

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**RAIMUNDO NONATO FARIAS MONTEIRO**

**ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO PARA A CULTURA DA  
SOJA NO ESTADO DO PIAUÍ, EM CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS.**

**FORTALEZA - CEARÁ**

**2011**

RAIMUNDO NONATO FARIAS MONTEIRO

ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO PARA A CULTURA DA SOJA  
NO ESTADO DO PIAUÍ, EM CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS.

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola.

**Área de concentração:** Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido

**Orientador:** Prof. Dr. Aderson Soares de Andrade Junior

FORTALEZA - CEARÁ

2011

RAIMUNDO NONATO FARIAS MONTEIRO

ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO PARA A CULTURA DA SOJA  
NO ESTADO DO PIAUÍ, EM CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS.

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Aprovada em: 25 de fevereiro de 2011.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Aderson Soares de Andrade Junior (Orientador)

Embrapa Meio-Norte

---

Prof. Dr. Paulo César Sentelhas (Conselheiro)

Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ/USP

---

Prof. Dr. Thales Vinícius de Araújo Viana (Conselheiro)

Departamento de Engenharia Agrícola – CCA/DENA/UFC

M779z Monteiro, Raimundo Nonato Farias  
Zoneamento agrícola de risco climático para a cultura da soja no Estado do Piauí, em cenários de mudanças climáticas / Raimundo Nonato Farias Monteiro. 2011.  
96 f. : il. color. enc.

Orientador: Prof. Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior  
Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias. Depto. de Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2011.

1. Aquecimento global. 2. Temperatura. 3. Precipitação (Meteorologia)  
4. Balanço hídrico. I. Andrade Júnior, Aderson Soares de (orient.). II. Universidade Federal do Ceará – Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola  
III. Título

CDD 630

Aos meus pais Francisco Liduino Monteiro e Maria da Paz Farias Monteiro,  
Por tudo que representam em minha vida, por acreditarem e apoiarem meu crescimento  
profissional, além do amor incondicional.

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre guiou minhas escolhas, por permitir com que eu finalizasse com sucesso mais uma etapa de minha vida acadêmica.

Aos meus irmãos Cristiane, Catiane, Ana Cristina e Robinson pela grande amizade, confiança, além da contribuição inestimável à minha formação como pessoa e aos meus sobrinhos Ana Luisa, Ibson e Arthur pelo sorriso cativante e alegria de viver.

A toda minha família, em especial aos meus tios Adalberto e Beth, pelo acolhimento, apoio e ajuda no início dessa etapa.

A Universidade Federal do Ceará (UFC) pela oportunidade de realização do curso de Mestrado, Em especial ao Departamento de Engenharia Agrícola.

A Embrapa Meio-Norte, pelo estágio concedido durante o curso.

Ao Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior, pela qualidade na orientação imprescindível para a conclusão deste trabalho, por sua amizade, pelo conhecimento e lições transmitidas durante o curso, e por ser um exemplo de competência a ser seguida.

Ao Dr. Paulo César Sentelhas e ao Dr. Thales Vinicius de Araújo Viana pela disponibilidade para participação na banca examinadora.

Aos professores do Departamento de Engenharia Agrícola (DNA) da UFC, José Carlos de Araújo, Albanise Barbosa Marinho, Eunice Maia de Andrade, Adunias dos Santos Teixeira, Luis de França Camboim Neto, Francisco Marcus de Lima Bezerra, pelos conhecimentos transmitidos durante o curso, que tanto contribuíram para a minha formação profissional.

A Clescy Oliveira pela paciência, amizade e inestimável colaboração na execução deste trabalho.

A Kelly e a Rochele que estão comigo desde a graduação, pelo positivismo, grande amizade, companheirismo e lealdade.

Aos bons amigos conquistados durante o curso de mestrado, Beatriz, Nayara, Jorgiana, Daniel, Eduardo Magno, Viviane, Adrissa, Lobato, Haroldo, e a tantos outros, pelo apoio, amizade e eventual participação direta ou não em etapas deste trabalho.

Aos amigos de moradia, Débora, Hernandes, Alexandre e Gustavo, pelos momentos de alegria, amizade e companheirismo.

Aos meus amigos Thiago Monteiro, Jefferson Ferreira, Jaqueline Silva, Geisiane Melo, Marina Donato e Marcos Melo, pelo apoio e amizade fora do ambiente acadêmico.

A Família “Trapó” pela amizade e carinho que me faziam sentir menos saudades de

casa, em especial a duas grandes pessoas que me ajudaram bastante durante minha estadia em Fortaleza, Pamela Donato e Renata Suelen.

Ao CNPq pelo aporte financeiro.

E a todos que de alguma forma participaram do meu crescimento pessoal e profissional durante essa experiência, e aos que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização desde trabalho meus sinceros agradecimentos.

*A realização nobre exige três requisitos fundamentais, a saber:  
primeiro, desejar;  
segundo, saber desejar;  
e, terceiro, merecer,  
ou, por outros termos, vontade ativa, trabalho persistente e merecimento justo.  
(...)*

## RESUMO

MONTEIRO, Raimundo Nonato Farias, Universidade Federal do Ceará. Fevereiro de 2011. **Zoneamento Agrícola de risco climático para a cultura da soja no Estado do Piauí, em cenários de mudanças climáticas.** Orientador: Aderson Soares de Andrade Junior. Examinadores: Paulo Cesar Sentelhas; Thales Vinicius de Araújo Viana.

Para a redução dos riscos climáticos na agricultura e conseqüente diminuição das perdas de safras para os agricultores, torna-se imprescindível identificar, quantificar e mapear as áreas mais favoráveis a semeadura das culturas de sequeiro, levando-se em conta a oferta climática e, mais especificamente, a distribuição pluviométrica. Em um cenário climático dessa natureza, o zoneamento agrícola de risco climático constitui-se uma ferramenta fundamental no processo de tomada de decisão, principalmente, face aos cenários de variabilidade térmica e pluviométrica, devido ao aquecimento global. O objetivo deste trabalho foi avaliar os possíveis impactos, provocados pelo aquecimento global, no zoneamento de risco climático para a cultura da soja no estado do Piauí, segundo os prognósticos do quarto relatório do IPCC, para a temperatura média do ar e precipitação pluviométrica. Para tanto, foram utilizados dados de 179 estações pluviométricas com série histórica de, no mínimo, 15 anos de dados, distribuídas no território piauiense e estados vizinhos. O modelo de balanço hídrico (Sarrazon) foi usado para estimar o risco climático por deficiência hídrica, na cultura da soja, cultivada em três tipos de solos e em diferentes datas de semeadura no período de outubro a fevereiro. As séries de dados de precipitação diária tiveram acréscimos e reduções de 5%, 10% e 15% em seus valores, e a temperatura média do ar teve acréscimo de 1°C, 2°C e 3°C para simulação de cenários futuros nos anos de 2020, 2050 e 2080 respectivamente, de acordo com os prognósticos do modelo A1B do IPCC. Utilizando um sistema de informações geográficas (Spring), foram espacializadas as áreas de baixo, médio e alto risco climático, através do índice de satisfação da necessidade de água (ISNA). O cultivo da soja apresenta riscos climáticos diferenciados em função da época de semeadura e do tipo de solo. O aumento da temperatura do ar acarretou em um acréscimo nas áreas de alto risco climático, principalmente em solos tipo 1, por apresentarem textura arenosa, e conseqüentemente, baixa disponibilidade hídrica. O impacto na redução de áreas de baixo risco climático deu-se em maiores proporções para os cenários onde o aumento da temperatura foi de 3°C, tanto para redução como para o acréscimo na precipitação diária, para todos os tipos de solos estudados, apresentando reduções da ordem de 90%, se mantidas as atuais características genéticas e fisiológicas da cultura. É importante salientar que esses resultados são apenas um indicativo do que poderá ocorrer com o zoneamento de risco climático da soja no Piauí, caso se confirmem os prognósticos estabelecidos pelo IPCC.

**Palavras- chave:** Aquecimento global. Temperatura. Precipitação, Balanço hídrico do solo.

## ABSTRACT

MONTEIRO, Raimundo Nonato Farias, Universidade Federal do Ceará. Fevereiro de 2011. **Agricultural zoning of climatic risk for soybean crop in the state of Piauí, Brazil, under different climate change scenarios.** Adviser: Aderson Soares de Andrade Junior. Committee members: Paulo Cesar Sentelhas; Thales Vinicius de Araújo Viana.

To reduce climatic risks in agriculture and a consequent reduction in crop losses for farmers, it is essential to identify, quantify and mapping the regions most favorable to the rainfed crops, taking into account climate conditions, more specifically the rainfall distribution. In such a climate scenario, the agricultural zoning of climatic risk constitutes a essential tool for the process of decision making, especially in relation to scenarios of variations in air temperature and rainfall due to the global warming. The aim of this study was to evaluate the possible impacts caused by global warming in the climatic risk zoning for the soybean crop in the Piauí State, Brazil, according to the predictions of the fourth IPCC report, for the average air temperature and rainfall. For this, data from 179 rainfall stations with series of at least 15 years of data, distributed in Piauí State and bordering states were used. The soil water balance model (Sarrazon) was used to estimate climate risk by water stress in soybean grown in three soil types and at different sowing dates from October to February. The data series of daily precipitation were increased and decreased of 5%, 10% and 15% in their values, and average air temperature was increased by 1°C, 2°C and 3°C to simulate future scenarios for the years 2020, 2050 and 2080 respectively, according to the predictions of the IPCC A1B scenario. Using geographic information system Spring, regions of low, medium and high climatic risk were spatialized through the water requirement satisfaction index (WRSI). The climatic risk for soybean crop depends on the sowing date and soil type. The increasing temperatures resulted in an decrease of regions with low risk, especially in soil type 1, due to their sandy texture, and consequently low water availability. The impact on the reduction of low climate risk regions occurred in greater proportions for scenarios where the increase in air temperature was 3°C, for both reduction and increase in rainfall for all soil types, with reductions of 90% of the area if the current genetic and physiological characteristics of soybean crop were maintained. It is important to mention that, these results are only an indicative of what may happen with the soybean climatic risk zoning in Piauí State since the predictions were confirmed.

**keywords:** Global warming, Temperature. Rainfall. Soil water balance.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Produção de soja no estado do Piauí.....	22
FIGURA 2	Área cultivada com soja no estado do Piauí. ....	23
FIGURA 3	Projeções das mudanças na temperatura do ar em relação ao período de 1980-1999, para o cenário A1B ao longo das décadas de 2020-2029 e de 2090-2099. ....	32
FIGURA 4	Padrões projetados de mudanças na precipitação para o período de 2090-2099 .....	34
FIGURA 5	Limite político-administrativo do Estado do Piauí .....	41
FIGURA 6	Mapa de solos do Estado do Piauí .....	43
FIGURA 7	Classificação climática do Estado do Piauí, por Thornthwaite e Mather (1955), descrita por Andrade Junior (2005).....	44
FIGURA 8	(A) Precipitação pluviométrica média anual, (B) Temperatura média anual. (C) Umidade relativa média anual, (D) Evapotranspiração média anual para o Estado do Piauí.....	45
FIGURA 9	Distribuição espacial das estações pluviométricas no Piauí e Estados vizinhos .....	46
FIGURA 10	Distribuição espacial dos pontos de estimativa da ETo.....	47
FIGURA 11	Espacialização do índice de satisfação da necessidade de água para a cultura da soja, para as datas de simulação de 05/10 a 25/02, nas condições atuais de temperatura do ar e solo com capacidade de armazenamento de água de 20 mm.....	53
FIGURA 12	Valores percentuais de áreas de alto, médio e baixo risco climático para a cultura da soja com acréscimo de 1°C na temperatura média do ar (C4) (A), 2°C na temperatura média do ar (C11) e 3°C na temperatura média do ar (C18), para solos com CAD igual a 20 mm.....	55
FIGURA 13	Espacialização do índice de satisfação da necessidade de água para a cultura da soja, para as datas de simulação de 05/10 a 25/02, nas condições atuais de temperatura do ar e solo com capacidade de armazenamento de água de 40 mm.....	57
FIGURA 14	Espacialização do índice de satisfação da necessidade de água para a cultura da soja, para as datas de simulação de 15/11 a 25/02, para a	

	condição de acréscimo de 1°C na temperatura média do ar (C4) e solo com capacidade de armazenamento de água de 40 mm .....	58
FIGURA 15	Valores percentuais de áreas de alto, médio e baixo risco climático para a cultura da soja com acréscimos de 2°C na temperatura média do ar (C11) (A) e 3°C na temperatura média do ar (C18), para solos com CAD 40 mm.....	59
FIGURA 16	Espacialização do índice de satisfação da necessidade de água para a cultura da soja, para as datas de simulação de 05/10 a 25/02, nas condições atuais de temperatura do ar e solo com capacidade de armazenamento de água de 60 mm.....	61
FIGURA 17	Espacialização do índice de satisfação da necessidade de água para a cultura da soja, para as datas de simulação de 15/11 a 25/02, para a condição de acréscimo de 1°C na temperatura média do ar (C4) e solo com capacidade de armazenamento de água de 60 mm .....	62
FIGURA 18	Espacialização do índice de satisfação da necessidade de água para a cultura da soja, para as datas de simulação de 15/11 a 25/02, para a condição de acréscimo de 2°C na temperatura média do ar (C11) e solo com capacidade de armazenamento de água de 60 mm .....	63
FIGURA 19	Espacialização do índice de satisfação da necessidade de água para a cultura da soja, para as datas de simulação de 25/11 a 05/02, para a condição de acréscimo de 3°C na temperatura média do ar (C18) e solo com capacidade de armazenamento de água de 60 mm .....	64
FIGURA 20	Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com redução de 5% da precipitação e acréscimo de 1°C na temperatura média do ar (C3), para os três tipos de solos .....	68
FIGURA 21	Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com redução de 10% da precipitação e acréscimo de 1°C na temperatura média do ar (C2), para os três tipos de solos .....	68
FIGURA 22	Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com redução de 15% da precipitação e acréscimo de 1°C na temperatura média do ar (C1), para os três tipos de solos .....	69
FIGURA 23	Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com redução de 5% da precipitação e acréscimo de 2°C na temperatura média do ar (C10), para os três tipos de solos .....	69

FIGURA 24	Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com redução de 10% da precipitação e acréscimo de 2°C na temperatura média do ar (C9), para os três tipos de solos .....	70
FIGURA 25	Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com redução de 15% da precipitação e acréscimo de 2°C na temperatura média do ar (C8), para os três tipos de solos .....	70
FIGURA 26	Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com redução de 5% da precipitação e acréscimo de 3°C na temperatura média do ar (C17), para os três tipos de solos .....	71
FIGURA 27	Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com redução de 10% da precipitação e acréscimo de 3°C na temperatura média do ar (C16), para os três tipos de solos.....	71
FIGURA 28	Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com redução de 15% da precipitação e acréscimo de 3°C na temperatura média do ar (C15), para os três tipos de solos.....	72
FIGURA 29	Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com acréscimo de 5% da precipitação e acréscimo de 1°C na temperatura média do ar (C5), para os três tipos de solos .....	75
FIGURA 30	Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com acréscimo de 10% da precipitação e acréscimo de 1°C na temperatura média do ar (C6), para os três tipos de solos .....	76
FIGURA 31	Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com acréscimo de 15% da precipitação e acréscimo de 1°C na temperatura média do ar (C7), para os três tipos de solos .....	76
FIGURA 32	Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com acréscimo de 5% da precipitação e acréscimo de 2°C na temperatura média do ar (C12), para os três tipos de solos.....	77
FIGURA 33	Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com acréscimo de 10% da precipitação e acréscimo de 2°C na temperatura média do ar (C13), para os três tipos de solos.....	77
FIGURA 34	Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com acréscimo de 15% da precipitação e acréscimo de 2°C na temperatura média do ar (C14), para os três tipos de solos.....	78

- FIGURA 35 Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com acréscimo de 5% da precipitação e acréscimo de 3°C na temperatura média do ar (C19), para os três tipos de solos.....78
- FIGURA 36 Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com acréscimo de 10% da precipitação e acréscimo de 3°C na temperatura média do ar (C20), para os três tipos de solos.....79
- FIGURA 37 Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com acréscimo de 15% da precipitação e acréscimo de 3°C na temperatura média do ar (C21), para os três tipos de solos.....79

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Projeção do aquecimento médio global da superfície no final do século XXI .....	32
TABELA 2	Valores de coeficientes de cultura (Kc) decendiais para a cultura da soja .....	48
TABELA 3	Datas de simulação da semeadura da soja utilizadas no estudo.....	49
TABELA 4	Cenários futuros do clima no Piauí com combinações de alteração de temperatura do ar e precipitação, de acordo com os prognósticos do modelo A1B do IPCC (2007) .....	50
TABELA 5	Distribuição das áreas (%) Inaptas (I), Restritas (R) e Aptas (A) ao cultivo da soja no Estado da Piauí, nas condições atuais de temperatura e com os acréscimos de 1°C (C4), 2°C (C11) e 3°C (C18), em solo com capacidade de armazenamento de água (CAD) de 20 mm, para as diferentes datas de semeadura (DS).....	52
TABELA 6	Distribuição das áreas (%) Inaptas (I), Restritas (R) e Aptas (A) ao cultivo da soja no Estado da Piauí, nas condições atuais de temperatura e com os acréscimos de 1°C (C4), 2°C (C11) e 3°C (C18), em solo com capacidade de armazenamento de água (CAD) de 40 mm, para as diferentes datas de semeadura (DS).....	56
TABELA 7	Distribuição das áreas (%) Inaptas (I), Restritas (R) e Aptas (A) ao cultivo da soja no Estado da Piauí, nas condições atuais de temperatura e com os acréscimos de 1°C (C4), 2°C (C11) e 3°C (C18), em solo com capacidade de armazenamento de água (CAD) de 60 mm, para as diferentes datas de semeadura (DS).....	60
TABELA 8	Valores de redução das áreas aptas ao cultivo da soja (%), para os três tipos de solo (CAD), nos cenários de redução da precipitação e acréscimo na temperatura do ar .....	65
TABELA 9	Valores de redução das áreas aptas ao cultivo da soja (%), para os três tipos de solo (CAD), nos cenários de acréscimos na precipitação e temperatura do ar .....	73

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1</b>	<b>A cultura da soja no Brasil</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1.1</b>	<b>A produção de soja no Estado do Piauí</b> .....	<b>21</b>
<b>2.2</b>	<b>A cultura da soja</b> .....	<b>24</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Classificação botânica</b> .....	<b>25</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Estádios de desenvolvimento</b> .....	<b>25</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Necessidades hídricas</b> .....	<b>26</b>
<b>2.2.4</b>	<b>Temperatura</b> .....	<b>28</b>
<b>2.3</b>	<b>Balanco hídrico da cultura</b> .....	<b>29</b>
<b>2.4</b>	<b>Efeitos das mudanças climáticas</b> .....	<b>31</b>
<b>2.5</b>	<b>Mudanças climáticas globais e a agricultura</b> .....	<b>35</b>
<b>2.6</b>	<b>Zoneamento de risco climático</b> .....	<b>38</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>41</b>
<b>3.1</b>	<b>Área de estudo</b> .....	<b>41</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Caracterização física do Estado do Piauí</b> .....	<b>42</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Caracterização climática do Estado do Piauí</b> .....	<b>43</b>
<b>3.2</b>	<b>Zoneamento agrícola de risco climático</b> .....	<b>46</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Dados climáticos</b> .....	<b>46</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Modelo computacional SARRAZON</b> .....	<b>47</b>
<b>3.2.2.1</b>	<b>As variáveis de entrada no modelo</b> .....	<b>47</b>
<b>3.2.2.2</b>	<b>A variável de saída do modelo</b> .....	<b>50</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Incorporação dos prognósticos de mudanças climáticas</b> .....	<b>50</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Confecção dos mapas de risco climático</b> .....	<b>51</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>52</b>
<b>4.1</b>	<b>Impacto da temperatura do ar no zoneamento de risco climático da soja</b> ...52	
<b>4.2</b>	<b>Impacto da precipitação pluviométrica no zoneamento de risco climático da soja</b> .....	<b>65</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Impacto da redução da precipitação pluviométrica</b> .....	<b>65</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Impacto do acréscimo da precipitação pluviométrica</b> .....	<b>72</b>

<b>4.3</b>	<b>Medidas mitigadoras no impacto das mudanças climáticas no zoneamento de risco climático da soja .....</b>	<b>80</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>83</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>84</b>
	<b>ANEXO .....</b>	<b>94</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil por ser um país continental e possuir condições adequadas para o desenvolvimento agrícola destaca-se atualmente como um dos principais produtores e exportadores de diversos produtos agrícolas. Entretanto, devido á sua grande extensão territorial, é comum que ocorra no país, adversidades climáticas que podem afetar direta ou indiretamente a produção agrícola das diversas espécies cultiváveis, tais como seca, granizo, geadas, vendavais, chuvas em excesso, dentre outras. A baixa disponibilidade hídrica no solo, associada aos períodos de longa estiagem durante a estação chuvosa (veranico), constitui uma das principais causas das quebras de safras das culturas de grãos no país, principalmente, nos Estados situados nas regiões Centro-Sul e Nordeste.

A soja foi uma das culturas que mais apresentou crescimento expressivo em seu cultivo a partir da segunda metade do século XX no Brasil, o que justifica sua importância econômica para o país. Embora seja planta originária de clima temperado, a soja adapta-se bem em uma ampla faixa de outros climas, estando o sucesso do cultivo, associado à utilização de variedades adaptadas às condições climáticas de cada região. Os modelos de simulação de crescimento de plantas que auxilia na estimativa da produtividade das culturas, possibilitando a execução de diferentes tipos de manejo, aplicação de fertilizantes, irrigação, podendo, desta forma, avaliar o comportamento da planta sob diferentes condições. Estes reflexos precisam ser melhor estudados para que todo o setor produtivo esteja preparado para reduzir os impactos das mudanças climáticas na produção agrícola.

Para que haja redução dos riscos climáticos para a agricultura e conseqüente diminuição das perdas para os agricultores, tornou-se imprescindível identificar, quantificar e mapear as áreas mais favoráveis ao plantio das culturas de sequeiro, levando-se em conta a oferta climática e, mais especificamente, a distribuição pluviométrica.

Em um cenário climático dessa natureza, o zoneamento agrícola de risco constitui-se uma ferramenta fundamental no processo de tomada de decisão, principalmente, face aos cenários de variabilidade térmica e pluviométrica, devido ao aquecimento global, projetados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas Globais (IPCC), da Organização das Nações Unidas (ONU).

Segundo previsões efetuadas por instituições de pesquisas nacionais, a soja é a cultura que mais deve sofrer com o aquecimento global, caso as condições de plantio se mantenham como as atuais e nenhuma modificação genética seja feita (este, pelo menos, não deve ser o caso, visto que novas variantes já estão sendo estudadas). Até 2070, a área com baixo risco no país pode ser reduzida a 60% da existente hoje em decorrência do aumento da deficiência hídrica e de possíveis veranicos mais intensos. A região Sul do Brasil e o Cerrado nordestino serão as áreas mais fortemente afetadas.

No caso do Piauí, estas previsões de cenários climáticos do IPCC podem colocar um dos mais importantes setores da economia do estado em enormes dificuldades, caso não sejam adotadas medidas para mitigar os efeitos das mudanças climáticas e/ou adaptarem as culturas para a nova situação climática projetada.

Dessa forma, o zoneamento agrícola de risco climático é um dos principais aliados do setor, permitindo que se conheça em detalhes a geografia agrícola nacional e que as culturas sejam distribuídas em função da disponibilidade climática de cada região. Com esse enfoque, o zoneamento de risco climático passa a integrar um dos principais requisitos para a agricultura planejada, que precisa saber o que plantar, onde plantar e quando plantar, admitindo no máximo um risco de 20% de perdas da safra.

Com esse intuito, no caso específico do Piauí, já foram executados estudos para o zoneamento de risco climático para a cultura da soja. Contudo, esses estudos foram desenvolvidos sem considerar os efeitos das mudanças climáticas, devido ao aquecimento global, sobre a variação da temperatura média do ar e da precipitação pluviométrica.

Diante do exposto o objetivo deste trabalho foi avaliar os possíveis impactos, provocados pelo aquecimento global, no zoneamento agrícola de risco climático para a cultura da soja no estado do Piauí, segundo os prognósticos do quarto relatório do IPCC (2007), para a temperatura média do ar e a precipitação pluviométrica.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. A cultura da soja no Brasil

A soja (*Glycine max (L.) Merrill*) é uma cultura cuja origem se atribui ao continente asiático, sobretudo a região do rio Yangtze, na China. A primeira notícia sobre soja no Brasil foi relatada em 1882 por Gustavo Dutra, o responsável pelos primeiros estudos com a cultura no país. Apesar de tal relato referir-se ao Estado da Bahia, a cultura tornou-se inicialmente importante nos Estados do Sul do Brasil, principalmente no Rio Grande do Sul (PALUDZYSZYN FILHO; KIIHL; ALMEIDA, 1993).

O cultivo de soja na região tradicional (Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e São Paulo), apesar de relativamente tímido na década de 50, mostrou índices expressivos de crescimento a partir da década de 60; entretanto, apenas a partir da década de 70 observou-se o crescimento da sua produção no país (ARANTES; SOUZA, 1993).

Na década de 80, a soja se expandiu para os estados de Goiás, Oeste de Minas Gerais, Bahia, Sul do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, dentro do movimento agropecuário em direção ao oeste brasileiro (IGREJA et al. 1988). As áreas da Amazônia Legal também são alvos do avanço do cultivo de soja, que vem apresentando um crescimento acelerado no Norte e Nordeste do país (Mato Grosso, oeste do Maranhão e sudoeste do Piauí) (MUELLER; BUSTAMANTE, 2002).

A cultura da soja é hoje o principal produto do agronegócio brasileiro. Segundo Schlesinger (2006), o Brasil foi, em 2003 e 2004, o maior exportador mundial de soja e vem mantendo a posição de segundo maior produtor, atrás dos Estados Unidos. Os três principais produtos do chamado complexo soja – grão, farelo e óleo - representaram, em 2005, 8% das exportações do país, ou cerca de 9,5 bilhões de dólares. Corresponderam, também, a cerca de um terço de toda a soja comercializada no mercado internacional.

Outro aspecto importante que pode propiciar a elevação do consumo de soja é a utilização do óleo para a obtenção do biodiesel. A Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE) vem pressionando o Governo Federal no sentido de que a produção deste tipo de combustível comece com a soja, pelo volume disponível da oleaginosa, sob o argumento de que isto permitiria induzir posteriormente o uso de outras culturas (SCHLESINGER, 2006).

A produção brasileira de soja vem crescendo principalmente em novas áreas abertas no Cerrado e Floresta Amazônica. O aumento da área agrícola no Cerrado causou a destruição quase que total deste bioma, cerca de 57% já desapareceram e a metade da parte restante já está bastante alterada, com grandes perdas na biodiversidade e nos ecossistemas locais (SCHLESINGER; NORONHA, 2006).

O cultivo da soja no Meio-Norte do Brasil tem se concentrado nos cerrados do Sul do Maranhão e do Sudoeste do Piauí. O estado do Maranhão teve crescimento diferenciado graças às iniciativas dos imigrantes do Sul e Centro Sul do País, que atraídos pelo baixo preço inicial das terras e mais recentemente pela infra-estrutura criada pelo Programa Corredor de Exportação Norte, ampliaram os seus investimentos produtivos, de forma organizada, criando as condições necessárias para ampliação da área cultivada na região (FROTA; CAMPELO, 1998).

A crescente demanda pela soja nos tradicionais países e regiões importadoras, como União Européia, Japão, Coréia e China, levou a uma forte expansão do mercado global do grão e de seus subprodutos. Na América do Sul, o Brasil e a Argentina, são os países que mais expandiram suas terras com a produção de soja. A FAO prevê que nos próximos anos o Brasil deverá consolidar sua posição de maior exportador mundial de soja. Fator decisivo para esta tendência é a área ainda disponível para a expansão de culturas agrícolas no Brasil, estimada pelo Ministério da Agricultura entre 90 milhões e 106 milhões de hectares (SCHLESINGER et al. 2006).

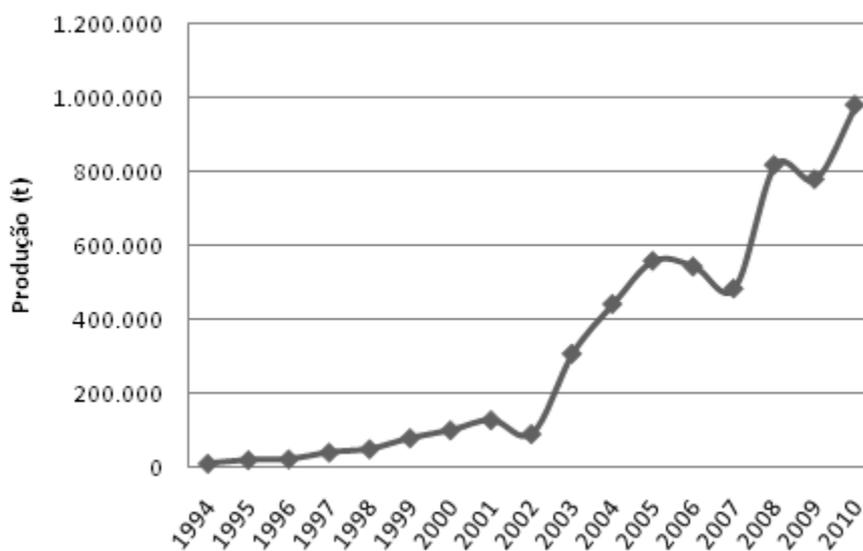
Na safra 2010, a quantidade de grãos de soja produzidos no território brasileiro foi de 68,4 milhões de toneladas, indicando um aumento de 20% em relação à produção da safra passada, de 56,9 milhões de toneladas. A área cultivada em 2010 foi de 23,3 milhões de ha em todo o país, superior a área cultivada em 2009 que foi de 21,7 milhões de ha, obtendo uma variação de 7,1%. Estima-se para 2011, 23,5 milhões de ha cultivados com soja no país, indicando um aumento de 1% no percentual de área colhida e uma produção de 67,9 toneladas, implicando em uma variação de -0,8% em relação a safra passada (IBGE, 2010).

### **2.1.1. A produção de soja no Estado do Piauí**

A cultura da soja ocupa posição de destaque na produção agrícola piauiense. A estimativa de área colhida, na safra agrícola de 2010, foi de 327.059 ha, com uma produção de grãos de 981.623 toneladas. Em comparação às safras anteriores, o Estado do Piauí obteve

um aumento de 22,5% e 15,6% em relação à área cultivada e 16,5% e 20,5% em relação à produção de grãos nas safras de 2008 e 2009 respectivamente, (IBGE, 2010).

Destacam-se como os maiores produtores de soja no Piauí, os municípios de Uruçuí (30,3%), Baixa Grande do Ribeiro (15,6%), Ribeiro Gonçalves (16,0%) e Bom Jesus (11,4%), situados na região do Cerrado, com 161.271 ha, representando 58,9% da área cultivada com soja no Estado do Piauí (IBGE, 2009).



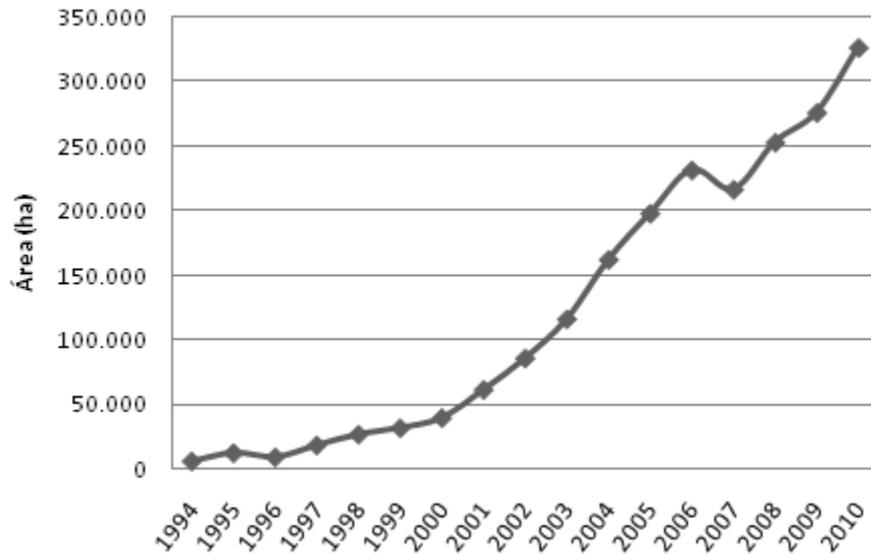
**Figura 1** - Produção de soja no estado do Piauí.

Fonte: IBGE (2010)

Segundo o IBGE (2010), o Estado do Piauí apresenta um crescimento bastante significativo em relação a área plantada com a cultura da soja, em relação ao ano de 1994 em que a área cultivada era de 6.345 ha. A produção de grãos no Estado também teve um aumento bem representativo nos últimos anos, passando de 10.409 ton em 1994 a 981.623 ton em 2010.

Segundo Frota e Campelo (1998), o primeiro registro oficial do cultivo da soja no Piauí, como atividade econômica, ocorreu em 1982, com apenas 10 ha de área cultivada, observando-se a partir daí, um crescimento lento e de pequenas dimensões, atingindo 18.780 ha em 1997. Já na última década o crescimento da área cultivada com soja no Estado do Piauí, ocorreu de forma bastante significativa.

A produtividade média de grãos na safra 2010 foi de 3,0 t/ha. Segundo a Conab (2010), estima-se que a área plantada para a safra 2011 ultrapasse 370,5 mil hectares, contra os 327,0 mil hectares da safra passada, alcançando uma produção de 1,08 milhões de toneladas. A produtividade deverá passar de 3,0 t/ha para 2,9 t/ha.



**Figura 2** - Área cultivada com soja no estado do Piauí.

Fonte IBGE (2010)

A cultura é explorada sob regime de sequeiro, principalmente, na região do Cerrado Piauiense, que tem o período chuvoso de novembro a março (MEDEIROS, 1996), com precipitação média anual variando de 800 a 1.400 mm (ANDRADE JÚNIOR et al. 2004), concentrando-se no trimestre mais chuvoso de janeiro a março (ANDRADE JÚNIOR; BASTOS, 1997).

Contudo, apesar do elevado índice pluviométrico anual, o risco climático que a cultura de soja está sujeita é acentuado, devido à irregularidade na distribuição de chuvas, traduzida por períodos de veranicos de diferentes durações, notadamente, se estes ocorrerem durante as fases mais críticas (floração e enchimento de grãos) (DOORENBOS; KASSAM, 1994), onde a falta de água reduz sensivelmente seus rendimentos.

## 2.2. A cultura da soja

A cultura da soja (*Glycine max (L.) Merrill*) é uma leguminosa de ciclo anual (90 a 160 dias), com altura média variando entre 50 cm e 150 cm. Possui raiz do tipo pivotante, de onde partem raízes secundárias que se ramificam formando um sistema radicular adaxial, fasciculado. Podem apresentar pequenos nódulos ligados ao sistema vascular resultantes da infestação por bactérias do gênero *Bradyrhizobium japonicum* (ALVAREZ FILHO, 1988). Segundo o mesmo autor, a planta possui três tipos de folhas: as cotiledonares, em número de duas, que são as primeiras a surgirem após a germinação; as simples (opostas), também em número de duas, que surgem após as cotiledonares; e as compostas trifolioladas, alternadas, de pecíolos grandes, folíolos ovais ou ovais-lanceolados, de 7 a 15cm de comprimento e caducas por ocasião do amadurecimento dos frutos.

Sua flor é completa e hermafrodita. As inflorescências nascem nas axilas das folhas ou no ápice das ramificações do caule. O fruto é do tipo vagem, hirsuto, de coloração amarelada a preta. As vagens são normalmente pendentes e em número de uma a cinco por pedúnculo. As vagens de uma mesma planta apresentam maturação simultânea, acompanhada da desfolhação. O tamanho e a forma das sementes são variáveis, conforme a variedade cultivada. A coloração das sementes pode ser amarela, castanha, verde, preta ou bicolor. O número de sementes por vagem varia de uma a cinco, sendo geralmente duas ou três (ALVAREZ FILHO, 1988).

Segundo Fagan (2007) diversos fatores têm influenciado na produtividade da soja, como manejo de campo, e controle de plantas daninhas, pragas e doenças bacterianas e fúngicas. A incidência de doenças, principalmente as ocasionadas por fungos tem promovido grandes perdas aos produtores, as quais podem atuar durante todo o ciclo ou apenas no final do cultivo.

A época de semeadura é um dos fatores que mais influenciam o rendimento da soja, ou seja, é ela quem determina a exposição da cultura à variação dos fatores climáticos limitantes. Assim, semeaduras em épocas inadequadas podem afetar o porte, o ciclo e o rendimento das plantas e aumentar as perdas na colheita (ANDRADE JUNIOR; BASTOS; SILVA, 2007).

A produtividade da cultura é definida pela interação entre a planta, o ambiente e o manejo. Altos rendimentos somente são obtidos quando as condições ambientais são favoráveis em todos os estágios de crescimento (GILIOLI et al. 1995; MARTINS et al. 1999). Dessa forma, a época de semeadura é um fator determinante para o sucesso na busca

de altas produtividades, alcançadas quando se conseguem justapor o desenvolvimento das fases fenológicas da cultura, com a presença de ambiente climático favorável à expressão da produtividade da cultivar em uso (OLIVEIRA, 2003).

### **2.2.1. Classificação Botânica**

A soja é uma planta que pertence à família *Fabaceae*, à subfamília *Faboidea* e à tribo *Phaseolae*. Além da espécie cultivada, *Glycine Max* (L.) Merrill, o gênero *Glycine* possui, aproximadamente, quinze outras espécies originárias de regiões tropicais, dentre as quais cinco apresentam, de certa forma, valor econômico e genético (ALVAREZ FILHO, 1988).

### **2.2.2. Estádios de desenvolvimento**

A descrição da fenologia da soja permite identificar e agrupar os estádios de desenvolvimento da cultura e relacioná-los com suas necessidades específicas, no decorrer do ciclo. Para a identificação desses estádios é necessário reconhecer e identificar os nós do caule, estruturas salientes, separadas e dispostas ao longo deste, que darão origem às folhas e às inflorescências. A identificação é feita através da contagem dos nós do caule principal, começando pelo que sustenta as duas primeiras folhas simples e opostas situado logo acima do nó cotiledonar. Todos os nós que apresentarem folhas desenvolvidas são contados para a identificação do estágio de desenvolvimento. A folha é considerada desenvolvida quando os bordos dos folíolos da folha do nó imediatamente superior a esta não estejam mais se tocando (ALVAREZ FILHO, 1988).

A germinação da semente inicia imediatamente após o contato com a umidade do solo. A emergência das plântulas ocorre entre o quinto e o décimo quinto dia após o início da germinação. O tempo transcorrido entre a semeadura e a emergência depende da temperatura e umidade do solo, sistema e profundidade da semeadura (ALVAREZ FILHO, 1988).

A classificação dos estádios de desenvolvimento da soja, proposta por Fehr e Caviness (1977) é a mais utilizada no mundo inteiro e divide os estádios de desenvolvimento da soja em estádios vegetativos e estádios reprodutivos. O período vegetativo inicia-se na emergência da plântula e termina com a abertura da primeira flor. O período reprodutivo

inicia-se na abertura da primeira flor e termina com a maturação de colheita. O período reprodutivo é crítico, sendo que a ocorrência de deficiência hídrica pode comprometer a produtividade final de grãos. Dentro deste período, a planta apresenta oito estádios, ou subperíodos, de desenvolvimento, que são identificados pela letra “R”, seguida do número correspondente ao estágio.

As características de cada estágio de desenvolvimento são: R1 (início da floração), quando uma flor se abre em qualquer nó do caule; R2 (plena floração), quando surgem flores no nó imediatamente abaixo do nó mais alto com folha desenvolvida; R3 (início da formação de vagens), quando uma vagem com 0,5 cm aparece em um dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida; R4 (plena formação de vagens), quando uma vagem com 2,0 cm de comprimento se desenvolve em um dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida; R5 (início do enchimento de grãos), quando grãos com 0,3 cm se fixam em uma vagem dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida; R6 (pleno enchimento de grãos), quando surge pelo menos uma vagem contendo um grão verde em um dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida; R7 (ponto de maturidade fisiológica), quando as vagens começam a atingir a maturação e a tornarem-se amareladas; R8 (ponto de colheita), quando 95% das vagens apresentam coloração marrom (FEHR; CAVINES, 1977).

### **2.2.3. Necessidades hídricas**

Farias et al. (2001) disseram que apesar do vasto conhecimento para o cultivo da soja, resultando em elevado grau de tecnificação da maioria das lavouras brasileiras, a disponibilidade hídrica durante a estação de crescimento constitui-se, ainda, na principal limitação à expressão do potencial de rendimento da cultura e na maior causa de variabilidade dos rendimentos de grãos observados de um ano para outro.

A água constitui aproximadamente 90% do peso da planta, atuando em, praticamente, todos os processos fisiológicos e bioquímicos. Desempenha a função de solvente, por meio da qual, gases, minerais e outros solutos entram nas células e movem-se pela planta. Tem, ainda, papel importante na regulação térmica da planta, agindo tanto no resfriamento como na manutenção e distribuição do calor (EMBRAPA, 2004).

Segundo Embrapa (2010), 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 o déficit de água são prejudiciais

à obtenção de uma boa uniformidade na população de plantas. A semente de soja necessita absorver, no mínimo, 50% de seu peso em água para assegurar boa germinação. Nessa fase, o conteúdo de água no solo não deve exceder a 85% do total máximo de água disponível e nem ser inferior a 50%.

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<sup>-1</sup>), decrescendo após esse período. A ocorrência de estiagem nesse período provoca uma redução na produtividade substancialmente maior do que em qualquer outro período do ciclo da cultura (EMBRAPA, 2010).

Déficits hídricos expressivos, durante a floração e o enchimento de grãos, provocam alterações fisiológicas na planta, como o fechamento estomático e o enrolamento de folhas e, como consequência, causam a queda prematura de folhas e de flores e abortamento de vagens, resultando, por fim, em redução do rendimento de grãos. Por outro lado, o excesso hídrico também pode ser prejudicial. Em solos saturados ou próximos da saturação, a difusão de oxigênio é deficiente, prejudicando o processo respiratório da semente na germinação. Do início da floração até o início da formação das vagens a soja é mais sensível a excessos de umidade no solo, podendo ocorrer queda abundante de flores e vagens jovens (SCHNEIDER et al. 1988).

Como o consumo de água pela cultura da soja depende além do estágio de desenvolvimento, da demanda evaporativa da atmosfera, o seu valor absoluto pode variar, tanto em função das condições climáticas de cada região como em função do ano e da época de semeadura na mesma região climática. Para o Sul do Brasil, Berlato et al. (1986) obtiveram valores médios de evapotranspiração máxima (ET<sub>m</sub>) ao redor de 6 mm.dia<sup>-1</sup>, sendo o menor consumo verificado no início do ciclo (2,7 mm.dia<sup>-1</sup>) e o maior ocorrendo do início da floração ao início do enchimento de grãos (7,5 mm.dia<sup>-1</sup>). Para todo o ciclo da cultura, foi obtida uma ET<sub>m</sub> de 827 mm.

Bastos et al. (2007) determinaram os coeficientes de cultivo da soja para o município de Alvorada do Gurguéia, Piauí, no período de julho a novembro de 2006. Para a determinação da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) utilizou-se um lisímetro de pesagem. A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) foi estimada com base na equação de Penman-Monteith, os coeficientes de cultivo (K<sub>c</sub>) da soja irrigada por aspersão foram 0,38 no estágio inicial (0 a 20 dias); 0,93, no estágio de crescimento (21 a 45 dias); 1,04 no estágio intermediário (46 a 70 dias); 1,29 no estágio final e 0,8 na maturidade fisiológica.

A necessidade total de água na cultura da soja, para obtenção do máximo rendimento, varia entre 450 a 800 mm/ciclo, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do ciclo (BERLATO, 1981).

#### **2.2.4. Temperatura**

A temperatura ideal para crescimento e desenvolvimento da cultura da soja está em torno de 30°C, mas a mesma adapta-se a temperaturas do ar variando entre 20°C e 30°C. A semeadura da soja não deve ser realizada quando a temperatura do solo estiver abaixo de 20°C porque prejudica a germinação e a emergência. A faixa de temperatura do solo adequada para semeadura varia de 20°C a 30°C (EMBRAPA, 2004).

Berlato e Gonçalves (1978) concluíram que existe estreita relação entre a temperatura do solo a 5 cm de profundidade e o número de dias transcorridos da semeadura à emergência. Com temperatura de 25°C, a emergência ocorreu em 8 dias, com 17°C, em 12 dias e com a temperatura média variando entre 19°C e 21°C, a emergência ocorreu em 10 a 11 dias.

Pascale (1969), em experimentos conduzidos na Argentina, relatou que a emergência da soja não ocorreu antes que a temperatura do ar atingisse 15°C. No entanto, Berlato, Fontana e Gonçalves (1992) não encontraram correlação entre a temperatura e a produtividade final de grãos de soja.

De acordo com Embrapa (2004), o crescimento vegetativo da soja é pequeno ou nulo a temperaturas menores ou iguais a 10°C. Temperaturas acima de 40°C têm efeito adverso na taxa de crescimento, provocam distúrbios na floração e diminuem a capacidade de retenção de vagens. Esses problemas se acentuam com a ocorrência de déficits hídricos.

A floração da soja somente é induzida quando ocorrem temperaturas acima de 13°C. As diferenças de data de floração, entre anos, apresentadas por uma cultivar semeada numa mesma época, são devido às variações de temperatura. Assim, a floração precoce ocorre, principalmente, em decorrência de temperaturas mais altas, podendo acarretar diminuição na altura de planta. Esse problema pode se agravar se, paralelamente, houver insuficiência hídrica e/ou fotoperiódica durante a fase de crescimento. Diferenças de data de floração entre cultivares, numa mesma época de semeadura, são devidas principalmente, à resposta diferencial das cultivares ao fotoperíodo (FARIAS, 2000).

A maturação pode ser acelerada pela ocorrência de altas temperaturas. Quando vêm associadas a períodos de alta umidade, as altas temperaturas contribuem para diminuir a qualidade da semente e, quando associadas às condições de baixa umidade, predispõem a semente a danos mecânicos durante a colheita (EMBRAPA, 2004). Temperaturas baixas na fase da colheita, associadas a período chuvoso ou de alta umidade, podem provocar atraso na data de colheita, bem com haste verde e retenção foliar.

A adaptação de diferentes cultivares em determinadas regiões depende, além das exigências hídricas e térmicas, de sua exigência fotoperiódica. A sensibilidade ao fotoperíodo é característica variável entre cultivares, ou seja, cada cultivar possui seu fotoperíodo crítico, acima do qual o florescimento é atrasado. Por isso, a soja é considerada planta de dia-curto. Em função dessa característica, a faixa de adaptabilidade de cada cultivar varia à medida que se desloca em direção ao norte ou ao sul. Entretanto, cultivares que apresentam a característica “período juvenil longo” possuem adaptabilidade mais ampla, possibilitando sua utilização em faixas mais abrangentes de latitudes e de épocas de semeadura (CASTIGLIONI et al. 2005).

Bergamaschi et al. (1977) afirmaram que semeaduras mais tardias realizadas em regiões mais quentes permitem que a planta de soja atinja porte razoável, com menor redução no seu potencial de produção. Assim, visando o rendimento da cultura, os cultivares de ciclo longo são mais vantajosos para semeaduras tardias em locais quentes pois, nessas condições, os precoces, mesmo contando com boa disponibilidade térmica e hídrica, têm seu porte e altura de inserção das primeiras vagens consideravelmente reduzidos, aumentando as perdas de colheita.

### **2.3. Balanço hídrico da cultura**

O balanço hídrico representa a contabilização da água no solo, resultante da aplicação do princípio de conservação de massa em um solo vegetado, até a profundidade explorada pelas raízes, computando todos os fluxos hídricos positivos e negativos. Tais fluxos são decorrentes de trocas com a atmosfera e do próprio movimento superficial e subterrâneo da água (BERGAMASHI et al. 1999; VAREJÃO-SILVA, 2006).

Segundo Pereira et. al. (1997), a variação do armazenamento num intervalo de tempo, representa o balanço entre a entrada e a saída de água no volume de controle. Pode-se considerar como elementos de entrada do balanço hídrico a chuva, orvalho, escoamento

superficial, drenagem lateral, ascensão capilar, irrigação; e as prováveis saídas são: evapotranspiração, escoamento superficial, drenagem lateral, drenagem profunda.

O volume de controle onde ocorrem as entradas e saídas de água do sistema é determinado pelo conjunto solo-planta-atmosfera. Se o solo é profundo e a demanda atmosférica é alta, as raízes se aprofundam a procura de mais água para atender a demanda. Porém, se a demanda atmosférica for baixa, um volume menor de solo será suficiente para atendê-la (PEREIRA et al. 2002).

O balanço hídrico climatológico foi desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955) para determinar o regime hídrico de um local, sem necessidade de medidas diretas das condições de umidade do solo. Nesse balanço, a demanda de água da atmosfera é determinada pela evapotranspiração potencial e a água disponível para o ambiente (solo-planta-atmosfera) é proveniente da precipitação pluvial. Contudo, quando se utiliza a evapotranspiração da cultura no lugar da evapotranspiração potencial, tem-se o balanço hídrico da cultura. (PEREIRA et al. 2005).

O balanço hídrico de uma cultura segue os mesmos procedimentos do balanço hídrico climatológico seqüencial, sendo específico para acompanhar o armazenamento de água no solo em determinado período, e pode ser feito em várias escalas de tempo (diária, semanal, bissetimanal, decendial, ou mensal). Para tanto, emprega a evapotranspiração potencial ou máxima de uma cultura ( $ET_c$ ), que é a água utilizada por determinada espécie vegetal em qualquer fase de seu desenvolvimento, quando não houver restrições hídricas. O cálculo da  $ET_c$  é feito através da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) e do coeficiente de cultura ( $K_c$ ) (PEREIRA et al. 2002).

A evapotranspiração pode ser medida ou estimada, porém as medidas são demasiadamente onerosas e as estimativas na maioria das vezes são preferidas. O método de Thornthwaite (1948) foi desenvolvido para a estimativa da evapotranspiração potencial, ou seja, a água utilizada por uma extensa área completamente vegetada, por vegetação de porte baixo e em crescimento ativo e somente considera que a evapotranspiração seja resultante de balanço vertical de energia, e leva em conta apenas a temperatura e fotoperíodo.

Para estimar a evapotranspiração potencial o ideal é que o método incorpore além dos fatores microclimáticos que interferem nos processos de transferência de massa e energia, a morfologia da planta, a taxa de crescimento da cobertura da superfície pela planta, estágio de crescimento, condições do solo e principalmente a forma com que as propriedades físicas do solo afetam a água disponível ao sistema radicular (SEDIYAMA, 1996).

Atualmente, o método mais indicado para a determinação da ETo é o método de Penman-Monteith, parametrizado pela FAO, sendo também indicado o método de tanque Classe A (ALLEN et al. 1998)

Segundo Medeiros et al. (2004), o Kc é um parâmetro relacionado aos fatores fisiológicos das plantas devendo, preferencialmente, ser determinado para as condições locais nas quais será utilizado; todavia, sua determinação sob condições de campo exige um grande esforço de pessoal técnico, equipamentos e custos, em virtude da quantidade de informações, controles e monitoramentos necessários ao balanço hídrico em uma área. Para obtenção de Kc ao longo do ciclo da cultura, normalmente se utilizam lisímetros.

#### **2.4. Efeito das mudanças climáticas**

A problemática das mudanças climáticas globais levou a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e a UNEP (United Nations Environment Programme) a criarem o IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) em 1988. Segundo o IPCC, no século XX, houve um aumento de 0,65°C na média da temperatura global, sendo este mais pronunciado na década de 90 (ASSAD et al., 2004).

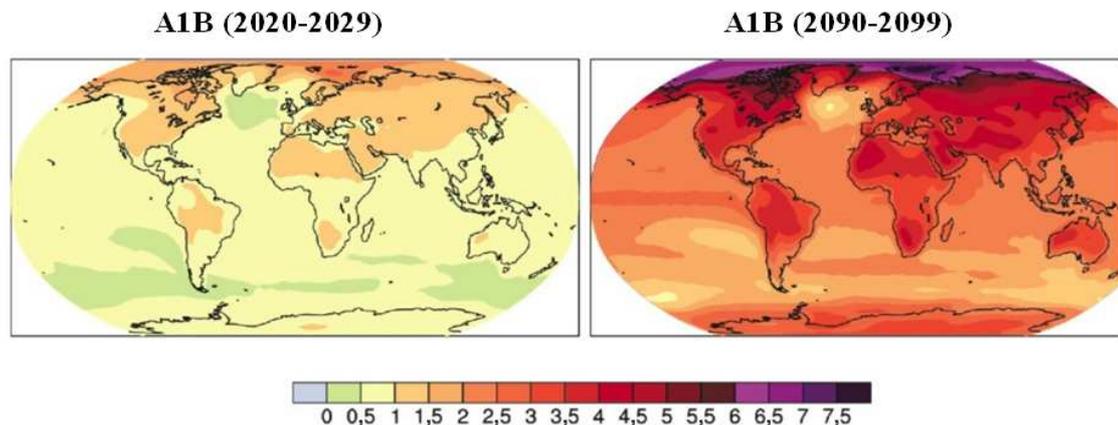
O quarto relatório apresentado pelo IPCC (2007) mostra que as temperaturas médias do ar na superfície podem atingir valores entre 1,8°C (melhor estimativa para o cenário otimista (B1)) e 4,0°C (melhor estimativa para o cenário pessimista (A1F1)). Em relação à precipitação pluviométrica, embora exista uma compreensão cada vez melhor dos padrões projetados de precipitação, mais de 60% dos modelos de previsão discordam em relação ao sinal (se haverá acréscimo ou redução nos valores atuais) e a magnitude desse acréscimo ou redução nos valores atuais (MACIEL; AZEVEDO; ANDRADE JUNIOR, 2009).

De acordo com as projeções recentemente apresentadas no quarto relatório de avaliação do IPCC (2007), o setor econômico mais diretamente afetado deverá ser a agropecuária, pois é dependente das condições de temperatura e precipitação. É importante frisar que, a previsão é de aumento não apenas na média da temperatura do ar, mas também, em sua variância. Por isso, a incidência de eventos extremos deve aumentar como verões ou invernos, excepcionalmente, chuvosos ou secos, quentes demais ou de menos. Essas oscilações terão diferenças regionais importantes e, seguramente, levarão a uma redistribuição da agricultura no Brasil e no mundo.

**Tabela 1** - Projeção do aquecimento médio global da superfície no final do século XXI.

Caso	Mudança de temperatura (°C em 2090-2099 relativa a 1980-1999)	
	Melhor estimativa	Faixa provável
Concentrações constantes em 2000	0,6	0,3 - 0,9
Cenário B1	1,8	1,1 - 2,9
Cenário A1T	2,4	1,4 - 3,8
Cenário B2	2,4	1,4 - 3,8
Cenário A1B	2,8	1,7 - 4,4
Cenário A2	3,4	2,0 - 5,4
Cenário A1F1	4,0	2,4 - 6,4

Fonte: IPCC (2007)



**Figura 3** - Projeções das mudanças na temperatura do ar em relação ao período de 1980-1999, para o cenário A1B ao longo das décadas de 2020-2029 e de 2090-2099.

Fonte: IPCC (2007)

Segundo Nobre (2001), a continuar o padrão atual de emissões de gases de efeito estufa – GEE para a atmosfera, resultantes de ações antrópicas, há altíssima probabilidade que haverá mudanças climáticas globais de grande magnitude ocorrendo nos próximos 100 anos. Entre elas, as mais significativas para o país são: aumento de temperatura, modificações nos padrões de chuvas e alterações na distribuição de extremos climáticos tais como secas e inundações, penetração de frentes frias, geadas, tempestades severas, vendavais, granizo, dentre outros.

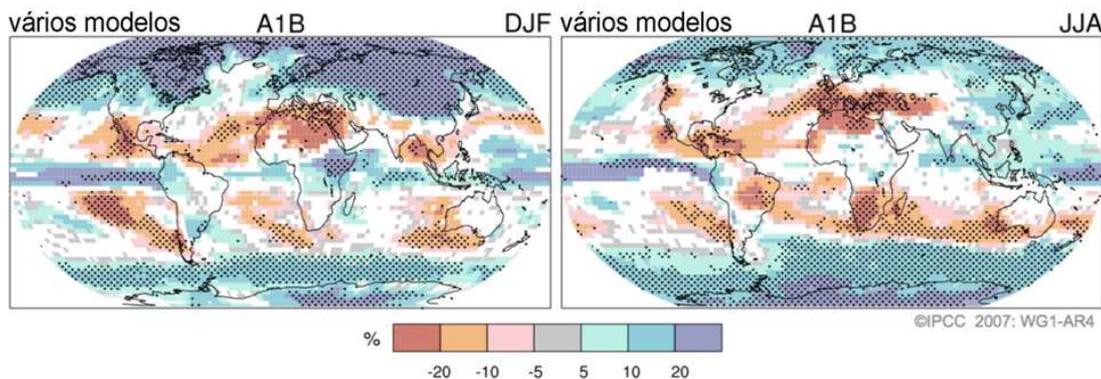
Nas plantas, o aumento da temperatura é diretamente proporcional ao seu metabolismo. As reações catalisadas enzimaticamente podem ser aceleradas, resultando na perda da atividade das enzimas, fator este associado à tolerância das plantas ao calor (BIETO; TALON, 1996).

A produtividade das culturas é afetada pela mudança climática e pela alteração da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> irão estimular diretamente a produtividade das plantas e aumentar a eficiência de uso de água. Por outro lado, temperaturas mais elevadas irão acelerar o desenvolvimento fenológico das culturas e aumentar a necessidade de água. A esperada diminuição de precipitação na primavera e no verão irá aumentar as necessidades de água para irrigação e causar estresse hídrico nas culturas de sequeiro, embora a antecipação do ciclo produtivo possa parcialmente evitá-lo. O efeito do aquecimento global sobre a produção irá depender da relativa alteração das concentrações de CO<sub>2</sub>, temperatura, radiação solar e precipitação (CCIAM, 2010).

Segundo Cortizo (2008), o contexto e a família de cenários A1 descrevem um mundo futuro de crescimento econômico muito rápido, com a população global atingindo um pico em meados do século e declinando em seguida e a rápida introdução de tecnologias novas e mais eficientes. As principais questões subjacentes são a convergência entre as regiões, a capacitação e o aumento das interações culturais e sociais, com uma redução substancial das diferenças regionais na renda per capita.

A família de cenários A1 se desdobra em três grupos que descrevem direções alternativas da mudança tecnológica no sistema energético. Os três grupos A1 distinguem-se por sua ênfase tecnológica: intensiva no uso de combustíveis fósseis (A1F1), fontes energéticas não-fósseis (A1T) ou um equilíbrio entre todas as fontes (A1B) (em que o equilíbrio é definido como não se depender muito de uma determinada fonte de energia, supondo-se que taxas similares de aperfeiçoamento apliquem-se a todas as tecnologias de oferta de energia e uso final) (IPCC, 2007).

Quanto à precipitação pluviométrica, embora exista uma compreensão cada vez melhor dos padrões projetados de precipitação, mais de 60% dos modelos de previsão discordam em relação ao sinal (se haverá acréscimo ou redução nos valores atuais) e a magnitude desse acréscimo ou redução nos valores atuais (IPCC, 2007). Admitindo-se o cenário A1B, poderá haver variação na precipitação de -20% a 20%, dependendo da região e da estação do ano (Figura 4).



**Figura 4** - Padrões projetados de mudanças na precipitação para o período de 2090-2099. Fonte: IPCC (2007).

Segundo IPCC (2007), as projeções de desvios da precipitação representam médias de vários modelos, com base no cenário A1B, de dezembro a fevereiro (DJF) e de junho a agosto (JJA). As áreas brancas são regiões, onde menos de 66% dos modelos concordam com o sinal da mudança, e as áreas pontilhadas são regiões, onde mais de 90% dos modelos concordam com o sinal da mudança na precipitação (Figura 4).

No caso do Piauí, há grande predominância de áreas em branco, onde não há concordância dos modelos quanto ao desvio da precipitação, e uma pequena área azul, com indicativo de desvio positivo de 5% na precipitação, nos meses de dezembro a fevereiro. Para os meses de junho a agosto, há indicativo de desvio negativo de 10% na precipitação, que não traz grandes conseqüências ao zoneamento agrícola de risco climático, por tratar-se do período seco do ano, não indicado para a agricultura.

Entretanto, segundo Krol et al. (2003), utilizando dois modelos regionais de previsão de precipitação para o Piauí (ECHAM 4 e HADCM 2), observaram uma tendência de ocorrer, no período de 2001 a 2050, redução de 20% a 30% (ECHAM 4) e acréscimo de 4% a 14% (HADCM 2) nos totais anuais de precipitação. No caso específico da região Sul do Piauí, onde se concentra o cultivo de soja, esses modelos apresentaram previsão de redução de 20% a 25% (ECHAM 4) e acréscimo de 9% a 14% (HADCM 2) nos totais anuais de precipitação. Esse comportamento contraditório dos modelos na previsão da precipitação justifica a necessidade de avaliar-se o maior número possível de cenários futuros visando a inferir os possíveis impactos decorrentes das mudanças climáticas no agronegócio da soja no Estado do Piauí, conforme será apresentado posteriormente na metodologia.

No Brasil, a região semiárida será umas das mais afetadas pelas mudanças climáticas globais. Os impactos devido ao aumento de temperatura e anomalias na precipitação poderão afetar a produção das culturas, os recursos hídricos, o manejo da

irrigação, a biodiversidade, o Bioma Caatinga e acelerar o processo de desertificação (ANGELOTTI et al. 2010).

## **2.5. Mudanças climáticas globais e a agricultura**

Os cenários futuros sinalizam para a tendência de estiagem no Nordeste brasileiro, apontando para uma maior aridez da região semiárida até o final do século XXI. O balanço hídrico realizado por meio da temperatura e precipitação com as médias dos valores dos modelos do IPCC (2007) sugere redução dos índices pluviométricos na estação chuvosa e maiores deficiências de umidade do solo ao longo do ano (MARENGO, 2006)

Considerando-se os prognósticos de aumento das temperaturas, pode-se admitir que as regiões climaticamente limítrofes àquelas de delimitação de cultivo adequado de plantas agrícolas se tornarão desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal. Quanto maior a anomalia, menor a aptidão da região, até o limite máximo de tolerância biológica ao calor. Culturas tolerantes a altas temperaturas provavelmente serão beneficiadas até o seu limite próprio de tolerância ao estresse térmico. No caso de baixas temperaturas, regiões que atualmente são limitantes ao desenvolvimento de culturas suscetíveis a geadas, com o aumento do nível térmico decorrente do aquecimento global, passarão a apresentar condições favoráveis ao desenvolvimento de vegetações (ASSAD et al. 2004; PINTO et al. 2004).

O tempo meteorológico e o clima afetam os sistemas agrícolas de diversas maneiras, na produção e produtividade das culturas, na incidência de pragas e doenças e na execução das operações de campo. Assim, os fatores e elementos climáticos afetam de maneira direta a distribuição geográfica das culturas assim como questões sócio-econômicas. Dessa forma, os impactos das mudanças climáticas na agricultura podem adicionar desafios ainda maiores à garantia de um crescimento e desenvolvimento que garanta segurança alimentar e redução da pobreza (MACHADO; MARENGO, 2006).

Na maior parte das terras agricultáveis, não se utiliza a irrigação, dependendo-se exclusivamente dos regimes pluviais. Em algumas regiões, principalmente nos cerrados, a precipitação total do período chuvoso é suficiente para o desenvolvimento da agricultura, porém é comum a ocorrência de seqüência de dias secos durante a estação chuvosa, o que é conhecido como veranico (SOUSA, 1999). Assim, para os planejadores de sistemas de produção, é importante conhecer o comportamento dos elementos climáticos em cada localidade, especialmente do regime pluviométrico, para subsidiá-los na tarefa de otimização

do aproveitamento dos recursos naturais e na obtenção da máxima produção ao menor custo possível (PAIVA, 1997).

Vários estudos apontam para possíveis alterações no clima global, em consequência do aumento dos gases do efeito estufa, sobretudo do gás carbônico (CO<sub>2</sub>) (IPCC, 2007). O cultivo da soja, por sua vez, vem se expandindo na região de cerrado pressionando a expansão da fronteira agrícola para as regiões de florestas. Na Amazônia Legal a soja é a cultura com maior extensão de área, ocupando 6,3 milhões de hectares da região no ano de 2000 (MARGULIS, 2003). Uma vez que a produção agrícola é diretamente dependente das condições do clima, percebe-se que a cultura da soja pode ser fortemente influenciada pelas mudanças climáticas. Neste contexto, surgem os modelos de simulação de crescimento de plantas que auxiliam na estimativa da produtividade das culturas, possibilitando a execução de diferentes tipos de manejo, aplicação de fertilizantes, irrigação, podendo, desta forma, avaliar o comportamento da planta sob diferentes condições.

De acordo com Siqueira (2001), as pesquisas voltadas ao efeito de mudanças climáticas globais na agricultura brasileira são ainda muito restritas. No entanto, considerando algumas questões agro-ambientais relevantes, observou que as pesquisas relacionadas ao manejo de pragas, doenças de plantas e do solo, tornam-se cada vez mais importantes no contexto do efeito estufa, em face dos impactos ambientais esperados.

Existem poucos trabalhos relacionando os efeitos das mudanças climáticas na agricultura do Brasil. Destaca-se o trabalho de Streck e Alberto (2006), que usaram um estudo numérico para gerar cenários a partir de incrementos na temperatura e na precipitação para o dobro de CO<sub>2</sub>, dos atuais 350ppm para 700ppm. Concluíram que a mudança climática projetada pela simulação, para os próximos 100 anos, em Santa Maria, RS, influenciará no rendimento das culturas de trigo, soja e milho. Também, verificaram que o aumento na temperatura do ar de 2 e 3, 6°C pode anular os efeitos benéficos do aumento de CO<sub>2</sub> no rendimento das culturas de trigo, soja e milho, respectivamente.

Siqueira et al. (1994) e Siqueira et al. (2001) estudaram o impacto do efeito estufa sobre as produções nacionais de trigo, milho e soja, utilizando modelos de simulação de crescimento de cultura, com base em dados climáticos atuais (1951 a 1980) de treze locais do país em cenários futuros, no intuito de analisar estratégias de adaptações baseadas em técnicas, tais como o uso de irrigação, uso de novas cultivares, mudanças nas datas de plantio. Esses autores obtiveram como resultado indicações de diminuição nas produções de milho e trigo e aumento na de soja. A projeção feita, por simulação, de uma cultivar mais resistente ao calor, mostrou resultados promissores para a adaptação potencial ao aquecimento global, mas

a factibilidade de implementação prática dessa nova cultivar ainda necessita ser testada e avaliada através de programas de melhoramento genético. No caso da soja no Nordeste, a previsão é de aumento de produção com o uso de práticas de irrigação e fertilização nitrogenada, compensando qualquer impacto de mudança climática.

Assad e Luchiari (1989), utilizando modelos fisiológicos simplificados, mostraram que essas variações são significativas nos cerrados brasileiros. Por exemplo, a temperatura média durante a estação chuvosa nessas regiões, de outubro a abril, é de 22°C, tendo um máximo de 26,7°C e um mínimo de 17,6°C. Supondo que um aumento da concentração de CO<sub>2</sub> provocasse um aumento de 5°C na temperatura, as plantas do tipo C<sub>4</sub>, como o milho e o sorgo, aumentariam a produtividade potencial em pelo menos 10 kg/ha/dia de grãos secos. Para as plantas tipo C<sub>3</sub>, soja, feijão, trigo, esse aumento seria menor, da ordem de 2 a 3 kg.ha<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup> de grãos secos. Isso sem haver alterações do ciclo.

Na linha de zoneamento agroclimático, Assad et al. (2004) avaliaram os impactos das mudanças climáticas no zoneamento do café nos estados de Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Paraná, para os incrementos de temperatura média do ar, de 1,0°C, 3,0°C e 5,8°C, e incremento linear de 15% na precipitação. Esses incrementos na temperatura foram constantes para os estados, a partir das indicações do relatório do IPCC. Os resultados indicaram uma redução de área apta para a cultura superior a 95% em Goiás, Minas Gerais e São Paulo, e de 75% no Paraná, no caso de um aumento na temperatura de 5,8°C, com a observação de que esses resultados são válidos se mantidas as atuais características genéticas e fisiológicas das cultivares de café arábica utilizadas no Brasil, que têm como limite de tolerância temperaturas médias anuais entre 18°C e 23°C.

Gouvêa et al. (2009), utilizaram um modelo agrometeorológico para estimar a produtividade da cana-de-açúcar na região de Piracicaba-SP, baseado nos cenários futuros do clima A1B, apresentados no quarto relatório do IPCC (2007). A produtividade da cana-de-açúcar foi avaliada nos anos de 2020, 2050 e 2080, levando-se em consideração as possíveis alterações de temperatura, precipitação, insolação e concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, assim como os avanços tecnológicos. Os resultados relataram que o aumento da temperatura acarretará no aumento da produtividade potencial (PP), entretanto, as alterações na radiação solar e na chuva terão menores impactos na produtividade. A PP aumentará cerca de 15% em relação à condição atual em 2020, de 33% em 2050 e de 47% em 2080. Com relação à produtividade real (AP), o aumento da PP compensará o efeito negativo causado pelo aumento projetado para o déficit hídrico. A AP aumentará cerca de 12% em relação à condição atual em 2020, de 32% em 2050 e de 47% em 2080.

Maciel, Azevedo e Andrade Junior (2009), avaliaram os impactos do aquecimento global no zoneamento de risco climático para a cultura da soja no Estado do Tocantins, com acréscimo de 1,8°C na temperatura média, segundo a melhor estimativa para o cenário otimista (B1) do IPCC (2007), e uma redução de 10% na precipitação pluviométrica diária, para três tipos de solos e quatro datas de simulação compreendendo o período chuvoso da região. Os resultados evidenciaram que, para os solos tipo 1 (com baixa disponibilidade hídrica), as áreas favoráveis (baixo risco climático) passaram de 268.719,98 km<sup>2</sup> para 33.550,19 km<sup>2</sup>, para indicação de semeadura em 15/11, o que representa uma redução de 88% na área indicada para cultivo. Para os solos tipos 2 e 3 (com média e elevada disponibilidade hídrica), considerando a indicação da mesma data de semeadura, os percentuais de redução foram de apenas 8,1% e 5,5%, respectivamente. Esse fato demonstra a importância e o potencial de aplicação das técnicas que promovam a elevação da capacidade de retenção de água dos solos com baixa disponibilidade hídrica, tais como o plantio direto, como elemento minimizador dos impactos das mudanças climáticas sobre o agronegócio da soja em Tocantins.

## **2.6. Zoneamento de risco climático**

Há alguns anos, instituições de pesquisa vêm desenvolvendo trabalhos sobre risco climático para culturas como uva, soja, arroz, milho e feijão consorciados ou não, entre outros cultivos. A partir destes modelos, é possível subsidiar-se o zoneamento agrícola de risco climático visando recomendações para o crédito agrícola e o seguro rural, com ênfase para culturas e sistemas de produção típicos de produtores de base familiar, culturas bioenergéticas (cana-de-açúcar) e sistemas de integração lavoura-pecuária (ANGELOTTI et al. 2010).

O estudo regionalizado das variáveis agroclimáticas que definem a produtividade das culturas, tais como precipitação, evapotranspiração potencial e outras, exige uma análise mais abrangente tanto no tempo como no espaço. Neste sentido, a utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) tem permitido a caracterização espaço-temporal de variáveis ambientais, dentre as quais se incluem as agroclimáticas (SILVA; ASSAD, 2001).

O zoneamento agrícola de risco climático constitui-se, segundo análise de Silva et al. (2004), em uma ferramenta fundamental no processo de tomada de decisão, permitindo, a partir das variabilidades climáticas locais (como por ex.: precipitação e evapotranspiração de referência) e de sua espacialização regional através de um sistemas de informação geográfica

(SIG), a definição de regiões de aptidão climática, bem como épocas mais adequadas de semeadura como forma de diminuir os efeitos causados pela má distribuição de chuva. (TEIXEIRA; AZEVEDO, 1996; ZULLO JÚNIOR et al. 1999; SILVA; AZEVEDO, 2000; ANDRADE JÚNIOR et al. 2001; ANDRADE JÚNIOR et al. 2007).

Alfonsi et al. (1981) relataram um zoneamento agroclimático da soja realizado com base na temperatura média anual ( $T_a$ ) e no índice hídrico anual ( $I_m$ ). Regiões aptas ao cultivo da soja possuem  $T_a > 17^\circ\text{C}$  e  $0 < I_m < 60$ , as regiões consideradas aptas a moderadas possuem  $T_a > 17^\circ\text{C}$  e  $60 < I_m < 100$ , as regiões marginais têm  $T_a > 17^\circ\text{C}$  e  $I_m > 100$ , e as inaptas  $T_a < 17^\circ\text{C}$ .

Rodrigues Neto (1991) efetuou um zoneamento pluviométrico visando o cultivo de sequeiro das culturas de feijão, de milho e de arroz, estudando a distribuição pluviométrica ao longo do tempo e do espaço, ajustando os valores mensais ao modelo de distribuição gama incompleta aos níveis de 75, 50 e 25% de probabilidade. Com base na demanda de água das culturas selecionadas e nas precipitações pluviais mensais ocorridas no trimestre e semestre mais chuvoso, propôs uma classificação mensal das necessidades de irrigação total ou suplementar. Contudo, o estudo não considerou a variabilidade dos solos no que diz respeito à sua capacidade de armazenamento e assumiu como igual, em todos os municípios a demanda hídrica mensal das culturas.

Uma primeira tentativa de identificar o impacto das mudanças do clima na produção regional foi feita por Pinto et al. (1989 e 2001), onde simularam os efeitos das elevações das temperaturas e das chuvas no zoneamento do café para os Estados de São Paulo e Goiás. Observou-se uma drástica redução nas áreas com aptidão agroclimática, condenando a produção de café nestas regiões.

Silva et al. (1996) analisou o potencial climático para o cultivo do milho no estado de Sergipe, com e sem irrigação, considerando a ocorrência de chuva com diferentes probabilidades e a necessidade hídrica da cultura. Nesse estudo os autores delimitaram as regiões com diferentes aptidões ao cultivo do milho, com ou sem irrigação, quantificando o volume de água complementar para as localidades onde a probabilidade de ocorrência de chuva ao nível de 80% não supria a demanda hídrica da cultura.

Vários estudos mostraram que a definição das épocas de semeadura, por meio do balanço hídrico do solo, contribuem para reduzir o risco climático causado pela distribuição irregular das chuvas (SILVA et al. 1995; SILVA et al. 1998; ZULLO JÚNIOR et al. 1999; ANDRADE JÚNIOR, 2000; MARIN et al. 2000).

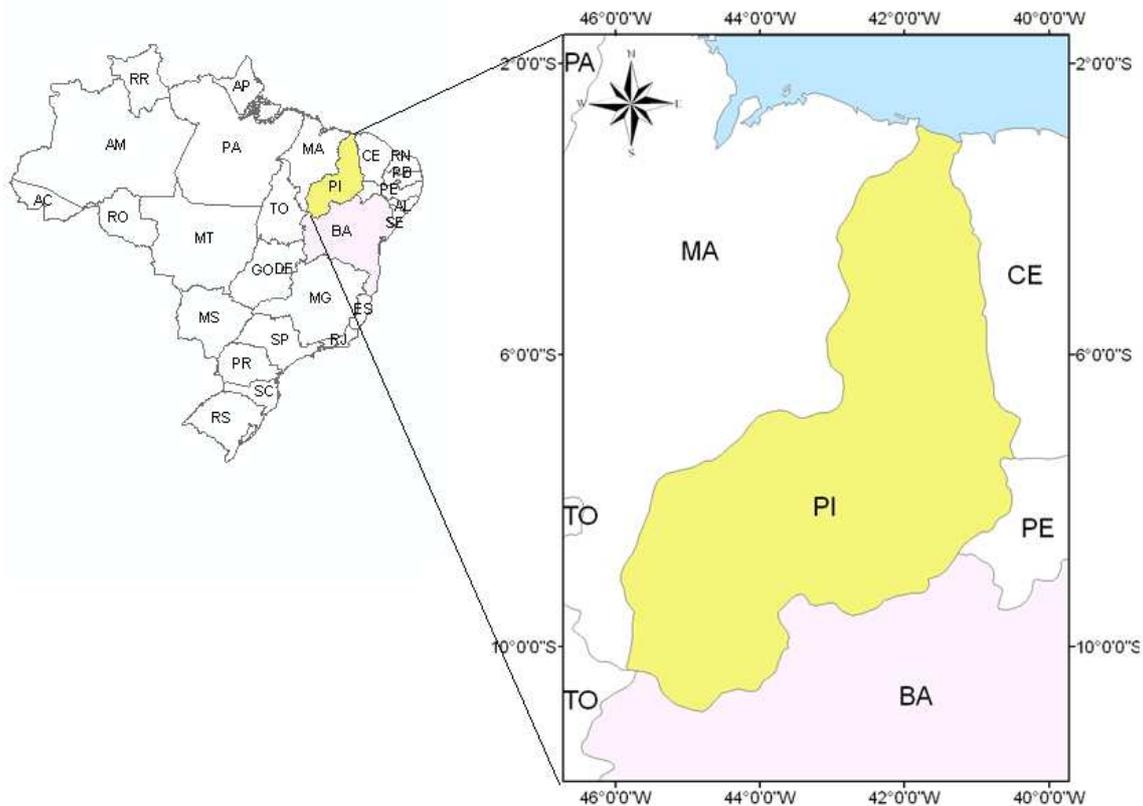
No caso do Estado do Piauí, Andrade Júnior, Bastos e Silva (2007) propuseram a indicação de áreas com baixo risco climático a cultura da soja, simulando-se diversas datas de semeadura e tipos de solo. Concluíram que a região do Cerrado Piauiense mostrou-se favorável para o cultivo de soja em diferentes combinações entre municípios, épocas de semeadura e tipo de solo. Para solos de textura média, mais comum na região Sul do Estado, a semeadura da soja deve ser efetuada durante o mês de dezembro.

Contudo, ainda inexistem no Piauí estudos visando ao zoneamento de risco climático da soja segundo os prognósticos de mudanças na temperatura do ar e na precipitação pluviométrica sugeridas pelo IPCC (2007), de modo a orientar a tomada de decisão em futuras políticas públicas visando à sustentabilidade do agronegócio da soja.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Área de estudo

A área em estudo compreende o limite político-administrativo do Estado do Piauí, localizado na região Nordeste do País, com uma área total de 256.011.750 km<sup>2</sup>. Está localizado entre as latitudes 2° 44' 49'' S e 10° 55' 05'' S, e entre as longitudes 40° 22' 12'' W e 45° 59' 42'' W. Limita-se a leste com os Estados do Ceará e Pernambuco, a sul e sudoeste com os Estados da Bahia e Tocantins, a oeste com o Estado do Maranhão onde o curso do rio Parnaíba delimita a fronteira entre os dois Estados, e ao norte com o Oceano Atlântico, (Figura 5). Representa 2,95% do território nacional e é o terceiro maior Estado do Nordeste, atrás da Bahia e do Maranhão.



**Figura 5** - Limite político-administrativo do Estado do Piauí.

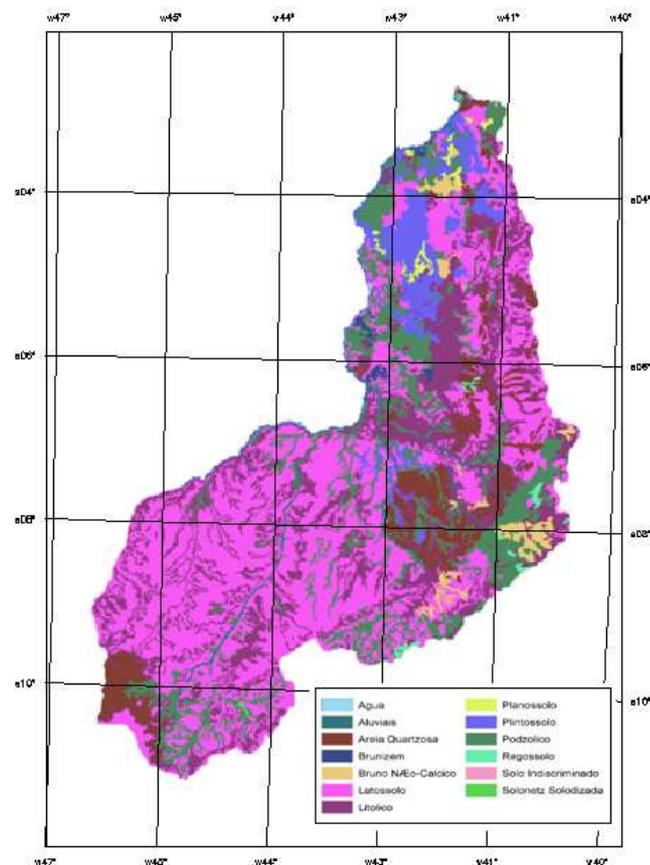
### 3.1.1. Caracterização física do Estado do Piauí

O Estado do Piauí apresenta uma topografia regular, com aproximadamente 90% de suas terras abaixo de 600 m de altitude e dentre estas 53% abaixo de 300 m. Quatro unidades compõem o quadro morfológico: a baixada litorânea, o planalto de chapadas e cuestras, a planície do rio Parnaíba e o pediplano cristalino.

De acordo com Denardo (2010), a baixada litorânea, no norte do estado, compreende uma faixa de terrenos arenosos e baixos, dominados por tabuleiros areníticos. Sua porção ocidental é formada pelo delta do rio Parnaíba. O planalto de chapadas e cuestras correspondem à parte oriental da bacia sedimentar do Meio-Norte. Na parte central do estado, as camadas geológicas apresentam disposição horizontal e formam chapadas com altitudes que vão de 300 a 600 m. Na parte oriental, as camadas apresentam-se inclinadas e formam cuestras, com altitudes de 500 a 700 m. A mais importante delas se desenvolve ao longo do limite com o Ceará, onde a sua frente forma a serra da Ibiapaba e marca o limite oriental da bacia sedimentar. A planície do Parnaíba, estreita e alongada, se junta ao norte com a baixada litorânea e no interior se prolonga para sul e leste.

Toda a rede de drenagem do Piauí pertence à bacia hidrográfica do rio Parnaíba, o principal do estado, cujo curso forma o limite com o Maranhão. Integram-na os afluentes e subafluentes da margem direita do Parnaíba, entre os quais se destacam, como de mais longo curso, o Longá, o Poti, o Canindé e o Gurguéia. Somente esses e o Parnaíba são rios perenes; os demais são temporários, ou seja, deixam de correr na estação seca. O Parnaíba teve seu curso interrompido, a montante de Floriano, pela barragem da usina hidrelétrica Presidente Castelo Branco (ex-Boa Esperança), o que deu origem a um grande lago artificial (DENARDO, 2010).

O Estado apresenta uma grande variabilidade de tipos de solo, destacando-se, em relação à área de abrangência, os Latossolos, Litossolos, Plintossolo e Luvisolos (Figura 6) (EMBRAPA, 1999). De forma geral, apresentam de média a baixa fertilidade natural e grande variabilidade na capacidade de retenção de água, devido às diferentes composições granulométricas. No entanto, apresentam grande potencialidade agrícola devido às suas características físico-químicas e topográficas.



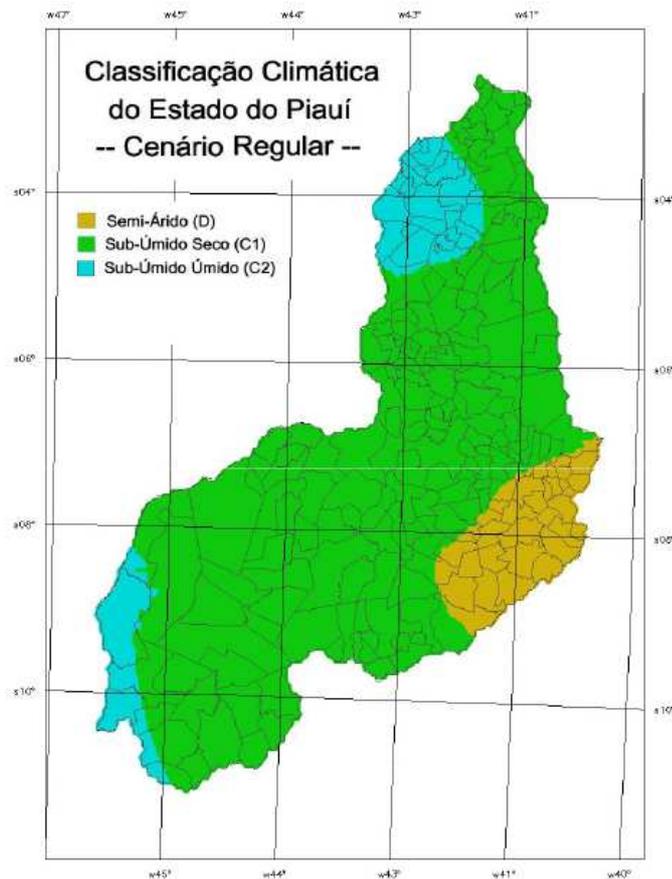
**Figura 6** - Mapa de solos do Estado do Piauí.

O Estado apresenta quatro tipos de formação vegetal, a caatinga, nas porções sul e sudeste do estado; o cerrado e o cerradão (mais denso que o cerrado), no norte, sul e ao leste; e a floresta, bastante devastada, numa estreita faixa a oeste, ao longo do Parnaíba, e a leste, sobre a serra de Ibiapaba. Encontram-se extensos carnaubais e babaquais por todo o território piauiense e outras tantas espécies vegetais em formações menos importantes distribuídas pelo estado.

### 3.1.2. Caracterização climática do Estado do Piauí

O Estado do Piauí apresenta três tipos climáticos, segundo a classificação de Thornthwaite e Mather (1955) descrita por Andrade Junior et al. (2005), sendo estes C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> e D, admitindo-se um cenário regular de distribuição da precipitação pluviométrica (Figura 7). O tipo C<sub>1</sub>, sub-úmido seco, ocorre no centro-sul, centro-norte e sudoeste do Estado, abrangendo 165 municípios. A classificação C<sub>2</sub>, sub-úmido, ocorre em uma porção ao Norte

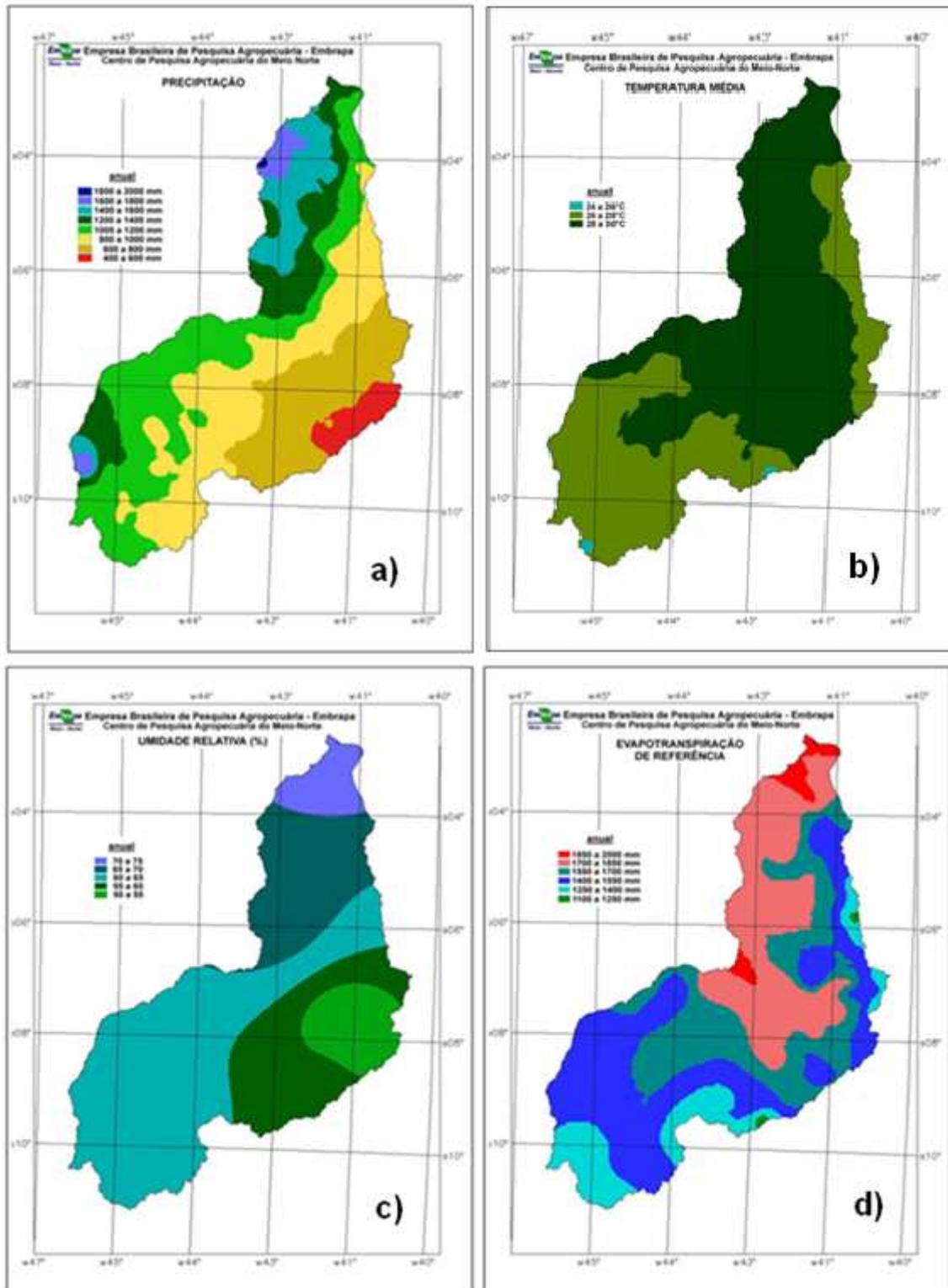
do Estado e em uma outra porção ao Sul, abrangendo 23 municípios. O terceiro tipo classificado como D, semiárido, incide sobre a região sudeste do Estado, sendo marcado por uma curta estação chuvosa no verão, entre os meses de dezembro a abril, abrangendo 34 municípios (ANDRADE JUNIOR et al. 2005).



**Figura 7** - Classificação climática do Estado do Piauí, por Thornthwaite e Mather (1955), descrita por Andrade Junior (2005).

Fonte: ANDRADE JUNIOR et al. (2004).

Segundo Mousinho (2005), o clima do Estado é tipicamente tropical, com temperaturas médias elevadas, variando entre 18°C (mínimas) e 39°C (máximas), a média anual da umidade relativa do ar varia de 85%, no centro-norte do Estado, a 55%, no extremo sudeste, região semiárida. Os ventos são normalmente fracos ao longo do ano e, em geral, a velocidade média a 2 m de altura é inferior a 2 m s<sup>-1</sup>. A evapotranspiração de referência varia entre 1100 a 2000 mm a em todo o Estado. (Figura 8).

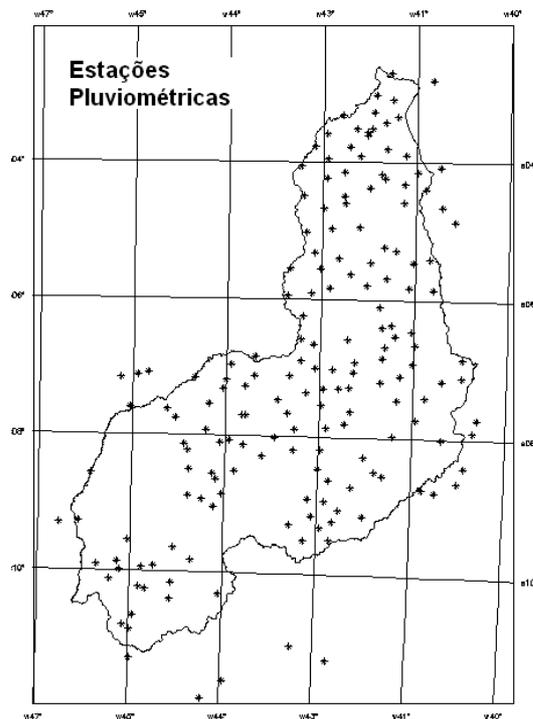


**Figura 8** - (A) Precipitação pluviométrica média anual, (B) Temperatura média anual. (C) Umidade relativa média anual, (D) Evapotranspiração média anual para o Estado do Piauí.  
 Fonte: ANDRADE JUNIOR et al. (2004).

### 3.2. Zoneamento agrícola de risco climático

#### 3.2.1. Dados climáticos

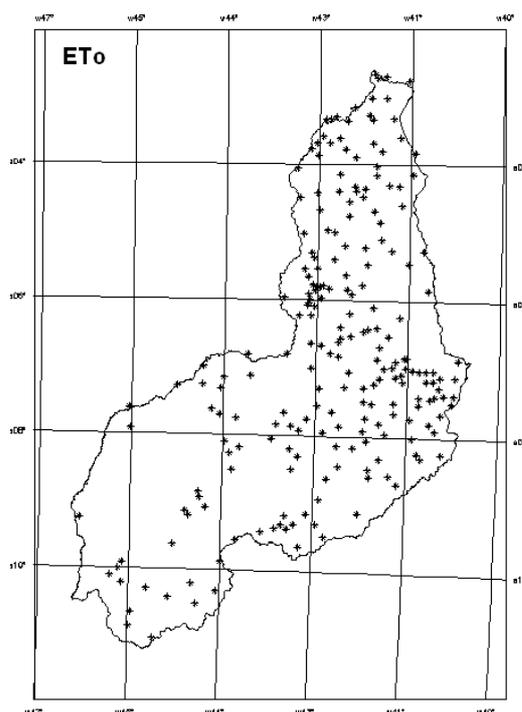
Foram utilizados dados de 179 estações pluviométricas com série histórica de, no mínimo, 15 anos de dados, obtidos junto ao Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) e a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), as quais se encontram espacializadas na Figura 9.



**Figura 9** - Distribuição espacial das estações pluviométricas no Piauí e Estados vizinhos.

Das 179 estações pluviométricas utilizadas neste estudo, 156 estão localizadas dentro do limite territorial do estado do Piauí e as outras 23 estações encontram-se distribuídas entre os estados do Maranhão (7), Bahia (5), Pernambuco (6) e Ceará (5).

Os dados de temperatura do ar foram estimados com base nas equações propostas por Lima e Ribeiro (1998). Os pontos de estimativa da ETo estão apresentados na figura 10.



**Figura 10** - Distribuição espacial dos pontos de estimativa da ETo.

### 3.2.2. Modelo computacional SARRAZON

Na primeira etapa de execução do zoneamento, os balanços hídricos foram efetuados utilizando o Sistema de Análise Regional dos Riscos Agroclimáticos, SARRAZON (BARON et al. 1996). O período de simulação adotado foi de outubro a fevereiro, correspondendo à estação chuvosa na região dos Cerrados (MEDEIROS, 1996).

#### 3.2.2.1 As variáveis de entrada utilizadas do modelo

- i) Precipitação pluviométrica diária: foram utilizadas as séries de dados de 179 estações pluviométricas, com, no mínimo, 15 anos de registros diários, obtidos junto ao Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) e a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), as quais se encontram espacializadas na Figura 9.
- ii) Evapotranspiração de referência (ETo): os valores mensais de ETo, para todos os municípios, foram estimados pelo método de Thornthwaite (1948), com base na estimativa proposta por Lima & Ribeiro (1998).
- iii) Capacidade de armazenamento de água no solo (CAD): foi estimada em função do tipo de solo. Assumiram-se três tipos de solos: Tipo 1 – Neossolos Quartzarênicos (com teor de argila

maior que 10% e menor ou igual a 15% e CAD = 20 mm); Tipo 2 - Latossolos Vermelho-Amarelo e Vermelho-Escuro (com 16% a 35% de argila e CAD = 40 mm) e Tipo 3 - Argissolos Vermelho-Amarelo e Vermelho-Escuro (com mais de 35% de argila e CAD = 60 mm). Considerou-se a CAD constante ao longo do ciclo da cultura.

iv) Cultivares: para representar as cultivares de soja recomendadas para a região em estudo, foi eleita uma cultivar hipotética, considerada adaptada às condições de temperatura e fotoperíodo dos diferentes locais, com ciclo de 110 dias (precoce). Considerando-se neste estudo apenas um ciclo, uma vez que a diferença entre as cultivares quanto ao ciclo é pouco variável (< 10 %).

Para efeito de simulação, o ciclo da cultura foi dividido em quatro fases, quais sejam: Fase I – emergência ao crescimento inicial (20 dias); Fase II – crescimento inicial ao início da floração (20 dias); Fase III – floração e enchimento de vagens (30 dias) e Fase IV – maturação a colheita (40 dias). A fase III é considerada como o período crítico com relação à necessidade de água

v) Coefficientes de cultura (Kc): foram usados valores de Kc decendiais ao longo do ciclo da cultura de soja, cujos valores encontram-se na Tabela 2 (ANDRADE JÚNIOR et al. 2007).

**Tabela 2** - Valores de coeficientes de cultura (Kc) decendiais para a cultura da soja.

Cultura	Ciclo (dias)	Decêndios										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Soja	110	0,50	0,60	0,70	0,80	1,00	1,15	1,00	0,80	0,70	0,60	0,50

O modelo de simulação do balanço hídrico da cultura (SARRAZON) permite a determinação dos valores de evapotranspiração real (ET<sub>r</sub>) e a evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), de forma regionalizada (equações 1 e 3), com os quais foram estimados os valores dos índices de satisfação das necessidades de água (ISNA) da cultura.

O modelo estima a evapotranspiração real (ET<sub>r</sub>) por uma equação de terceiro grau, proposta por Eagleman (1971), que descreve a evolução da ET<sub>r</sub> em função da evapotranspiração máxima - ET<sub>m</sub> e da umidade do solo - HR, expressa pela equação 1.

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

em que: A = 0,732 - 0,05 ET<sub>m</sub>; B = 4,97 ET<sub>m</sub> - 0,66 ET<sub>m</sub><sup>2</sup>; C = 8,57 ET<sub>m</sub> - 1,56 ET<sub>m</sub><sup>2</sup>; D = 4,35 ET<sub>m</sub> - 0,88 ET<sub>m</sub><sup>2</sup> e HR = umidade do solo.

Os valores da ETm foram estimados pela equação (Doorenbos & Kassam, 1979):

$$ETm = P + I \pm Qz - CAD \quad (2)$$

em que ETm é a evapotranspiração máxima da cultura (mm dia<sup>-1</sup>); P a precipitação pluvial (mm dia<sup>-1</sup>); I a irrigação (mm); Qz a infiltração e redistribuição de água no solo (mm) e CAD, a variação de armazenamento de água no solo na camada estudada para o intervalo de tempo considerado no balanço. Por se tratar de uma cultura de sequeiro, a irrigação (I) foi sempre zero.

A ETr expressa a quantidade de água que a planta efetivamente consumiu e a ETm representa a quantidade de água para garantir sua produtividade máxima (SILVA et al. 1998).

vi) Datas de simulação: As simulações foram realizadas a cada dez dias (decêndios) para as épocas de semeadura, de 05 de outubro a 25 de fevereiro, totalizando 15 datas simuladas como mostra a Tabela 3. Foram estipuladas datas precedentes em 30 dias à semeadura e 30 dias pós-colheita, proporcionando um modelo de simulação com maior confiabilidade.

**Tabela 3** - Datas de simulação da semeadura da soja utilizadas no estudo.

<b>Datas de Simulação - Soja Precoce 110 dias</b>			
<b>Semeadura</b>	<b>Colheita</b>	<b>30 dias antes do Plantio</b>	<b>30 dias após o Plantio</b>
5/out	23/jan	5/set	22/fev
15/out	2/fev	15/set	4/abr
25/out	12/fev	25/set	14/mar
5/Nov	23/fev	6/out	25/mar
15/Nov	5/mar	16/out	4/abr
25/Nov	15/mar	26/out	14/abr
5/dez	25/mar	5/Nov	24/abr
15/dez	4/abr	15/Nov	4/mai
25/dez	14/abr	25/Nov	14/mai
5/jan	25/abr	6/dez	25/mai
15/jan	5/mai	16/dez	4/jun
25/jan	15/mai	26/dez	14/jun
5/fev	26/mai	6/jan	25/jun
15/fev	5/jun	16/jan	5/jul
25/fev	15/jun	26/jan	15/jul

### 3.2.2.2 A variável de saída do modelo

i) Índice de satisfação da necessidade de água para a cultura (ISNA): Definido como a razão entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima ( $ET_r/ET_m$ ) ao longo do ciclo, para determinado ano, em certa data e em determinado tipo de solo, para a soja de ciclo precoce. Como o ciclo da cultura foi dividido em quatro fases fenológicas e a fase compreendida entre a floração e o enchimento de grãos é a fase mais crítica ao déficit hídrico, estima-se o valor de ISNA nesta fase.

Estabeleceu-se a função de frequência do ISNA e selecionou-se a data em que o valor calculado é maior ou igual ao critério de risco adotado ( $ISNA > 0,65$ ), em 80% dos casos; para a caracterização do risco climático associado ao cultivo da soja, foram estabelecidas três classes de ISNA (ANDRADE JÚNIOR et al. 2007), a saber:

- a)  $ISNA \geq 0,65$  - baixo risco climático (período favorável para plantio);
- b)  $0,65 > ISNA > 0,55$  - médio risco climático (período intermediário para plantio);
- c)  $ISNA \leq 0,55$  - alto risco climático (período desfavorável para plantio).

### 3.2.3. Incorporação dos prognósticos de mudanças climáticas

Para a incorporação dos prognósticos de mudanças climáticas na temperatura do ar e na precipitação pluviométrica, segundo as indicações do quarto relatório do IPCC (2007), as séries de dados de precipitação diária e de temperatura do ar tiveram acréscimo e redução nos seus valores, conforme os cenários estabelecidos na Tabela 4.

**Tabela 4** - Cenários futuros do clima no Piauí com combinações de alteração de temperatura do ar e precipitação, de acordo com os prognósticos do modelo A1B do IPCC (2007).

Cenário	Ano	$\Delta T$ (°C)	$\Delta P$ (%)	Cenário	Ano	$\Delta T$ (°C)	$\Delta P$ (%)
C0	2010	0	0	C11	2050	2	0
C1	2020	1	-15	C12	2050	2	+5
C2	2020	1	-10	C13	2050	2	+10
C3	2020	1	-5	C14	2050	2	+15
C4	2020	1	0	C15	2080	3	-15
C5	2020	1	+5	C16	2080	3	-10
C6	2020	1	+10	C17	2080	3	-5
C7	2020	1	+15	C18	2080	3	0
C8	2050	2	-15	C19	2080	3	+5
C9	2050	2	-10	C20	2080	3	+10
C10	2050	2	-5	C21	2080	3	+15

### 3.2.4. Confeção dos mapas de risco climático

Para a espacialização dos resultados, em cada cenário projetado pelo IPCC (2007), procedeu-se a interpolação dos valores utilizando um Sistema de Informações Geográficas. O Software Spring 5.1.5 foi utilizado para confecção dos mapas de risco climáticos, onde foram empregados os valores de ISNA estimados para o período fenológico compreendido entre a floração e o enchimento de grãos (período mais crítico ao déficit hídrico). Os valores de ISNA foram obtidos da simulação de balanços hídricos efetuados com uma probabilidade de ocorrência de 80%, ou seja, oito em cada dez anos.

Cada valor de ISNA, observado durante essa fase, foi associado à localização geográfica da respectiva estação e gerado um mapa de risco climático de acordo com as classes de ISNA já citadas anteriormente, identificando assim as áreas com maiores probabilidades de sucesso na produção da cultura da soja.

Foram adotadas como favoráveis, em um determinado município, as épocas de semeadura que se enquadraram em um dos seguintes critérios: a) área do município com até 20% de seu valor com classe de baixo risco climático ou b) área do município com pelo menos 60% de seu valor com classe de médio risco climático.

A partir dos mapas gerados com os valores de ISNA para as diferentes datas de simulação, delimitaram-se as classes de risco climático, para definir as áreas de melhores condições para o cultivo da soja no estado do Piauí, classificando-as em: baixo risco, médio risco e alto risco climático.

É importante ressaltar que, por se tratar de um modelo agroclimático, assumiu-se que não existem limitações quanto à fertilidade de solos e danos causados por pragas e doenças.

Apesar dos balanços hídricos e a espacialização dos resultados terem sido realizados para todo o Estado, deu-se atenção especial aos municípios localizados na região sul, onde predomina o ecossistema dos Cerrados Piauiense.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Impacto da temperatura do ar no zoneamento de risco climático da soja

A distribuição das áreas inaptas, restritas e aptas ao cultivo da soja no Estado do Piauí, em condições atuais de temperatura (C0) e com os acréscimos de 1°C, (C4), 2°C (C11) e 3°C (C18), para o período de semeadura de outubro a fevereiro, em solo com capacidade de armazenamento de água de 20 mm, são apresentados na Tabela 5.

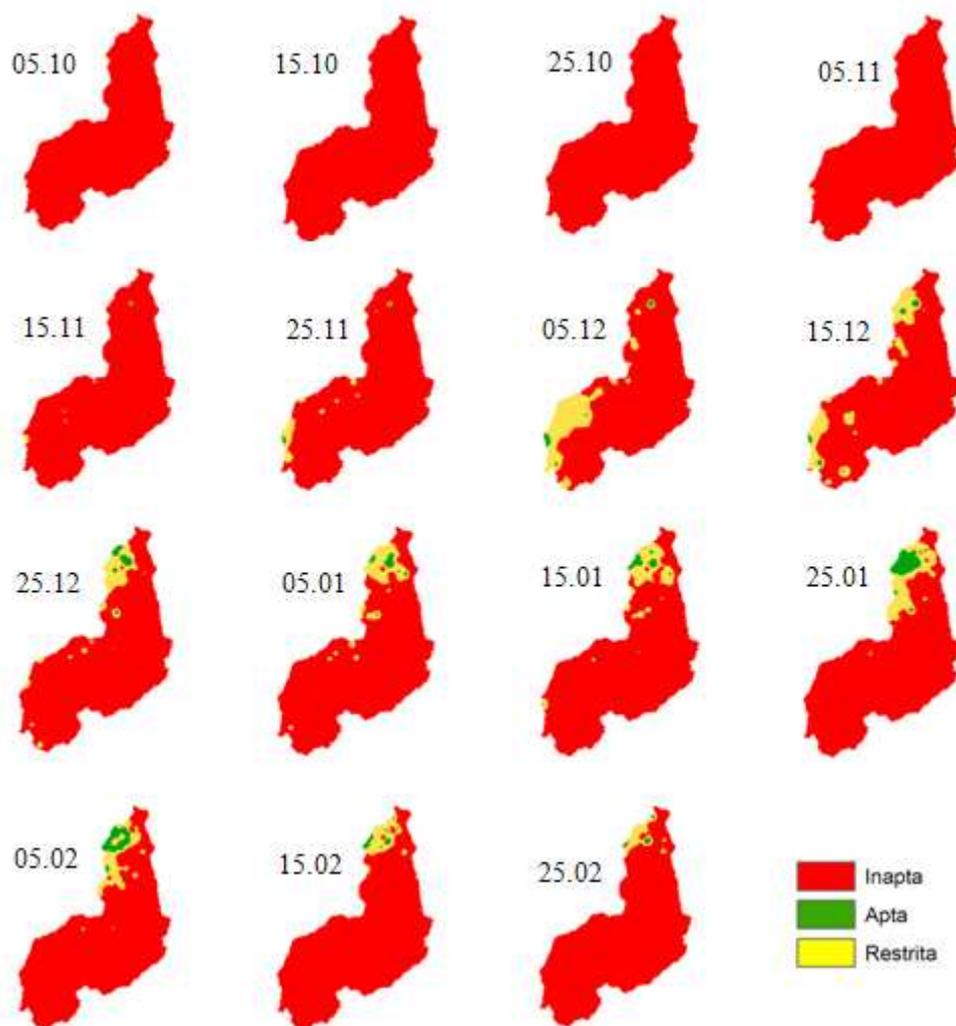
**Tabela 5** - Distribuição das áreas (%) Inaptas (I), Restritas (R) e Aptas (A) ao cultivo da soja no Estado da Piauí, nas condições atuais de temperatura e com os acréscimos de 1°C (C4), 2°C (C11) e 3°C (C18), em solo com capacidade de armazenamento de água (CAD) de 20 mm, para as diferentes datas de semeadura (DS).

DS	Condições Atuais			Acréscimo 1°C			Acréscimo 2°C			Acréscimo 3°C		
	I	R	A	I	R	A	I	R	A	I	R	A
05/10	100,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0
15/10	100,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0
25/10	100,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0
05/11	99,9	0,2	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0
15/11	99,6	0,4	0,0	99,9	0,1	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0
25/11	97,1	2,7	0,2	99,1	0,8	0,1	99,7	0,2	0,0	99,9	0,1	0,0
05/12	85,7	13,7	0,6	95,3	4,5	0,2	99,0	0,9	0,1	99,8	0,1	0,1
15/12	88,0	11,3	0,8	95,3	4,5	0,2	99,1	0,8	0,1	99,7	0,2	0,1
25/12	92,3	6,5	1,2	95,8	4,0	0,2	98,7	1,2	0,1	99,8	0,2	0,1
05/01	91,8	7,3	0,9	95,1	4,6	0,3	98,9	1,0	0,2	99,7	0,2	0,1
15/01	91,8	7,2	1,1	96,0	3,7	0,2	98,6	1,3	0,1	99,8	0,2	0,1
25/01	88,6	8,2	3,2	93,8	5,6	0,7	96,7	3,1	0,2	99,6	0,3	0,1
05/02	91,0	6,2	2,8	94,8	4,7	0,5	97,4	2,5	0,0	99,8	0,2	0,0
15/02	94,7	4,7	0,7	96,7	3,1	0,2	99,4	0,6	0,1	99,8	0,2	0,0
25/02	96,7	2,9	0,4	98,5	1,3	0,2	99,6	0,3	0,1	99,8	0,1	0,1

Os percentuais de áreas inaptas ao cultivo da soja aumentaram com o aumento da temperatura do ar, porém não apresentam diferenças acentuadas em comparação às condições atuais de temperatura. Segundo Assad et al. (2006), solos com teores de argila inferiores a 15% possuem textura arenosa, de baixa disponibilidade hídrica, são mais suscetíveis aos

impactos da elevação de temperatura, o que leva a uma forte restrição, principalmente, no Sul e no Nordeste do País.

A semeadura da soja, para solos com CAD = 20 mm, é inapta em quase todo o Estado, obtendo o maior valor percentual de área (3,2%), na data de 25 de janeiro, para as condições atuais de temperatura (Figura 11).



**Figura 11** - Espacialização do índice de satisfação da necessidade de água para a cultura da soja, para as datas de simulação de 05/10 a 25/02, nas condições atuais de temperatura do ar e solo com capacidade de armazenamento de água de 20 mm.

As regiões situadas mais ao Norte do Estado se apresentam como as áreas mais favoráveis ao cultivo da soja em condições atuais de temperatura em comparação com o restante da área de estudo. Entretanto, segundo Andrade Junior et al. (2001), qualquer inferência a respeito da indicação de áreas favoráveis para semeadura da soja devem ser feitas com cautela, uma vez que, tradicionalmente, a soja não é cultivada nessas regiões do Estado.

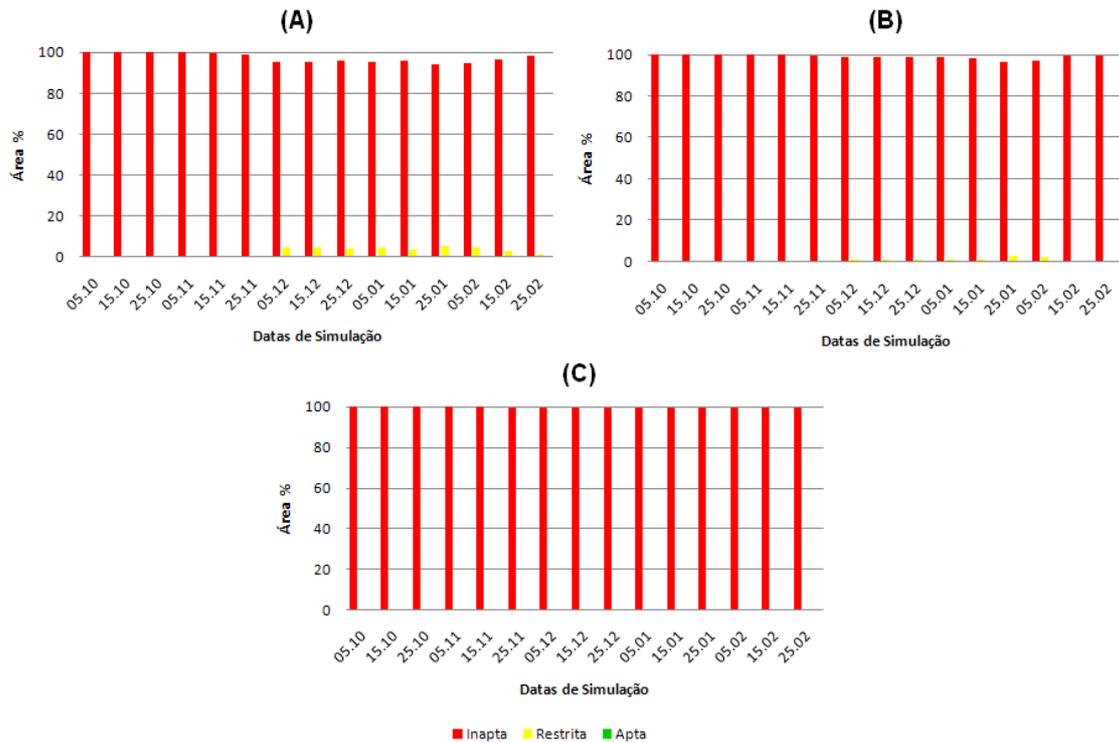
Para os três cenários traçados com acréscimo de temperatura, grande parte dessa área se torna desfavorável ao cultivo da cultura, tornando o Estado completamente inapropriado ao cultivo dessa oleaginosa.

Com as condições atuais de temperatura, a área favorável ao cultivo da soja é de 8.194,25 km<sup>2</sup>, ou seja, 3,2% de área total do Estado, para semeadura em 25 de janeiro, em solo com CAD igual a 20 mm. Por outro lado, com o aumento médio da temperatura média do ar em 1°C (C4), a área apta ao cultivo da soja, em 25 de janeiro, passa a ser de apenas 1.683,00 km<sup>2</sup>, provocando uma redução superior a 79% em relação à área atual. No cenário de acréscimo de 2°C (C11), a área favorável à semeadura fica sendo apenas de 399,50 km<sup>2</sup>, isto é, uma redução de 95% da área apta do Estado em comparação com a situação atual. Para condições extremas em que se considera o aumento de temperatura do ar de 3°C (C18), a redução é de 98%, restando apenas 200,25 km<sup>2</sup> de área apta a semeadura da soja. Nessa situação, o período de semeadura é bastante restrito, fazendo com que a escolha certa para a semeadura seja fator determinante no sucesso da produção (CAMPOS et al. 2010).

Segundo Mello e Silva (2007), a evapotranspiração máxima (ET<sub>m</sub>) é o consumo hídrico necessário para manter uma cultura sem deficiência, à medida que se esgota a água disponível no solo, em um determinado ponto (umidade crítica), ou a mesma é insuficiente para suprir as necessidades da cultura, a demanda hídrica ou a evapotranspiração real (ET<sub>r</sub>) torna-se inferior à ET<sub>m</sub>, ou seja, os valores de ISNA terão seus valores reduzidos, provocando aumento das áreas de alto risco climático. Essa redução está relacionada à influência da temperatura do ar na evapotranspiração de referência, que apresentou acréscimo, gerando aumento da demanda hídrica pela planta.

Marengo (2009) relata que a região Nordeste caracteriza-se naturalmente como de alto potencial para evaporação da água em função da enorme disponibilidade de energia solar e altas temperaturas. Aumentos de temperatura associados à mudança de clima decorrente do aquecimento global, independente do que possa vir a ocorrer com as chuvas, já seriam suficientes para causar maior evaporação dos lagos, açudes e reservatórios e maior demanda evaporativa das plantas.

A Figura 12 mostra os percentuais de áreas aptas, restritas e inaptas ao cultivo da soja no Estado do Piauí, para os três cenários simulados com acréscimo de 1°C, 2°C e 3°C, na temperatura média do ar (C4, C11 e C18) respectivamente. As áreas de baixo risco climático tendem a desaparecer progressivamente com o aumento da temperatura média do ar. Para o cenário com acréscimo de 3°C, as áreas de baixo risco climático apresentam-se inexistentes para boa parte das datas de semeadura simuladas (Tabela 5).



**Figura 12** - Valores percentuais de áreas de alto, médio e baixo risco climático para a cultura da soja com acréscimo de 1°C na temperatura média do ar (C4) (A), 2°C na temperatura média do ar (C11) (B) e 3°C na temperatura média do ar (C18) (C), para solos com CAD igual a 20 mm.

Evidencia-se que os solos de textura arenosa, de baixa disponibilidade hídrica, são mais suscetíveis aos impactos da elevação de temperatura, e conseqüentemente, a elevação das taxas evapotranspirativas, o que leva a uma forte restrição ao cultivo da soja em quase todo o Estado, notadamente, nas regiões com solos enquadrados nessa categoria. A planta busca um ajuste entre a absorção de água e a transpiração. O limite a este ajustamento representa o início do déficit hídrico. Toda a dinâmica da água no sistema solo - planta - atmosfera ocorre em função da demanda evaporativa da atmosfera, que, em última análise, determina a magnitude da perda de água por transpiração e, conseqüentemente, a necessidade de absorção pelas raízes (BERGAMASCHI et al. 1999).

A Tabela 6 apresenta a distribuição das áreas inaptas, restritas e aptas ao cultivo da soja no Estado do Piauí, para solos com capacidade de armazenamento de água de 40 mm (CAD 40), nas datas de semeadura estabelecidas. Os solos tipo 2 (Latosolos Vermelho-Amarelo e Vermelho-Escuro, com menos de 35% de argila) ocorrem com maior predominância na região sul do Estado do Piauí (ANDRADE JUNIOR et al. 2001).

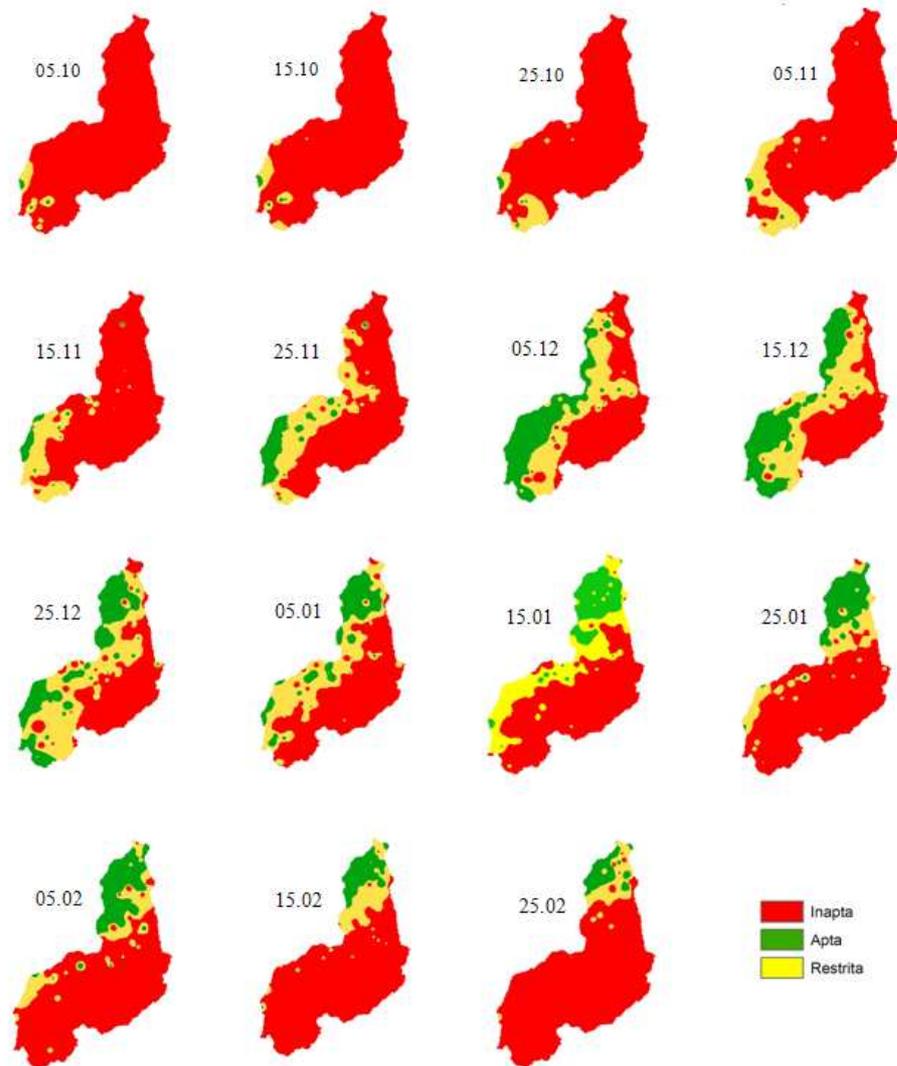
**Tabela 6** - Distribuição das áreas (%) Inaptas (I), Restritas (R) e Aptas (A) ao cultivo da soja no Estado da Piauí, nas condições atuais de temperatura e com os acréscimos de 1°C (C4), 2°C (C11) e 3°C (C18), em solo com capacidade de armazenamento de água (CAD) de 40 mm, para as diferentes datas de semeadura (DS).

DS	Condições Atuais			Acréscimo 1°C			Acréscimo 2°C			Acréscimo 3°C		
	I	R	A	I	R	A	I	R	A	I	R	A
05/10	96,5	3,1	0,3	99,2	0,8	0,0	99,8	0,2	0,0	100,0	0,0	0,0
15/10	95,5	4,0	0,5	98,6	1,3	0,0	99,7	0,3	0,0	100,0	0,0	0,0
25/10	92,7	6,8	0,5	98,7	1,2	0,1	99,7	0,3	0,0	100,0	0,0	0,0
05/11	87,8	11,7	0,5	98,7	1,2	0,1	99,7	0,3	0,0	99,9	0,1	0,0
15/11	81,8	15,9	2,3	94,9	4,9	0,2	98,3	1,7	0,0	99,9	0,1	0,0
25/11	65,9	25,9	8,3	85,0	13,0	1,9	92,7	6,7	0,6	97,6	2,3	0,1
05/12	44,5	30,8	24,7	63,5	25,0	11,5	79,9	17,1	3,0	91,7	7,8	0,5
15/12	38,3	33,6	28,1	55,2	31,9	12,9	75,0	20,6	4,4	88,9	10,3	0,8
25/12	38,6	38,1	23,3	64,2	26,7	9,1	81,5	14,7	3,8	92,1	7,5	0,4
05/01	55,7	29,6	14,7	75,8	16,5	7,7	86,5	10,2	3,4	93,2	6,4	0,4
15/01	59,1	26,5	14,4	76,3	16,5	7,1	85,6	12,5	1,9	95,3	4,5	0,3
25/01	70,2	15,6	14,2	79,8	11,9	8,3	86,5	9,5	4,0	92,9	6,4	0,7
05/02	73,1	12,7	14,2	83,6	9,3	7,1	93,8	4,4	1,8	93,8	5,3	1,0
15/02	79,7	11,8	8,5	87,4	8,4	4,2	92,8	6,0	1,2	96,3	3,5	0,2
25/02	87,1	7,6	5,3	91,4	6,5	2,1	95,9	3,6	0,5	98,6	1,2	0,2

Evidenciou-se um aumento nas áreas de baixo risco climático ao cultivo da soja em todas as datas de semeadura e para todos os cenários simulados com acréscimo de temperatura do ar, devido ao aumento da capacidade de armazenamento de água de 20 para 40 mm.

Valores significativos de áreas aptas começam a surgir a partir de 05 de dezembro, representando 24,7% do total do Estado, e permanecem até 05 de fevereiro, onde apresenta um percentual de 14,2% do território piauiense. A melhor distribuição de áreas aptas ao cultivo da soja ocorre na data de 15 de dezembro, com uma área favorável de 72.025 km<sup>2</sup>, ou seja, 28,13% da área total do Estado. A ocorrência deste volume de área apta inicia-se no Sul do Estado, onde se encontra localizada a região dos cerrados, na qual engloba os municípios com maior destaque na produção de soja (Figura 13). A partir da data de 05 de janeiro essas áreas indicadas como de baixo risco climático começam a deslocarem-se em direção as regiões Centro e Norte do Estado, já que nessas regiões o período chuvoso estende-se até meados de março a abril (MEDEIROS, 1996).

A Figura 13 apresenta as áreas aptas, restritas e inaptas ao cultivo da soja, para solos com CAD igual a 40 mm, para a situação climática atual.

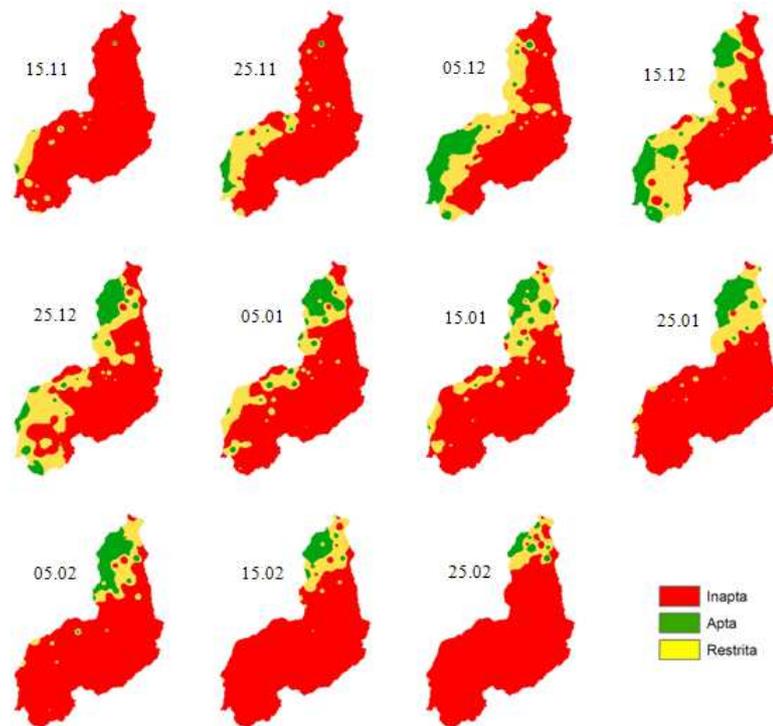


**Figura 13** - Espacialização do índice de satisfação da necessidade de água para a cultura da soja, para as datas de simulação de 05/10 a 25/02, nas condições atuais de temperatura do ar e solo com capacidade de armazenamento de água de 40 mm.

Com o aumento médio da temperatura do ar em 1°C, 2°C e 3°C (cenários C4, C11 e C18), a área apta ao cultivo da soja passa a ser 33.025 km<sup>2</sup>, 11.264 km<sup>2</sup>, 2.048 km<sup>2</sup>, provocando redução da ordem de 54,1%, 84,7% e 97,2%, respectivamente, da área apta em comparação com o cenário atual, para a data de semeadura em 15 de dezembro (Tabela 6). Para as demais datas de semeadura, na condição de acréscimo de 1°C na temperatura média do ar (C4), as áreas com menor risco climático tiveram uma redução na ordem de 50% em todas as datas de semeadura simuladas (Figura 14). Nos meses de outubro e novembro, os percentuais de áreas aptas, foram considerados bastante inferiores em relação aos obtidos nas

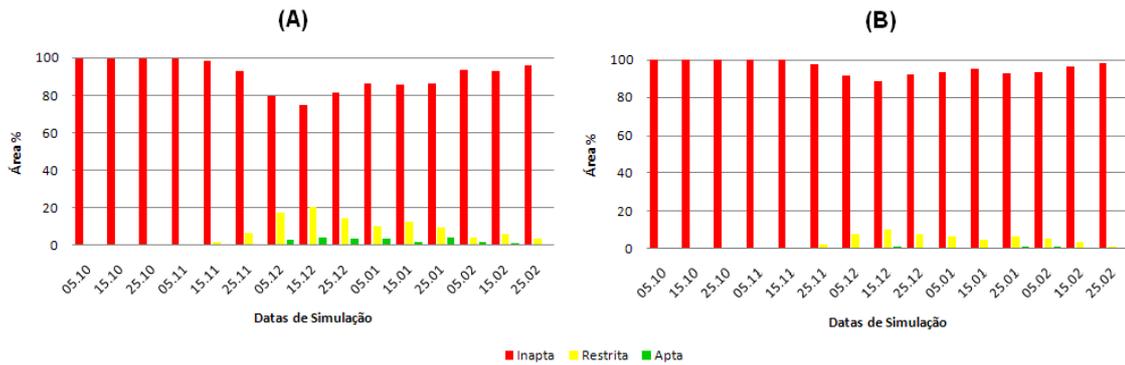
demais datas, variando na ordem de 2% da área total do Estado, portanto, sendo considerados inadequados ao cultivo dessa cultura.

Maciel et al. (2009) relataram que em relação aos solos com capacidade de armazenamento de água de 40 mm, para semeadura em 15/10, as áreas de baixo risco climático ao cultivo da soja representam em torno de 94% da área do Estado do Tocantins, em um cenário de aumento médio da temperatura do ar em 1,8°C e redução de 10% na precipitação diária.



**Figura 14** - Espacialização do índice de satisfação da necessidade de água para a cultura da soja, para as datas de simulação de 15/11 a 25/02, para a condição de acréscimo de 1°C na temperatura média do ar (C4) e solo com capacidade de armazenamento de água de 40 mm.

Para os cenários com acréscimo de 2°C e 3°C (C11 e C18) (Figura 15), o impacto provocado na diminuição das áreas de baixo risco é bastante significativo. As áreas restritas, com médio risco climático, amenizam o impacto causado pelo acréscimo de 2°C na temperatura média do ar, o mesmo já não acontece para o acréscimo de 3°C (C18), onde todo o Estado apresenta valores próximos a 100% das áreas de alto risco. As regiões classificadas como de médio risco climático não asseguram condições plenamente favoráveis ao cultivo da soja, por conter uma condição climática intermediária.



**Figura 15** - Valores percentuais de áreas de alto, médio e baixo risco climático para a cultura da soja com acréscimos de 2°C na temperatura média do ar (C11) (A) e 3°C na temperatura média do ar (C18), para solos com CAD 40 mm.

Segundo Campos et al. (2010), acréscimos na temperatura média do ar atuam de forma direta no aumento da evapotranspiração regional, provocando aumento na demanda hídrica da cultura e maior extração de água pelas raízes, que leva a uma maior deficiência hídrica.

Na Tabela 7 estão os valores percentuais das áreas de baixo, médio e alto risco climático para a soja em solos com capacidade de armazenamento de água de 60 mm (CAD 60). Para solos com essa capacidade de armazenamento de água, as áreas favoráveis ao cultivo de soja no Piauí apresentam valores superiores aos de áreas de alto risco climático para os meses de dezembro e janeiro. O aumento das áreas aptas deu-se em consequência do aumento na capacidade de armazenamento de água no solo para todas as datas de semeadura simuladas e em todos os cenários.

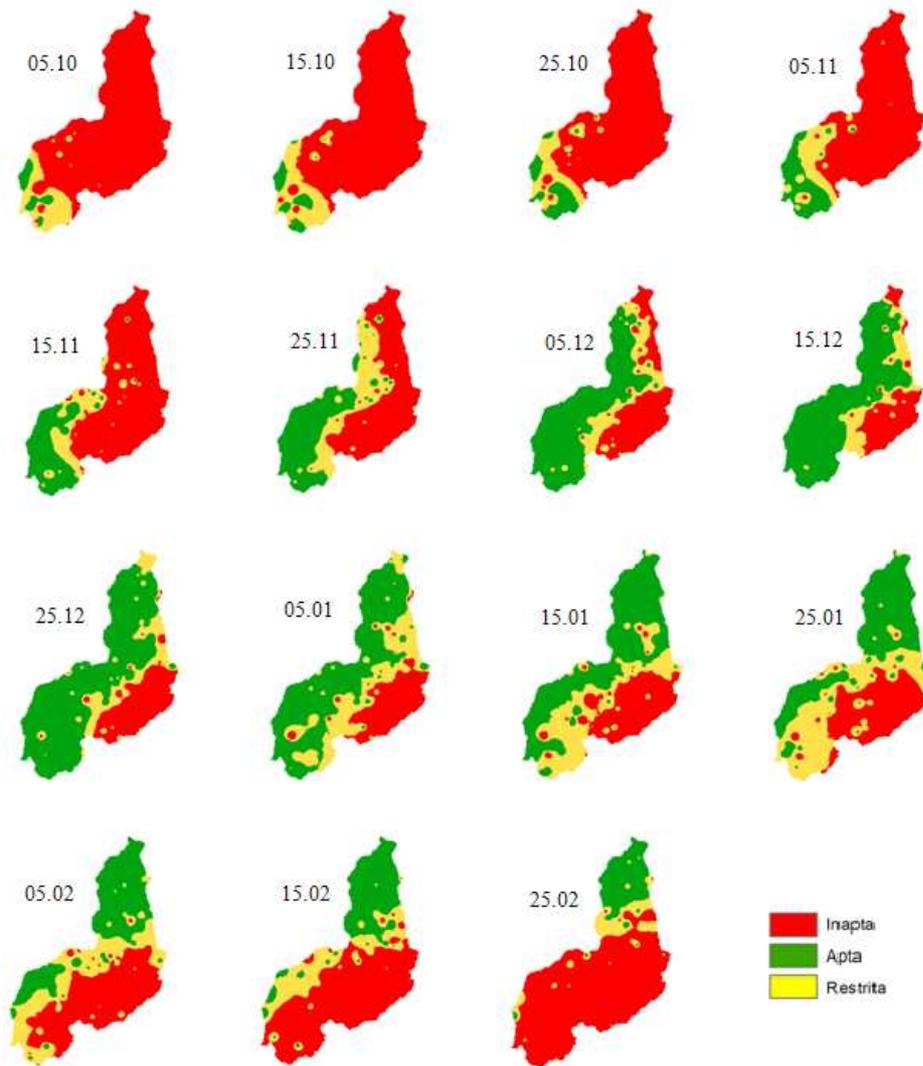
No cenário climático atual, o cultivo da soja é favorável a partir de 15 de novembro, apresentando valores percentuais na ordem de 20% de toda a área do Estado. As áreas favoráveis iniciam-se na região Sul do Estado (Figura 16), devido o período chuvoso nessa região concentrar-se de novembro a março (MEDEIROS, 1996). O mês de dezembro apresentou os maiores valores percentuais de áreas aptas ao cultivo, na ordem de 60%. Para a data de 25 de dezembro, as áreas de baixo risco climático representam 64,1% da área total do Estado, isto é, 164.112,25 km<sup>2</sup> de terras favoráveis ao cultivo. Resultados similares foram encontrados por Andrade Junior et al. (2007), que concluíram que as áreas de baixo risco climático tendem a serem maiores quando se assume como representativos os solos tipo 3 (CAD 60 mm).

**Tabela 7** - Distribuição das áreas (%) Inaptas (I), Restritas (R) e Aptas (A) ao cultivo da soja no Estado da Piauí, nas condições atuais de temperatura e com os acréscimos de 1°C (C4), 2°C (C11) e 3°C (C18), em solo com capacidade de armazenamento de água (CAD) de 60 mm, para as diferentes datas de semeadura (DS).

DS	Condições Atuais			Acréscimo 1°C			Acréscimo 2°C			Acréscimo 3°C		
	I	R	A	I	R	A	I	R	A	I	R	A
05/10	85,7	11,0	3,3	94,6	4,7	0,7	98,0	1,9	0,1	99,6	0,4	0,0
15/10	81,9	13,6	4,5	92,5	6,6	0,9	97,6	2,2	0,2	99,4	0,6	0,0
25/10	79,9	12,1	8,0	89,0	9,7	1,3	96,8	2,9	0,3	99,2	0,8	0,0
05/11	73,9	13,4	12,7	84,6	14,4	1,1	95,3	4,5	0,2	99,5	0,5	0,0
15/11	66,2	13,3	20,5	77,0	16,4	6,6	85,0	13,5	1,5	95,8	4,2	0,1
25/11	47,0	23,3	29,7	63,7	25,9	10,4	77,8	17,1	5,0	91,3	8,0	0,7
05/12	29,3	18,0	52,7	42,0	25,6	32,4	51,6	31,9	16,5	74,6	19,7	5,7
15/12	20,2	16,3	63,6	32,9	18,8	48,3	42,0	32,8	25,3	62,6	29,9	7,5
25/12	20,6	15,3	64,1	31,7	25,2	43,1	45,1	33,7	21,2	68,8	24,6	6,6
05/01	19,8	27,6	52,6	39,2	34,8	26,0	61,1	26,9	12,0	80,8	15,2	4,0
15/01	24,7	28,7	46,7	42,5	35,7	21,8	62,5	27,0	10,5	81,7	15,7	2,6
25/01	28,5	34,2	37,3	54,9	26,3	18,8	73,1	15,8	11,2	83,0	11,9	5,1
05/02	40,3	27,4	32,4	63,2	21,1	15,6	77,8	12,1	10,1	86,9	7,7	5,4
15/02	55,4	19,9	24,7	73,6	12,1	14,3	80,4	13,4	6,3	89,7	8,0	2,4
25/02	75,1	9,7	15,2	83,8	7,3	9,0	87,8	10,0	2,2	95,4	4,0	0,6

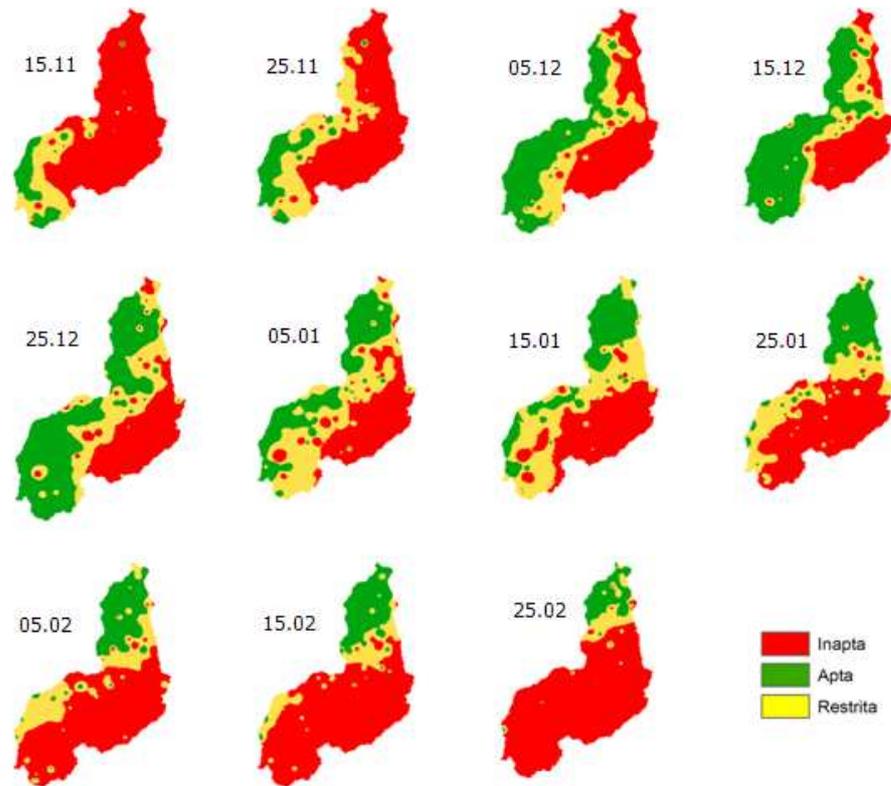
As áreas favoráveis ao cultivo da soja no Estado do Piauí, em condições atuais de temperatura média de ar, para solos com capacidade de armazenamento de água de 60 mm (CAD 60) são apresentadas na Figura 16.

As áreas consideradas como aptas (com baixo risco climático) tendem a ser maiores quando assumem-se como representativos os solos do tipo 3, uma vez que apresentam maior capacidade de armazenamento de água em comparação ao solos do tipo 2 e 1, pois em termos granulométricos possuem teores de argila superiores a 35% (ANDRADE JUNIOR et al. 2001).



**Figura 16** - Espacialização do índice de satisfação da necessidade de água para a cultura da soja, para as datas de simulação de 05/10 a 25/02, nas condições atuais de temperatura do ar e solo com capacidade de armazenamento de água de 60 mm.

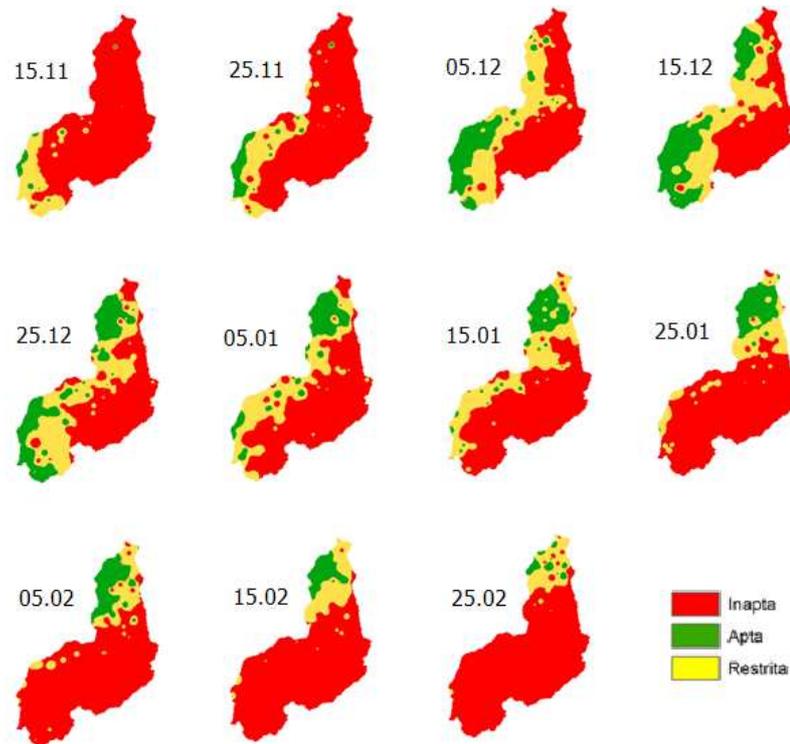
No cenário com acréscimo de 1°C (C4) (Figura 17), as condições de semeadura da soja continuam a apresentar valores representativos de áreas de baixo risco climático, apresentando valores da ordem de 45% de áreas favoráveis ao cultivo. O impacto do acréscimo de 1°C na temperatura média do ar provocou uma redução de 24,1% da área apta ao cultivo em comparação às condições atuais de temperatura. Na data de 15 de dezembro, a área favorável ao cultivo da soja foi de 126.424 km<sup>2</sup>, sendo este o maior percentual de área apta obtida para as condições de acréscimo de 1°C na temperatura média do ar.



**Figura 17** - Espacialização do índice de satisfação da necessidade de água para a cultura da soja, para as datas de simulação de 15/11 a 25/02, para a condição de acréscimo de 1°C na temperatura média do ar (C4) e solo com capacidade de armazenamento de água de 60 mm.

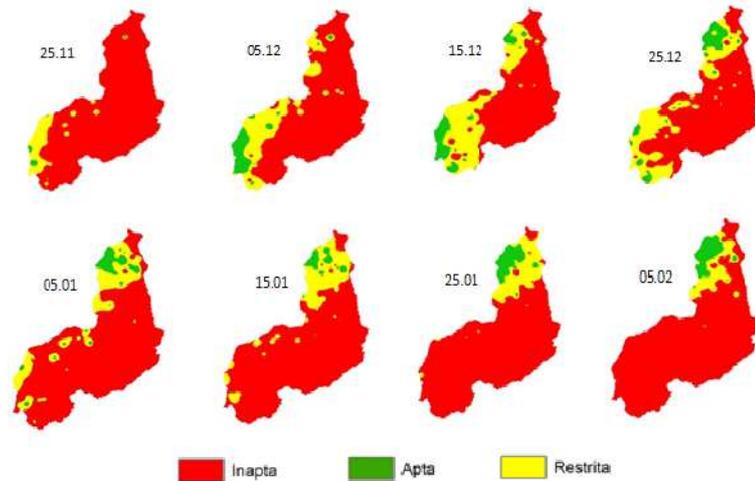
Para o cenário C11, no qual o acréscimo na temperatura média do ar é de 2°C, a redução das áreas com baixo risco climático passa a apresentar valores mais representativos (Figura 18). O impacto desse acréscimo causa uma redução na ordem de 60% de toda a área apta ao cultivo da soja em todo o Estado, para o mês de dezembro em comparação as condições atuais de temperatura.

O mês de dezembro continua apresentando-se como o mês mais favorável ao cultivo da soja. A área com baixo risco climático foi de 64.647,75 km<sup>2</sup>, para a data de 15 de dezembro, sendo este o maior percentual de área apta obtida para as condições de acréscimo de 2°C na temperatura média do ar.



**Figura 18** - Espacialização do índice de satisfação da necessidade de água para a cultura da soja, para as datas de simulação de 15/11 a 25/02, para a condição de acréscimo de 2°C na temperatura média do ar (C11) e solo com capacidade de armazenamento de água de 60 mm.

Com o acréscimo de 3 °C na temperatura média do ar (C18), o cultivo da soja fica mais restrito, com muitas áreas apresentando alto e médio risco (Figura 19). A redução das áreas aptas é de 88,2 % da área total do Estado, em comparação as condições atuais de temperatura. O impacto no percentual de áreas aptas ao cultivo da soja com o aumento de 3°C na temperatura média do ar, para solos com CAD igual a 60 mm, é superior aos impactos causados pelo acréscimo de 2°C para solos com CAD igual a 40 mm, que apresenta uma redução de 84,3% do percentual de áreas de baixo risco, e 78,1% apresentado pelo aumento de 1°C na temperatura média do ar para solos com CAD igual a 20 mm.



**Figura 19** - Espacialização do índice de satisfação da necessidade de água para a cultura da soja, para as datas de simulação de 25/11 a 05/02, para a condição de acréscimo de 3°C na temperatura média do ar (C18) e solo com capacidade de armazenamento de água de 60 mm.

De maneira geral, houve alterações significativas nas áreas consideradas favoráveis ao cultivo da soja em várias regiões do Estado admitindo-se os cenários de acréscimo na temperatura média do ar. Essas alterações foram mais expressivas para os solos de baixa disponibilidade hídrica. Um aspecto importante, que pode ser constatado, é que, em ordem crescente da capacidade de água disponível, as áreas de alto risco climático diminuem progressivamente dos solos tipo 1 para solos tipo 2, e desses para solos tipo 3. Evidencia, também, que quanto menor a CAD maiores são os riscos para a cultura da soja, devido à baixa capacidade de armazenamento de água no solo não reter água suficiente a suprir as necessidades hídricas da cultura.

Para qualquer combinação entre acréscimo de temperatura, data de semeadura e tipo de solo, constatou-se que a região Sudeste do estado do Piauí apresentou sempre alto risco climático para a cultura da soja. Isso porque representa, justamente, a região semiárida do estado, onde o regime de chuvas é, extremamente, irregular e totaliza apenas 600 mm anuais (MEDEIROS, 1996), o que é insuficiente para o suprimento hídrico dessa cultura. É importante destacar que, mesmo no cenário atual, o cultivo de soja não é recomendado nessa região, justamente pelo reduzido volume de chuvas.

Segundo Campos et al. (2010), esses cenários podem ser suavizados considerando-se duas situações: primeiro, se forem rapidamente implantadas práticas de manejo mitigadoras, que permitam aumentar o sequestro de carbono, reduzindo o efeito estufa. Neste particular, o trabalho de Moraes (2004), dentre outros, fortalece a constatação de que o aumento de temperatura do ar é evidente e devem-se manejar as culturas de forma que

elas se ajustem às novas condições climáticas; a segunda situação diz respeito ao melhoramento de plantas para adaptá-las aos estresses ambientais. Assim, para manter a produção de soja no Nordeste do Brasil e mais especificamente no Estado do Piauí, nos próximos anos, devem-se tomar medidas que levem em consideração a possibilidade da temperatura média do ar sofrer acréscimos acentuados.

Simulações mostram que as regiões ao sul do país e as localizadas nos cerrados nordestinos serão fortemente atingidas. No pior cenário, as perdas podem chegar a 40% em 2070, em decorrência do aumento da deficiência hídrica e do possível impacto dos veranicos mais intensos (ASSAD et al. 2006).

## 4.2 Impactos da precipitação pluviométrica no zoneamento de risco climático da soja

### 4.2.1 Impacto da redução da precipitação pluviométrica

Analisando-se o impacto na redução da precipitação diária em 15%, 10% e 5%, (C1, C2 e C3 para acréscimo de 1°C na temperatura média do ar no ano de 2020); (C8, C9 e C10 para acréscimo de 2°C na temperatura média do ar no ano de 2050) e (C15, C16 e C17 para acréscimo de 3°C na temperatura média do ar no ano de 2080) (Tabela 8), nota-se que se comparados ao cenário (C0), para as condições atuais de temperatura e precipitação pluvial, há, em todos os casos, diminuição das áreas de baixo risco climático.

**Tabela 8** - Valores de redução das áreas aptas ao cultivo da soja (%), para os três tipos de solo (CAD), nos cenários de redução da precipitação e acréscimo na temperatura do ar.

Redução Precipitação	1°C			2°C			3°C		
	Cenário	CAD (mm)	(%)	Cenário	CAD (mm)	(%)	Cenário	CAD (mm)	(%)
5%	C3	20	78,4	C10	20	92,1	C17	20	97,9
		40	54,1		40	86,0		40	97,6
		60	24,5		60	64,0		60	91,8
10%	C2	20	90,9	C9	20	97,1	C16	20	99,0
		40	61,6		40	91,3		40	98,6
		60	32,3		60	71,0		60	94,4
15%	C1	20	92,1	C8	20	97,5	C15	20	99,3
		40	67,8		40	92,6		40	98,9
		60	43,3		60	77,7		60	95,3

Com o aumento da temperatura de 1°C associado à redução de 5% da precipitação diária (C3), as reduções de áreas de baixo risco climático são de 24,5% em solos com CAD igual a 60 mm, 54,1% para solos com CAD igual a 40 mm e 78,4% para solos com CAD igual a 20 mm (Figura 20), em comparação ao cenário C0. Neste caso, o aumento na demanda evapotranspirativa, ocasionado pelo acréscimo de 1°C na temperatura média do ar associado à redução de 5% na precipitação diária, provoca maior deficiência hídrica, principalmente nos solos onde a capacidade de armazenamento de água é baixa. Nobre e Assad (2005) relatam que o aumento de temperatura do ar induz a uma maior evapotranspiração, reduzindo a quantidade de água no solo, mesmo que as chuvas não diminuam significativamente. A elevação na temperatura aumenta a capacidade do ar em reter vapor d'água e, conseqüentemente, ocorrerá maior demanda hídrica.

De acordo com Marengo (2009), o regime pluviométrico de uma determinada região mantém uma forte relação com a disponibilidade hídrica do solo. O regime pluviométrico da região Nordeste apresenta uma grande variabilidade no tempo e espaço, e a ocorrência de chuvas, por si, não garante que as culturas de subsistência serão bem sucedidas.

Para o cenário C2, onde a redução da precipitação diária é de 10% (Figura 21), o percentual de áreas aptas ao cultivo passa a ser de 0,29, 10,77 e 43,3% para solos com CAD igual a 20, 40 e 60 mm, respectivamente, o que representa redução de 90,9%, 61,6% e 32,3%, respectivamente, em relação ao cenário C0. A redução de 10% na precipitação provocou um impacto maior nas áreas aptas ao cultivo da soja no Estado do Piauí, em comparação ao cenário C3 com redução de 5%, o que demonstra que, com a redução do regime pluviométrico em níveis maiores associados ao aumento da temperatura média do ar ocasiona um aumento da evapotranspiração e em conseqüência na demanda hídrica da cultura, promovendo uma redução mais acentuada das áreas de baixo risco. Isso se comprova analisando os resultados do cenário (C1), onde há redução de 15% nos valores de precipitação diária, mantendo-se o aumento de 1°C na temperatura média do ar (Figura 22), os percentuais de redução são de 92,1%, 67,8%, 43,3%, para solos com CAD igual a 20, 40 e 60 mm, respectivamente.

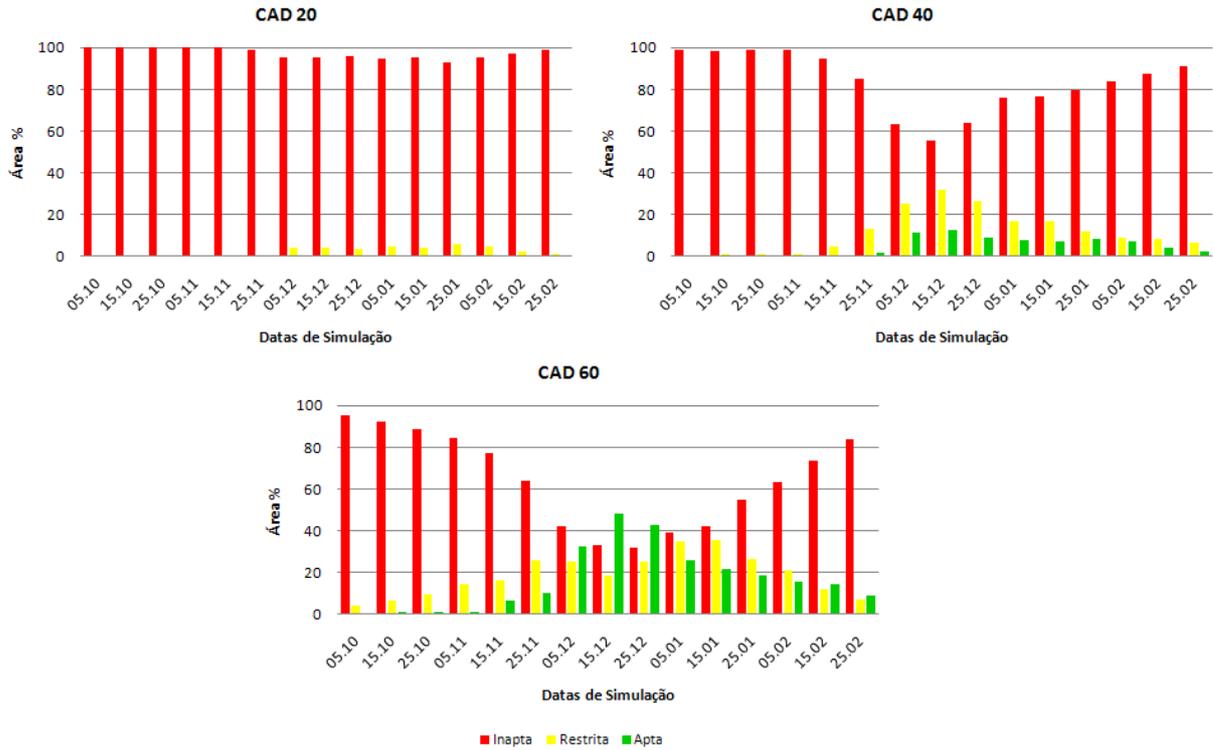
O impacto das mudanças climáticas para os cenários com o aumento da temperatura de 2°C associados à redução de 5% (C10), 10% (C9) e 15% (C8) da precipitação diária são apresentados nas Figuras 23, 24 e 25, respectivamente. As reduções de áreas de baixo risco climático são de 64% em solos com CAD igual a 60 mm; 86% para solos com CAD igual a 40 mm e 92,1% para solos com CAD igual a 20 mm (Figura 23) para o cenário C10, em comparação ao cenário C0, com as atuais condições de temperatura e precipitação.

Com o aumento da temperatura média do ar em 2°C, o acréscimo na evapotranspiração torna-se ainda mais evidente ainda, provocando aumento da demanda hídrica da soja, exigindo assim mais água para suprir suas necessidades. Além disso, associada a essa questão há a redução da precipitação, fazendo com que as áreas de baixo risco climático tendam a ser cada vez menores.

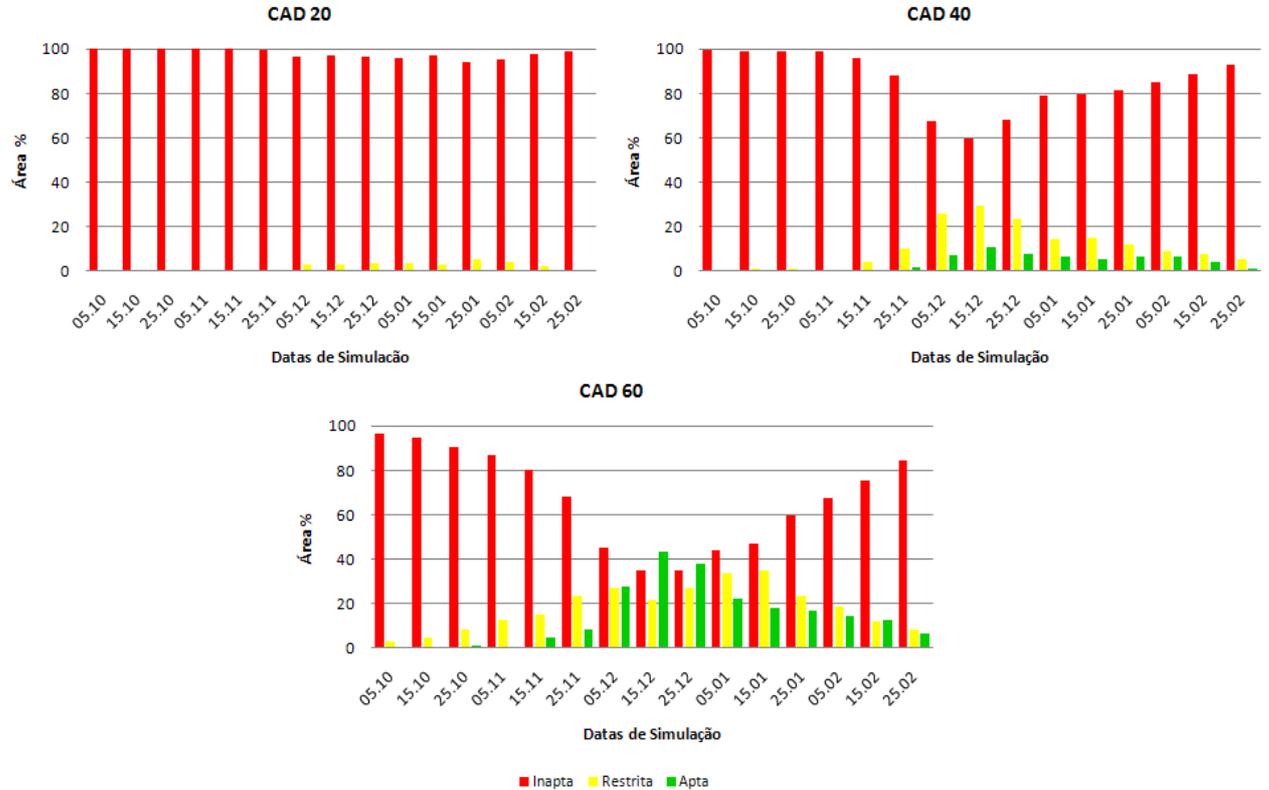
Analisando o cenário C9, onde a redução da precipitação diária é de 10% (Figura 24), ocorre uma redução de 71% da área apta total do Estado ao cultivo da soja, para solos com CAD igual a 60 mm, em comparação ao cenário C0. O percentual de área apta para C0 é de 28,1% (Tabela 6) da área territorial do Estado, que passa a ser de 2,44% no cenário C9, apresentando uma redução de 91,3% de área para solos com capacidade de armazenamento de água de 40 mm. Para solos com CAD igual a 20 mm, a redução é de 97,1%, em relação ao cenário C0. A tendência de aumento das áreas de alto risco com a redução da precipitação se consolida quando essa redução passa a ser de 15% para o cenário C8 (Figura 25), que apresenta valores percentuais de redução de 97,5%, 92,6%, 77,7%, para solos com CAD igual a 20, 40 e 60 mm, respectivamente.

Maciel et al. (2009) observaram que, com acréscimo de 1,8°C na temperatura média do ar e uma redução de 10% na precipitação pluviométrica diária, para solos tipo 1 (com baixa disponibilidade hídrica), as áreas aptas ao cultivo para indicação de semeadura em 15/11 tiveram uma redução de 88%. Para os solos tipos 2 e 3 (com média e elevada disponibilidade hídrica), considerando a indicação da mesma data de semeadura, os percentuais de redução foram de apenas 8,1% e 5,5%, respectivamente. Evidenciando que quanto maior a capacidade de armazenamento de água no solo menor é o impacto das alterações climáticas.

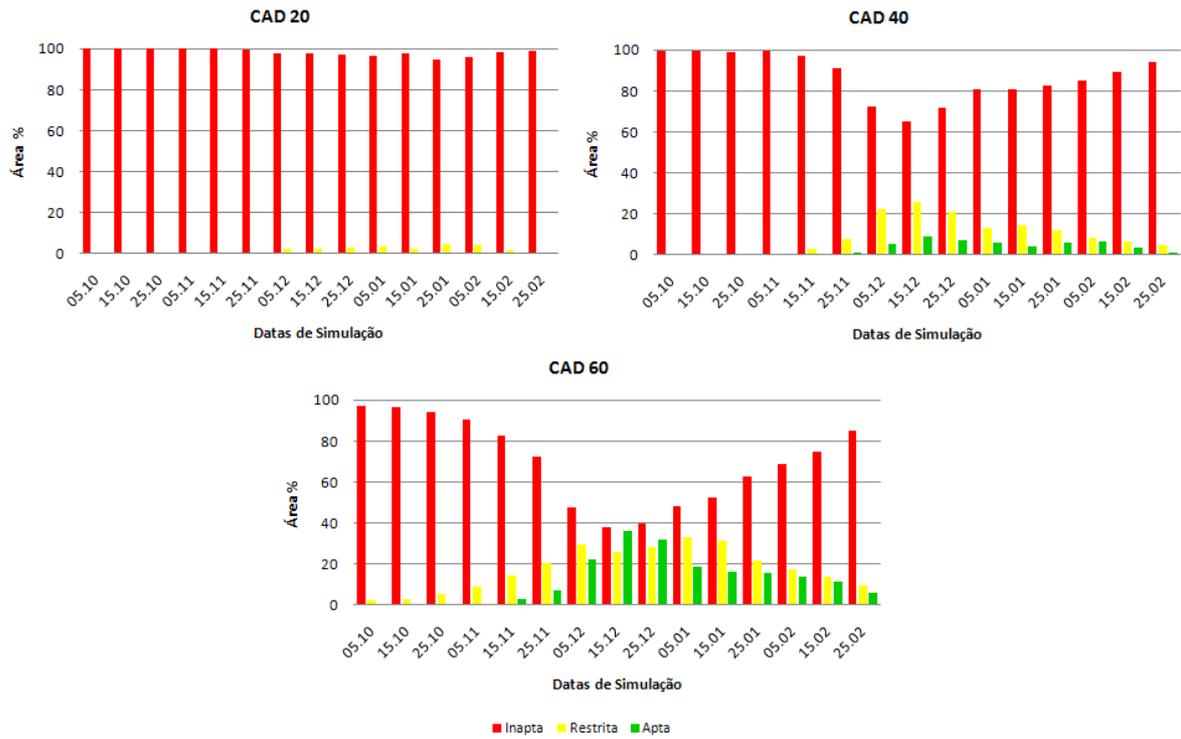
Os casos mais severos são para os cenários C15, C16 e C17 (Figuras 26 a 28), que passaram a ter valores de áreas de baixo risco climático de apenas 2,9%, 3,6%, 5,2%, para CAD igual a 60 mm, 0,29%, 0,39%, 0,66%, para CAD igual a 40 mm, e 0,06%, 0,07%, 0,08%, para CAD igual a 20 mm, ou seja, houve redução da ordem de 90% para todos os tipos de solo, com esse prognóstico de mudança. As restrições são mais significativas no período 05/10 a 15/11 para os três tipos de solo.



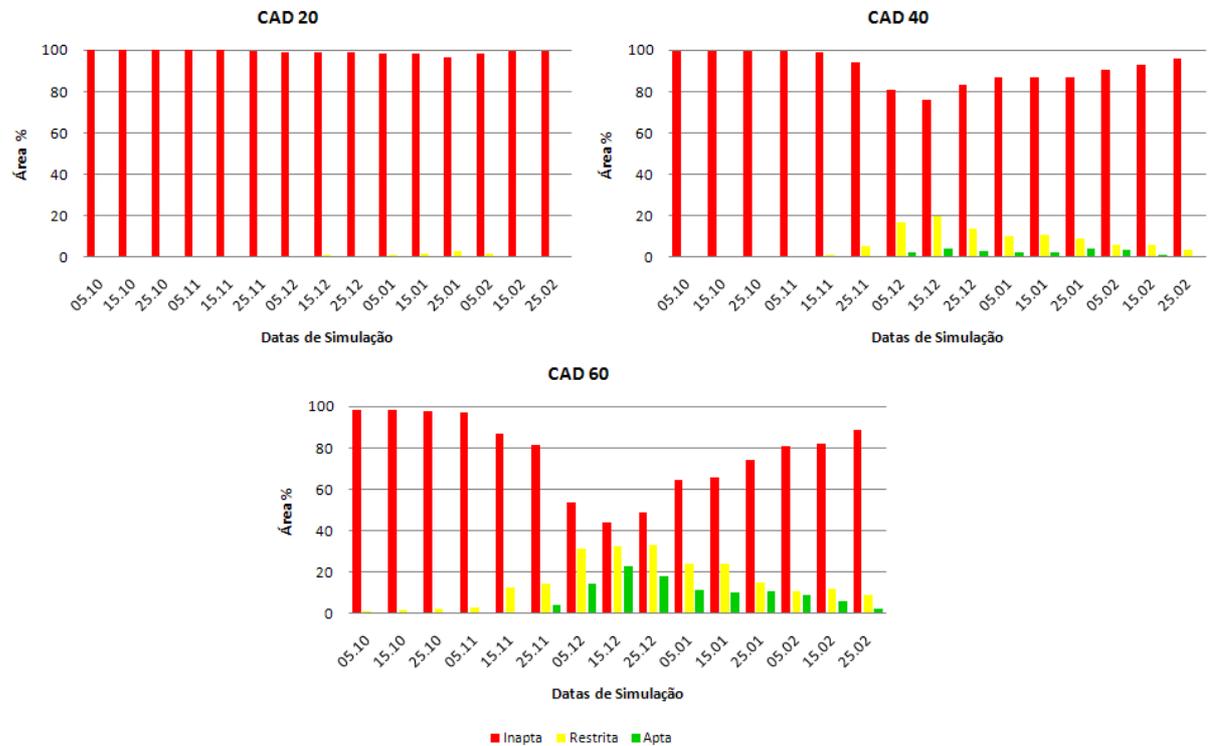
**Figura 20** - Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com redução de 5% da precipitação e acréscimo de 1°C na temperatura média do ar (C3), para os três tipos de solos.



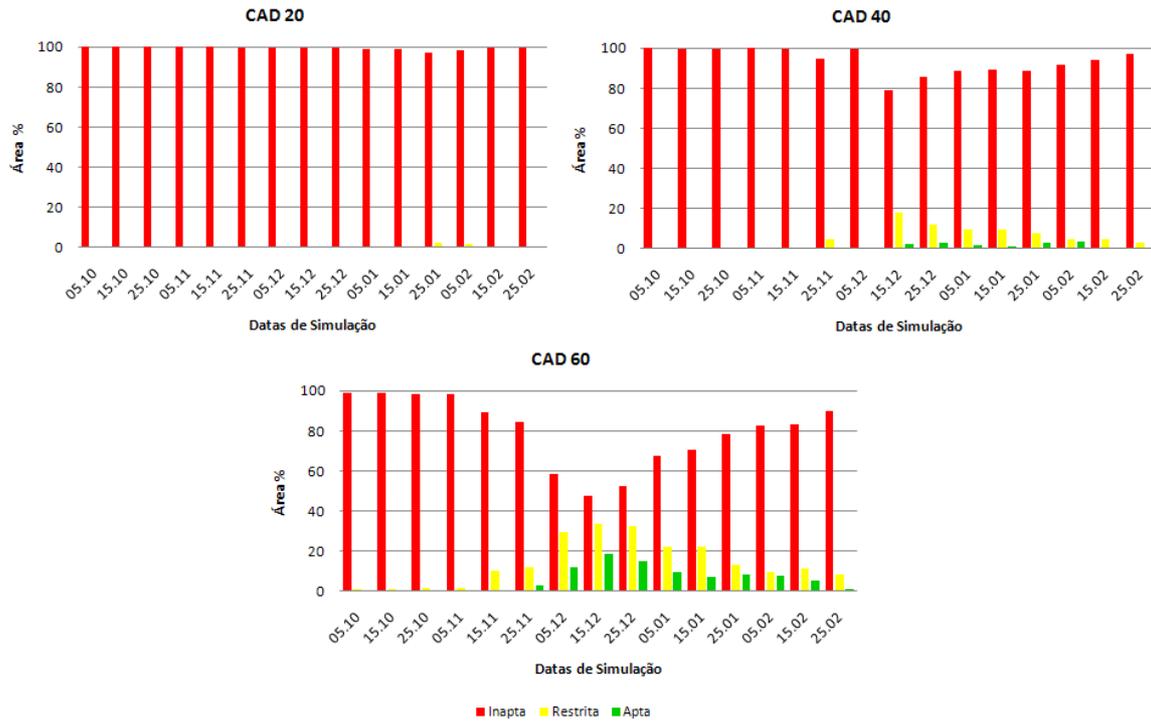
**Figura 21** - Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com redução de 10% da precipitação e acréscimo de 1°C na temperatura média do ar (C2), para os três tipos de solos.



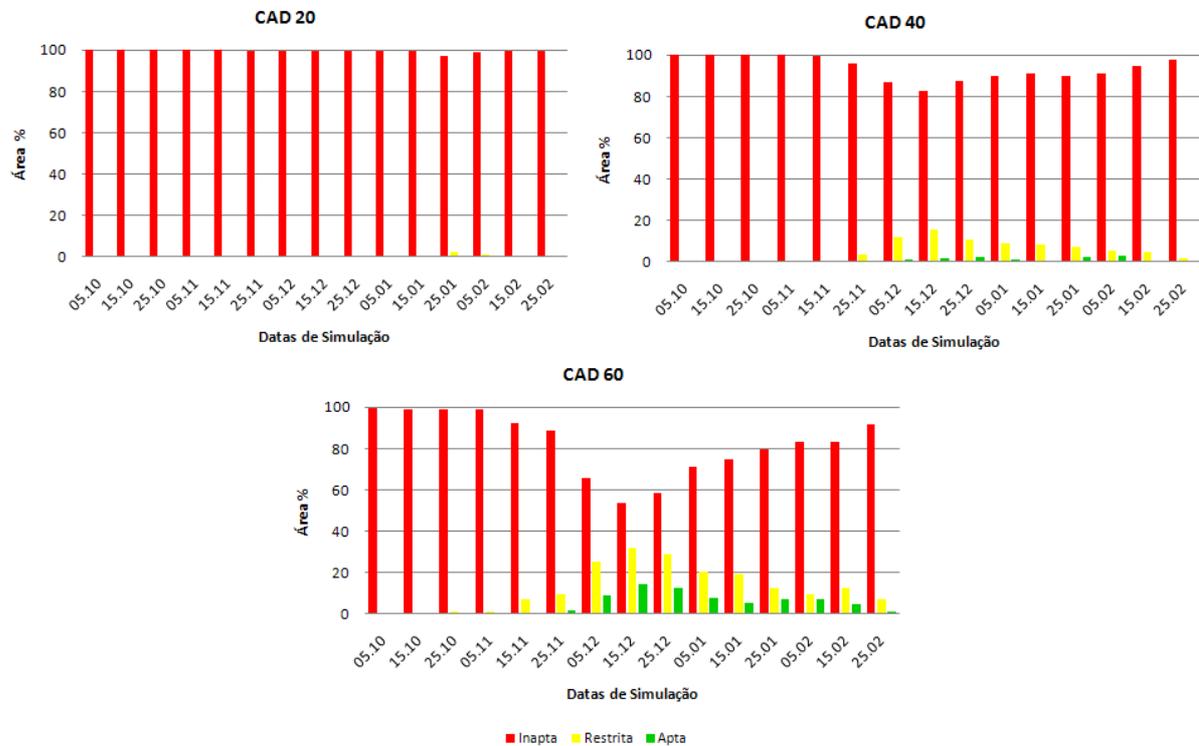
**Figura 22** - Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com redução de 15% da precipitação e acréscimo de 1°C na temperatura média do ar (C1), para os três tipos de solos.



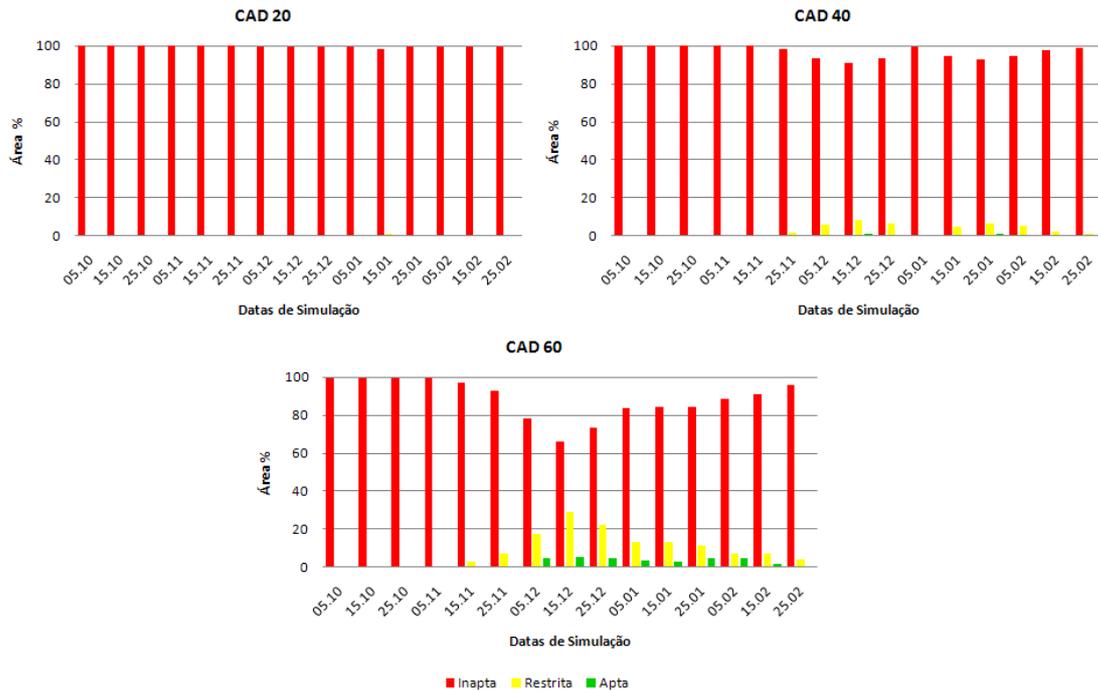
**Figura 23** - Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com redução de 5% da precipitação e acréscimo de 2°C na temperatura média do ar (C10), para os três tipos de solos.



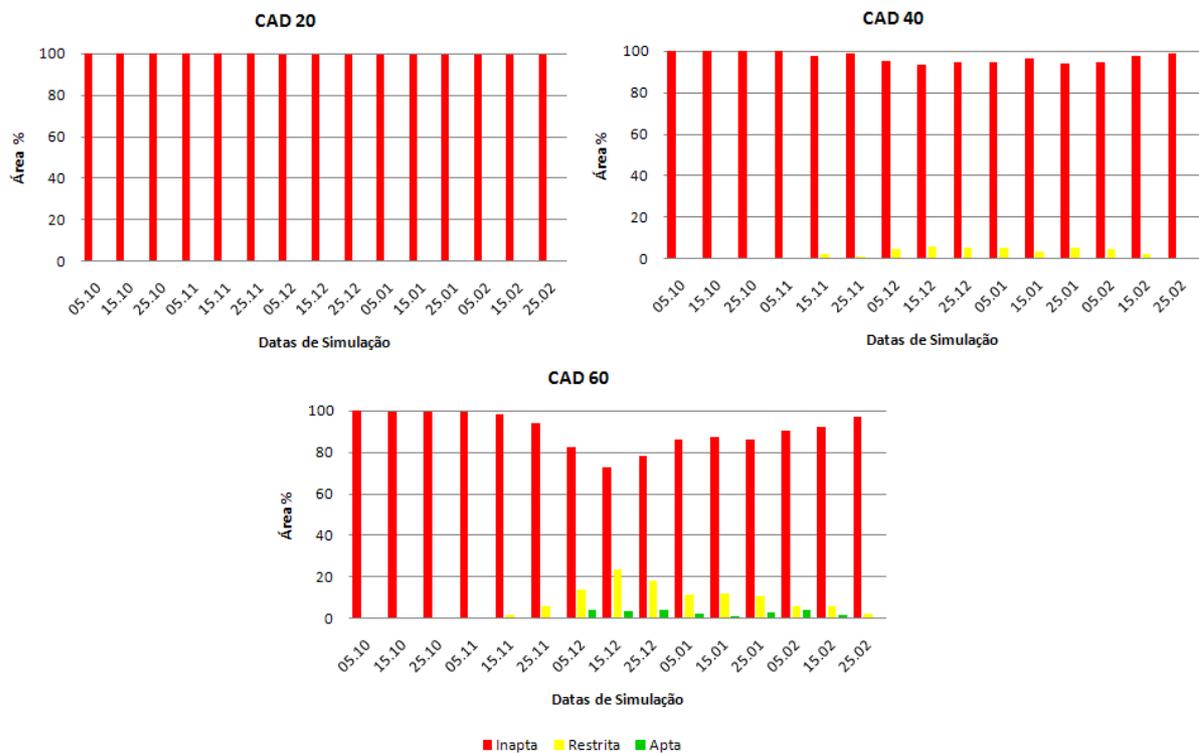
**Figura 24** - Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com redução de 10% da precipitação e acréscimo de 2°C na temperatura média do ar (C9), para os três tipos de solos.



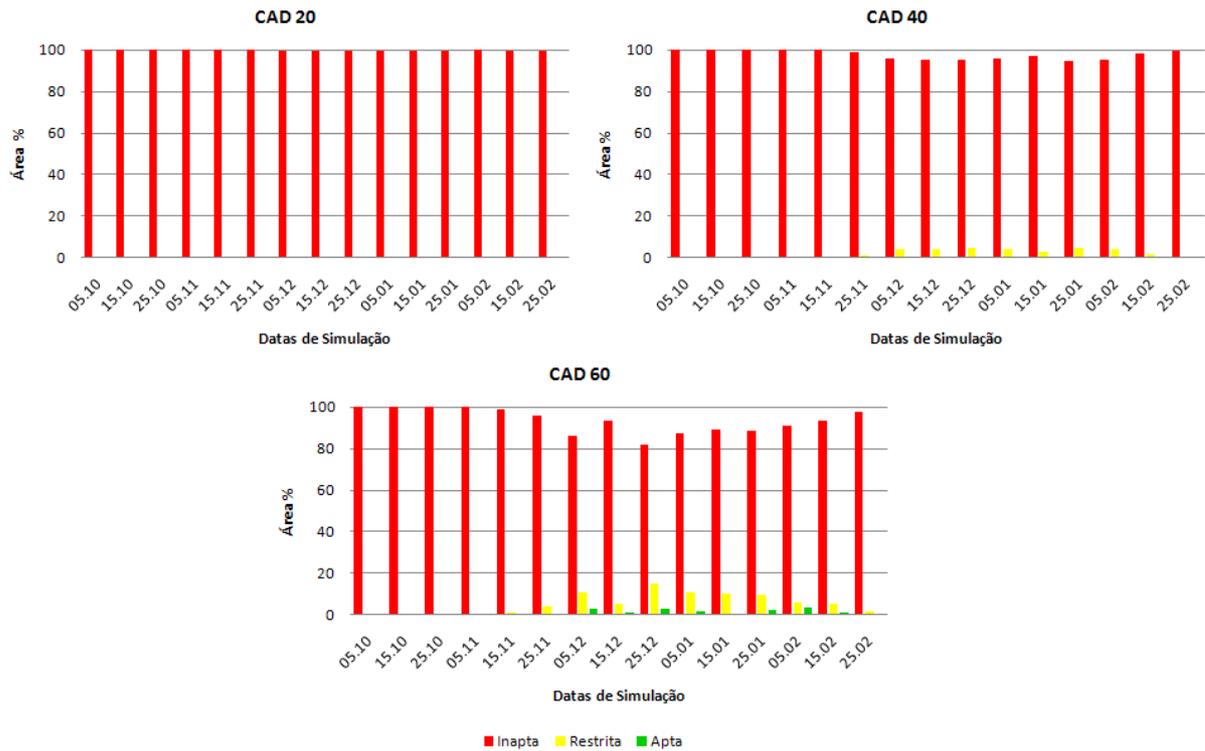
**Figura 25** - Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com redução de 15% da precipitação e acréscimo de 2°C na temperatura média do ar (C8), para os três tipos de solos.



**Figura 26** - Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com redução de 5% da precipitação e acréscimo de 3°C na temperatura média do ar (C17), para os três tipos de solos.



**Figura 27** - Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com redução de 10% da precipitação e acréscimo de 3°C na temperatura média do ar (C16), para os três tipos de solos.



**Figura 28** - Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com redução de 15% da precipitação e acréscimo de 3°C na temperatura média do ar (C15), para os três tipos de solos.

Em todas as simulações de redução na precipitação, mantendo-se constantes os mesmos acréscimos de temperatura, observou-se que o processo de redução das áreas de baixo risco é mais acelerado, em função do maior déficit hídrico, tornando-se evidente a vulnerabilidade do cultivo em sistema de sequeiro.

#### 4.2.2 Impacto do acréscimo na precipitação pluviométrica

Na Figura 9 são apresentados os percentuais de áreas de alto, médio e baixo risco climático para a cultura da soja no Estado do Piauí, nos cenários com acréscimo de 5%, 10% e 15% nos valores de precipitação diária associados ao acréscimo de 1°C na temperatura média do ar para o ano de 2020 (C5, C6, C7); acréscimo de 2°C na temperatura média do ar para o ano de 2050 (C12, C13 e C14), e o acréscimo de 3°C na temperatura média do ar para o ano de 2080 (C19, C20 e C21), nas datas de semeadura estabelecidas e para os três tipos de solos avaliados.

**Tabela 9** - Valores de redução das áreas aptas ao cultivo da soja (%), para os três tipos de solo (CAD), nos cenários de acréscimos na precipitação e temperatura do ar.

Acréscimo Precipitação	1°C			2°C			3°C		
	Cenário	CAD (mm)	(%)	Cenário	CAD (mm)	(%)	Cenário	CAD (mm)	(%)
5%	C5	20	75,0	C12	20	93,0	C19	20	97,0
		40	43,7		40	81,0		40	95,0
		60	18,9		60	55,0		60	86,5
10%	C6	20	68,7	C13	20	93,0	C20	20	97,0
		40	35,2		40	78,2		40	94,3
		60	15,1		60	50,0		60	84,0
15%	C7	20	57,2	C14	20	93,0	C21	20	97,0
		40	30,2		40	75,0		40	93,2
		60	12,2		60	45,0		60	80,0

No cenário (C5) (Figura 29), os acréscimos de 5% nos valores de precipitação diária e 1°C na temperatura média do ar, provocaram uma redução nas áreas de baixo risco climático comparados ao cenário (C0), para as condições atuais de temperatura. Nos solos tipo 1 (CAD 20 mm), as áreas aptas ao cultivo da soja representam, 3,2% da área total do Estado para o cenário C0 (Tabela 5), na data de semeadura em 25 de janeiro, e passam a representar 0,81% do total do Estado, no cenário C5 para a mesma data, ou seja, uma redução de 75%. Para os solos tipo 2 (CAD 40 mm), para semeadura em 15 de dezembro, as áreas de baixo risco climático ao cultivo da soja representam 28,1% da área do Estado, para o cenário C0 (Tabela 6), passando a 15,8%, no cenário C5, representando uma redução de 43,7%. Já para os solos do tipo 3 (CAD 60 mm), ocorre uma redução de 19% no percentual de áreas aptas ao cultivo da soja do C0 para C5.

Com o aumento da temperatura de 1°C associado ao acréscimo de 10% na precipitação diária (C6), a redução das áreas aptas ao cultivo da soja foi de 68,7%, em solos tipo 1; 35,2%, para solos tipo 2 e 15,1%, para solos tipo 3 (Figura 30), em comparação ao cenário C0. Para o cenário C7, onde o acréscimo da precipitação diária é de 15% (Figura 31), o percentual de áreas aptas ao cultivo passa a ser de 1,4%, 19,6% e 56,2%, para solos com CAD igual a 20, 40 e 60 mm, respectivamente, representando uma redução de 57,2%, 30,2% e 12,2%, respectivamente, em relação ao cenário C0.

O aumento na precipitação pluviométrica nos cenários descritos acima, associado ao aumento da temperatura em 1°C, proporcionou redução das áreas de baixo risco climático em todos os cenários, estando os maiores percentuais de redução em solos tipo 1. Mesmo com os acréscimos na precipitação diária, estes solos por possuírem baixa capacidade de

armazenamento de água, não são capazes de suprir a demanda hídrica da cultura, com o aumento da evapotranspiração, em decorrência da elevação da temperatura do ar.

Os impactos das mudanças climáticas sobre as áreas aptas, de acordo com as simulações realizadas para os cenários com o aumento da temperatura de 2°C associados ao aumento de 5% (C12), 10% (C13) e 15% (C14) da precipitação diária, são apresentados nas Figuras 32, 33 e 34, respectivamente. Os percentuais de redução das áreas de baixo risco climático na data de 25 de janeiro são de 93%, para solos com CAD igual a 20 mm; 81%, para solos com CAD igual a 40 mm e 55%, para solos com CAD igual a 60 mm, para o cenário C12 (Figura 32) em comparação ao cenário C0.

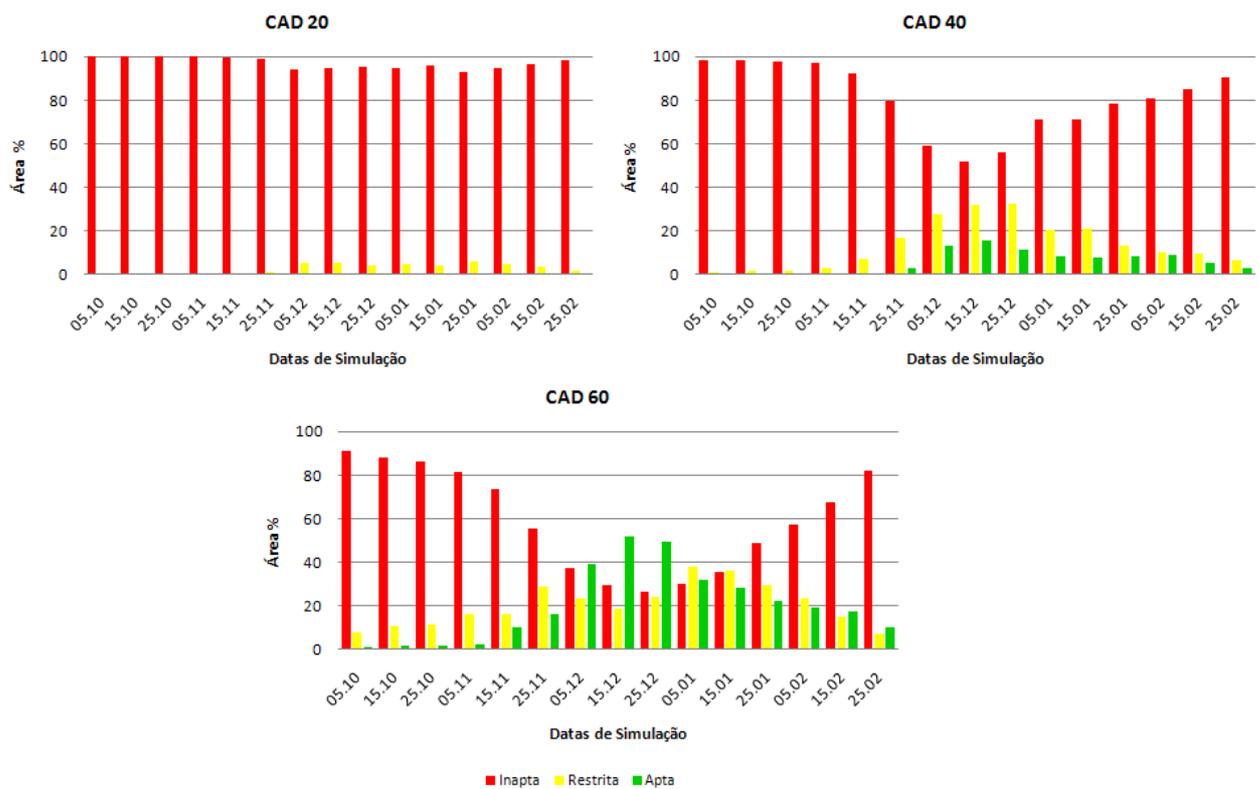
No cenário C13 (acrécimo de 10% na precipitação diária e 2°C na temperatura média do ar) (Figura 33) houve diminuição de 93% da área apta ao cultivo da soja, para solos com CAD igual a 20 mm, em comparação ao cenário C0, passando o Estado a apresentar o percentual de 0,18% de área de baixo risco climático. Uma redução de 78,2% ocorre para solos tipo 2. Para solos tipo 3, a redução é de 50%, em relação ao cenário C0. Analisando-se o cenário C14, com o acréscimo de 15% na precipitação e 2°C na temperatura (Figura 34), o Estado passa a apresentar os valores percentuais de redução de áreas de baixo risco de 93%, 75%, 45%, para solos com CAD igual a 20, 40 e 60 mm, respectivamente.

Para os cenários C19, C20 e C21 (Figuras 35 a 37), com aumento da precipitação em 5%, 10% e 15% respectivamente, associado ao aumento de 3°C na temperatura do ar, o Estado do Piauí passa a ter valores percentuais de áreas de baixo risco climático de 0,08%, 0,09% e 0,10%, respectivamente, para solos tipo 1; de 1,37%, 1,59%, 1,91%, respectivamente, para solos tipo 2, e de 8,61%, 10,28%, 12,77%, respectivamente para solos tipo 3. A redução no percentual de área de baixo risco climático simulada para o ano de 2080 é de 97%, 95% e 86,5% para solos tipo 1, 2 e 3, respectivamente, no cenário C19. Para o cenário C20, os percentuais de redução passam a ser 97%, 94,3% e 84% para solos tipo 1, 2 e 3 respectivamente, e no cenário C21 essas reduções são de 97%, 93,2% e 80% para solos tipo 1, 2 e 3, respectivamente, em comparação ao cenário C0.

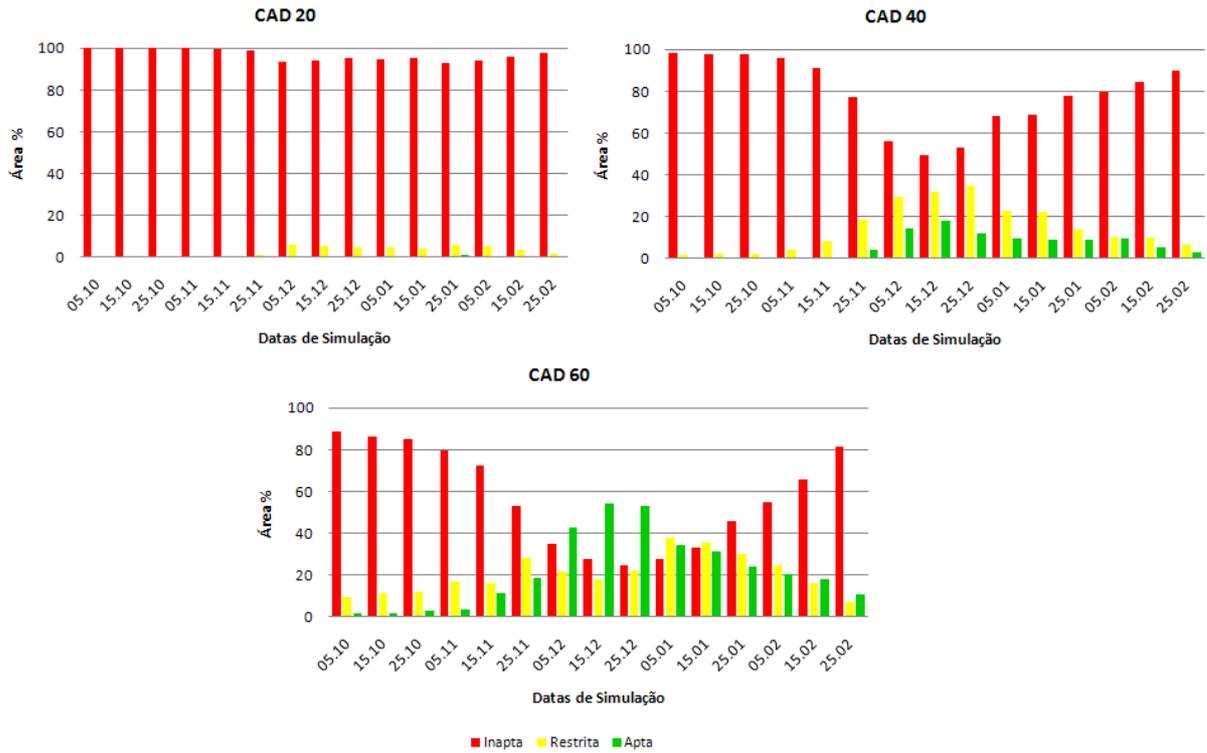
Mesmo com o aumento na precipitação em 5%, 10% e 15%, os percentuais de redução das áreas de baixo risco climático são elevados, principalmente para os solos tipo 1, em todos os cenários simulados. Com o aumento da CAD, os valores de redução de área passam a ser menores, assim como com o aumento nos percentuais de acréscimo na precipitação, evidenciando que quanto maior a capacidade de armazenamento do solo maior o aproveitamento da chuva em prol da cultura.

Resultados similares foram encontrados por Assad et al. (2004) estudando o impacto no aumento da temperatura em 1°C, 3°C e 5,8° e um incremento de 15% na precipitação no zoneamento agroclimático do café nos Estados de Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Paraná. Os resultados indicaram uma redução de área apta para a cultura superior a 95% em Goiás, Minas Gerais e São Paulo, e de 75% no Paraná, no caso de um aumento na temperatura de 5,8°C, mostrando que a temperatura é um fator de grande restrição na indicação das áreas aptas ao cultivo da cultura zoneada.

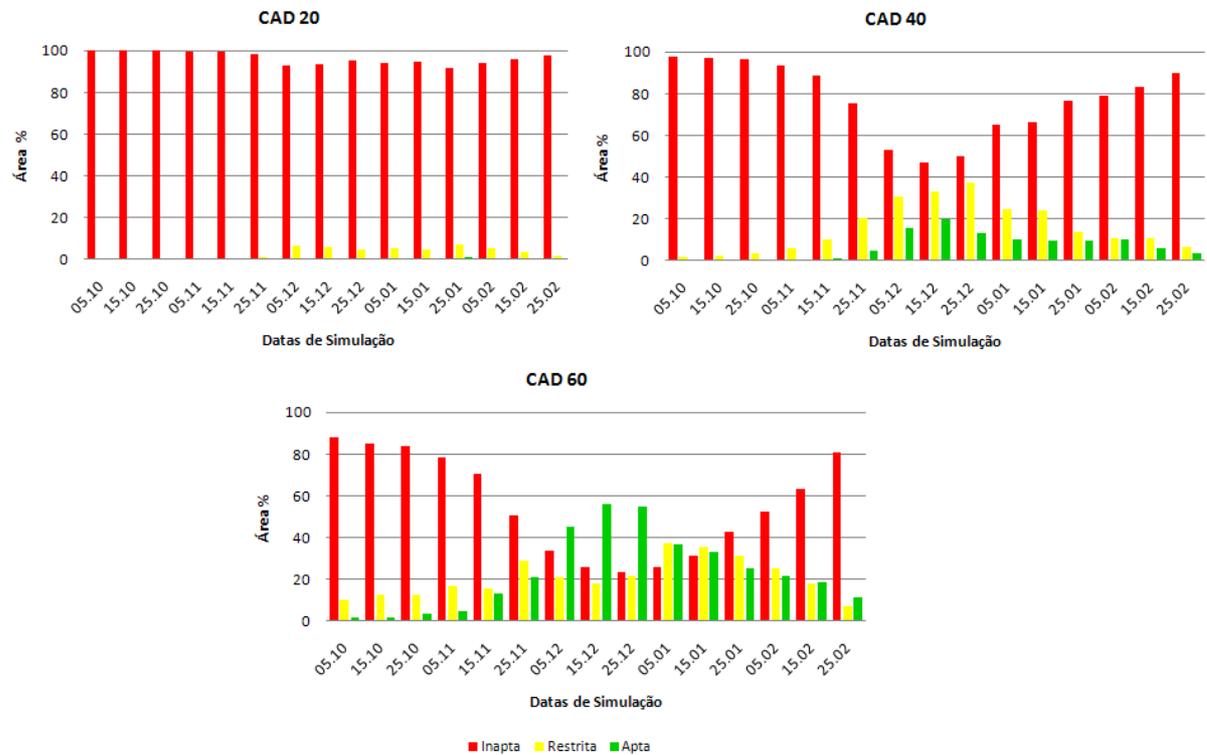
De acordo com Nobre (2001), em regiões onde a agricultura predominante é de sequeiro e a insuficiência e irregularidade das chuvas já a torna marginal, como na maior parte do semiárido e em partes do Cerrado, um quadro de maior evapotranspiração, principalmente, para aumentos de temperatura acima de 3°C, resultaria em menor quantidade de água no solo e poderia tornar a prática agrícola ainda mais inapropriada.



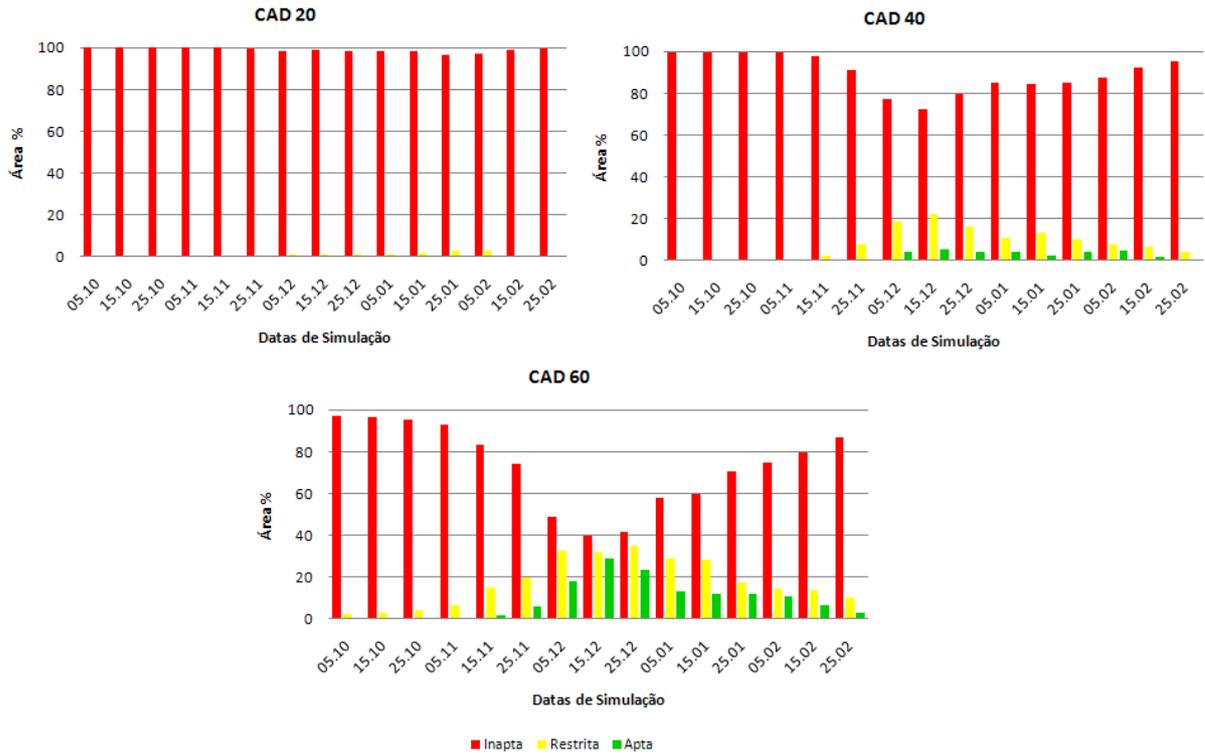
**Figura 29** - Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com acréscimo de 5% da precipitação e acréscimo de 1°C na temperatura média do ar (C5), para os três tipos de solos.



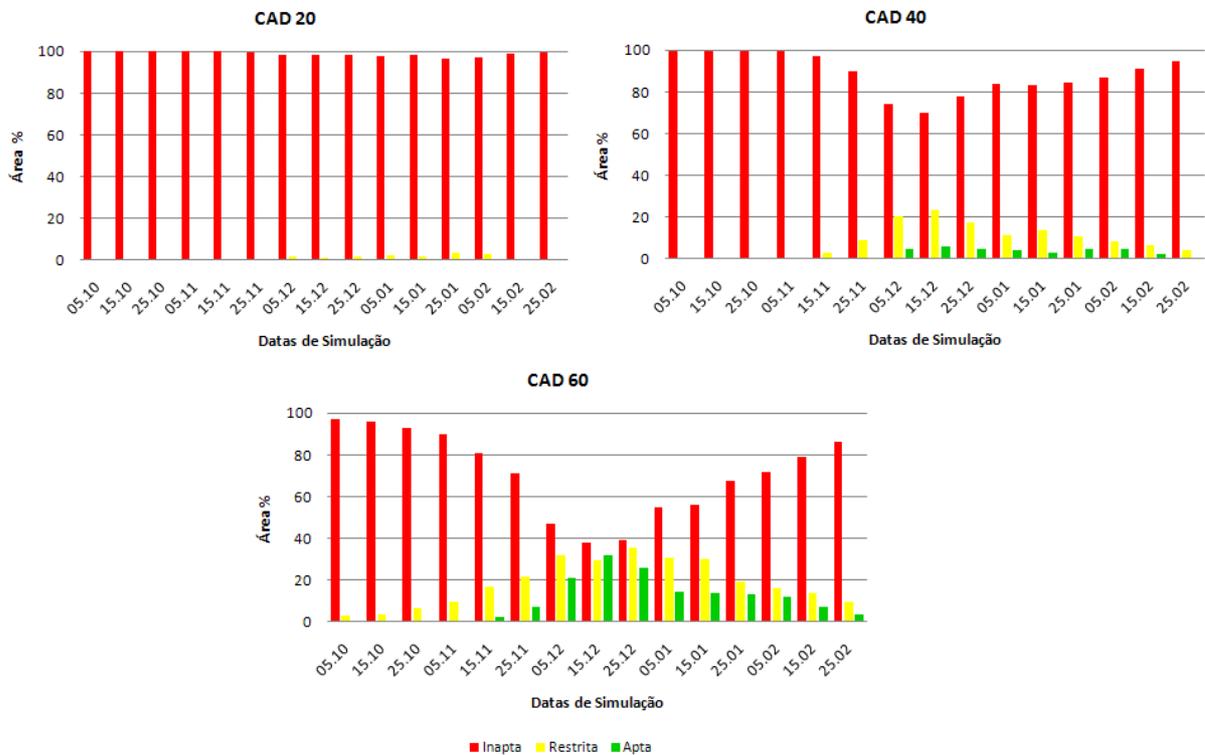
**Figura 30** - Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com acréscimo de 10% da precipitação e acréscimo de 1°C na temperatura média do ar (C6), para os três tipos de solos.



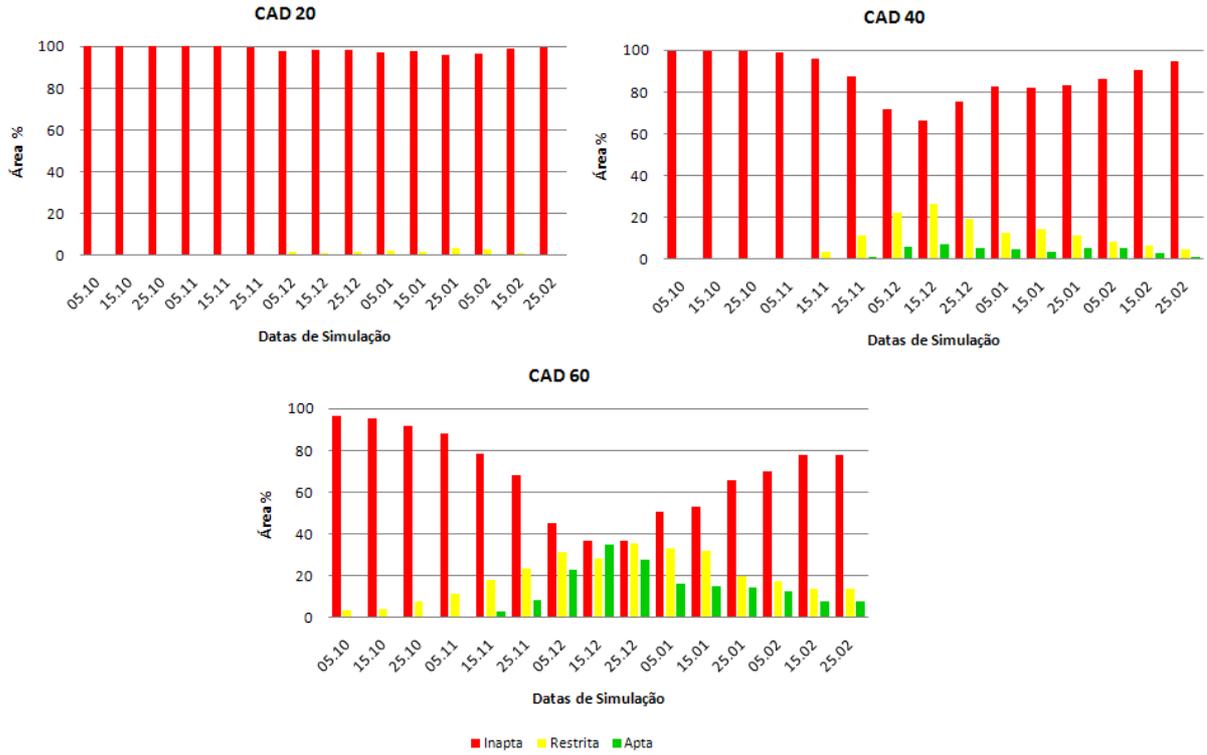
**Figura 31** - Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com acréscimo de 15% da precipitação e acréscimo de 1°C na temperatura média do ar (C7), para os três tipos de solos.



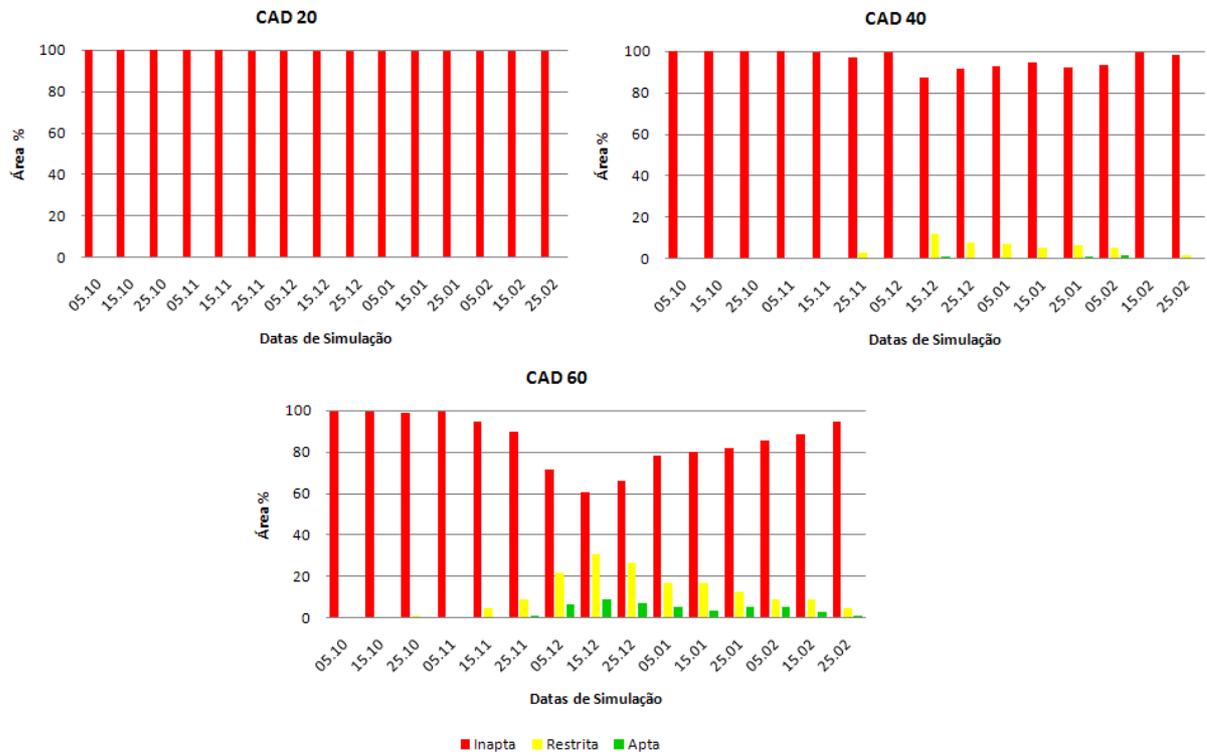
**Figura 32** - Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com acréscimo de 5% da precipitação e acréscimo de 2°C na temperatura média do ar (C12), para os três tipos de solos.



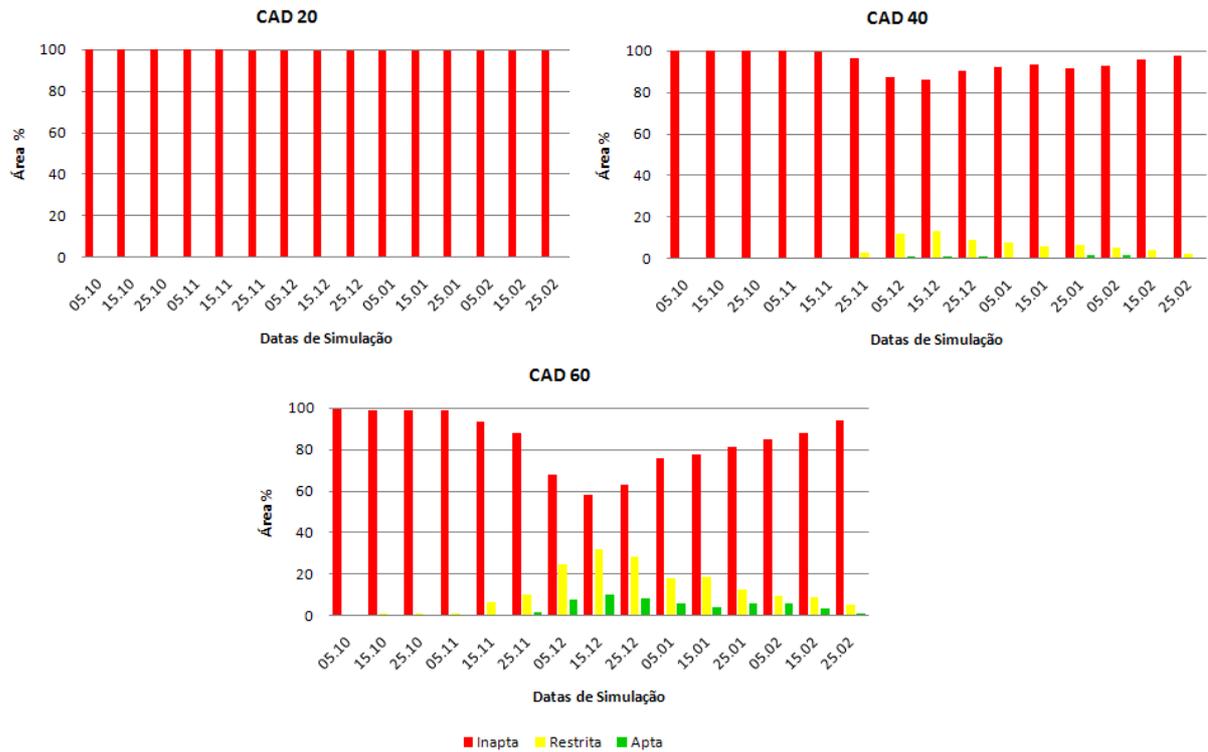
**Figura 33** - Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com acréscimo de 10% da precipitação e acréscimo de 2°C na temperatura média do ar (C13), para os três tipos de solos.



**Figura 34** - Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com acréscimo de 15% da precipitação e acréscimo de 2°C na temperatura média do ar (C14), para os três tipos de solos.



**Figura 35** - Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com acréscimo de 5% da precipitação e acréscimo de 3°C na temperatura média do ar (C19), para os três tipos de solos.



**Figura 36** - Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com acréscimo de 10% da precipitação e acréscimo de 3°C na temperatura média do ar (C20), para os três tipos de solos.



**Figura 37** - Valores percentuais de áreas de baixo, médio e alto risco climático para a cultura da soja com acréscimo de 15% da precipitação e acréscimo de 3°C na temperatura média do ar (C21), para os três tipos de solos.

### **4.3 Medidas mitigadoras no impacto das mudanças climáticas no zoneamento de risco climático da soja.**

Detectadas as potenciais vulnerabilidades do cultivo da soja no Estado do Piauí às mudanças climáticas, que culminaram com a redução nas áreas de baixo risco climático para a cultura, devem-se iniciar a busca por estratégias e tecnologias para a mitigação e adaptação a estes cenários futuros. Nesse sentido, torna-se imprescindível uma modernização das práticas agrícolas, de modo que possa ser feita a adaptação da agricultura de sequeiro da soja às mudanças climáticas. A questão é: que práticas culturais poderiam ser adotadas e quais as características genéticas que deveriam ter as cultivares de soja, para cada cenário de acréscimo de temperatura e de acréscimo/redução da precipitação, de modo a manter-se a mesma área apta (baixo risco climático) ao cultivo da soja no cenário atual?

Das alternativas plausíveis tem-se o melhor manejo da terra para aumentar à concentração de carbono no solo e conseqüentemente a restauração de solos degradados. No sistema de plantio direto, a palhada tem papel importante, atuando como proteção para o solo e plântulas e reciclando nutrientes. Com o aumento da palhada no solo proporciona-se uma melhor proteção para o mesmo, uma melhor reciclagem de nutrientes que serão aproveitados pela cultura. A adição de palhada ao solo também promove uma redução da evaporação da água, permitindo que a mesma esteja disponível às culturas por mais tempo, promovendo dessa forma uma maior disponibilidade de água para suprir a elevada demanda hídrica da cultura, principalmente em solos pouco profundos e com baixa disponibilidade de água, provocada pelo aumento da temperatura.

Dalmago et al. (2010), quantificaram a evaporação da água, em sistema de plantio direto e em preparo convencional, com uso de microlisímetros de pesagem, em experimentos irrigados e não irrigados. Nos experimentos sem irrigação, a evaporação acumulada foi maior sob plantio direto, na maioria dos períodos de medição, por apresentarem maior umidade. Nos experimentos com irrigação, a evaporação não apresentou diferenças regulares. A evaporação da água do solo é maior sob preparo convencional, logo após precipitações pluviais ou irrigações; contudo, na medida em que os dias de secagem se acumulam, ela passa a ficar mais elevada no solo em plantio direto.

Segundo Salton et al. (1998), no sistema de plantio direto (SPD), ocorre elevação da retenção de água nas tensões mais altas, devido à diminuição proporcional de macroporos e ao aumento de poros de diâmetro médio, melhorando sua condição estrutural e sua

porosidade. Esses fatores, aliados às menores perdas por evaporação e aumento na taxa de infiltração de água, possibilitam maior armazenamento de água no SPD do que nos sistemas de manejo com revolvimento do solo.

De acordo com Derpsch et al. (1990), verificaram diferenças entre as variantes de preparo do solo (plantio direto, preparo mínimo e preparo convencional), principalmente, nas camadas de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm. Demonstraram, com isso, que devido a maior proporção de microporos, o plantio direto apresentou capacidade de retenção de água nitidamente superior. Observaram também que, no inverno seco de 1981 no Estado do Paraná, depois de períodos relativamente curtos, já não havia mais água disponível nas profundidades de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm no preparo convencional, como também no preparo mínimo do solo. Enquanto isso, no plantio direto, verificaram maior disponibilidade de água, tendo o solo ficado úmido por muito mais tempo.

Com o aumento da temperatura e a conseqüente elevação das taxas de evapotranspiração da cultura, haverá maiores deficiências hídricas, o que exigirá o uso da irrigação, que deverá ser empregada de modo racional, haja visto que, com a elevação da temperatura, deverá haver uma diminuição nos recursos hídricos disponíveis à agricultura. Entretanto, como o cultivo de soja sob irrigação nos Cerrados do Piauí é extremamente dificultado em face da baixa oferta hídrica superficial e subterrânea, bem como à topografia desfavorável, já que essa região situa-se em de altitude de 500 a 600 m, torna-se inviável a prática da irrigação em termos econômicos. Por isso, uma alternativa mais coerente e plausível, seria o desenvolvimento de pesquisas na área de melhoramento genético, visando à obtenção de variedades mais resistentes ao déficit hídrico, ou seja, com maior eficiência do uso da água.

A soja, por apresentar um sistema fotossintético do tipo C3, sofrerá com o aumento da temperatura. As plantas C3 são bem menos eficientes que as C4 em lidar com a água, isto deve-se, à menor eficiência em captar e armazenar o carbono oriundo do CO<sub>2</sub>, em relação as plantas C4, que possuem uma bomba de armazenamento do ácido de quatro carbonos, o que permite um gerenciamento melhor da abertura estomática, que é um processo fundamental no controle da transpiração foliar. As plantas C3 apresentam uma queda linear em desempenho quando se aumenta a temperatura (BUCKERIDGE, 2007).

Esse é o principal desafio do melhoramento genético da soja para enfrentar os cenários de mudanças climáticas, Ou seja, produzir uma planta de soja capaz de elevar o nível de atividade fotossintética e extração de água no solo pelas raízes, de modo a atender o acréscimo na demanda hídrica em decorrência da evapotranspiração de referencia regional.

Em relação às características genéticas da soja, a planta poderia ter uma profundidade efetiva de raízes maior, aumentando assim a capacidade de explorar mais o perfil do solo em busca de água, ou seja, mesmo em solo tipo 1 (que admite uma extração de 0,6 mm de água por cm de solo), a CAD poderia passar de 20 mm para 30 mm, só com o acréscimo no tamanho das raízes em 10 cm (25% de acréscimo no tamanho das raízes).

## 5. CONCLUSÕES

Baseado nos resultados obtidos, conclui-se que o aumento da temperatura acarretará um aumento nas áreas de alto risco climático para a cultura da soja no Estado do Piauí, principalmente em solos tipo 1, por apresentarem textura arenosa, e conseqüentemente, baixa disponibilidade hídrica.

O impacto na redução de áreas de baixo risco climático para a cultura da soja no Estado do Piauí deu-se em maiores proporções para os cenários onde o aumento da temperatura foi de 3°C, tanto para redução como para o acréscimo na precipitação diária, para todos os tipos de solos estudados, apresentando reduções da ordem de 90%, se mantidas as condições genéticas e fisiológicas da cultura.

Com o acréscimo nos valores de precipitação, as áreas de baixo risco tiveram um leve aumento em seus percentuais, mais não o suficiente para amenizar o impacto causado pelo aumento da temperatura.

As áreas de baixo risco climático para todos os cenários simulados mantiveram-se fixas em relação à sua ocorrência, iniciando-se no Sul do Estado, onde se encontra localizada a região dos cerrados, nos meses de novembro e dezembro, e deslocando-se em direção às regiões Centro e Norte do Estado, a partir do início de janeiro.

Apesar dos resultados obtidos neste estudo indicarem reduções nos percentuais de áreas aptas ao cultivo da soja no Estado do Piauí, em todos os cenários de mudanças climáticas simulados, é importante salientar que esses dados devem ser considerados apenas como um indicativo do que poderá ocorrer, caso os prognósticos estabelecidos pelo IPCC se confirmem.

## REFERÊNCIAS

- 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.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage. Paper 56).
- ALMEIDA, I. R. **O clima como fator de expansão da cultura da soja no Centro-Oeste**. 112p. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, São Paulo. 2005.
- ALVAREZ FILHO, A. Botânica e desenvolvimento. In. SATOS, O. S. (coord.) **A cultura da soja – 1**. Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná. Rio de Janeiro: Globo, 1988. p.27-35.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. **Viabilidade da irrigação, sob risco climático e econômico, nas microrregiões de Teresina e Litoral Piauiense**. 2000. 566p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A. **Precipitação pluviométrica provável em municípios do Cerrado Piauiense**. Teresina: Embrapa - CPAMN, 1997. 22p. (Embrapa - CPAMN. Documentos, 25).
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; BARROS, A. H. C.; SILVA, C. O.; GOMES, A. A. N. Classificação climática e regionalização do semi-árido do Estado do Piauí sob cenários pluviométricos distintos **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, CE, v. 36, n. 2, p. 143-151, 2005.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; SILVA, C. O. **Zoneamento de risco climático para a cultura da soja no Estado do Piauí**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2007 (Documentos, 167).
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; SILVA, C. O.; GOMES, A. A. N.; FIGUEREDO JÚNIOR, L. G. M. **Atlas Climatológico do Estado do Piauí**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2004. 151p. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 101).

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SENTELHAS, P. C.; LIMA, M. G.; COSTA, C. A. R.; LEITE, D. A. S. R. Zoneamento agroclimático para as culturas de milho e soja no Estado do Piauí. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 544-550, 2001.

ANGELOTTI, F.; PETRERE, V. G.; TEIXEIRA, A. H. de C.; SÁ, I. B.; MOURA, M. S. B. de. Cenários de Mudanças Climáticas para o Semiárido brasileiro. Cap. 5. **Semiárido Brasileiro – Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação**. Embrapa. Petrolina, PE. 2010.

ARANTES, N. E.; SOUZA, P. I. de M. de. CULTURA DA SOJA NOS CERRADOS. Piracicaba: **POTÁFOS**, 1993. p. 255-263.

ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, B. A.; SANS, L. M. A.; FARIAS, J. R.; SILVA, S. C. Zoneamento agroclimático para grãos na região do Meio-Norte Brasileiro. In: SIMPÓSIO SOBRE OS CERRADOS DO MEIO-NORTE, 1., 1997, Teresina, PI. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 1997. p. 20-38 (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 27).

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**, Brasília-DF, v.39, n.11, p.1057-1064, 2004.

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**. (2006). Disponível em: < [http://www.cpa.unicamp.br/prod\\_cc/trabalhos-em-anais-de-eventos/m-c168\\_expandido.pdf/download.pdf](http://www.cpa.unicamp.br/prod_cc/trabalhos-em-anais-de-eventos/m-c168_expandido.pdf/download.pdf)>. Acesso: nov. 2010.

BARON, C.; PEREZ, P.; MARAUX, F. **Sarrazon - Bilan hydrique applique au zonage**. Montpellier: CIRAD, 1996. 26p.

BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; SILVA, C. R.; DEL AGUILA, R. M.; CAMPECHE, L. F. M. S.; SOUZA, C. F. **Coefficiente de cultivo da soja no Vale do Gurguéia**, PI. In: XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2007, Aracaju, SE. **Anais...** CD ROM. Aracaju, SE. 2007.

BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; MATZENAUER, R.; FONTANA, D. C.; CUNHA, G. R.; SANTOS, M. L. V.; FARIAS J. R. B.; BARNI, A. N. **Agrometeorologia Aplicada à Irrigação**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade/UFRGS, 1999, 125 p.

BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; WESTPHALEN, S. L. Épocas de semeadura de soja no Rio Grande do Sul: Avaliação e interpretação dos ensaios ecológicos de soja. **Ipagro Informa**, Porto Alegre, n.18, p.7-14, 1977.

BERLATO, M. A. Bioclimatologia da soja. In: MIYASAKA, S.; MEDICINA, J.C. (Eds.) **A soja no Brasil**. Campinas: ITAL, 1981. p.175-184

BERLATO, M. A.; GONÇALVES, H. M. Efeito da temperatura no desenvolvimento da soja *Glycine Max* (L.) Merr. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v.14, n.2, p.235-242, 1978.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C.; GONÇALVES, H. M. Relação entre o rendimento de grãos da soja e variáveis meteorológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, n.5, p. 695-702, 1992.

BERLATO, M. A.; MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H. Evapotranspiração máxima da soja relações com a evapotranspiração calculada pela equação de Penman, evaporação de tanque "classe A" e radiação solar global. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v.22, n.2, p.243-259, 1986.

BIETO, J.A.; TALON, M. **Fisiologia y bioquímica vegetal**. Madrid: Interamericana; McGraw-Hill, 1996. p.537-553. Campina Grande: UFPB, 1994. p.3-101 (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

BUCKERIDGE, M. S. **Comparação entre os sistemas fotossintéticos C3 e C4**. 2007. Disponível em: < <http://felix.ib.usp.br/pessoal/marcos/minhawe3/PDFs/Pratica%20fotossintese.pdf>>. Acesso: jan. 2011.

CAMPOS, J. H. B. da C.; SILVA, M. T.; SILVA, V. de P. R. Impacto do aquecimento global no cultivo do feijão-caupi, no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB. v.14, n.4, p.396-404, 2010.

CASTIGLIONI, V. B. R. et. al. **Tecnologias de produção de soja na região central do Brasil-2006**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. 220p

CCIAM – Climate Change impacts adaptation and mitigation research group. **Agricultura – Impactos e medidas de adaptação SIAM I**. Disponível em: <[http://www.siam.fc.ul.pt/ag\\_S1.PDF](http://www.siam.fc.ul.pt/ag_S1.PDF)>. Acesso: nov. 2010.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – Brasília, 2009. **Acompanhamento da safra 2008/09**. Disponível em: <[www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br)>. Acesso: set. 2009.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento Acompanhamento de safra brasileira: **grãos, primeiro levantamento, novembro 2010**. Brasília 2010. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/10\\_11\\_10\\_11\\_28\\_48\\_boletim\\_portugues\\_-\\_nov\\_de\\_2010..pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/10_11_10_11_28_48_boletim_portugues_-_nov_de_2010..pdf)>. Acesso: dez. 2010.

CORTIZO, S. **Mudanças Climáticas e Energia – Cenários de emissões**. 2008. Disponível em: <<http://www.sergio.cortizo.nom.br/cenarios.html>>. Acesso: set. 2010.

DALMAGO, G. A.; BERGAMASCHI, H.; KRUGER, C. A. M. B.; BERGONCI, J. I.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Evaporação da água na superfície do solo em sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.45, n.8, p.780-790, ago. 2010.

DENARDO, A. S. **Piauí – Estado do Nordeste Brasileiro**. 2010. Disponível em: <<http://www.emdiv.com.br/pt/brasil/obrasil/3086--piaui-estado-do-nordeste-brasileiro.html>> Acesso: nov. 2010.

DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KOPKE, U. Controle da erosão no Paraná, Brasil: **Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn: GTZ/Londrina. IAPAR, 1990.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

EAGLEMAN, A. M. **An experimentally derived model for actual evapotranspiration**. *Agricultural Meteorology*, v.8, n.4/5, p.385-409, 1971.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de produção de soja região central do Brasil 2004**. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/index.htm>>. Acesso: mai. 2009.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de produção de soja região central do Brasil 2011**. Londrina, PR: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2010. 255p.

EMBRAPA/UNICAMP. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária/Universidade de Campinas, 84p. 2008.

FAGAN, E. B. **A cultura de soja: modelo de crescimento e aplicação da estrobilurina piraclostrobina**. 2007. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, ESALQ/USP. Piracicaba, 2007.

FARIAS, A. D. Baixos rendimentos no Rio Grande do Sul. **Anuário Brasileiro da Soja**, Santa Cruz do Sul-R.S., p. 22, 2000.

FARIAS J. R. B.; ASSAD, E. D.; ALMEIDA, I. R.; EVANGELISTA, B. A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 415-421, 2001.

FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. **Ecofisiologia da soja. Exigências Climáticas**. Disponível em: < <http://bioinfo.cnpso.embrapa.br/seca/index.php/ecofisiologia/exigencias-climaticas>>. Acesso: jan. 2011.

FARIAS, J. R. B., NEUMAIER, N., NEPOMUCENO, A. L. **Impactos da seca na produção de soja**. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 10., 1992, Chapecó. Ata e Resumos... Chapecó: EPAGRI, 1993. p.169.

FEHR, W.R.; CAVINES, C.E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State, 1977.

GOMES, A. A. N.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; MEDEIROS, R. M. Evapotranspiração de referência mensal para o Estado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 560-564, 2005.

FROTA, A. B.; CAMPELO, G. J de A. **Evolução e perspectivas da produção de soja na região Meio-Norte do Brasil**. Recursos Genéticos e Melhoramento de plantas para o Nordeste Brasileiro. Teresina – PI, 1998. Disponível em: <<http://www.cpatsa.embrapa.br/catalogo/livroorg/sojaproducao.pdf>>. Acesso: nov. 2010.

GILIOLI, J. L.; TERASAWA, F.; WILLEMANN, W.; ARTIAGA, O. P.; MOURA, E. A. V.; PEREIRA, W. V. **Soja: Série 100**. FT Sementes, Cristalina, Goiás. 1995. 18 p.

GOUVÊA, J. R. F.; SETELHAS, P. C.; GAZZOLA, S. T.; SANTOS, M. C. Climate Changes and technological advances: Impacts on sugarcane productivity in tropical Southern Brazil. **Revista Scientia Agrícola**, Piracicaba-SP, v.66, n.5, p.593-605, 2009.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção de grãos nos cerrados do estado do Piauí. Série histórica**. Teresina - PI, novembro 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Rio de Janeiro, v. 21 n. 4, 80p, abr. 2009.

IGREJA, A. C. M., PACKER, M. F. & ROCHA, M. B. **A evolução da soja no Estado de Goiás e seu impacto na composição agrícola**. São Paulo: IEA, 1988.

IPCC - Mudança do Clima 2007: a Base das Ciências Físicas. **Sumário para os Formuladores de Políticas. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima**. 10<sup>a</sup> sessão do GT I do IPCC, Paris, fev. de 2007.

KROL, M. S.; JAEGER, A.; BRONSTERT, A. **Integrated modelling of climate change impacts in Northeastern Brazil**. Springer, 2003.

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.

LIMA, M. G.; RIBEIRO, V. Q. Equações de estimativa da temperatura do ar para estado do Piauí, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, n.2, p.221-227, 1998.

MACHADO, M. A. M.; MARENGO, A. J. **Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos Sobre a Agricultura Brasileira**. NewsLetter do projeto GOF-UK-CPTEC. Ano 1, p.4-6. 2006.

MACIEL, F. M.; AZEVEDO, P. V. ANDRADE JUNIOR, A. S. de. Impacto do aquecimento global no zoneamento de risco climático da soja no estado do Tocantins. **Engenharia Ambiental** - Espírito Santo do Pinhal , v. 6, n. 3, p. 141-154, set /dez 2009.

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: HAMADA, E.; GHINI, R. & GONÇALVES, R. R. do V., **Efeito da mudança climática sobre problemas fitossanitários de plantas: Metodologia de elaboração de mapas**. **Engenharia Ambiental** - Espírito Santo do Pinhal, v. 3, n. 2, p. 073-085, 2006.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2006. 202 p. (Série Biodiversidade, v.26).

MARENGO, J. A. **Possíveis impactos da mudança de clima no Nordeste**. 2009. Disponível em: <<http://www.algosobre.com.br/atualidades/possiveis-impactos-da-mudanca-de-clima-no-nordeste.html>>. Acesso: dez. 2010

MARGULIS, S. **Causas do desmatamento na Amazônia Brasileira**, Banco Mundial, 80 p, 2003.

MARTINS, M. C.; CÂMARA, G. M. S; PEIXOTO, C. P.; MARCHIORI, L. F. S.; LEONARDO, V. MATTIAZZI, P. Épocas de semeadura, densidades de plantas e desempenho vegetativo de cultivares de soja. **Scientia agricola**. Piracicaba, v. 56, n. 4, 1999.

MEDEIROS, G. A.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E. Relações entre o coeficiente de cultura e cobertura vegetal do feijoeiro: erros envolvidos e análises para diferentes intervalos de tempo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.26, n.4, p.513-519, 2004

MEDEIROS, R. M. **Isoietas médias mensais e anuais do Estado do Piauí**. Teresina: Secretaria de Agricultura, Abastecimento e Irrigação - Departamento de Hidrometeorologia, 1996. 24p.

MELLO, J. L. P.; SILVA, L. D. B. da. **Irrigação**. Apostila (2007) UFRRJ – Instituto de Tecnologia. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20157/it157-Manejo2000.pdf>>. Acesso: dez. 2010.

MORAES, O. C. C. **Ameaça na floresta submersa**. Scientific American, n.24, 2004. Disponível em: <[www2.uol.com.br/sciam/conteudo/materia/materia\\_44.html](http://www2.uol.com.br/sciam/conteudo/materia/materia_44.html)>. Acesso: dez. 2010.

MUELLER, C. C.; BUSTAMANTE, M. **Análise da expansão da soja no Brasil**. s/l, abr. 2002. Disponível em: <[www.worldbank.org/rfpp/news/debates/mueller.pdf](http://www.worldbank.org/rfpp/news/debates/mueller.pdf)>. Acesso: set. 2010.

NOBRE, C. A. Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do país. **Revistas Parecerias Estratégicas**, nº 12, Ministério da Ciência e Tecnologia. 20p. 2001.

NOBRE, C. A.; ASSAD, E. D. **O Aquecimento Global e o Impacto na Amazônia e na Agricultura Brasileira**. INPE ePrint: sid.inpe.br/ePrint@80/2005/09.12.12.51 v1 2005.

OLIVEIRA, E. de. **Comportamento de genótipos de soja quanto a doenças de final de ciclo e qualidade de sementes em diferentes ambientes no Estado de Goiás**. 2003. (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Goiás. Goiânia, Goiás. 177p

PAIVA, C. **Determinação das datas de início e fim da estação chuvosa e da ocorrência de veranico, na Bacia do Rio Doce.** Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa-UFV, Viçosa - MG, 69 p. 1997.

PALUDZYSZYN FILHO, F.; KIIHL, R. A. S.; ALMEIDA, L. A. Desenvolvimento de cultivares de soja na região Norte e Nordeste do Brasil. In: CULTURA DA SOJA NOS CERRADOS. Piracicaba: **POTÁFOS**, 1993. p. 255-263.

PASCALE, A. J. Tipos agroclimáticos para El cultivo de la soja em la Argentina. **Revista de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires**, Buenos Aires, v.17, n.3, p.31-48, 1969.

PEREIRA, A. R. Simplificando o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 2, p. 311-313, 2005.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia (Fundamentos e Aplicações Práticas)**. Guaíba: Agropecuária, 478p. 2002.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; ZULLO JÚNIOR, J.; BRUNINI, O.; EVANGELISTA, B. A. **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. Fortaleza-CE, p. 605-606, 2001.

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; ZULLO JÚNIOR, J. & ÁVILA, A. M. H. **Variabilidade Climática.** Água, Agricultura e Meio Ambiente no Estado de São Paulo: Avanços e Desafios.13p. 2004.

PINTO, H. S.; ZULLO JÚNIOR, J.; ZULLO, S. A. **Oscilações Pluviométricas Temporais no Estado de São Paulo.** Anais do VI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Maceió-AL, p. 29-33. 1989.

RODRIGUES NETO, F. R. **Orientação de culturas aptas às condições de estado do Piauí, segundo as distribuições espacial e temporal.** 1991. 49p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.

SALTON, J. C. **Sistema Plantio Direto.** O produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília: Embrapa-SPI; Dourados; Embrapa-CPAO, 1998. 248p

SCHLESINGER, S. **O grão que cresceu demais – A soja e seus impactos sobre a sociedade e o meio ambiente.** FASE, 2006. 51p.

SCHLESINGER, S.; LASCHEFSKI, K.; ASSIS, W. F. T.; RODRIGUES, D.; ORTIZ, L. **Impactos cumulativos e tendências territoriais da expansão das monoculturas para a produção de bioenergia.** Disponível em: <<http://www.fboms.org.br/files/agronegocioagroenergia.pdf>>. Acesso: nov. 2010.

SCHLESINGER, S.; NORONHA, S. **O Brasil está nu! O avanço da monocultura de soja, o grão que cresceu demais.** FASE, 2006. 148 pp.

SCHNEIDER, F. M.; SACCOL, A. V.; HELDWEIN, A. B.; BURIOL, G. A. O Clima. In: SANTOS, O. S. (coord.) **A cultura da soja – 1.** Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná. Rio de Janeiro: Globo, 1988. P. 39-58.

SEDIYAMA, G. C. Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 1-12, 1996.

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.

SILVA, A. A. G.; BARROS, A. H. C.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; AMARAL, J. A. B.; TANAJURA, R. P.; ASSAD, E. D.; MEDEIROS, F. C. **Zoneamento de risco climático para o milho no Estado de Sergipe** In: XIII (CBAGRO) CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. Fortaleza-Ce, 2004, CD-ROM.

SILVA, A. A. G. da, MACÊDO, A. P. B. A., MATTOS, A. Análise da precipitação e evapotranspiração visando o planejamento do cultivo do milho no Estado de Sergipe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25., 1996, Bauru, SP. **Anais...** CD ROM. Bauru, SP: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1996.

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

SILVA, S. C.; ASSAD, E. D.; LOBATO, E. J. V. **Zoneamento agroclimático para o arroz de sequeiro no Estado de Goiás.** Brasília: Embrapa-SPI, 1995. 80p. (Embrapa-CNPAF. Documentos, 43).

SILVA, S. C.; BRITES, R. S.; ASSAD, E. D. Identificação de risco climático para a cultura de arroz de sequeiro no Estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 7, p. 1005-1011, 1998.

SIQUEIRA, O. J. F.; 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.

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, 2001.

SOUSA, S. A. V. **Programa computacional para simulação da ocorrência de veranicos e queda de produção.** 1999. 124 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

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

TEIXEIRA, A. H. de C.; AZEVEDO, P. V. de. Zoneamento agroclimático para a videira européia no estado de Pernambuco, Brasil. In: ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; SENTELHAS, P. C.; LIMA, M. G. de; AGUIAR, M. de J. N.; LEITE, D. A. S. R. 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.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance.** New Jersey: Centeron, 1955. (Publications in Climatology, v.8, n.1). University, 1977, 21p. (Special Report 80).

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia.** Versão digital 2. Recife-PE, março de 2006. Disponível em: <[http://www.agritempo.gov.br/publish/publicacoes/livros/METEOROLOGIA\\_E\\_CLIMATOLOGIA\\_VD2\\_Mar\\_2006.pdf](http://www.agritempo.gov.br/publish/publicacoes/livros/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf)>. Acesso: nov. 2010.

ZULLO JÚNIOR, J.; PINTO, H. S.; BRUNINI, O.; ASSAD, E. D. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do trigo (*triticum aestivum* L.) de sequeiro no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11, 1999, Florianópolis, SC. **Anais.** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia: UFSC, 1999. CD – ROM.

**ANEXO 1** – Postos pluviométricos utilizados no estudo, com suas respectivas coordenadas geográficas e anos de dados.

Posto	UF	Lat (S)	Long (O)	Alt	Anos de dados	
					Início	Fim
Tamboril	PI	7°19'00"	42°47'00"	230	1968	1983
Açude Caldeirão	PI	4°20'00"	41°44'00"	170	1967	1987
Alivio	PI	5°27'00"	41°06'00"	730	1967	1983
Curral Novo	PI	9°01'00"	41°58'00"	350	1967	1983
Alto Alegre	PI	4°01'00"	41°27'00"	80	1967	1983
Alto Bonito	PI	7°41'00"	44°36'00"	220	1967	1983
Altos	PI	5°02'00"	42°28'00"	160	1967	2006
Alto Parnaíba	MA	9°08'00"	45°56'00"	220	1968	1987
Alvorada do Gurguéia	PI	8°25'00"	43°46'00"	281	1992	2006
Amarante	PI	6°15'00"	42°51'00"	72	1966	2006
Anísio de Abreu	PI	9°09'00"	42°59'00"	460	1967	2001
Arizona	PE	8°40'00"	40°58'00"	500	1968	1983
Aroases	PI	6°07'00"	41°47'00"	400	1965	2001
Assunção	PI	5°52'00"	41°03'00"	480	1965	1982
Avelino Lopes	PI	10°08'00"	43°57'00"	400	1992	2006
São Felix de Balsas	MA	7°03'00"	44°59'00"	180	1980	1995
Barreiras do Piauí	PI	9°57'00"	45°29'00"	500	1963	1999
Barra do Prata	PI	8°03'00"	44°28'00"	270	1966	1983
Barra do Lance	PI	7°14'00"	43°38'00"	150	1984	1997
Barras	PI	4°15'00"	42°18'00"	75	1966	2001
Barroquinha	CE	2°59'00"	41°05'00"	5	1968	1983
Batalha	PI	4°02'00"	42°05'00"	80	1972	2006
Beneditinos (São Benedito)	PI	5°27'00"	42°22'00"	80	1966	2006
Boa Esperança	PI	8°31'00"	42°27'00"	250	1965	1983
Bocaína	PI	6°54'00"	41°19'00"	250	1967	2004
Bom Jardim	PI	9°21'00"	42°25'00"	600	1966	1983
Bom Jesus do Itaueira	PI	7°05'00"	43°01'00"	95	1967	1983
Bom Jesus	PI	9°40'00"	44°21'00"	220	1992	2006
Fazenda Bom Jardim (CODEVASF)	BA	11°01'00"	45°32'00"		1978	1994
Bom Princípio	PI	3°15'00"	41°38'00"	50	1967	2006
Boqueirão (CODEVASF)	BA	11°20'00"	43°51'00"		1980	1994
Fazenda Boa Vista dos Carioca	PI	3°39'00"	42°08'00"	90	1967	1983
Brejo	PI	9°24'00"	45°14'00"	550	1967	1983
Buriti dos Lopes	PI	3°11'00"	41°52'00"	23	1966	2006
Cambui	MA	9°10'00"	46°12'00"	370	1968	1983
Campo Santo	PE	8°19'00"	40°34'00"	490	1969	1983
Canto do Buriti	PI	8°07'00"	42°57'00"	280	1967	2006
Conceição do Canindé	PI	7°54'00"	41°34'00"	249	1969	2003
Cantinho	PI	5°51'00"	42°29'00"	150	1968	1983
Capitão de Campos	PI	4°28'00"	41°57'00"	120	1967	2006
Carnaubal	CE	4°10'00"	40°58'00"	700	1965	1982
Cachoeira do Roberto	PE	8°38'00"	41°09'00"	630	1969	1983

Cascavel	PI	7°29'00"	44°08'00"	350	1967	1982
Cavalheiro	PI	9°06'00"	42°23'00"	380	1969	1983
Caxingo	PI	10°31'00"	45°13'00"	500	1967	1983
Cocal	PI	3°29'00"	41°34'00"	220	1967	2006
Cícero Coelho	PI	8°08'00"	44°25'00"	310	1966	1983
Conceição	PI	6°34'00"	42°52'00"	80	1969	1983
Saco dos Reis	PI	7°14'00"	42°11'00"	230	1966	1983
Corrente	PI	10°27'00"	45°09'00"	434	1966	2006
Cristalândia do Piauí	PI	10°35'00"	45°17'00"	600	1968	2001
Cristino Castro	PI	8°49'00"	44°13'00"	220	1979	2006
Sítio Croata	PI	7°15'00"	42°20'00"	200	1968	1982
Currálinho	PI	6°38'00"	41°17'00"	420	1968	1983
Demerval Lobão	PI	5°22'00"	42°42'00"	102	1967	2001
Doutor Sampaio	PI	6°52'00"	42°52'00"	150	1969	1983
Eliseu Martins	PI	8°12'00"	43°23'00"	210	1992	2006
Esperantina (Boa Esperança)	PI	3°54'00"	42°14'00"	50	1977	2006
Fazenda Barreiros	PI	9°59'00"	44°37'00"	310	1966	1983
Fazenda Bela Vista	PI	9°42'00"	45°23'00"	520	1966	1983
Francisco Aires	PI	6°38'00"	42°41'00"	80	1966	2006
Fazenda Alegria	PI	4°41'00"	42°17'00"	190	1970	1996
Fazenda Madeira Cortada	CE	4°29'00"	41°10'00"	600	1968	1983
Fazenda Poço da Pedra	PE	8°32'00"	40°39'00"	470	1967	1983
Fazenda Riacho Frio	PI	10°05'00"	44°59'00"	480	1965	1983
Fartura	PI	9°22'00"	42°47'00"	520	1967	2001
Serra do Faustino	PI	8°22'00"	42°36'00"	300	1968	1983
Fauveira	PI	8°01'00"	43°58'00"	260	1964	1983
Fazenda Barra	PI	10°03'00"	45°04'00"	490	1963	1983
Fazenda Bravo	PI	7°08'00"	40°54'00"	490	1965	1983
Fazenda Boa Esperança	PI	5°17'00"	41°44'00"	195	1977	1997
Fazenda Prevenido	PI	3°34'00"	41°44'00"	120	1968	1983
Talhada-Fazenda	PI	6°53'00"	42°07'00"	160	1982	1997
Fazenda Ventura	BA	10°50'00"	42°55'00"	380	1980	1994
Fazenda Bugiu	PI	8°12'00"	41°58'00"	250	1965	1983
Boqueirão dos Felipes	PI	9°45'00"	45°40'00"	580	1964	1983
Flores do Piauí	PI	7°49'00"	42°56'00"	270	1963	2006
Formosa	PI	7°34'00"	42°10'00"	230	1967	1983
Jose de Freitas	PI	4°45'00"	42°35'00"	130	1967	2001
Fronteiras (Socorro)	PI	7°05'00"	40°37'00"	418	1968	2004
Fazenda Campo Alegre	PI	8°27'00"	44°04'00"	270	1966	1982
Fazenda São Domingos	PI	3°39'00"	41°55'00"	40	1966	1981
Gado Bravo	PI	6°56'00"	43°50'00"	180	1968	1983
Gilbues	PI	9°49'00"	45°21'00"	500	1992	2006
Barra do Gurguéia	PI	6°55'00"	43°22'00"	210	1965	1981
Inhuma	PI	6°40'00"	41°05'00"	300	1969	2001
Fazenda Ipiranga	PI	5°01'00"	42°05'00"	140	1965	2001
Ipiranga do Piauí	PI	6°49'00"	41°44'00"	490	1969	1983

Itainópolis	PI	7°24'00"	41°31'00"	210	1979	2004
Itaueira	PI	7°36'00"	43°02'00"	230	1968	2006
Piripirizinho	PI	7°25'00"	43°11'00"	230	1965	1983
Jaicos	PI	7°22'00"	41°08'00"	255	1968	2004
Japecanga	PI	8°44'00"	43°56'00"	240	1963	1982
Jenipapeiro	PI	10°39'00"	45°11'00"	510	1966	1983
Jerumenha	PI	7°05'00"	43°30'00"	120	1992	2006
São João da Serra	PI	5°30'00"	41°55'00"	180	1969	1983
Juscelino Kubistchek	PI	8°49'00"	42°30'00"	324	1968	1983
Lagoa do Sitio	PI	6°31'00"	41°34'00"	480	1963	2001
Paes Landim	PI	7°44'00"	42°15'00"	180	1969	1999
Landri Sales	PI	7°16'00"	43°56'00"	240	1969	2006
Dico Leopoldino	PI	5°51'00"	41°23'00"	290	1967	1983
Loreto	MA	7°05'00"	45°08'00"	170	1968	1987
Luiz Correia	PI	2°53'00"	41°40'00"	10	1965	2006
Fazenda Lustosa	PI	4°20'00"	42°33'00"	90	1969	1983
Luzilândia (Porto Alegre)	PI	3°28'00"	42°22'00"	20	1968	1994
Fazenda Macambira	BA	11°35'00"	44°10'00"	430	1980	2000
Mangabeira	PI	8°32'00"	44°01'00"	180	1965	1983
Manoel Emidio	PI	7°59'00"	43°51'00"	200	1992	2006
Castelo do Piauí (Marvão)	PI	5°20'00"	41°34'00"	250	1966	1983
Mato Grande	PI	4°04'00"	42°32'00"	130	1965	1983
Miguel Alves	PI	4°10'00"	42°54'00"	34	1971	1997
Monsenhor Gil	PI	5°35'00"	42°37'00"	120	1968	2001
Morais	PE	7°39'00"	40°24'00"	570	1967	1982
Moreira	PI	8°37'00"	42°08'00"	250	1968	1983
Marcos Parente	PI	7°09'00"	43°54'00"	160	1992	2006
Nascente (Olho d'água)	PE	7°50'00"	40°27'00"	600	1969	1983
Nazaré do Piauí	PI	6°58'00"	42°40'00"	180	1965	2006
São Raimundo Nonato	PI	9°01'00"	42°41'00"	386	1963	2001
Oeiras	PI	7°01'00"	42°08'00"	170	1966	2006
Oitis	PI	6°22'00"	41°37'00"	270	1965	1983
Olho d'água Grande	PI	4°15'00"	41°17'00"	330	1969	2001
Matias Olímpio	PI	3°43'00"	42°33'00"	50	1967	1983
Bertolinia (Aparecida)	PI	7°38'00"	43°57'00"	320	1966	2000
Conceição	PI	8°46'00"	44°24'00"	390	1969	1983
Palmeirais	PI	5°58'00"	43°04'00"	85	1980	1997
Patos	PI	7°40'00"	41°15'00"	260	1967	2003
Pio IX (Patrocínio)	PI	6°50'00"	40°37'00"	550	1968	1983
Pavucu	PI	7°56'00"	43°13'00"	270	1967	1982
Pedro II	PI	4°25'00"	41°28'00"	580	1964	2006
Picos	PI	7°04'00"	41°29'00"	208	1970	2004
Piracuruca	PI	3°56'00"	41°43'00"	70	1967	2006
Piripiri	PI	4°17'00"	41°47'00"	160	1969	2006
Parnagua	PI	10°13'00"	44°38'00"	316	1967	2006
Poranga	CE	4°44'00"	40°56'00"	700	1968	1983

Porto	PI	3°54'00"	42°43'00"	32	1967	2001
Prata do Piauí	PI	5°40'00"	42°13'00"	80	1980	1997
Puca	PI	8°03'00"	43°39'00"	280	1966	1983
Puca	PI	8°24'00"	44°24'00"	390	1967	1983
Redenção Gurguéia	PI	9°30'00"	44°36'00"	365	1992	2006
Regalo	PI	9°47'00"	45°02'00"	520	1967	1982
Retiro	PI	4°40'00"	41°28'00"	530	1969	1983
Riacho da Mata	CE	4°56'00"	40°45'00"	290	1969	1983
Ribeiro Gonçalves	MA	7°32'00"	45°14'00"	150	1980	1997
Riacho do Mendes	PI	7°38'00"	43°40'00"	170	1969	1983
Formosa do Rio Preto (CODEVASF)	BA	11°03'00"	45°11'00"		1980	1994
Fazenda Riacho das Vacas	PI	8°56'00"	42°18'00"	270	1963	1983
São Francisco do Piauí	PI	7°15'00"	42°33'00"	150	1968	2005
Salinas	PI	8°06'00"	42°34'00"	170	1966	1983
Simbaíba	MA	7°08'00"	45°22'00"		1979	1995
Santa Cruz dos Milagres	PI	5°49'00"	41°58'00"	80	1969	2001
Sangue	PI	7°34'00"	44°43'00"	170	1967	1983
Santa Cruz do Piauí	PI	7°09'00"	41°48'00"	170	1980	2006
Santa Luz	PI	8°55'00"	44°03'00"	340	1992	2006
São Francisco do Piauí	PI	7°15'00"	42°33'00"		1983	2005
São Lourenço	PI	9°11'00"	42°33'00"	480	1969	2001
São Pedro	PI	6°27'00"	41°20'00"	260	1968	2001
São Vicente	PI	5°43'00"	41°42'00"	220	1967	1983
São Pedro do Piauí	PI	5°56'00"	42°44'00"	190	1969	1983
São Francisco	PI	8°24'00"	41°49'00"	370	1967	1983
Sete Lagoas	PI	8°27'00"	41°42'00"	380	1965	1982
Alto Sereno	PI	6°59'00"	42°25'00"	160	1965	1983
Serra Vermelha	PI	7°51'00"	44°10'00"	360	1969	1983
Sítio Estação	PI	8°47'00"	42°44'00"	510	1967	1983
Socorro do Piauí	PI	7°48'00"	42°30'00"	180	1964	2001
São Jose do Peixe	PI	7°29'00"	42°34'00"	160	1967	2006
São Miguel do Tapuio	PI	5°30'00"	41°20'00"	440	1967	2006
Tasso Fragoso (Brejo da Porta)	MA	8°28'00"	45°46'00"	191	1974	1998
Teresina	PI	5°05'00"	42°49'00"	72	1976	2001
Tinguis	PI	3°44'00"	41°59'00"	50	1984	1997
Fazenda Tocaia	PI	4°35'00"	42°18'00"	120	1967	1983
Tucuns	PI	7°07'00"	44°20'00"	130	1967	1983
União	PI	4°35'00"	42°52'00"	50	1966	2001
Valença do Piauí (Berlengas)	PI	6°24'00"	41°45'00"	295	1967	2001
Varzea Grande	PI	6°34'00"	42°13'00"	270	1968	2001
Veados	PI	6°49'00"	43°30'00"	85	1966	1982
Fazenda Veneza	PI	5°35'00"	43°02'00"	70	1979	1997
Vereda da Gloria	PI	9°45'00"	44°52'00"	290	1966	1983
Serra Vermelha	PI	7°56'00"	40°53'00"	280	1965	1983
Fazenda Vitoria de Baixo	PI	3°42'00"	41°59'00"	60	1969	1983