** – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção de arroz de terras altas no Estado do Tocantins, para o cenário pessimista, em relação a SCA.

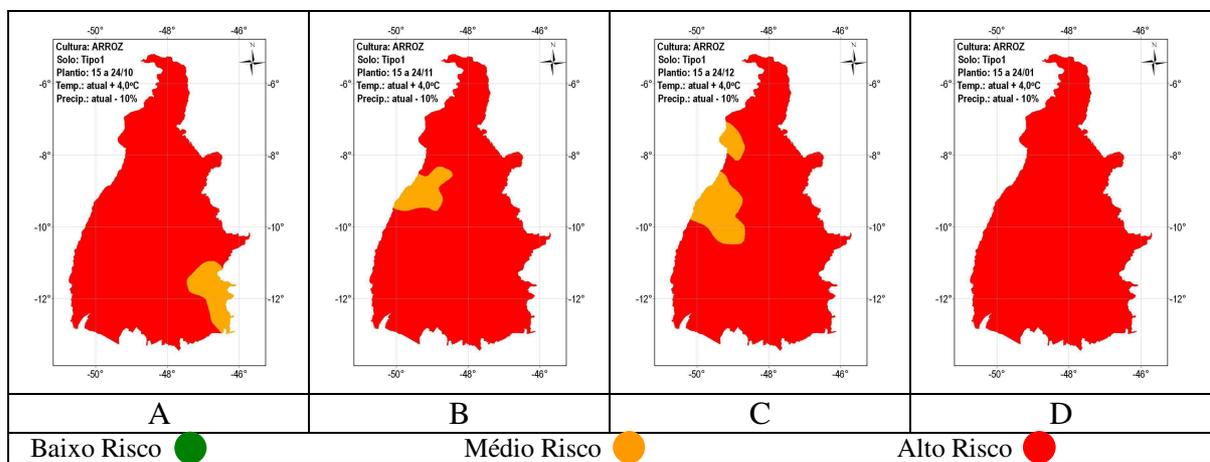
SOLO	Variação de Receita Estimada			
	Semeadura			
	15/out.	15/nov.	15/dez.	15/jan.
<b>Tipo 1</b>	33.779,41	29.029,18	44.335,48	22.167,74
<b>Tipo 2</b>	61.752,99	62.808,60	67.031,02	46.974,5

Obs.: Estimativas baseadas no valor médio pago por tonelada de arroz e na produtividade média da cultura, no Estado do Tocantins, de acordo com o IBGE (2008).

#### 4.1.9 Cenário Pessimista PRIMEIRO CASO

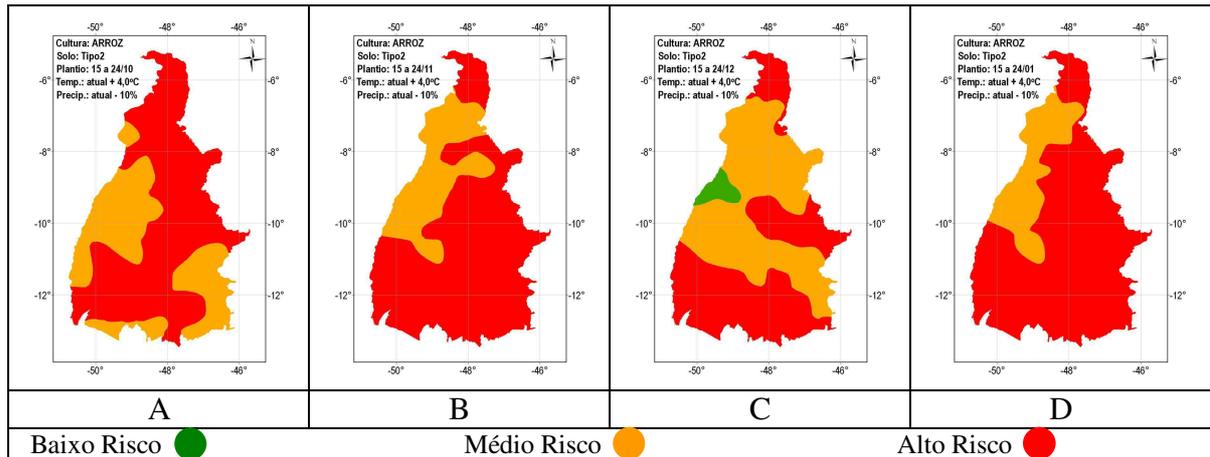
As Figuras 25 e 26 mostram a distribuição espacial dos riscos climáticos para a cultura do arroz de terras altas, no Estado do Tocantins, em solos de texturas arenosa e média, respectivamente, para semeadura de 15 a 24 de cada mês da estação de cultivo (outubro a janeiro).

O cultivo em solos do tipo 1 e sob a situação climática imposta nesse cenário torna o Estado do Tocantins totalmente inviável para a exploração do arroz de sequeiro. Vê-se pela Figura 25 que praticamente todo Estado está coberto pelas condições de alto risco climático.



**Figura 25** – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário climático pessimista primeiro caso, para o arroz de terras altas em solos tipo 1, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins

No plantio em solos do tipo 2, percebe-se pela Figura 26, que parte da área de alto risco climático foi substituída pela de médio risco, no entanto, em termos de baixo risco apenas para semeadura de 15 a 24/12 (Figura 26 C) é visível uma pequena área na região centro-oeste do Estado e representa menos de 3% (8.421 km<sup>2</sup>, Tabela 20) da área estadual. Em comparação a SCA a diminuição da área apta, nessa data de semeadura, foi de aproximadamente 97%.



**Figura 26** – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário climático pessimista primeiro caso, para o arroz de terras altas em solos tipo 2, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins

**Tabela 20** – Áreas aptas (km<sup>2</sup>) para cultivo do arroz de terras altas, de ciclo precoce (110 dias), sob as condições do *cenário* pessimista primeiro caso e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à SCA, no Estado do Tocantins.

SOLOS	Áreas Aptas (km <sup>2</sup> )			
	Semeadura			
	15/out.	15/nov.	15/dez.	15/jan.
<b>Tipo 1</b>	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>%</b>	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0
<b>Tipo 2</b>	0,0	0,0	8421,1	0,0
<b>%</b>	-100,0	-100,0	-96,9	-100,0

Sob as condições edafoclimáticas desse cenário as perdas econômicas foram de R\$ 22,2 milhões (plantio entre 15 e 24/01) e de R\$ 44,3 milhões (plantio de 15 a 24/12), no cultivo em solos tipo 1 (Tabela 21).

No plantio em solos tipo 2, os impactos econômico-financeiros, também negativos, foram de aproximadamente R\$ 47 milhões e R\$ 70 milhões para semeaduras de 15 a 24/01 e de 15 a 24/12, respectivamente.

**Tabela 21** – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção de arroz de terras altas no Estado do Tocantins, para o cenário pessimista primeiro caso, em relação a SCA.

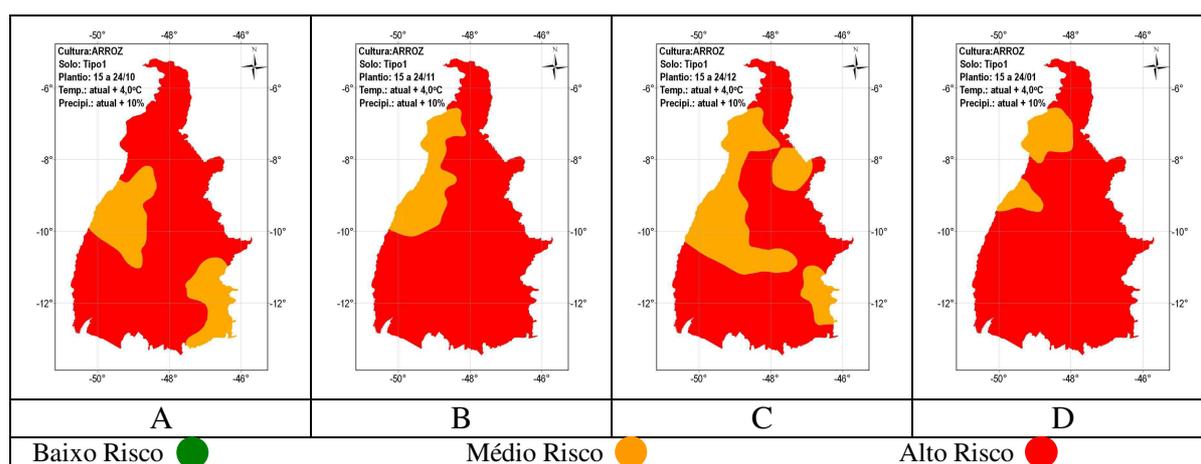
SOLO	Variação de Receita Estimada (R\$ bilhões)			
	Semeadura			
	15/out.	15/nov.	15/dez.	15/jan.
<b>Tipo 1</b>	33.779,41	29.029,18	44.335,48	22.167,74
<b>Tipo 2</b>	65.447,61	66.503,22	69.670,04	46.974,5

Obs.: Estimativas baseadas no valor médio pago por tonelada de arroz e na produtividade média da cultura, no Estado do Tocantins, de acordo com o IBGE (2008).

#### 4.1.10 Cenário Pessimista SEGUNDO CASO

A distribuição espacial dos riscos climáticos para a cultura do arroz de terras altas, no Tocantins, em solos de texturas arenosa (tipo 1) e média (tipo 2), respectivamente, para semeadura de 15 a 24 de cada mês da estação de cultivo (outubro a janeiro), são mostrados pelas Figuras 27 e 28.

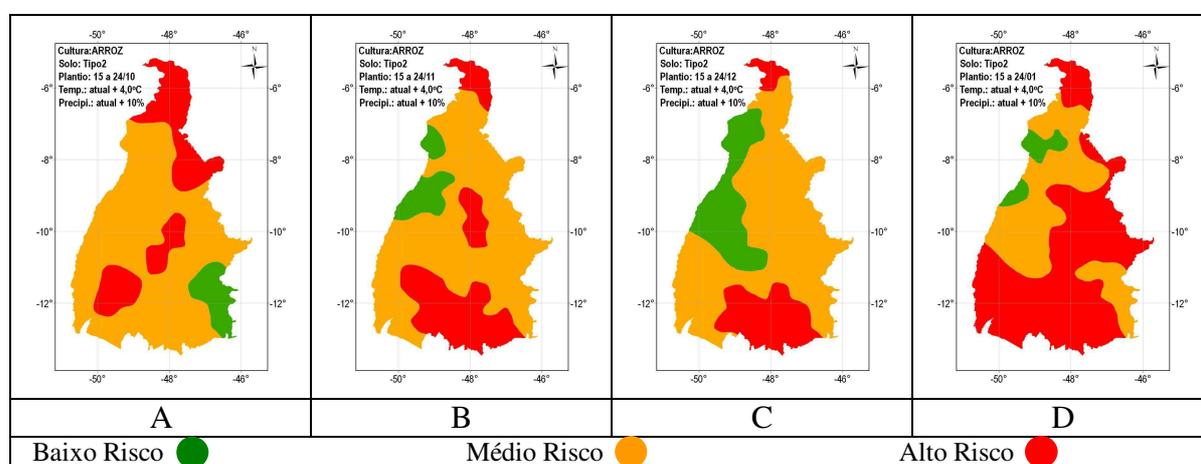
Mesmo com o aumento da oferta hídrica os riscos climáticos para o plantio em solos tipo 1 apresenta muita semelhança com os cenários anteriores, ou seja, aumento dos riscos climáticos para o cultivo do arroz ao longo das épocas de semeadura analisadas. Pelos mapas da Figura 27 percebe-se a total substituição da área com baixo risco por áreas de médio e alto riscos climático e em número pela Tabela 22.



**Figura 27** – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário climático pessimista segundo caso, para o arroz de terras altas em solos tipo 1, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins

No plantio em solos tipo 2 (Figura 28), verifica-se uma forte substituição das áreas com alto risco para as áreas com meio risco climático, principalmente se a semeadura for entre

15/10 e 24/12 (Figuras 28 A, B e C). Já para semeadura de 15 a 24/01 a área com alto risco ainda predomina sobre as de médio e baixo risco (Figura 28 D). No entanto, no que diz respeito à área apta, o aumento da oferta hídrica natural promoveu apenas o aparecimento de pequenas manchas com baixo risco nas regiões sudeste, centro-oeste e centro-norte do Tocantins. Assim, a área apta ao longo das épocas de semeadura analisadas comparadas as da SCA são em torno de 92% menores, com exceção da época de plantio entre 15 e 24/12 (Figura 28 C) que é pouco mais de 81% (51.180 km<sup>2</sup>) menor (Tabela 21). Salienta-se que essas manchas são apontadas por Maciel, et al., (2009), Collicchio (2008) e SEPLAN (1998) como as que apresentam maior volume de chuvas anuais do Estado.



**Figura 28** – Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário climático pessimista segundo caso, para o arroz de terras altas em solos tipo 2, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins.

**Tabela 22** – Áreas aptas (km<sup>2</sup>) para cultivo do arroz de terras altas, de ciclo precoce (110 dias), sob as condições do cenário pessimista segundo caso e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à SCA, no Estado do Tocantins.

SOLOS	Áreas Aptas (km <sup>2</sup> )			
	Semeadura			
	15/out.	15/nov.	15/dez.	15/jan.
Tipo 1	0,0	0,0	0,0	0,0
	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0
Tipo 2	18.377,9	20.918,7	51.179,9	12.097,6
	-92,7	-91,7	-81,3	-93,2

As estimativas de perdas econômicas para o cultivo em solos de textura arenosa ficam entre R\$ 22,2 milhões e R\$ 44,3 milhões, para semeadura entre 15 e 24/01. Já no plantio em solos de textura média os impactos econômico-financeiros (negativos) variaram de R\$ 43,8

milhões a R\$ 61,2 milhões, para semeadura de 15 a 24/01 e entre 15 e 24/11, respectivamente (Tabela 23).

**Tabela 23** – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção potencial bruta de arroz de terras altas no Estado do Tocantins, para o cenário pessimista segundo caso, em relação a SCA<sub>2</sub>, considerando os distintos tipos de solos e épocas de semeadura.

SOLO	Variação de Receita Estimada (R\$ bilhões)			
	Semeadura			
	15/out.	15/nov.	15/dez.	15/jan.
<b>Tipo 1</b>	33.779,41	29.029,18	44.335,48	22.167,74
<b>Tipo 2</b>	60.697,38	61.225,19	58.586,17	43.807,68

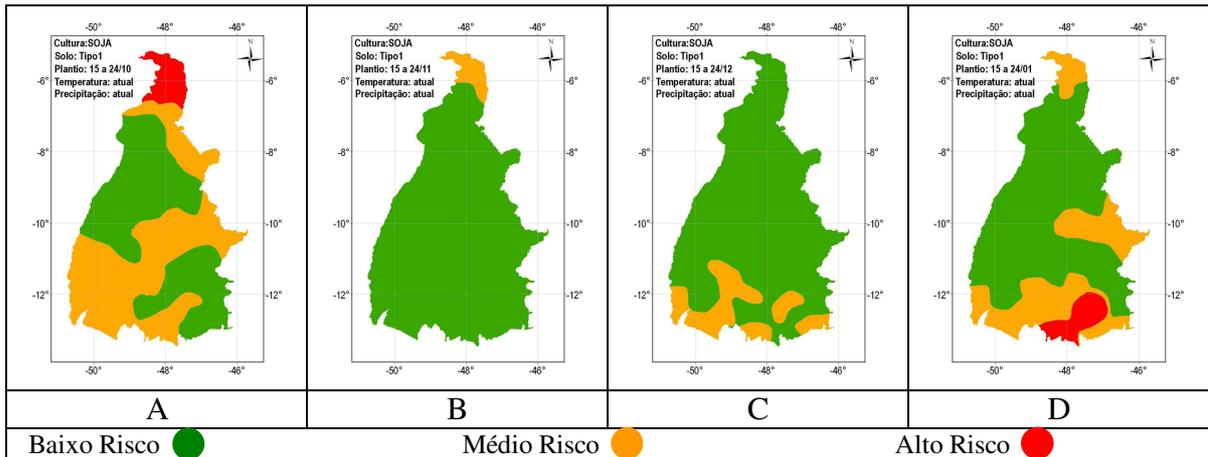
Obs.: Estimativas baseadas no valor médio pago por tonelada de arroz e na produtividade média da cultura, no Estado do Tocantins, de acordo com o IBGE (2008)

## 4.2 Distribuição dos riscos climáticos para o cultivo da soja

### 4.2.1 Cenário climático atual

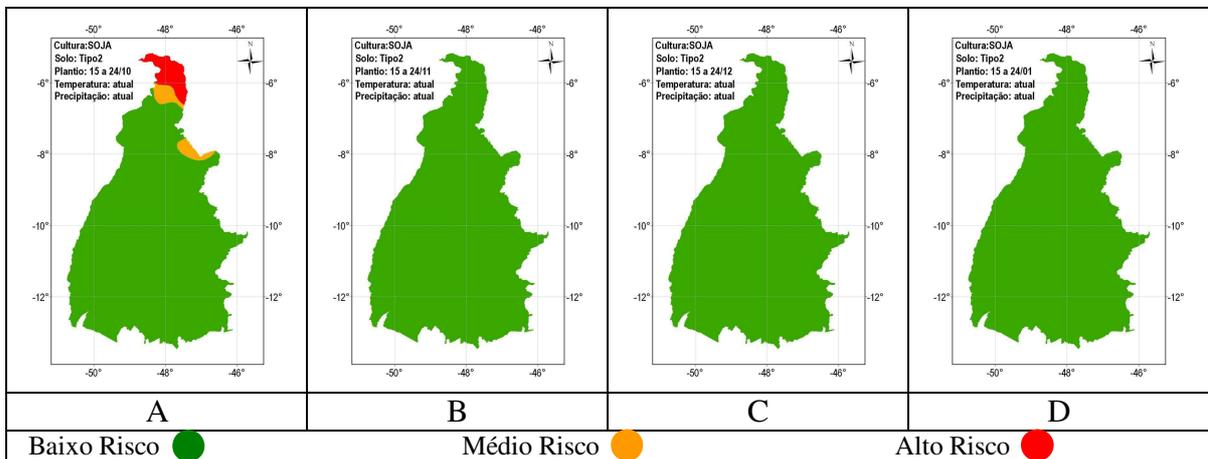
As Figuras 29 e 30 mostram a distribuição espacial dos riscos climáticos para o cultivo de soja no Estado do Tocantins em solos tipo 1 (textura arenosa) e tipo 2 (textura média) para uma cultivar de ciclo precoce (110 dias), para as épocas de semeadura entre 15 e 24 de cada mês do período de cultivo (de outubro a janeiro).

Para cultivo em solos do tipo 1, as limitações mais significantes ao cultivo de soja são observadas para as épocas de semeadura do início (15 a 24/10; Figura 29 A) e final (entre 15 e 24/01; Figura 29 D) da estação de cultivo. Nessas épocas as áreas com baixo risco correspondem a 130.316 km<sup>2</sup> (46,7% da área do Estado) e a 183.089 km<sup>2</sup> (65,7% da área do Estado), respectivamente (Tabela 24). Nas épocas centrais (entre 15/11 – Figura 24 A e 24/12 – Figura 29 D) da estação de cultivo a área apta (verde) ocupa em torno de 96% e 85% das terras do Estado, respectivamente. Nota-se que o risco climático tende a aumentar para plantio nas épocas anteriores e posteriores as entre 15 e 24/11.



**Figura 29** – Mapas de risco climático para a soja, sob as condições da SCA, em solos tipo 1, para as semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins.

No cultivo em solos do tipo 2, observa-se uma situação bastante favorável ao cultivo de soja, onde das épocas de semeadura analisadas apenas no plantio entre 15 e 24/10 a área do Estado não está totalmente coberta pelas condições de baixo risco climático (Figura 29). Nessa época de semeadura 93,8% (261.697 km<sup>2</sup>) da área do Estado apresenta baixo risco climático (Tabela 24). Para mais de 95% dos municípios tocantinenses de 15/11 a 24/01 a probabilidade de sucesso de colheita com o cultivo de soja é de no mínimo 80%.



**Figura 30** – Mapas de risco climático para a soja, sob as condições da SCA, em solos tipo 2, para as semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins.

**Tabela 24** – Áreas aptas (km<sup>2</sup>), para cultivo de soja sob as SCA e os respectivos percentuais em relação à área do Estado do Tocantins.

SOLOS	Áreas Aptas			
	Semeadura			
	15/out.	15/nov.	15/dez.	15/jan.
<b>Tipo 1</b>	130.315,8	268.720,0	237.245,3	183.088,5
%	46,7	96,4	85,1	65,7
<b>Tipo 2</b>	261.696,8	278.846,9	278.846,9	278.846,9
%	93,8	100,0	100,0	100,0

Estimativas da receita bruta potencial para o cultivo em solos tipo 1, oscilou entre R\$ 11 bilhões (plantio entre 15 e 24/10) e R\$ 22,6 bilhões (semeadura de 15 a 24/11). Porém, no cultivo em solos tipo 2, estima-se que a receita fique em torno de R\$ 22,0 bilhões e R\$ 23,5 bilhões.

**Tabela 25** – Receita bruta potencial estimada (R\$ bilhões) proveniente da produção de soja, no Estado do Tocantins, para a SCA.

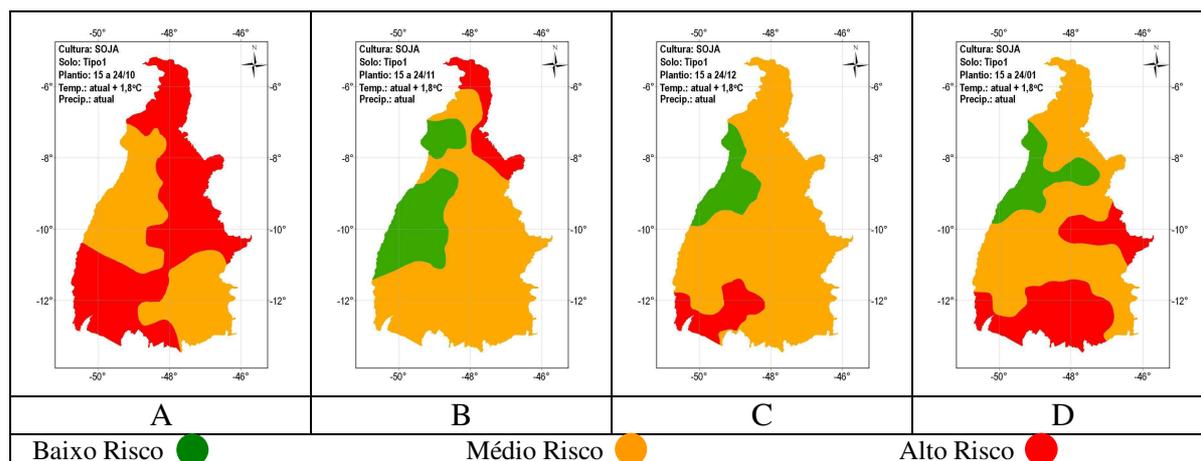
SOLOS	Receita Potencial Estimada			
	Semeadura			
	15/out	15/nov	15/dez	15/jan
<b>Tipo 1</b>	11,0	22,6	20,0	15,4
<b>Tipo 2</b>	22,0	23,5	23,5	23,5

Obs.: Estimativas baseadas no valor médio pago por tonelada de soja e na produtividade média da cultura, no Estado do Tocantins, de acordo com o IBGE (2008)

#### 4.2.2 Cenário Otimista

Os mapas do zoneamento de risco climático para a cultura da soja, de ciclo precoce (110 dias), no Estado do Tocantins, são mostrados pelas Figuras 31 e 32 para as épocas de semeadura 15 a 24 de cada mês do período de cultivo (outubro a janeiro) e para os solos de baixa retenção hídrica (tipo 1) e textura média (tipo 2), respectivamente.

Pela Figura 31 constata-se o quanto a cultura da soja é sensível ao aumento da temperatura média, principalmente no cultivo em solos tipo 1. No plantio entre 15 e 24/10 (Figura 31 A) a área apta foi totalmente substituída pelas de condições de médio e alto risco climático. Para semeadura nas demais épocas a diminuição da área apta, em relação a SCA, ficou entre 77,1% (61.531 km<sup>2</sup>) e 88,5% (27.266 km<sup>2</sup>) para plantio de 15 a 24/11 (Figura 31 B) e de 15 a 24/12 (Figura 31 C), respectivamente (Tabela 26).

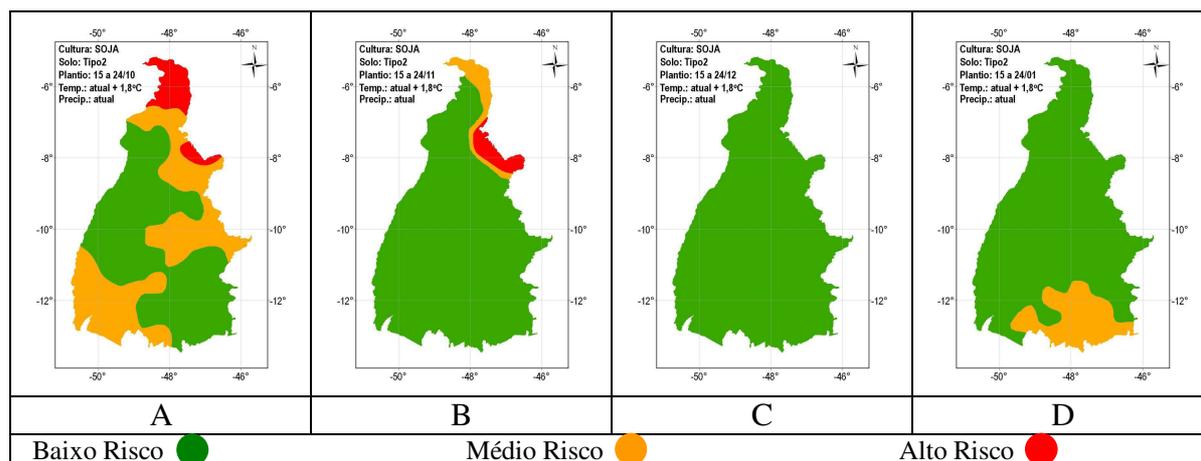


**Figura 31** – Mapas de risco climático para a soja, em solos tipo 1, para o cenário climático otimista nas épocas de semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins.

**Tabela 26** – Áreas aptas (km<sup>2</sup>) para cultivo da soja, de ciclo precoce (110 dias), sob as condições do cenário otimista e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à SCA, no Estado do Tocantins.

SOLOS	Áreas Aptas			
	Cenário Otimista			
	15/out	15/nov	15/dez	15/jan
<b>Tipo 1</b>	0,0	61.531,2	27.265,6	32.444,6
	-100,0	-77,1	-88,5	-82,3
<b>Tipo 2</b>	152.578,0	256.492,7	278.846,9	238.252,8
	-41,7	-8,0	0,0	-14,6

Para o cultivo em solos do tipo 2 e plantio entre 15 e 24/12 (Figura 32 C) a área apta desse cenário é a mesma da SCA (278.847 km<sup>2</sup>) e diminui para as demais épocas de semeadura. Para plantio de 15 a 24/10 (Figura 32 A) é de 152.578 km<sup>2</sup> (41,7% menor que a da SCA), no plantio de 15 a 24/11 (Figura 32 B) é 8% menor que a SCA (256.493 km<sup>2</sup>) e plantio de 15 a 24/01 (Figura 32 D) tem 238.253 km<sup>2</sup> (14,6% menor que a da SCA) (Tabela 27). Neste caso, pode-se verificar que o aumento da CAD foi determinante para inibir os efeitos da elevação da temperatura na redução da área apta (Figura 32).



**Figura 32** – Mapas de risco climático para a soja, em solos tipo 2, para o cenário climático otimista nas épocas de semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins.

A perda econômica para o cultivo em solos tipo 1 foi entre de R\$ 58 milhões (plântio de 15 a 24/10) e R\$ 93,4 milhões (semeadura entre 15 e 24/12) (Tabela 27).

Para o cultivo em solos tipo 2 e plântio de 15 a 24/12 a perda econômica foi nula e de R\$ 48,6 milhões para semeadura entre 15 e 24/10 (Tabela 26).

**Tabela 27** – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção de soja, no Estado do Tocantins, para o cenário climático otimista, em relação à SCA<sub>2</sub> para os distintos tipos de solos e épocas de semeadura.

SOLOS	Variação de Receita Estimada			
	Semeadura			
	15/out	15/nov	15/dez	15/jan
<b>Tipo 1</b>	58.058,37	91.837,78	93.421,19	67.031,02
<b>Tipo 2</b>	48.557,91	10.028,26	0,00	17.945,31

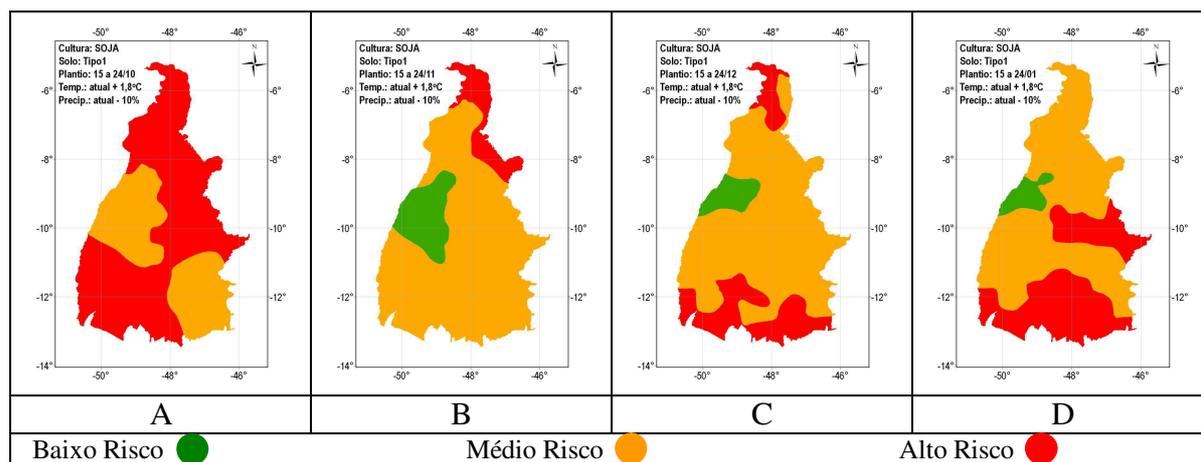
Obs.: Estimativas baseadas no valor médio pago por tonelada de soja e na produtividade média da cultura, no Estado do Tocantins, de acordo com o IBGE (2008)

#### 4.2.3 Cenário otimista PRIMEIRO CASO

Os mapas de zoneamento de risco climático para a cultura da soja, de ciclo precoce (110 dias), para esse cenário, são mostrados pelas Figuras 33 e 34 para os solos dos tipos 1 e 2, respectivamente, para o Estado do Tocantins.

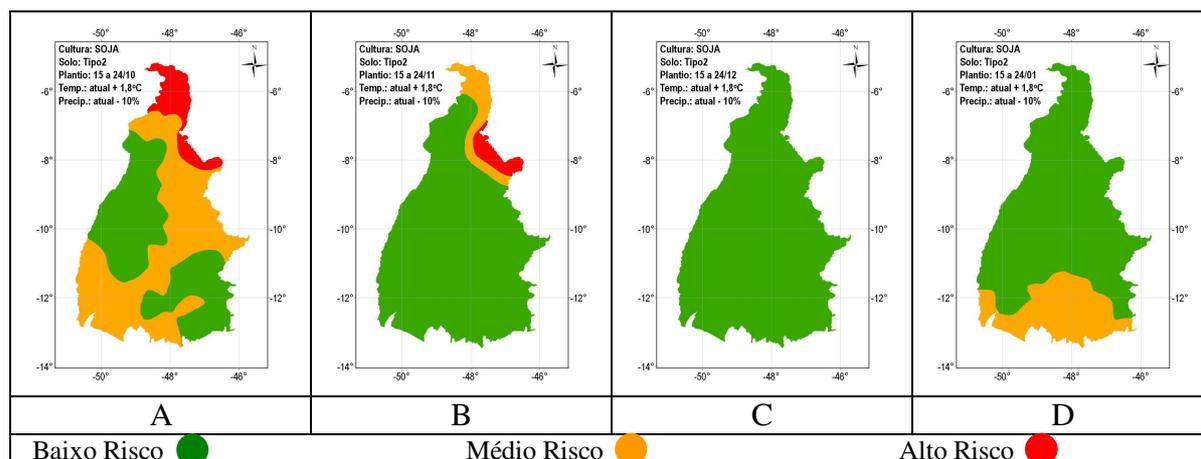
O aumento da temperatura média do Estado de 1,8°C e diminuição da oferta hídrica em 10% promoveram uma forte redução da área apta em todas as épocas de semeadura. Em comparação com a SCA, essa redução foi de 100% para plântio de 15 a 24/10 (Figura 33 A). Nas outras épocas de semeadura ficaram em torno de 88% (33.350 km<sup>2</sup>) e de 94% (15.523 km<sup>2</sup>) para

plântio de 15 a 24/11 (Figura 33 B) e entre 15 e 24/12 (Figura 33 C), respectivamente (Tabela 28). Ainda, pela Figura 33, percebe-se que a área apta fica restrita apenas em parte da região centro-oeste. De acordo com Maciel et al. (2009), Collicchio (2008) e SEPLAN (1998) a região centro-oeste do Estado do Tocantins é apontada como a que registra os maiores índices pluviométricos anuais.



**Figura 33** – Mapas de risco climático para a soja, em solos tipo 1, para o cenário climático otimista primeiro caso nas épocas de semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins.

Neste cenário, a mudança da CAD de solos tipo 1 para os de tipo 2 foi suficiente para inibir a redução de área de baixo risco, provocada pelo aumento da temperatura média no Estado de 1,8°C e pela redução da oferta hídrica de 10% (Figura 34). Para semeadura entre 15 e 24/12 (Figura 34 C) a área total do Estado apresenta condições favoráveis com baixo risco climático a mesma verificada na SCA. No entanto, para o plantio em épocas anteriores e posteriores a citada anteriormente, verifica-se o aumento do risco climático, que tendem a ser maiores no início (15 a 24/10; Figura 34 A) e final (15 a 24/01; Figura 34 D) da estação de cultivo. As áreas com baixo risco climático são de aproximadamente, 120 mil quilômetros quadrados (54,2% menor que a da SCA) e, em torno, de 217 mil quilômetros quadrados (22,2% menor que a da SCA) para plantio nessas épocas, respectivamente (Tabela 28). Assim, a época de semeadura mais adequada para todos os municípios tocantinenses esta para a época semeadura entre 15 e 24/12 (Figura 34 e Tabela 28).



**Figura 34** – Mapas de risco climático para a soja, em solos tipo 2, para o cenário otimista primeiro caso nas épocas de semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins.

**Tabela 28** – Áreas aptas (km<sup>2</sup>) para o cultivo da soja, de ciclo precoce (110 dias), sob as condições climáticas do cenário otimista primeiro caso e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à SCA, no Estado do Tocantins

SOLOS	Áreas Aptas			
	Semeadura			
	15/out.	15/nov.	15/dez.	15/jan.
<b>Tipo 1</b>	0,0	33.350,2	15.523,2	12.168,4
	-100,0	-87,6	-93,5	-93,4
<b>Tipo 2</b>	119.787,2	256.283,1	278.846,9	216.863,2
	-54,2	-8,1	0,0	-22,2

As perdas econômicas foram de, aproximadamente, R\$ 58 milhões (semeadura entre 15 e 24/10) e, em torno, de R\$ 105 milhões (plantio de 15 a 24/11), em cultivo nos solos do tipo 1. Porém, para cultivo em solos tipo 2 esta perda é nula para plantio entre 15 e 24/12 e, pode chegar a, algo em torno de, R\$ 106 milhões em semeadura de 15 a 24/11 (Tabela 29).

**Tabela 29** – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção de soja, no Estado do Tocantins, para o cenário otimista primeiro caso, em relação à SCA.

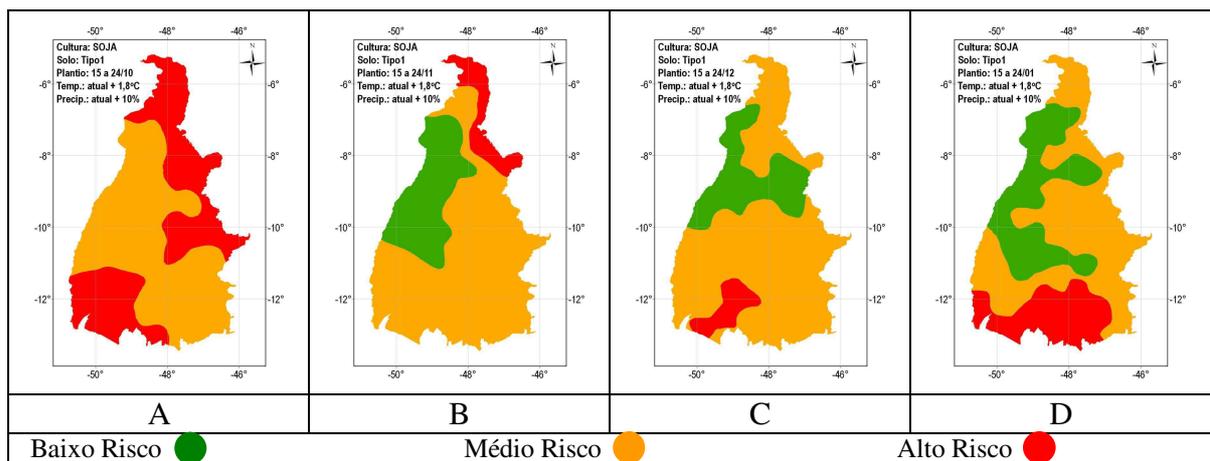
SOLOS	Variação de Receita Estimada			
	Semeadura			
	15/out	15/nov	15/dez	15/jan
<b>Tipo 1</b>	58.058,37	104.505,06	98.171,42	76.003,68
<b>Tipo 2</b>	63.336,40	105.560,70	0,00	27.445,77

Obs.: Estimativas baseadas no valor médio pago por tonelada de soja e na produtividade média da cultura, no Estado do Tocantins, de acordo com o IBGE (2008).

#### 4.2.4 Cenário otimista SEGUNDO CASO

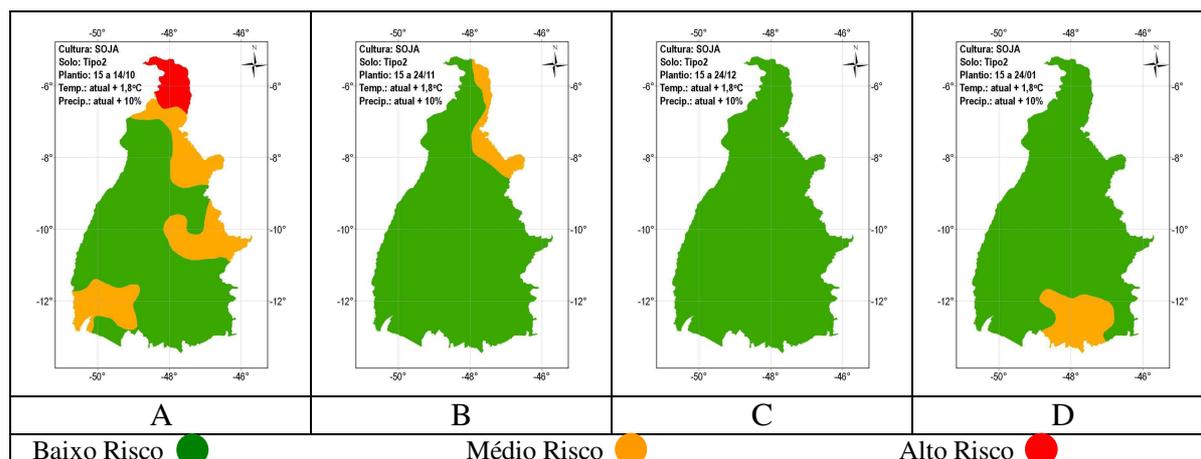
A distribuição espacial dos riscos climático para a cultura da soja, ciclo precoce (110 dias), para as condições ambientais desse cenário são mostrados pelas Figuras 35 e 36 para os solos dos tipos 1 e 2, respectivamente para o Estado do Tocantins.

Constata-se a total predominância de áreas de médio e alto risco climático e ausência de área apta para o cultivo em solos tipo 1, na época de semeadura entre 15 e 24/10 (Figura 35 A). Nas outras épocas de semeadura configuram-se um domínio de médio risco climático para o cultivo de soja (Figuras 35 B, C e D). Nesse tipo de solo o aumento da oferta hídrica de 10% não foi suficiente para inibir os efeitos da elevação da temperatura na diminuição da área apta que é de 78.450 km<sup>2</sup> (57,2% menor que a da SCA), 65.340 km<sup>2</sup> (75,7% menor que a da SCA) e de 56.813 km<sup>2</sup> (76,1% menor que a da SCA) para plantio entre 15 e 24/01, de 15 a 24/11 e entre 15 e 24/12, respectivamente (Tabela 30).



**Figura 35** – Mapas de risco climático para soja em solos tipo 1, nas épocas de semeadura de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D) para o cenário climático otimista segundo caso, no Estado do Tocantins.

Com exceção do plantio entre 15 e 24/12 (Figura 36 C) as demais épocas de semeadura mostram diminuição de área apta em relação à SCA, para o cultivo em solos tipo 2 (Figura 36). No plantio entre 15 e 24/10 a área é de 191.363 km<sup>2</sup> (26,9% menor que a da SCA), de 262.260 km<sup>2</sup> (5,9% menor que a da SCA) para semeadura de 15 a 24/11, de 249.892 km<sup>2</sup> (10,4% menor que a da SCA) no plantio de 15 a 24/01 (Tabela 30).



**Figura 36** – Mapas de risco climático para a soja em solos tipo 2, nas épocas de semeadura de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D) para o cenário climático otimista segundo caso, no Estado do Tocantins.

**Tabela 30** – Áreas aptas (km<sup>2</sup>) ao cultivo de soja, de ciclo precoce (110 dias), sob as condições do cenário otimista segundo caso e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à SCA, no Estado do Tocantins.

SOLOS	Áreas Aptas			
	Semeadura			
	15/out.	15/nov.	15/dez.	15/jan.
<b>Tipo 1</b>	0,0	65.339,7	56.813,0	78.449,5
	-100,0	-75,7	-76,1	-57,2
<b>Tipo 2</b>	191.363,3	262.259,5	278.846,9	249.891,8
	-26,9	-5,9	0,0	-10,4

As estimativas mostram que as perdas econômicas foram mais acentuadas para o cultivo em solos do tipo 1, variando entre R\$ 47,5 e R\$ 89,7 milhões para plantio de 15 a 24/01 e entre 15 e 24/11, respectivamente. Por outro lado, no cultivo em solos do tipo 2 verifica-se perda econômica nula para plantio entre 15 e 24/12 e chega a R\$ 31,7 milhões para semeadura de 15 a 24/10 (Tabela 31).

**Tabela 31** – Variação da receita bruta potencial (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção de soja, no Estado do Tocantins, para o cenário otimista segundo caso, em relação a SCA.

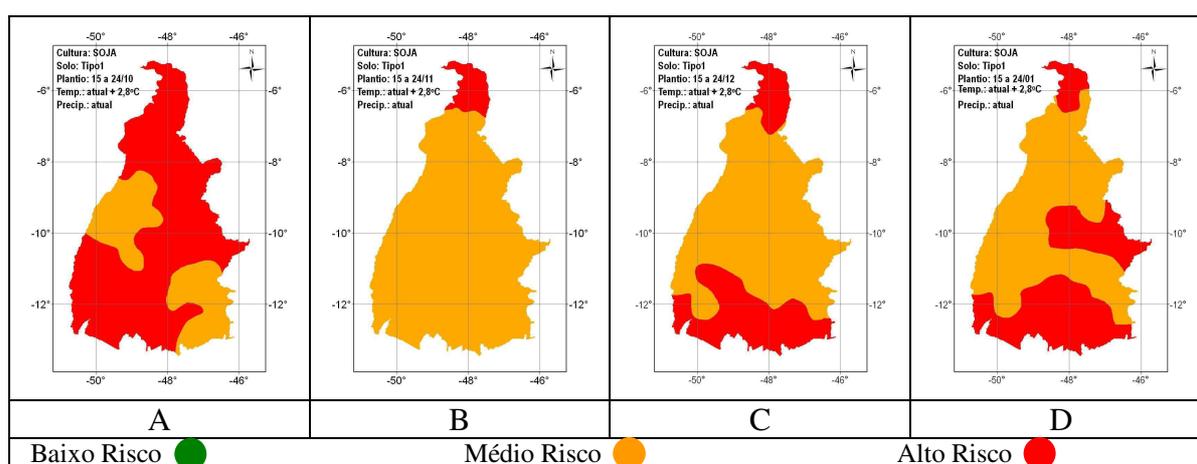
SOLOS	Variação de Receita Bruta			
	Sementeira			
	15/out	15/nov	15/dez	15/jan
<b>Tipo 1</b>	58.058,37	89.726,57	79.170,50	47.502,3
<b>Tipo 2</b>	31.668,20	5.278,03	0,00	10.556,07

Obs.: Estimativas baseadas no valor médio pago por tonelada de soja e na produtividade média da cultura, no Estado do Tocantins, de acordo com o IBGE (2008)

#### 4.2.5 Cenário Intermediário

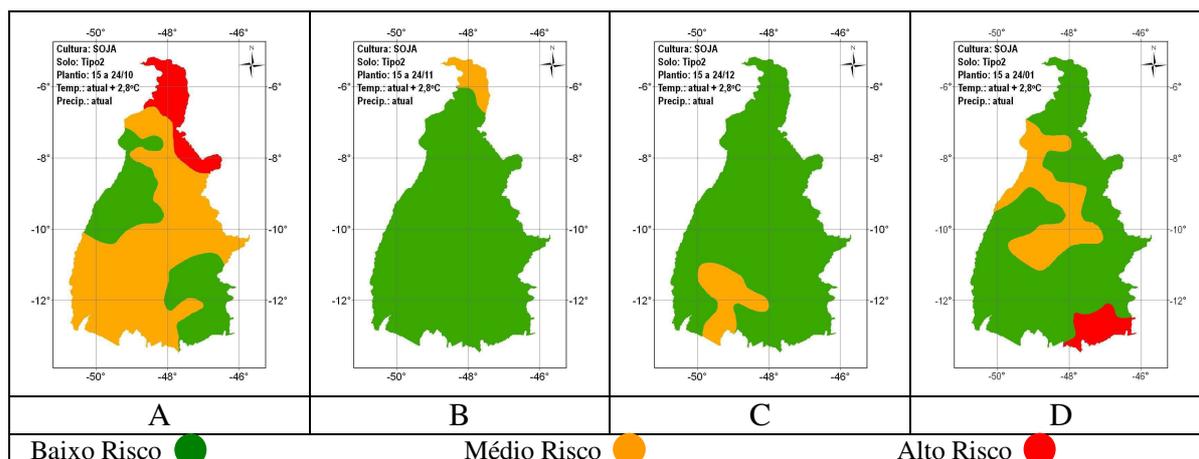
A espacialização dos riscos climáticos para a soja, ciclo precoce (110 dias), nas condições do cenário intermediário é mostrada pelas Figuras 37 e 38 para os solos dos tipos 1 e 2, respectivamente, no Estado do Tocantins.

O aumento de 2,8°C na temperatura média no Estado do Tocantins provoca diminuição total da área com baixo risco climático para o cultivo nos solos tipo 1 (Figura 37).



**Figura 37** – Mapas de risco climático para a soja em solos tipo 1, nas épocas de semeadura de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D) para o cenário climático intermediário, no Estado do Tocantins.

Nota-se que para cultivo em solos tipo 2 a área com baixo risco climático é menor que a obtida para a SCA em todas as épocas de semeadura (Figura 38). Essa área é de 82.913 km<sup>2</sup> (68,3% menor em relação a SCA) para plantio de 15 a 24/10, de 268.266 km<sup>2</sup> (3,8% menor em relação a SCA) no plantio entre 15 e 24/11, de 252.545 km<sup>2</sup> (9,4% menor em relação a SCA) para semeadura de 15 a 24/12 e de 205.485 km<sup>2</sup> (26,3% menor em relação a SCA) no plantio entre 15 e 24/01 (Tabela 32).



**Figura 38** – Mapas de risco climático para a soja em solos tipo 2, nas épocas de semeadura de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D) para o cenário climático intermediário, no Estado do Tocantins.

**Tabela 32** – Áreas aptas (km<sup>2</sup>) para o cultivo da soja, sob as condições do cenário intermediário e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à SCA, no Estado do Tocantins.

SOLOS	Áreas Aptas			
	Cenário Intermediário			
	15/out.	15/nov.	15/dez.	15/jan.
<b>Tipo 1</b>	0,0	0,0	0,0	0,0
	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0
<b>Tipo 2</b>	82.912,7	268.266,0	252.544,9	205.484,6
	-68,3	-3,8	-9,4	-26,3

As perdas econômicas ficaram entre R\$ 58 milhões, para plantio de 15 a 24/10, e R\$ 119,3 milhões, para semeadura entre 15 e 24/11, considerando o cultivo em solos tipo 1. Já, no cultivo em solos do tipo 2 essas perdas oscilaram de R\$ 4,7 milhões para R\$ 79,2 milhões, para o plantio de 15 a 24/11 e de 15 a 24/10, respectivamente (Tabela 33).

**Tabela 33** – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção de soja, no Estado do Tocantins, para o cenário climático intermediário, em relação à SCA.

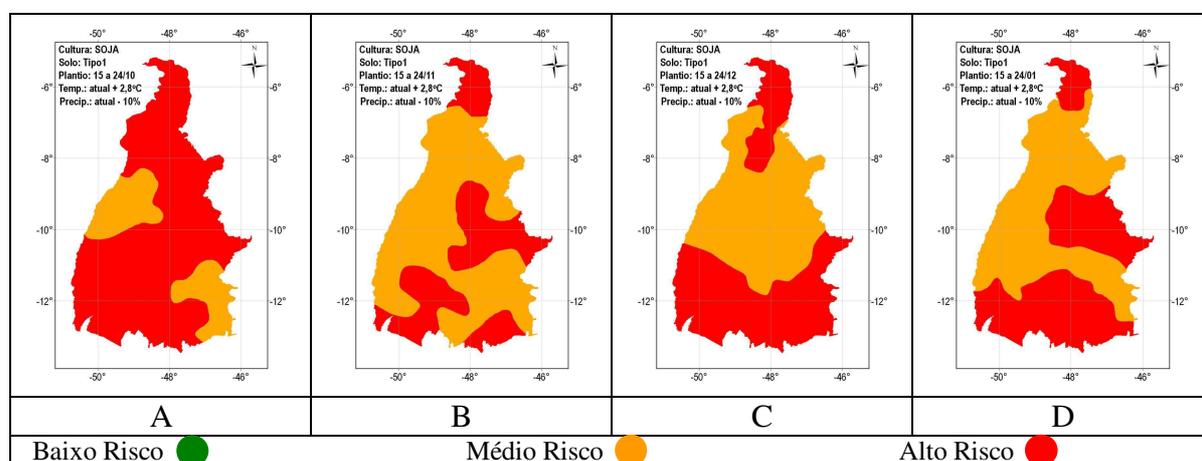
SOLOS	Variação de Receita Bruta			
	Semeadura			
	15/out.	15/nov.	15/dez.	15/jan.
<b>Tipo 1</b>	58.058,37	119.283,55	105.560,67	81.281,71
<b>Tipo 2</b>	79.170,50	4.750,23	11.611,67	32.723,81

Obs.: Estimativas baseadas no valor médio pago por tonelada de soja e na produtividade média da cultura, no Estado do Tocantins, de acordo com o IBGE (2008)

#### 4.2.6 Cenário Intermediário PRIMEIRO CASO

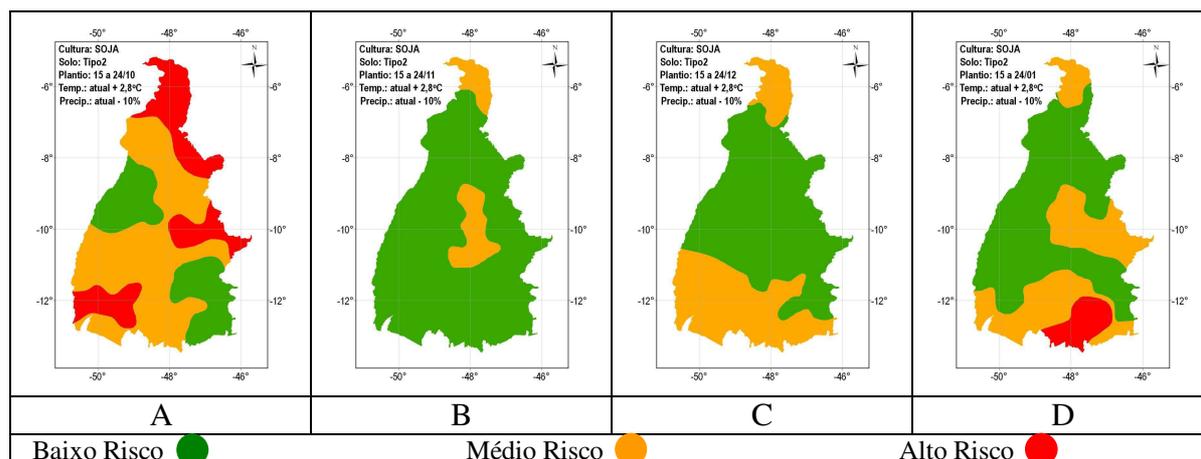
A distribuição dos riscos climáticos para o cultivo de soja, no Estado do Tocantins, é mostrada pelas Figuras 39 e 40, para as épocas de semeadura entre 15 e 24 de cada mês da estação de cultivo (outubro a janeiro), para os solos de baixa e média capacidade de retenção de água, respectivamente.

O aumento de 2,8°C na temperatura média, ao longo do Estado, associado à redução da oferta hídrica de 10%, para o cultivo em solos do tipo 1 promoveu diminuição total da área com baixo risco climático (apta) em todas as épocas de semeadura do período de cultivo analisadas (Figura 39).



**Figura 39** – Mapas de risco climático para a soja em solos tipo 1, nas épocas de semeadura de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D) para o cenário climático intermediário primeiro caso, no Estado do Tocantins.

No cultivo em solos de textura média a diminuição da área apta foi observada para todas as épocas de semeadura do período de cultivo em relação a SCA. A área é de 65.090 km<sup>2</sup> (redução de 75,1%) e 246.004 km<sup>2</sup> (redução de 11,8%), para plantio de 15 a 24/10 e entre 15 e 24/11, respectivamente (Tabela 34). Nota-se também, que a diminuição da área apta é mais acentuada para plantio nas épocas do início (15 a 24/10; Figura 40 A) e final (Figura 40 D), com 75,1% e 43% menores que a da SCA, respectivamente (Tabela 34). Sob as condições climáticas desse cenário a época de semeadura entre 15 e 24/11 é a que apresenta o maior número de municípios cobertos pela condição de baixo risco climático.



**Figura 40** – Mapas de risco climático para a soja em solos tipo 2, nas épocas de semeadura de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D) para o cenário intermediário primeiro caso, no Estado do Tocantins.

**Tabela 34** – Áreas aptas (km<sup>2</sup>) para cultivo da soja, sob as condições do cenário intermediário primeiro caso e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à SCA, no Estado do Tocantins.

SOLOS	Áreas Aptas			
	Semeadura			
	15/out.	15/nov.	15/dez.	15/jan.
<b>Tipo 1</b>	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>%</b>	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0
<b>Tipo 2</b>	65.089,6	246.003,5	175.707,4	158.954,9
<b>%</b>	-75,1	-11,8	-37,0	-43,0

As estimativas apontam para perdas econômicas entre R\$ 58 milhões e R\$ 119,3 milhões para o cultivo em solos tipo 1, nas épocas de semeadura entre 15 e 24/10 e de 15 a 24/11, respectivamente. No cultivo em solos de textura média as estimativas indicam para perdas econômicas em torno de R\$ 14,8 milhões, para plantio entre 15 e 24/11 e de, aproximadamente, R\$ 87 milhões para plantio de 15 a 24/10 (Tabela 35).

**Tabela 35** – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção de soja, no Estado do Tocantins, para o cenário climático intermediário primeiro caso em relação a SCA.

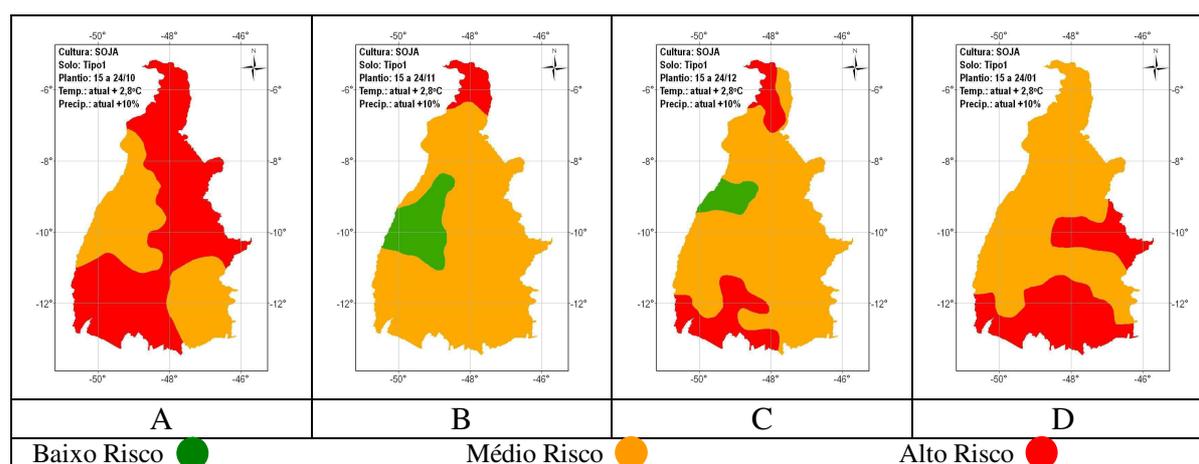
SOLOS	Variação de Receita Estimada (R\$ bilhões)			
	Semeadura			
	15/out.	15/nov.	15/dez.	15/jan.
<b>Tipo 1</b>	58.058,37	119.283,55	105.560,67	81.281,71
<b>Tipo 2</b>	87.087,55	14.778,49	45.918,89	53.308,14

Obs.: Estimativas baseadas no valor médio pago por tonelada de soja e na produtividade média da cultura, no Estado do Tocantins, de acordo com o IBGE (2008)

#### 4.2.7 Cenário Intermediário SEGUNDO CASO

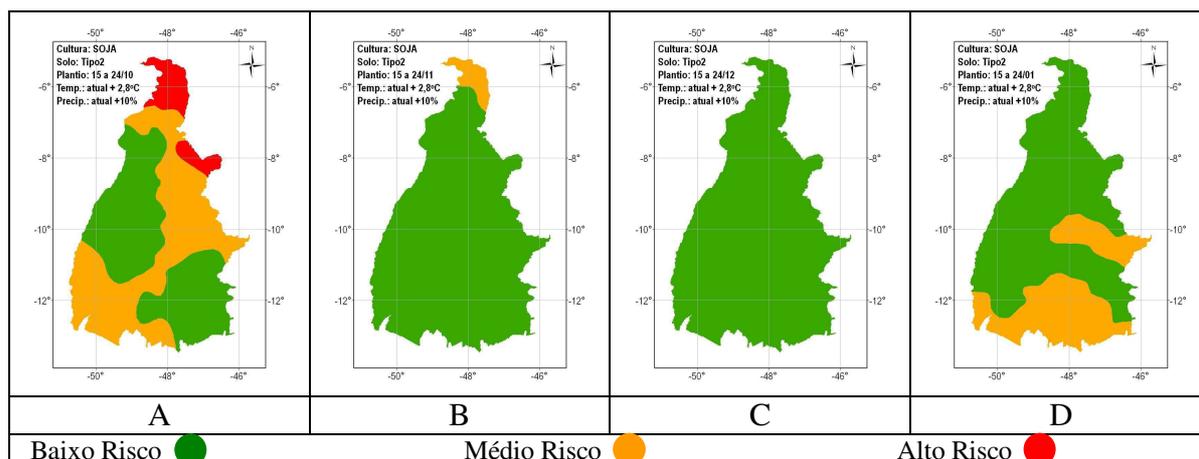
A distribuição espacial dos riscos climáticos para a cultura da soja, no Estado do Tocantins, sob as condições climáticas desse cenário é apresentada pelas Figuras 41 e 42 para as épocas de semeadura entre 15 e 24 de cada mês da estação de cultivo (outubro a janeiro) e nos solos de texturas arenosa e média, respectivamente.

Nos cultivos em solos de baixa retenção hídrica, percebe-se a forte sensibilidade desses solos a elevação da temperatura, neste caso de 2,8°C, mesmo com aumento da oferta hídrica de 10% (Figura 41). No plantio de 15 a 24/10 e de 15 a 24/01 verifica-se ausência total de área com baixo risco e forte domínio dos riscos climáticos alto e médio, respectivamente (Figura 41 A e D). Para a época de semeadura entre 15 e 24/11 (Figura 41 B) a área de baixo risco é de 34.650 km<sup>2</sup> (12,4% do Estado) e plantio de 15 a 24/12 (Figura 41C) é de 13.322 km<sup>2</sup> (4,8% do Estado), com diminuição de 87,1% e 94,4% em relação à SCA, respectivamente.



**Figura 41** – Mapas de risco climático para a soja em solos tipo 1, nas épocas de semeadura de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D) para o cenário climático intermediário segundo caso, no Estado do Tocantins.

O cultivo de soja em solos de textura média e o incremento de 10% no volume pluviométrico diário anularam os efeitos provocados pelo aumento da temperatura de 2,8°C, sobre a área apta ao plantio da leguminosa, no Estado do Tocantins, para a semeadura na época de 15 a 24/12 (Figura 42). No plantio de 15 a 24/10 a área apta é de 132.284 km<sup>2</sup> (diminuição de 49,5% em relação à SCA), de 268.865 km<sup>2</sup> (menor apenas 3,5% que a SCA) para semeadura entre 15 e 24/11 e de 193.527 km<sup>2</sup> (diminuição de 30,6% em relação à SCA) no plantio de 15 a 24/01 (Tabela 36).



**Figura 42** – Mapas de risco climático para a soja em solos tipo 2, nas épocas de semeadura de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D) para o cenário climático intermediário segundo caso, no Estado do Tocantins.

**Tabela 36** – Áreas aptas (km<sup>2</sup>) para cultivo de soja, sob as condições do cenário intermediário segundo caso, e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à SCA, no Estado do Tocantins

SOLOS	Áreas aptas			
	Semeadura			
	15/out.	15/nov.	15/dez.	15/jan.
<b>Tipo 1</b>	0,0	34.649,8	13.322,4	0,0
<b>%</b>	-100	-87,1	-94,4	-100
<b>Tipo 2</b>	132.284,1	268.864,8	278.846,9	193.527,0
<b>%</b>	-49,5	-3,5	0,0	-30,6

Para o cultivo em solos do tipo 1 os impactos econômico-financeiros foram de R\$ 58,06 milhões, para plantio de 15 a 24/10, e de R\$ 103,98 milhões, para semeadura entre 15 e 24/11. Já para o cultivo em solos tipo 2 e plantio de 15 a 24/12 não se observa nenhuma perda econômica, ou seja, a área apta desse cenário é a mesma da SCA. No entanto, as estimativas apontam para perdas entre R\$ 4,22 milhões e R\$ 57,5 milhões, para semeadura entre 15 e 24/11 e de 15 a 24/10, respectivamente (Tabela 37).

**Tabela 37** – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção de soja, no Estado do Tocantins, para o cenário climático intermediário segundo caso em relação à SCA.

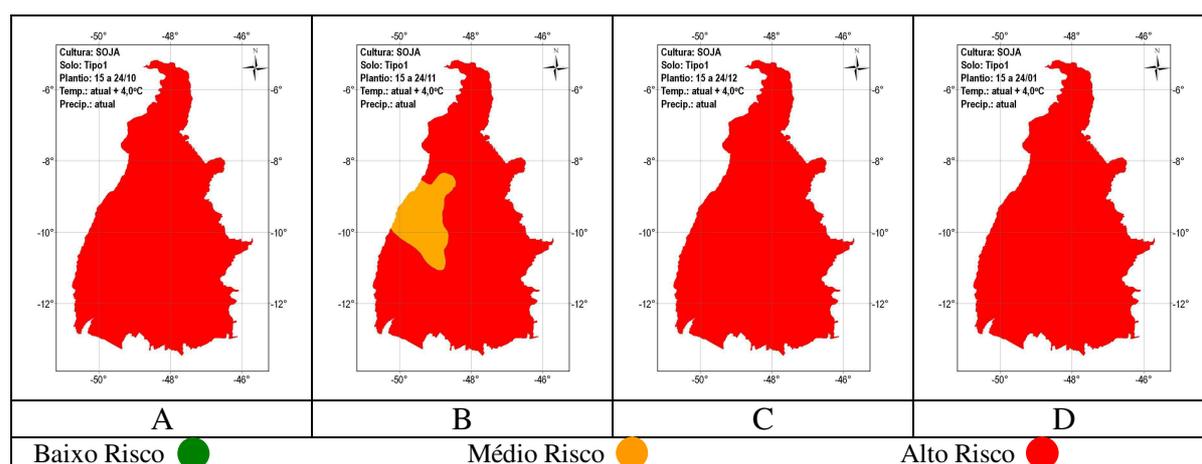
SOLOS	Variação de Receita Estimada			
	Semeadura			
	15/out.	15/nov.	15/dez.	15/jan.
<b>Tipo 1</b>	58.058,37	103.977,26	99.227,03	81.281,71
<b>Tipo 2</b>	57.530,56	4.222,43	0,00	38.001,84

Obs.: Estimativas baseadas no valor médio pago por tonelada de soja e na produtividade média da cultura, no Estado do Tocantins, de acordo com o IBGE (2008)

#### 4.2.8 Cenário Pessimista

A distribuição espacial dos riscos climáticos para o cultivo de soja, no Estado do Tocantins, sob as condições climáticas desse cenário é mostrada pelas Figuras 43 e 44 nas épocas de semeadura entre 15 e 24 de cada mês da estação de cultivo (outubro a janeiro) nos solos de texturas arenosa (tipo 1) e média (tipo 2), respectivamente.

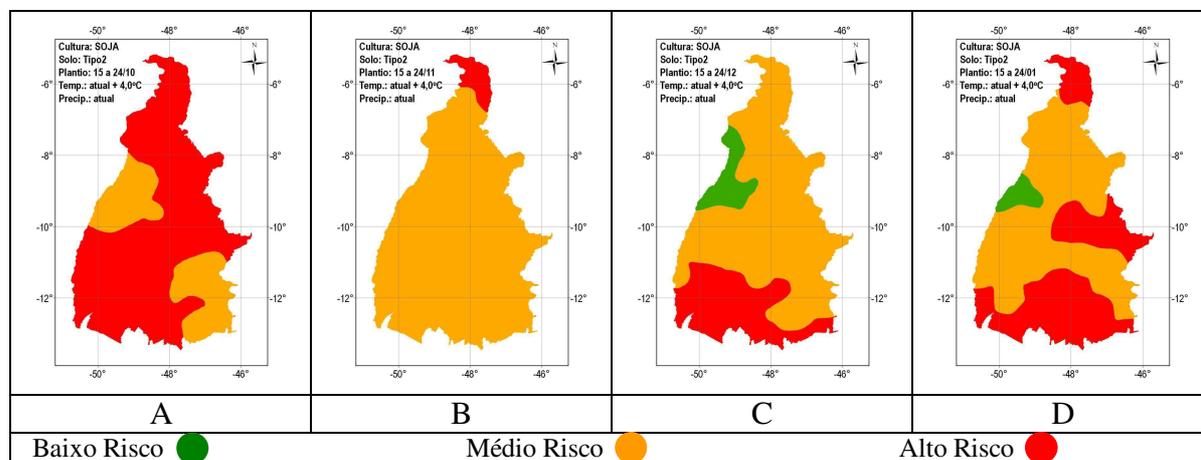
Para o cultivo em solos de textura arenosa a área de baixo risco climático observada na SCA é totalmente substituída pela área de alto risco climático nas épocas de semeadura da estação de cultivo analisadas (Figura 43). Assim, confirmando-se que até o final do ano 2100 a temperatura média no Estado do Tocantins tenha aumento de 4,0°C, o cultivo de soja sob essas condições torna-se inviável sem correr alto risco.



**Figura 43** – Mapas de risco climático para a soja em solos tipo 1, nas épocas de semeadura de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D) para o cenário climático pessimista, no Estado do Tocantins.

Nos solos de textura média o cultivo de soja apresenta diminuição de área apta nas quatro épocas de semeadura da estação de cultivo analisadas, no entanto, para plantio entre 15/1 e 24/11 (Figura 44 A e B) a área apta é totalmente substituída pelas áreas com médio e alto risco

climático. Já para plantio entre 15 e 24/12 a área apta é de 19.784 km<sup>2</sup> (92,9% menor que a da SCA) e no plantio de 15 a 24/01 essa área é de 9.322 km<sup>2</sup> (96,7% menor que a da SCA).



**Figura 44** – Mapas de risco climático para a soja em solos tipo 2, nas épocas de semeadura de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D) para o cenário climático pessimista, no Estado do Tocantins.

**Tabela 38** – Áreas aptas (km<sup>2</sup>) para cultivo da soja, sob as condições do cenário climático pessimista e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à SCA, no Estado do Tocantins

SOLOS	Áreas Aptas			
	Semeadura			
	15/out.	15/nov.	15/dez.	15/jan.
<b>Tipo 1</b>	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>%</b>	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0
<b>Tipo 2</b>	0,0	0,0	19.783,5	9.322,2
<b>%</b>	-100,0	-100,0	-92,9	-96,7

De acordo com as estimativas para o cultivo em solos tipo 1, espera-se perda econômica entre R\$ 58,06 milhões e R\$ 119,3 milhões, para semeadura nas épocas de 15 a 24/10 e entre 15 e 24/11, respectivamente. Por outro lado, no cultivo em solos tipo 2 as simulações mostram perdas econômicas de R\$ 115,06 milhões a R\$ 124,03 milhões nas semeaduras entre 15 e 24/12 e de 15 a 24/11, respectivamente (Tabela 39).

**Tabela 39** – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção de soja, no Estado do Tocantins, para o cenário climático pessimista, em relação à SCA.

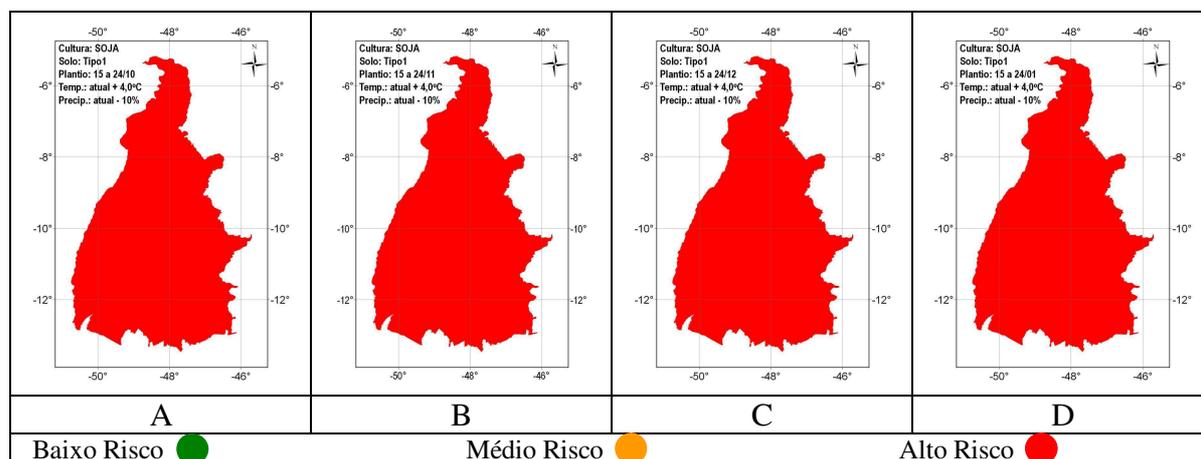
SOLOS	Variação de Receita Estimada			
	Semeadura			
	15/out.	15/nov.	15/dez.	15/jan.
<b>Tipo 1</b>	58.058,37	119.283,55	105.560,67	81.281,71
<b>Tipo 2</b>	116.116,73	124.033,78	115.061,13	119.811,4

Obs.: Estimativas baseadas no valor médio pago por tonelada de soja e na produtividade média da cultura, no Estado do Tocantins, de acordo com o IBGE (2008)

#### 4.2.9 Cenário Pessimista PRIMEIRO CASO

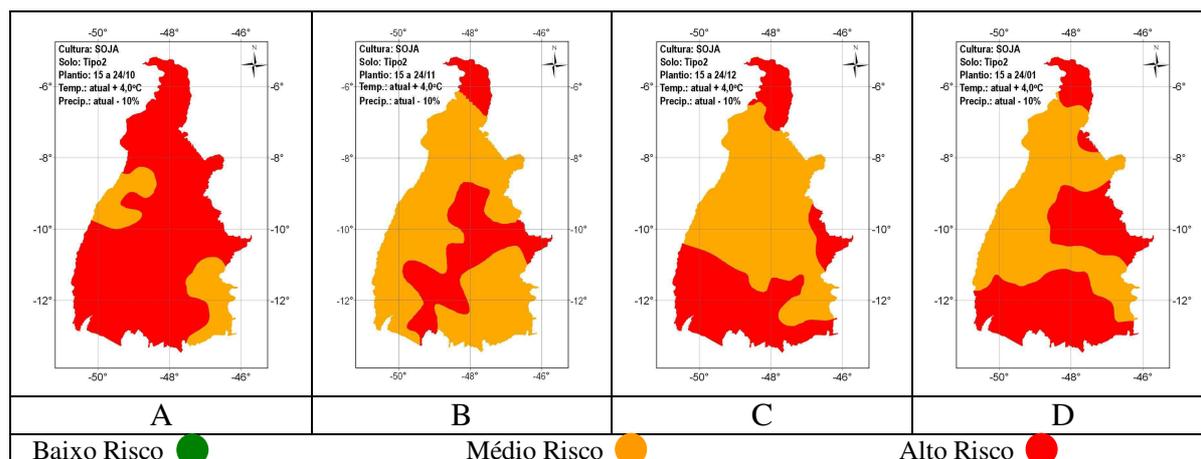
A distribuição espacial dos riscos climáticos para a cultura da soja, no Estado do Tocantins, sob as condições climáticas desse cenário é mostrada pelas Figuras 44 e 45 nas épocas de semeadura entre 15 e 24 de cada mês da estação de cultivo (outubro a janeiro) nos solos de baixa retenção hídrica (tipo 1) e textura média (tipo 2), respectivamente.

A redução da oferta hídrica de 10% e o aumento da temperatura média no Estado de 4,0°C promovem a substituição total da área de baixo risco pela condição de alto risco climático, quando o cultivo ocorre nos solos tipo 1 (Figura 45 e Tabela 40). Nessas condições, o risco climático é muito elevado para se produzir soja no Estado.



**Figura 45** – Mapas de risco climático para a soja em solos tipo 1, nas épocas de semeadura de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D) para o cenário climático pessimista primeiro caso, no Estado do Tocantins.

A mudança do cultivo de soja dos solos tipo 1 para os de tipo 2, em termos de área com baixo risco climático não apresentou nenhuma diferença. No entanto, a alteração ficou por conta da parcial substituição da área de alto risco pela de médio risco climático ao longo das quatro épocas de semeadura da estação de cultivo analisadas (Figura 46).



**Figura 46** - Mapas de risco climático para a soja em solos tipo 2, nas épocas de semeadura de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D) para o cenário climático pessimista primeiro caso, no Estado do Tocantins.

**Tabela 40** – Áreas aptas (km<sup>2</sup>) para cultivo da soja, sob as condições climáticas do cenário pessimista primeiro caso e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à SCA, no Estado do Tocantins.

SOLOS	Áreas aptas			
	Semeadura			
	15/out	15/nov	15/dez	15/jan
<b>Tipo 1</b>	0,0	0,0	0,0	0,0
	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0
<b>Tipo 2</b>	0,0	0,0	0,0	0,0
	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0

Nas condições climáticas desse cenário, independentemente do tipo de solo a área apta foi totalmente substituída pelas áreas com médio e alto risco climático e, portanto, as estimativas apontam para perdas entre R\$ 58,06 e 119,3 milhões, para plantio entre 15 e 24/10 e de 15 a 24/11, para semeadura em solos tipo 1, respectivamente (Tabela 41). No cultivo em solos de textura média as perdas econômicas foram de R\$ 116,17, no plantio de 15 a 24/10, e de R\$ 124,03 milhões para semeadura entre 15 e 24 dos meses de novembro, dezembro e janeiro.

**Tabela 41** – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção de soja, no Estado do Tocantins, para o cenário climático intermediário primeiro caso, em relação à SCA.

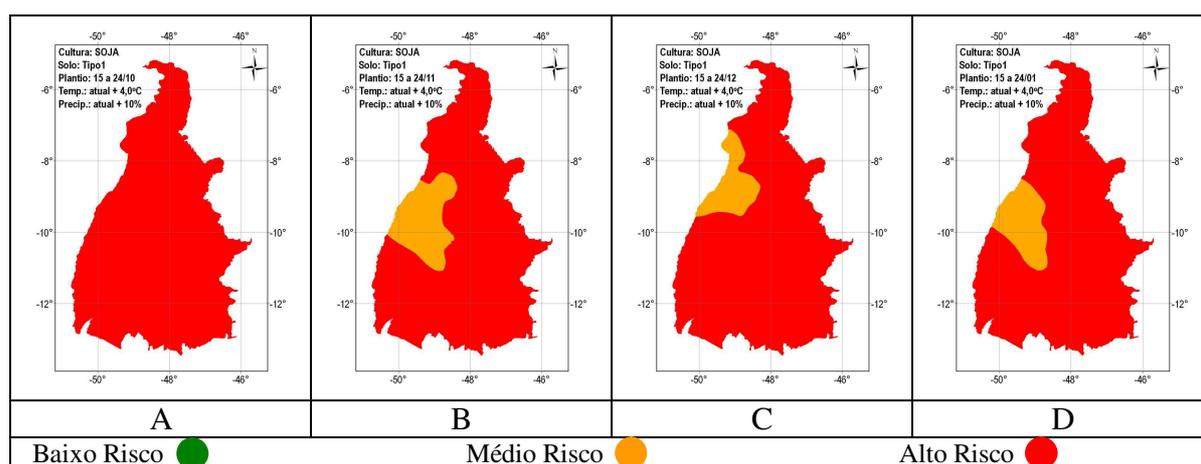
SOLOS	Variação de Receita Estimada			
	Semeadura			
	15/out	15/nov	15/dez	15/jan
<b>Tipo 1</b>	58.058,37	119.283,55	105.560,67	81.281,71
<b>Tipo 2</b>	116.116,73	124.033,78	124.033,78	124.033,8

Obs.: Estimativas baseadas no valor médio pago por tonelada de soja e na produtividade média da cultura, no Estado do Tocantins, de acordo com o IBGE (2008)

#### 4.2.10 Cenário pessimista SEGUNDO CASO

A distribuição espacial dos riscos climáticos para o cultivo de soja, no Estado do Tocantins, sob as condições climáticas desse cenário é mostrada pelas Figuras 47 e 48, nas épocas de semeadura entre 15 e 24 de cada mês da estação de cultivo nos solos de texturas arenosa e média, respectivamente.

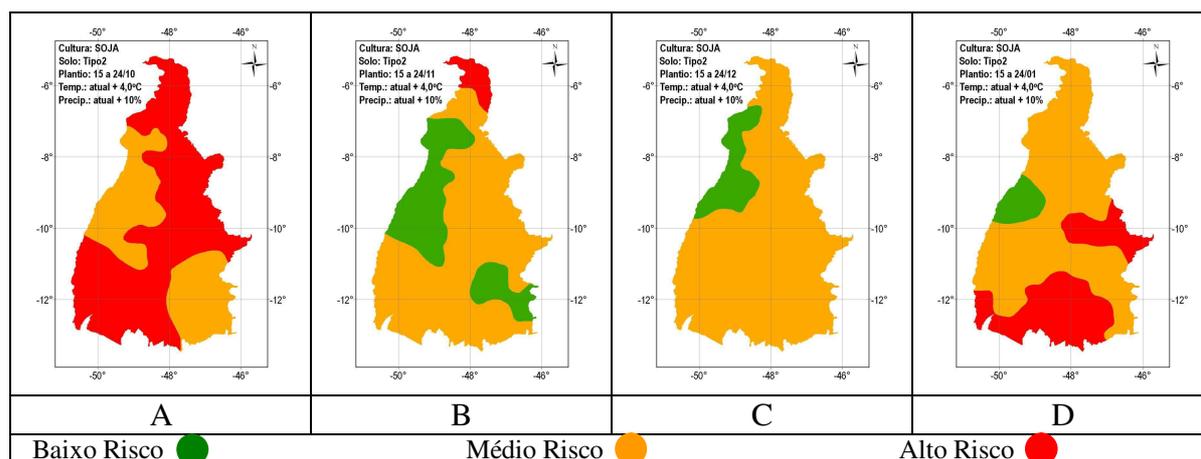
Para o cultivo em solos tipo 1 verificou-se a substituição total da área com baixo risco pela com alto risco climático para o plantio entre 15 e 24/10 (Figura 47 A). Já para semeadura entre 15/11 e 24/01 (Figura 47 B, C e D) a substituição se dá pelas áreas com médio e alto risco climático. A Tabela 42 mostra numericamente a diminuição da área apta ao longo da estação de cultivo.



**Figura 47** – Mapas de risco climático para a soja em solos tipo 1, nas épocas de semeadura de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D) para o cenário climático pessimista segundo caso, no Estado do Tocantins.

Mesmo com aumento da oferta hídrica há diminuição da área com baixo risco para todas as épocas de semeadura da estação de cultivo analisadas, para os solos de textura média

(Figura 48). Porém, para semeadura entre 15 e 24/10 verificou-se uma expansão das áreas com médio e alto risco climático e total substituição da área de baixo risco (Figura 48 A). No plantio de 15 a 24/11 a área apta é de 72.170 km<sup>2</sup> (74,1% menor que a da SCA), na semeadura de 15 a 24/12 essa área é de 30.492 km<sup>2</sup> (diminuição de 89,1% em relação a SCA) e de 15.549 km<sup>2</sup> (94,4% menor em relação a SCA) para plantio entre 15 e 24/01 (Tabela 42).



**Figura 48** – Mapas de risco climático para a soja em solos tipo 2, nas épocas de semeadura de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D) para o cenário climático pessimista segundo caso, no Estado do Tocantins.

**Tabela 42** – Áreas aptas (km<sup>2</sup>) para cultivo da soja, sob as condições climáticas do cenário climático pessimista segundo caso, e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à SCA, no Estado do Tocantins.

SOLOS	Áreas Aptas			
	Semeadura			
	15/out.	15/nov.	15/dez.	15/jan.
<b>Tipo 1</b>	0,0	0,0	0,0	0,0
%	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0
<b>Tipo 2</b>	0,0	72.169,7	30.492,1	15.548,5
%	-100,0	-74,1	-89,1	-94,4

Para os solos de baixa retenção hídrica a perda econômica variou de R\$ 58,06 milhões a R\$ 119,3 milhões para semeaduras de 15 a 24/10 e entre 15 e 24/11, respectivamente. No entanto, para o cultivo em solos tipo 2 estima-se que a perda econômica seja de R\$ 91.840 km<sup>2</sup>, para plantio entre 15 e 24/11 e de R\$ 116,65 milhões para semeadura de 15 a 24/01 (Tabela 43).

**Tabela 43** – Variação da receita bruta potencial estimada (x1000 reais em valores atuais) proveniente da produção de soja, no Estado do Tocantins, do cenário climático pessimista segundo caso, em relação à SCA, considerando os distintos tipos de solos e épocas de semeadura.

SOLOS	Variação de Receita Estimada			
	Semeadura			
	15/out.	15/nov.	15/dez.	15/jan.
<b>Tipo 1</b>	58.058,37	119.283,55	105.560,67	81.281,71
<b>Tipo 2</b>	116.116,73	91.837,78	110.838,70	116.644,5

Obs.: Estimativas baseadas no valor médio pago por tonelada de soja e na produtividade média da cultura, no Estado do Tocantins, de acordo com o IBGE (2008)

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente estudo permitiram concluir que:

- ♦ O aumento da temperatura média do ar no Estado pode mudar o panorama agrícola para os cultivos do arroz e da soja de sequeiro em função da diminuição da área apta;
- ♦ O cultivo de soja mostrou-se mais sensível ao aumento da temperatura que o de arroz, nos dois tipos de solos considerados;
- ♦ As épocas de semeadura menos afetada pelas possíveis variações climáticas foram as localizadas mais próximas do centro da estação de cultivo entre 15/11 e 24/12. Essas épocas representam também as mais adequadas para o cultivo do arroz e da soja de sequeiro no Estado;
- ♦ As perdas econômicas (impactos econômico-financeiros) foram mais acentuadas para os cultivos em solos tipo 1 que em solos tipo 2;
- ♦ Constatou-se que as possíveis variações climáticas podem promover uma redução da estação de cultivo e, conseqüentemente, aumentar as perdas econômicas;
- ♦ A receita bruta potencial estimada, para a situação climática atual, pode atingir valores de R\$ 13,9 bilhões e R\$ 23,5 bilhões com a produção de arroz e soja de sequeiro no Estado, respectivamente;
- ♦ Os riscos climáticos apresentaram tendência de aumento para semeaduras realizadas nas épocas de início e final da estação de cultivo;
- ♦ Condições climáticas que promovem o aumento da temperatura média do ar de 2,8°C ou mais e redução do volume pluviométrico diário torna, comercialmente, inviável os cultivos de arroz e de soja eleva as perdas econômicas;
- ♦ Os impactos econômico-financeiros para os cultivos de arroz e soja acompanharam a distribuição dos riscos climáticos, que são diferenciados em função da época de semeadura e do tipo de solo.

## REFERÊNCIAS

ALENCAR, A. et al. Desmatamento na Amazônia: indo além da "Emergência Crônica". In: SALATI, E.; SANTOS, Â. A. dos e KLABIN, I., **Temas ambientais relevantes. Estudos Avançados**, vol.20, n. 56, São Paulo – SP, p.107-127. 2006.

ALFONSI, R. R.; J, P. J. M.; CAMARGO, A. P.. Zoneamento Agroclimático da Soja no Brasil. In: MYASAKA, S.; MEDINA, J.C.. (Org.). *A Soja no Brasil*. Campinas: **Instituto de Tecnologia de Alimentos**, p. 0184-0187. 1981.

ALFONSI, R.R.PEDRO JR, M.J.; CAMARGO, M.B.P. et al., Zoneamento agroclimático e probabilidade de atendimento hídrico para as culturas de soja, milho, arroz de sequeiro e feijão no Estado de São Paulo. Campinas, **IAC, Boletim Científico**, 37. 8p. 1995.

ANDRADE JÚNIOR, A.S.; BARROS, A.H.C.; SILVA, C.O. e FREIRE FILHO, F.R. Zoneamento de risco climático para a cultura do feijão-caupi no Estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v.38, n.1, p.109-117, 2007.

ANDRADE JÚNIOR, A.S.; SENTELHAS, P.C.; LIMA, M. G. Zoneamento agroclimático para as culturas de milho e de soja no Estado do Piauí. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria-RS, v.9, n.3. 544-550. 2001.

AMARAL, A. B. Do e SILVA, M.T., *Zoneamento de riscos climáticos para cultura do algodoeiro herbáceo no Estado da Bahia*. **VI Congresso Brasileiro do Algodão**, Uberlândia-MG, 6p. 2007.

AMORIM NETO, M. Da S. et al., Zoneamento agroecológico e definição de época de semeadura do algodoeiro no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, 9, 422-428, 2001.

ASSAD, E. D. et al., Mudanças Climáticas e a produção de grãos no Brasil: Avaliação dos possíveis impactos. **Revista Plenarium**, Brasília – DF, v.5, n.5, p. 96–117, 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.

ASSAD, E.D.; PINTO, H.S.; ZULLO JUNIOR, J.; ÁVILA, A.M.H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.1057-1064, 2004.

ASSAD, E. D. **Sistemas de informações geográficas. Aplicações na agricultura** – editado por Eduardo Delgado Assad; Edson Eyli Sano – 2ª ed., revisada e ampliada – Brasília-DF: **Embrapa-CPAC**, 434p. 1998.

ASSAD, E. D. et al. Mudanças climáticas e agricultura: uma abordagem agroclimatológica. **Ciência e Ambiente**, v.34, p.169-182. 2007.

AVILA, A.M.H., Uma Síntese do Quarto Relatório do IPCC. **Revista Multiciência – RESENHA**. Edição nº 8. Campinas-SP, 6p.2007.

AZEVEDO, P.V. e SILVA, F.D.S. Risco climático para o cultivo do algodoeiro na região nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.3, 408-416, 2007.

BARON, C., CLOPES, A., PEREZ, P., MULLER, B., MARAUX, F. **Manuels d'utilisation de: SARRAMET 45 p SARRABIL 35 p et SARRAZON 29 p**. CIRAD, Montpellier, France. 1996.

BENHIN, J.K.A., 2008. South African crop farming and climate change: an economic assessment of impacts. **Global Environ. Change** 18, 666–678. 2008.

BINDER, L.C.W. Climate change and watershed planning in Washington State. **Journal of the American Water Resources Association**, v.42, p.915-926, 2006.

CAMARGO, A. P. et al., Aptidão climática de culturas agrícolas: In: São Paulo - **Secretaria da Agricultura. Zoneamento agrícola do Estado de São Paulo**. São Paulo-SP, V.1, p.109-149. 1974.

CAMPOS, J.H.B.C.; SILVA, M.T. e SILVA, V.P.R., Impacto do aquecimento global no cultivo do feijão-caupi, no Estado da Paraíba. **R. Bras. de Eng. Agríc. e Ambiental**, v.14, n.4, p.396–404, 2009.

CAMPOS, J. H. B.C., Impactos das alterações climáticas sobre a área de cultivo e produtividade de milho e feijão no nordeste do Brasil usando modelagem agrometeorológica. **Tese de Doutorado**. CTRN/UFCG, 93p., 2010.

CARVALHO, C. E. Desenvolvimento de Procedimentos e Métodos Para Mensuração e Incorporação das Externalidades em Projetos de Energia Elétrica: Uma Aplicação às Linhas de Transmissão Aéreas. **Tese (Doutorado)**–USP-São Paulo, 218p. 2005.

CARVALHO, G.D. Agricultura e aquecimento global: efeitos e mitigação. **Enciclopédia Biosfera - Suplemento Especial**, Goiânia-GO, vol.5, n.8, 2009.

CASTRO, L. H. R. de, MOREIRA, A. M. & ASSAD, E. D., Definição e Regionalização dos Padrões Pluviométricos dos Cerrados Brasileiros. In: ASSAD, E.D (coord.). **Chuva nos Cerrados. Análise e Espacialização**. Brasília: EMBRAPA-CPAC- SPI, 423p. 1994.

CERRI, C. E. P. et al., Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. **Scientia Agrícola**, v.64, n.1, p.83-99, 2007.

CHEMIN, J. A Visão Econômica do Direito Ambiental. In: CARVALHO, C. E. Desenvolvimento de Procedimentos e Métodos Para Mensuração e Incorporação das Externalidades em Projetos de Energia Elétrica: Uma Aplicação às Linhas de Transmissão Aéreas. **Tese (Doutorado)**–USP-São Paulo, 218p. 2005.

COLLICCHIO, E. Zoneamento edafoclimático e ambiental para a cana-de-açúcar e as implicações das mudanças climáticas no Estado do Tocantins. **Tese de Doutorado**. ESALQ/USP, 157p. 2009.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: grãos: intenção de plantio, primeiro levantamento, outubro de 2008. Disponível em: [HTTP://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/estudo\\_safra.pdf](HTTP://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/estudo_safra.pdf). Acesso em: 12 set. 2008.

DOMINGUES, E. P.; MAGALHÃES, A. S.; RUIZ, R. M. Cenários de mudanças climáticas e agricultura no Brasil: impactos econômicos na região nordeste. **Texto para discussão; 340**, UFMG-BH.CEDEPLAR, 25p., 2008.

ELETROBRÁS–DEA., **Metodologia de valoração das externalidades ambientais da geração hidrelétrica e termelétrica com vistas à sua incorporação no planejamento de longo prazo do setor elétrico**. Centrais Elétricas Brasileiras S.A – Eletrobrás, Rio de Janeiro-RJ: 210p. 2000.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 1999. 412p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. **Manual de métodos de pesquisa em arroz**. Santo Antonio de Goiás, 108p. 1977.

EMBRAPA SOJA. Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil, 2008. Londrina-PR (Sistemas de Produção / Embrapa Soja, n.12), 280p., 2008.

FARIAS, J.R.B. et al., Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja do Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, 9, 415-421, 2001,

FARIAS, J.R.B.; NEPUMUCNO, A.L. e NEUMAIER, N. Ecofisiologia da soja. Londrina-PR: Embrapa Soja, 2007. 9p. (**Circular técnica**, 48).

FARIAS, J.R.B.; NEUMAIER, N. e NEPUMUCNO, A.L. Soja. In: MONTEIRO, J.E.B.A. **Agrometeorologia dos Cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola**. INMET-DF. 530p., 2009.

FISCHER, G. et al., Socio-economic and climate change impacts on agriculture: an integrated assessment, 1990-2080. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v.360, p.2067-2083, 2005.

FEHR, W.R. E CAVINESS, C.E. Stages of soybean development. Ames: Iowa State University. Depto. Of **Science and Technology**, 11p. (Special report, 80). 1977.

GIORGI, F.; FRANCISCO, R. Evaluating uncertainties in the prediction of regional climate. In: NOBRE, C. A. et al., Mudanças Climáticas e possíveis alterações nos Biomas da América do Sul. **Ministério do Meio Ambiente – MMA. Relatório No. 6**. Brasília–DF, 27p. 2007.

GONDIM, R.S.; CASTRO, M.A.H.; EVANGELISTA, S.R.M.; TEIXEIRA, A.S.; FUCK JÚNIOR, S.C.F. Mudanças climáticas e impactos na necessidade hídrica das culturas perenes na Bacia do Jaguaribe, no Estado do Ceará. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.1657-1664, 2008.

HEINEMANN, A.B.; STONE, L.F. E SILVA, S.C. Arroz. In: MONTEIRO, J.E.B.A. **Agrometeorologia dos cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola**. INMET-DF, 530p. 2009.

HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its application. **Agricultural and Forest Meteorology**, no.103, p.137-157, 2000.

HUFSCHMIDT, M.M.; DAVID E.J.; ANTON D. M.; BLAIR T.B. e DIXON, J.A. Environment, Natural Systems, and Development: An Economic Valuation Guide. In: NOGUEIRA, J. M.; MEDEIROS, M. A. A. e ARRUDA, F. S. T. **Valoração Econômica do Meio Ambiente: Ciência ou Empiricismo?** 50<sup>a</sup> Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), Natal-RN. 21p. 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. Diretoria de Geociências. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Estado do Tocantins. Pedologia. Mapa Exploratório de Solos**. Primeira Edição. Rio de Janeiro, IBGE, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. **Produção agrícola municipal anual 2007** – Estado do Tocantins. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/producao\\_agricola/](http://www.ibge.gov.br/producao_agricola/)>. Acesso em: 09 maio 2007.

JONGDEE, B. et al., Improving drought tolerance in rainfed lowland rice: Na example from Thailand. **Agric. Water Management**. Amsterdam. v.80. n. 1-3, p. 225-240, 2006.

KELLER, T.F., ASSAD, E.D. e SCHUBNEL, P.R., Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** - PAB, Brasília-DF, v.40, n.4, p.311-322. 2005.

KITAMURA, P.C., Valoração de serviços ambientais em sistemas agroflorestais: métodos, problemas e perspectivas. **Embrapa Meio Ambiente**. Jaguariúna-SP. 4p. 2003.

LIMA, M. A. e ALVES, B. J. R., Vulnerabilidades, impactos e adaptação à mudança do clima no setor agropecuário e solos agrícolas. **Parcerias Estratégicas, Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT**, Brasília-DF. n°27, p.73-111. 2008

LOBELL, D.B., FIELD, C.B., CAHILL, K.N., BONFILS, C. Impacts of future climate change on California perennial crop yields: model projections with climate and crop uncertainties. **Agric. Forest Meteorol.** 141, 208–218. 2006.

MACHADO, M. A. de M. & MARENGO, A. J., *Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos Sobre a Agricultura Brasileira*. **NewsLetter do projeto GOF-UK-CPTEC**. Ano1 - #2, p.4-6. 2006.

MACIEL, G. F.; AZEVEDO, P. V. e ANDRADE JÚNIOR, A. S. De., Impactos do aquecimento global no zoneamento de risco climático da soja no Estado do Tocantins. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v.6, n.3, p.141-154, 2009.

MAIA, A.G.; ROMEIRO, A. R. & REYDON, B. P., Valoração de recursos ambientais – metodologias e recomendações. **Texto para Discussão**. IE/UNICAMP-Campinas-SP. n. 116, 38p. 2004.

MARENGO, J. A. Impactos das Condições Climáticas e da Variabilidade e Mudanças do Clima sobre a Produção e os Preços Agrícolas: Ondas de Frio e seu Impacto sobre a Cafeicultura nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil. In: LIMA, M.A., CABRAL, O.M.R., MIGUEZ, J.D.G. (Eds.). *Mudanças Climáticas Globais e a Agropecuária Brasileira*. **Embrapa Meio Ambiente**. Jaguariúna- SP, pp.97-123. 2001

MARGULIS, S. Causas do desmatamento da Amazônia brasileira. In: SALATI, E.; SANTOS, Â. A. dos & KLABIN, I., *Temas ambientais relevantes*. **Estudos Avançados**, vol.20, n. 56, São Paulo – SP, p.107-127. 2006.

MAVI, H.S.; TUPPER, G.J. Agrometeorology - Principles and application of climate studies in agriculture, New York: **Food Products Press**. 364p., 2004.

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 Empirismo?** 50ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), Natal-RN. 21p. 1998.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. Portarias Nº 63, de 16 de maio de 2008 (arroz de terras altas) e Nº 128, de 27 de junho de 2008 (soja). Disponível em: [http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/page/mapa/servicos/zoneamento\\_agricola\\_m/portarias\\_zoneamento\\_agricola/portarias\\_zoneamento\\_norte/portarias\\_zoneamento\\_tocantins](http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/page/mapa/servicos/zoneamento_agricola_m/portarias_zoneamento_agricola/portarias_zoneamento_norte/portarias_zoneamento_tocantins). Acesso: 12 de set/2008

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO - MDA. Cartilha do Zoneamento Agrícola. Disponível em: [http://www.mda.gov.br/portal/saf/arquivos/index?folder\\_id=2273861](http://www.mda.gov.br/portal/saf/arquivos/index?folder_id=2273861). Acesso: 12 de set/2008

MUDANÇA DO CLIMA: volume I: Negociações internacionais sobre a mudança do clima: vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima. Brasília: **Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República**.. 250 p. (Cadernos NAE, 3), 2005.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. IBGE, Rio de Janeiro-RJ. 422p. 1979.

NOBRE, C. A., ASSAD, E. D. e OYAMA, M. D. Mudança Ambiental no Brasil: O impacto do aquecimento global nos ecossistemas da Amazônia e na agricultura. **Scientific American Brazil**. **V.12, p. 70-75, nº especial**. 2005.

NOBRE, C. A. et al., Mudanças Climáticas e possíveis alterações nos Biomas da América do Sul. **Ministério do Meio Ambiente – MMA. Relatório No. 6**. Brasília-DF, 27p. 2007.

NOBRE, C.A., Mudanças climáticas e o Brasil – Contextualização. Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT, **Parcerias Estratégicas, nº 27**. Brasília-DF., p.7-17. 2008a.

NOBRE, C.A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L., Cenários de mudança climática para a América do Sul para o final do século 21. Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT, **Parcerias Estratégicas, nº 27**. Brasília-DF., p.19-42. 2008b.

NOGUEIRA, J. M.; MEDEIROS, M. A. A. & ARRUDA, F. S. T. **Valoração Econômica do Meio Ambiente: Ciência ou Empiricismo?** 50<sup>a</sup> Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), Natal-RN, 21p., 1998.

ORTOLANI, A.A Agrometeorologia e cultivo da seringueira, In: Fundação Cargill - Simpósio sobre a cultura da seringueira, Campinas: **Fundação Cargill**. p,11-32. 1986.

ORTOLANI, A.A. Regionalização da época de maturação e qualidade de bebida de café arábica no Estado de São Paulo. In: **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, 12. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p.53-54, 2001.

OYAMA, M. (2002) Conseqüências climáticas da mudança de vegetação do nordeste brasileiro: In: NOBRE, C. A. et al., *Mudanças Climáticas e possíveis alterações nos Biomas da América do Sul*. **Ministério do Meio Ambiente – MMA. Relatório No. 6**. Brasília–DF, 27p. 2007.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA-IPCC. Sumário Técnico: Mudança do Clima 2001: Impactos, adaptação e vulnerabilidade. **Relatório do Grupo de Trabalho II do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática**, 56 p. 2001b.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA-IPCC - *Mudança do Clima 2007: a Base das Ciências Físicas*. **Sumário para os Formuladores de Políticas**. 25p. 2007.

PELLEGRINI, G. Q.; ASSAD, E. D.; MARIN, F. R. *Mudanças Climáticas Globais e a Agricultura no Brasil*. **Revista Multiciência**, Edição nº 8 . Campinas-SP, 2007.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Ed. Agropecuária, 478 p. 2002.

PINHEIRO, B.S. Características morfofisiológicas da planta relacionadas a produtividade. In: SANTOS, A.B.; STONE, L.F. e VIEIRA, N.R.A.(Ed.). **A cultura do arroz no Brasil**. 2 ed. rev. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1000p., 2006.

PINTO, H. S. et al., Impacto do Aumento da Temperatura no Zoneamento Climático do Café nos Estados de São Paulo e Goiás. Avaliação dos cenários do IPCC. **XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Anais. Fortaleza-CE, pp: 605-606, 2001.

ROSSETTI, LA Zoneamento agrícola em aplicações de crédito e securidade rural no Brasil: aspectos atuariais e de política agrícola. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, 9, 377-385,2001.

SALA, J.F., Valoração dos Custos Ambientais Relacionados à Saúde - Estudo de Caso: Setor Transportes da Cidade de São Paulo. **Tese de Mestrado**. PPE/COPPE/UFRJ. 1999.

SALATI, E.; SANTOS, Â. A. dos & KLABIN, I., **Temas ambientais relevantes: Estudos Avançados**, vol.20, n. 56, São Paulo-SP, p.107-127. 2006.

SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO DO ESTADO DO TOCANTINS-SEAGRO. **Dados gerais sobre a produção agrícola do Estado do Tocantins** (1997-2006). Disponível em [www.seagro.to.gov.br](http://www.seagro.to.gov.br). Acesso em: 03/09/2007.

SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO E MEIO AMBIENTE DO TOCANTINS-SEPLAN. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico. **Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial**. Palmas: SEPLAN, 2005. 54p.

SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO E MEIO AMBIENTE DO ESTADO DO TOCANTINS-SEPLAN. **Anuário Estatístico do Tocantins**. Disponível em: [www.seplan.to.gov.br](http://www.seplan.to.gov.br). Acesso em: 05/09/2007.

SECRETARIA DO PLANEJAMENTO. SUPERINTENDÊNCIA DE PLANEJAMENTO E GESTÃO CENTRAL DE POLÍTICAS PÚBLICAS. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico (DZE). **Base de Dados Geográficos do Tocantins**. versão 2008. Palmas, Seplan/DZE, 2009.

SEDIYAMA, G.C.; MELO JÚNIOR, J.C.F. Modelos para estimativas das temperaturas normais mensais médias, máximas, mínimas e anual no Estado de Minas Gerais. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.6, n.1, p.57 - 61, 1998.

SENTELHAS, P.C., et al., Zoneamento climático da época de maturação do abacate no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, 3, 133-140, 1995.

SILVA, G. B. da; AZEVEDO, P. V. Potencial edafoclimático da “Chapada Diamantina” no Estado da Bahia para o cultivo de Cítrus. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.8, n.1, p.139-139, 2000.

SILVA, S. C. da e ASSAD, E. D. Zoneamento de riscos climáticos para o arroz de sequeiro nos Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Tocantins e Bahia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo-RS, v.9, n.3, p. 460-467, (nº especial: Zoneamento Agrícola) 2001.

SILVA, V. P.R.; CAMPOS J.H.B.C.; SILVA, M.T. e AZEVEDO, P.V., Impact of global warming on cowpea bean cultivation in northeastern Brazil. **Agric. Water Manag.**, 97, 1760–1768, 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.

SIQUEIRA, O.J.W.; STEINMETZ, S.; SALLES, L.A.B. de. Efeitos potenciais das mudanças climáticas na agricultura brasileira e estratégias adaptativas para algumas culturas. In: LIMA, M.A.; CABRAL, O.M.R.; MIGUEZ, J.D.G. Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira. Jaguariúna: **Embrapa Meio Ambiente**. p.33-63. 2001.

SIQUEIRA, O. J. F. de; FARIAS, J. R. B; SANS, L. M. A. Potential effects of global climate change for brazilian agriculture: applied simulation studies for wheat, maize and soybeans. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p.115-129, 1994.

SOARES, E. G. Da. e SILVA, S. C. Caracterização do risco climático para a cultura do arroz de terras altas no Estado do Mato Grosso do Sul. **1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**. Embrapa Informática Agropecuária/INPE. Campo Grande – MS, p.726-731, 2006.

SOUSA, T. E.; VASCONCELLOS, V. L. D. e ASSAD, E. D. *Zoneamento agrícola da cultura da soja no Distrito Federal*. **XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, ANAIS. Santa Maria – RS, p. 759-760, 2003.

STEINMETZ, S.; SILVA, S.C.; SANTANA, N.M.P. Clima. In: SANTOS, A.B.; STONE, L.F. VIEIRA, N.R.A. (Ed.) **A cultura do arroz no Brasil**. 2. ed. rev. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1000p., 2006.

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. e SILVEIRA FILHO, A. Manejo de água na cultura do arroz: consumo, ocorrência de plantas daninhas, absorção de nutrientes e características produtivas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília-DF. v.14 n.3, p. 295-301. 1979.

STRECK, N.A.; ALBERTO, C.M. Estudo numérico do impacto da mudança climática sobre o rendimento de trigo, soja e milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n° 9, p.1351-1359, 2006.

SULTAN, B., BARON, C., DINGKUHN, M., SARR, B., JANICOT, S. Agricultural impacts of large-scale variability of the West African monsoon. **Agric. Forest Meteorol.** 128, 93–110. 2005.

TEIXEIRA, H. A. & AZEVEDO, P. V. Potencial agroclimático do Estado do Pernambuco para o cultivo da acerola. **Revista Brasileira da Agrometeorologia**, Santa Maria, v.2, n.1, p.105-113, 1994.

THOMAS, J.F. Ontogenetic and morphological plasticity in crop plants. In: BOOTE, K.J. et al. (Comp.) **Physiology and determinations of crop yield**. Cap 7B, p. 181-185. 1994.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R., *The water balance*. New Jersey: Centerton, 1955. 104p. (**Publications in Climatology**, v.8, n.1).

THORNTON, P.K., JONES, P.G., ALAGARSWAMY, G., ANDRESEN, J., 2009. Spatial variation of crop yield response to climate change in East Africa. **Global Environ. Change** 19, 54–65. 2009.

TRAVASSOS, M. et al. Expected impacts of climate change on crop yields in the Pampas region of Argentina, Brazil and Uruguay. In: **AIACC Regional Workshop for Latin America and the Caribbean**, 2., Buenos Aires, Argentina. 2004.

VAUGHAN, D.A.; MORISHIMA, H. E KADOWAKI, K. Diversity in the *Oriza* genus. **Current Opinion in Plant Biology**, Amsterdam, v.6, n.1, p. 39-146. 2003.

VERGARA, B.S. e CHANG, T.T. The flowering response of the rice plant to photoperiod, 4. ed. Los Baños: IRRI, 61p., 1985.

ZANCOPÉ, G.J. e NASSER, J.M. O Brasil que deu certo: a saga da soja brasileira. Curitiba-PR. **Tríade**, 280p. 2005.

ZULLO JÚNIOR, J. et al., *Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) de sequeiro no Estado de São Paulo*. In: ANDRADE JÚNIOR, A. S. De, et al., *Zoneamento agroclimático para as culturas de milho e de soja no Estado do Piauí*. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.3, (Nº Especial: Zoneamento Agrícola), p.544-550, 2001.

ZULLO JUNIOR, J.; ASSAD, E.D.; PINTO, H.S. Alterações devem deslocar culturas agrícolas. **Scientific American Brazil**, São Paulo, n.74, p. 72-77, 2008.

ZULLO JUNIOR, J.; PINTO, H. S. e ASSAD, E. D. Impact assessment study of climate change on agricultural zoning. **Meteorological Applications**, v. 1, p. 69-80, 2006.

YOSHIDA, S. E PARAO, F.T. **Climate influence on yield components of lowland rice in the tropics**. Los Baños: IRRI, p.471-494. 1976.