

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

RUBENS SONSOL GONDIM

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS E IMPACTOS NA DEMANDA DE
ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO NA BACIA DO JAGUARIBE**

FORTALEZA - CE

2009

RUBENS SONSOL GONDIM

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E IMPACTOS NA DEMANDA DE ÁGUA PARA IR-
RIGAÇÃO NA BACIA DO JAGUARIBE

Tese submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil.

Área de concentração:

Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dr.

Marco Aurélio Holanda de Castro

Co-orientadora: Pesquisadora Dra.

Aline de Holanda Nunes Maia

FORTALEZA - CE

2009

Ficha catalográfica:

G635m	<p>GONDIM, Rubens Sonsol Mudanças climáticas e impactos na demanda de água para irrigação na bacia do Jaguaribe / Rubens Sonsol Gondim 2009. 209 f.; il. color. enc.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Holanda de Castro Área de Concentração: Recursos Hídricos Tese (Doutorado) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.</p> <p>1. Recursos Hídricos. 2. Irrigação. 3. Mudanças climáticas. I. Castro, Marco Aurélio Holanda de (Orient.). II. Universidade Federal do Ceará – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título</p> <p style="text-align: right;">CDD 627</p>
-------	---

RUBENS SONSOL GONDIM

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS E IMPACTOS NA DEMANDA DE
ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO NA BACIA DO JAGUARIBE**

Trabalho de Tese submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil/ Área de Concentração em Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para Doutorado.

Aprovada em: 04/12/2009.

BANCA EXAMINADORA

Prof. PhD Marco Aurélio Holanda de Castro, (Orientador)
Universidade Federal do Ceará

Pesquisadora Doutora Aline de Holanda Nunes Maia
Embrapa Meio Ambiente

Pesquisador Doutor Sílvio Roberto Medeiros Evangelista
Embrapa Informática Agropecuária

Prof. PhD Adunias dos Santos Teixeira
Universidade Federal do Ceará

Pesquisador PhD Fábio Rodrigues de Miranda
Embrapa Agroindústria Tropical

Dedicatória:

*Aos meus pais Augusto Glauco Falcão Gondim
e Sara Sonsol Gondim, pelo preparo que
deles recebi para chegar a esta conquista.*

*A minha esposa Regina Célia Mesquita Gondim,
pelo incentivo a mim dedicado para alcan-
ce deste objetivo.*

*Aos meus filhos Laís e Levi Mesquita Gondim
por quem lutamos para transmitir valores
e realizações.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, causa primeira de tudo que há no Universo.

Ao orientador Prof. Marco Aurélio Holanda de Castro, pela orientação, objetividade e companheirismo.

Ao Prof. Adunias dos Santos Teixeira, pelo incentivo e amizade.

Aos demais professores e funcionários que fazem o Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC, pelo profissionalismo e dedicação.

À **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA**, pela concessão da bolsa e financiamento da pesquisa, através do projeto “**Cenários sobre uso atual e futuro de recursos hídricos para agricultura nas bacias dos rios São Francisco e Jaguaribe**”, bem como por todo apoio sempre recebido de todos que fazem aquela Instituição, em especial aos colegas Fábio Rodrigues de Miranda e Sérgio César de França Fuck Júnior da Embrapa Agroindústria Tropical, Aline de Holanda Nunes Maia da Embrapa Meio Ambiente, Sílvio Roberto de Medeiros Evangelista da Embrapa Informática Agropecuária e Luis Henrique Bassoi da Embrapa Semi-árido.

À Companhia Estadual de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH pelo pronto fornecimento de dados que possibilitaram a pesquisa.

À colega de turma e jovem amiga Érika Justa da Rocha pelo louvável desprendimento em compartilhar seus conhecimentos de métodos numéricos.

Aos colegas e novos amigos Érika Justa, Julien Burte, Bruno Durand, Felipe Araújo, Raul Fritz, Inês Teixeira e Pedro Henrique Medeiros, pela saudável convivência e estímulo ao aprimoramento e estudo.

Ao CIRAD – GEAU - *Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement - Gestion de l'eau* por ter proporcionado minha participação nas *Escolas de Verão* de 2006 e 2007 em Montpellier, França (Jean Yves Jamin, Raphaela Ducrôt, Florent Maraux e Jean Claude Maihol do UMR CEMAGREF).

Ao Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE pela possibilidade de participar do curso *Modelado Numérico de Escenários de Cambios Climáticos* (Dra. Chou Sin Chan).

Algum dia, em qualquer lugar,
Alguém realizou uma atividade.
Há um passado que promove o presente, e, nele,
Alguma vida se esforçou,
Criando benefícios que hoje se desfruta.

Marco Prisco/Divaldo Franco

RESUMO

As mudanças climáticas têm potencial de alterar os processos do ciclo hidrológico, tais como precipitação que afeta o escoamento superficial, temperatura e umidade relativa que por sua vez, possuem estreita relação com evaporação e vazão em corpos hídricos e evapotranspiração das plantas. Também podem afetar a disponibilidade e a demanda de água para a agricultura irrigada, a qual depende da evaporação e precipitação. O objetivo deste trabalho foi avaliar os impactos das mudanças climáticas na demanda de água para irrigação, na Bacia do Jaguaribe, no Estado do Ceará. Foi empregado o sistema integrado de modelagem regional PRECIS (*Providing Regional Climates for Impact Studies*), submetido ao método de redução de escala dinâmica, utilizando-se o modelo climático regional HadRM3P com as condições de contorno do modelo global HadAM3P, do *Hadley Centre*. Foi utilizado um conjunto de climatologia de base do modelo de 1961 a 1990 e de projeções climáticas futuras. As coordenadas geográficas da região em estudo foram consideradas para interpolação num sistema de informação geográfica. A evapotranspiração de referência foi estimada pelo método simplificado de Penman-Monteith FAO, utilizando-se dados mínimos. As mudanças climáticas projetadas foram mapeadas e indicaram aumentos na demanda de água para irrigação, porque a evapotranspiração foi estimada em aumentar de 11,1 a 12,1% e a precipitação pluvial foi estimada em reduzir entre 30,9 a 37,3%. O aumento da necessidade hídrica bruta média foi estimado em 30,2% e 31,4%, respectivamente para o ano de 2040, conforme o cenário analisado (A2 e B2). Apesar das mudanças climáticas impactarem no aumento de demanda de água para irrigação, a análise de sensibilidade indica que a mesma é mais sensível à eficiência de aplicação final de irrigação que aos efeitos das mudanças climáticas, revelando-se como uma importante medida adaptativa a ser considerada.

Palavras-chave: mudanças climáticas, irrigação, recursos hídricos.

ABSTRACT

Climate change has a potential to impact hydrological cycle processes, such as rainfall that affects run-off, temperature and air humidity, which are related to evaporation, river flow and plant evapotranspiration. They may also affect water availability and crop water requirement. The purpose of this research was to assess climate change impacts on irrigation water demand, on Jaguaribe river basin, Ceará, future scenarios derived from the PRECIS (*Providing Regional Climates for Impacts Studies*), using boundary conditions of the HadAM3P global circulation model submitted to a dynamic downscaling nested to the Hadley Centre regional circulation model HadRM3P. Monthly time series for average temperature and rainfall were generated for 1961-90 (baseline) and for the future (2040). The reference evapotranspiration was estimated using Penman-Monteith FAO methodology, using limited climate data. Projected climate change impacts were mapped and show an increase on irrigation water demand as a result of evapotranspiration (increase from 11.1 to 12.6%) and rainfall trend (decrease from 30.9 to 37.3%). Impacts were mapped over the target region by using geostatistics methods. An increase of the average irrigation water needs was estimated to be 30.2% and 31.4% higher for 2040 A2 and B2 scenarios, respectively. Even though it has been shown that climate change has impacted the irrigation water demand increase, sensitivity analysis has indicated that water demand is more sensible to final irrigation efficiency, revealing itself as an important adaptation measure to be considered.

Keywords: climate change, irrigation, water resources.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Esquema do modelo conceitual da dinâmica do clima na demanda de água para agricultura.....	03
Figura 2. Esquema do modelo conceitual da dinâmica das mudanças climáticas na bacia.....	04
Figura 3. Estrutura conceitual de um modelo de circulação global oceânico-atmosférico acoplado.....	08
Figura 4. Malha de quadrículas tridimensionais sobre o globo.....	09
Figura 5. Ciclo anual da precipitação (mm dia ⁻¹) observado e simulado pelo modelo para o norte do Nordeste.....	25
Figura 6. Ciclo anual da temperatura (°C) observado e simulado pelo modelo para o norte do Nordeste.....	26
Figura 7. Parte do médio e baixo Jaguaribe objeto do estudo.....	47
Figura 8. Imagem do satélite CBERS (INPE, 2007) onde se visualiza a Barragem do Castanhão.....	49
Figura 9. Dados do monitoramento do reservatório Castanhão.....	50
Figura 10. Municípios e coordenadas geográficas da área de estudo.....	63
Figura 11. Área de estudo com localização das sedes municipais (rio Jaguaribe entre as barragens do Castanhão e de Itaiçaba).....	64
Figura 12. Esquema de integração de modelos.....	67
Figura 13. Mapa com pontos para interpolação por krigagem (domínio).....	70
Figura 14. Localização georreferenciada dos irrigantes às margens do rio Jaguaribe.....	78
Figura 15. Comparação da média das temperaturas máximas (°C) da climatologia de base do modelo (1961-90) com normal climatológica da estação de Jaguaruana-CE (1961-90).....	82
Figura 16. Comparação da média das temperaturas mínimas (°C) da climatologia de base do Modelo (1961-90) com normal climatológica da estação de Jaguaruana-CE (1961- 90).....	83
Figura 17. Comparação da média das temperaturas médias (°C) da climatologia de base do modelo (1961-90) com normal climatológica da estação de Jaguaruana-CE (1961- 90).....	84
Figura 18. Comparação da precipitação mensal (mm) da climatologia de base do modelo 1961-90 nas quadrículas (4,5°S/37,5°W) e normal climatológica da estação de Jaguaruana-CE (4,47°S/37,36°S.....	85
Figura 19. Médias mensais das temperaturas máximas para os cenários A2 e B2, <i>baseline</i> de 1961 a 1990 e 2010 a 2100.....	87
Figura 20. Médias mensais das temperaturas mínimas para os cenários A2 e B2, <i>baseline</i> do modelo, 1960 a 1990 e 2010 a 2100.....	89
Figura 21. Médias mensais das precipitações (mm) para 1961 a 1990 e 2010 a 2100, cenários A2 e B2.....	91
Figura 22. Temperatura máxima mensal (°C) para climatologia de base do modelo (1961-90) e projeções para o ano de 2040, cenários A2 e B2.....	94
Figura 23. Temperatura mínima mensal (°C) para climatologia de base do modelo (1961-90) e projeções para o ano de 2040, cenários A2 e B2.....	94
Figura 24. Temperatura média mensal da climatologia de base do modelo (1961-90) e projeções para 2040, cenários A2 e B2.....	95

Figura 25. Precipitação mensal (mm) para climatologia de base do modelo e projeções para o ano de 2040, cenários A2 e B2.....	97
Figura 26. Regressão linear entre ET_oPM estimada com dados da estação e com dados limitados utilizando $Kr=0,17$	98
Figura 27. Altitude (m) da área de estudo.....	99
Figura 28. Projeções da evapotranspiração mensal (mm) para climatologia de base do modelo e o ano de 2040, cenários A2 e B2.....	100
Figura 29. Mapa temático da ET_oPM anual média (mm) para o período de 1961-90..	101
Figura 30. Mapa temático das projeções da ET_oPM anual (mm) para 2040, cenário A2.....	102
Figura 31. Mapa temático das projeções da ET_oPM anual (mm) para 2040, cenário B2.....	103
Figura 32. Comparação gráfica da necessidade hídrica bruta (NHB) mensal (mm) para todas as culturas.....	105
Figura 33. Mapa temático da necessidade hídrica bruta (mm) anual 1961-90.....	107
Figura 34. Mapa temático das projeções da necessidade hídrica bruta (mm) anual para o ano de 2040, cenário A2.....	108
Figura 35. Mapa temático das projeções da necessidade hídrica bruta (mm) anual para o ano de 2040, cenário B2.....	109
Figura 36. Projeções dos incrementos anuais (mm) na NHB para o ano de 2040 cenário A2.....	110
Figura 37. Projeções dos incrementos anuais (mm) na NHB para o ano de 2040 cenário B2.....	111
Figura 38. Regressão linear da ET_o ($mm\ mês^{-1}$) estimada com dados da normal climatológica e <i>hindcasts</i> do modelo de mudanças climáticas (1961-90)..	113
Figura 39. Resíduos da regressão linear da ET_o ($mm\ mês^{-1}$) estimada com dados da normal climatológica e dados do modelo de mudanças climáticas (1961-90).....	113
Figura 40. Regressão linear da ET_o ($mm\ mês^{-1}$) estimada com conjunto completo de dados medidos (2002-2006) e <i>hindcasts</i> do modelo de mudanças climáticas (1961-90).....	114
Figura 41. Desvios mensais da regressão linear entre ET_oPM mensal (mm) estimada com dados limitados da climatologia de base do modelo e dados completos da estação de Limoeiro do Norte –CE.....	115
Figura 42. Regressão linear entre a demanda mensal de água para irrigação (mm) segundo o Cadastro de Outorga da COGERH (2008) e modelada (mm) para o período de 1961-90.....	116
Figura 43 – Regressão linear entre demanda hídrica mensal (mm) registrada no Cadastro de Outorga (2008) e PSMD mensal (mm) estimado com dados da climatologia de base do modelo (1961-90).....	117
Figura 44. Sensibilidade da necessidade hídrica das plantas à eficiência de Aplicação.....	119
Figura 45. Sensibilidade da necessidade hídrica das plantas ao aumento da temperatura máxima.....	120
Figura 46. Sensibilidade da necessidade hídrica das plantas ao aumento da temperatura mínima.....	122
Figura 47. Sensibilidade da necessidade hídrica ao aumento da evapotranspiração de referência.....	123
Figura 48. Sensibilidade da necessidade hídrica à precipitação.....	124

Figura 49. Sensibilidade da necessidade hídrica das plantas à proporção da área irrigada com arroz.....	126
---	-----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Radiação extraterrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) para cada mês, segundo a latitude.....	43
Quadro 2. Eficiência de aplicação e eficiência final para os diversos sistemas de irrigação.....	46
Quadro 3. Sistemas de irrigação, área irrigada e número de irrigantes.....	51
Quadro 4. Áreas plantadas na Região do Baixo Jaguaribe por cultura e município, incluindo-se demanda atendida pelo canal do trabalhador.....	52
Quadro 5. Precipitação média mensal (mm) dos municípios com estações na área do estudo.....	53
Quadro 6. Precipitação efetiva (USDA-SCS) por município, estimada com base na média dos valores interpolados (IQD) para as áreas irrigadas.....	53
Quadro 7. ET_o (Penman-Monteith/FAO) por município, estimada com base nos valores interpolados (IQD) para as áreas irrigadas.....	54
Quadro 8. Lâminas de irrigação líquidas anuais (mm) para as culturas perenes, considerando-se os parâmetros climáticos dos municípios analisados.....	54
Quadro 9. Lâminas líquidas de irrigação (mm) por ciclo de produção das culturas temporárias, em função do mês de plantio e médias entre os municípios analisados.	55
Quadro 10. Hipóteses de projeções futuras para 2040 nos cenários A2 e B2.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Padrão temporal de cultivo mensal das culturas irrigadas.....	79
Tabela 2. Tipologia da agricultura irrigada (culturas, sistemas de irrigação e área máxima irrigada ao longo do ano).....	80
Tabela 3. Coeficientes de cultivo (Kc) ponderados pela área de cada cultura irrigada e eficiências médias ponderadas pela área de cada método de irrigação adotado, em cada mês.....	81
Tabela 4. Comparação da média das temperaturas máximas (°C) da climatologia de base do modelo (1961-90) com normal climatológica da estação de Jaguaruana-CE (1961-90).....	81
Tabela 5. Comparação da média das temperaturas mínimas (°C) da climatologia de base do modelo (1961-90) com normal climatológica da estação de Jaguaruana-CE (1961-90).....	82
Tabela 6. Comparação da média das temperaturas médias (°C) da climatologia de base do modelo (1961-90) com normal climatológica da estação de Jaguaruana-CE (1961-90).....	83
Tabela 7. Comparação da precipitação mensal (mm) da climatologia de base do modelo de 1961-90 nas quadrículas (4,5°S/37,5°W) e normal climatológica da estação de Jaguaruana-CE (4,47°S/37,36°S).....	85
Tabela 8. Temperaturas médias mensais das máximas (°C) para os cenários A2 e B2, <i>baseline</i> de 1961 a 1990 e 2010 a 2100, assim como as variações para cada cenário.....	86
Tabela 9. Temperaturas médias mensais das mínimas para os cenários A2 e B2, <i>baseline</i> de 1961 a 1990 e 2010 a 2100, assim como as variações para cada cenário.....	88
Tabela 10. Precipitações médias mensais (mm) para os cenários A2 e B2, <i>baseline</i> de 1961 a 1990 e 2010 a 2100, assim como as variações para cada cenário.....	90
Tabela 11. Projeções da temperatura máxima mensal (°C) para climatologia de base e o ano de 2040, cenários A2 e B2 – mínimos, máximos, média e desvio padrão observados.....	93
Tabela 12. Projeções da temperatura mínima mensal (°C) para 1961-90 e o ano de 2040, cenários A2 e B2 – mínimos, máximos, média e desvio padrão observados.....	93
Tabela 13. Projeções da temperatura média mensal (mm) para os anos de 2040, cenários A2 e B2 – mínimos, máximos, média e desvio padrão observados.....	95
Tabela 14. Projeções da precipitação mensal (mm) para climatologia de base do modelo e o ano de 2040, cenários A2 e B2 – mínimos, máximos, média e desvio padrão observados.....	96
Tabela 15. Projeções da evapotranspiração mensal - ET _o PM (mm) estimada com dados mínimos para o ano de 2040, cenários A2 e B2 – mínimos, máximos, média e desvio padrão observados e o total anual (mm) em relação ao período de referência (1961-90).....	100
Tabela 16. Necessidade hídrica bruta (NHB) mensal (mm) para as todas as culturas..	104
Tabela 17. Incrementos da demanda anual de água para irrigação (mm).....	110

Tabela 18. Comparação entre ET_o PM mensal (mm) estimada com dados limitados da climatologia de base do modelo e dados completos da estação de Limoeiro do Norte –CE.....	115
Tabela 19. Demanda mensal de água para irrigação (mm), segundo o Cadastro de Outorga da COGERH (2008) e NHB estimada (mm).....	116
Tabela 20. Comparação entre demanda hídrica mensal (mm) registrada no Cadastro de Outorga (2008) e PSMD mensal (mm) estimada com dados da climatologia de base do modelo (1961-90).....	117
Tabela 21. Coeficientes de sensibilidade da necessidade hídrica bruta (CS-NHB) a cada uma das variáveis analisadas.....	128
Tabela 22. Relação mensal entre precipitação (P) e ET_o	129

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AOGCMs	Modelos de Circulação Global Oceânico-Atmosférico
CCCII	Centro de Clima Canadense
COGERH	Companhia de Gestão de Recursos Hídricos
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CROPWAT	<i>CropWat for Windows</i>
CRU	<i>Climate Research Unit</i>
DIJA	Distrito de Irrigação Jaguaribe-Apodi
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
FAO	Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação
GCM	Modelo de Circulação Global
IAF	Índice de Área Foliar
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
IQD	Inverso do Quadrado da Distância
MRE	Modelo Regional Espectral
OMM	Organização Meteorológica Mundial
PIB	Produtor Interno Bruto
PRECIS	<i>Providing Regional Climates for Impact Studies</i>
RCM	Modelo de Circulação Regional
RMF	Região Metropolitana de Fortaleza
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SRES	<i>Special Report on Emission Scenarios</i>
TSM	Temperaturas da Superfície do Mar
UKHI	Serviço Meteorológico do Reino Unido
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Unidade	Descrição
<i>CS-NHB</i>	mm °C ⁻¹ ; mm mm ⁻¹ ou mm % ⁻¹	<i>Coefficientes de sensibilidade da necessidade hídrica bruta</i>
<i>C_v</i>	(adimensional)	<i>Covariância</i>
<i>Ea</i>	(adimensional)	<i>Eficiência de aplicação</i>
<i>e_a</i>	(kPa)	<i>Pressão de vapor atual ou real</i>
<i>e_s</i>	(kPa)	<i>Pressão da saturação de vapor</i>
<i>e°(T)</i>	(kPa)	<i>Pressão de saturação de vapor em determinada temperatura do ar</i>
<i>Ec</i>	(adimensional)	<i>Eficiência de condução</i>
<i>ET_c</i>	(mm)	<i>Evapotranspiração da cultura</i>
<i>ET_o</i>	(mm)	<i>Evapotranspiração de referência</i>
<i>E{V}</i>	(unidade da variável)	<i>Valor esperado de uma variável aleatória</i>
<i>fc</i>	(adimensional)	<i>Fator de cobertura das culturas</i>
<i>h</i>	(m)	<i>Distância</i>
<i>Kc</i>	(adimensional)	<i>Coefficiente de Cultivo</i>
<i>K_{RS}</i>	(adimensional)	<i>Coefficiente de ajuste (equação da radiação extraterrestre)</i>
<i>m_r</i>	(unidade da variável)	<i>Erro médio</i>
<i>NHB</i>	(mm)	<i>Necessidade Hídrica Bruta</i>
<i>NHL</i>	(mm)	<i>Necessidade de Irrigação Líquida</i>
<i>P</i>	(mm)	<i>Precipitação</i>
<i>P_{atm}</i>	(kPa)	<i>Pressão atmosférica</i>
<i>ppt^t mensal média</i>	(mm)	<i>Precipitação Mensal Média</i>
<i>PSMD</i>	(mm)	<i>Déficit Potencial de Umidade do Solo</i>
<i>r</i>	(unidade da variável)	<i>Erro do valor estimado</i>
<i>R</i>	(unidade da variável)	<i>Erro da estimativa</i>
<i>R_a</i>	(MJ.m ² dia ⁻¹)	<i>Radiação extraterrestre</i>
<i>R_n</i>	(MJ.m ² dia ⁻¹)	<i>Radiação líquida na superfície das culturas</i>
<i>R_{ns}</i>	(MJ.m ² dia ⁻¹)	<i>Radiação de onda curta líquida que chega à superfície terrestre</i>
<i>R_{nl}</i>	(MJ.m ² dia ⁻¹)	<i>Radiação de onda longa líquida que sai da</i>

		<i>superfície terrestre</i>
R_s	(MJ.m ² dia ⁻¹)	<i>Radiação solar</i>
R_{so}	(MJ.m ² dia ⁻¹)	<i>Radiação de céu claro</i>
$T_{máxK}$	(°K)	<i>Temperatura máxima absoluta durante período de 24 h</i>
$T_{mínK}$	(°K)	<i>Temperatura mínima absoluta durante período de 24 h</i>
v	(unidade da variável)	<i>Valor da amostra conhecida.</i>
w_j	(unidade da variável)	<i>Peso das amostras vizinhas;</i>
v'	(unidade da variável)	<i>Valor real desconhecido (estimado);</i>
w_j	(unidade da variável)	<i>Peso das amostras vizinhas;</i>
z	(m)	<i>Altitude</i>
α	(adimensional)	<i>Albedo</i>
Δ	(kPa. °C ⁻¹)	<i>Inclinação da curva da pressão de vapor</i>
σ	4,903 x 10 ⁻⁹ MJ.m ² dia ⁻¹	<i>Constante de Stefan-Boltzmann</i>
γ	(kPa. °C ⁻¹)	<i>Constante psicrométrica</i>
σ^2_R	(unidade da variável)	<i>Variância dos erros</i>

SUMÁRIO

RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	x
LISTA DE QUADROS.....	xiii
LISTA DE TABELAS.....	xiv
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xvi
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xvii
SUMÁRIO.....	xix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1. Mudanças climáticas <i>versus</i> variabilidade climática.....	5
2.2. Modelos de circulação global.....	7
2.3. Climatologia de base do modelo (condições iniciais).....	11
2.4. Cenários: conceito e elaboração.....	13
2.4.1. Cenários de emissões para projeções climáticas globais e regionais.....	15
2.5. Incertezas das mudanças climáticas.....	17
2.6. Métodos de redução de escala (<i>downscaling</i>).....	18
2.6.1. Redução de escala dinâmica.....	19
2.6.2. Tipificação climática.....	20
2.6.3. Redução de escala estatística.....	21
2.6.3.1. Geração estocástica do clima.....	21
2.6.3.2. Abordagens baseadas em regressão.....	21

2.7. O sistema PRECIS e modelo regional HadRM3P	22
2.8. Krigagem.....	27
2.9. Mudanças climáticas e efeitos na agricultura.....	34
2.10. Mudanças climáticas e demanda de água para irrigação.....	36
2.11. Mudanças climáticas e impactos no Nordeste do Brasil.....	37
2.12. Variáveis para estimativa de água para irrigação.....	40
2.12.1. Precipitação efetiva.....	40
2.12.2. Evapotranspiração de referência (ET_0) e coeficiente de cultivo (K_c).....	41
2.12.3. Eficiência de aplicação.....	45
2.13. O rio Jaguaribe, a jusante do Castanhão até Itaiçaba.....	47
2.14. Análise de sensibilidade.....	55
2.15. Adaptação às mudanças climáticas no contexto de bacia hidrográfica.....	58
3. HIPÓTESES.....	61
4. METODOLOGIA.....	62
4.1. Delimitação da área de estudo e tipologia da agricultura irrigada regional.....	62
4.2. Análise da climatologia de base do modelo de mudanças climáticas.....	65
4.3. Desenvolvimento de um modelo conceitual, integração de modelos e verificação.....	66
4.4. Projeções de mudanças climáticas.....	68
4.5. Simulação de cenários de mudanças climáticas para estimativa dos impactos na demanda de água para irrigação.....	71
4.6. Análise de sensibilidade.....	74
4.7. Validação.....	75
5. ORIGINALIDADE DO TRABALHO.....	77
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	78
6.1. Análise do modelo climático PRECIS- HadRM3P, considerando a climatologia local.....	81

6.2. Projeções das variáveis climáticas.....	85
6.3. Análise da variabilidade espacial.....	92
6.3.1. Temperaturas máxima, mínima e média mensais.....	92
6.3.2. Precipitação.....	95
6.3.3. Evapotranspiração de referência (ET _o).....	98
6.3.4. Necessidade hídrica bruta (NHB).....	104
6.4. Validação do modelo aplicado.....	112
6.5. Análise de sensibilidade.....	117
6.6. Limitações e pesquisa futura.....	128
7. CONCLUSÕES.....	132
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	134
APÊNDICE A - Área mensal dos sistemas de irrigação.....	149
APÊNDICE B - Área mensal e coeficiente de cultivo (Kc) das culturas irrigadas.....	152
APÊNDICE C - Parâmetros espacializados da equação de Penman-Monteith FAO, ET_o, precipitação, PSMD e NHB (mm) – 1961-90.....	161
APÊNDICE D - Parâmetros espacializados da equação de Penman-Monteith FAO, ET_o, precipitação, PSMD e NHB (mm) - 2040 A2.....	165
APÊNDICE E - Parâmetros espacializados da equação de Penman-Monteith FAO, ET_o, precipitação, PSMD e NHB (mm) – 2040 B2.....	169
APÊNDICE F - Programa para cálculo dos parâmetros espacializados da ET_oPM.....	173
APÊNDICE G - Programa para análise de sensibilidade algébrica NHB - Eficiência de aplicação.....	177

APÊNDICE H - Programa para análise de sensibilidade algébrica	
NHB – temperatura máxima.....	184
APÊNDICE I - Programa para análise de sensibilidade algébrica	
NHB – temperatura mínima.....	191
APÊNDICE J – Programa para análise de sensibilidade algébrica	
NHB – ET₀PM.....	198
APÊNDICE L – Programa para análise de sensibilidade algébrica	
NHB – precipitação.....	200
APÊNDICE M – Programa para análise de sensibilidade algébrica	
NHB – Composição de Culturas.....	202

1. INTRODUÇÃO

A demanda hídrica está em constante incremento devido ao aumento populacional e desenvolvimento econômico. Temperaturas mais elevadas causam maior demanda para evapotranspiração das plantas e a tendência seria em direção a um incremento da demanda de água para irrigação. Desta forma, mudança climática é outra fonte de pressão de incremento para demanda de água. De fato, os impactos das mudanças climáticas nas vazões e recarga de aquíferos variam regionalmente e entre cenários. Espera-se que a qualidade da água seja afetada por alterações nas vazões. Mudanças climáticas podem substancialmente afetar a retirada de água para irrigação, a qual depende de como a evaporação e precipitação irão se comportar (IPCC, 2001).

A demanda de água para agricultura, particularmente para irrigação, é considerada mais sensível à mudança climática que as demandas industrial e municipal. Há dois efeitos potenciais: uma mudança do clima em escala de parcela irrigada pode alterar a necessidade e época de irrigação. Secas prolongadas podem levar ao aumento de demandas, mas também podem ser reduzidas se a precipitação e conseqüentemente a umidade do solo aumentar (IPCC, 2001).

Apesar da importância do assunto ser um consenso, os impactos das mudanças climáticas na demanda de água para irrigação têm sido pouco estudados, principalmente porque Modelos de Circulação Global, os quais são largamente utilizados para simular cenários climáticos futuros, não são adequados para fazer previsões de mudanças em escalas locais. Binder (2006) recomendou maior detalhamento das projeções de mudanças climáticas para a escala de bacia hidrográfica, que acopladas a modelos hidrológicos, possibilita o estudo de impactos das mudanças climáticas nos recursos hídricos.

A agricultura irrigada influencia diretamente na disponibilidade da água numa bacia hidrográfica, especialmente numa região onde essa atividade é intensiva. O conhecimento local sobre o assunto permitirá o desenvolvimento de políticas para reduzir impactos e vulnerabilidades. Perdas sociais, econômicas e ambientais causadas por planejamento deficiente e ausência de critérios de decisão para definir medidas de mitigação e adaptação tornariam a equidade de acesso e sustentabilidade do uso da água, incertos.

Modelos matemáticos podem ser aplicados para simular impactos e são definidos como expressões formais dos elementos essenciais de um problema, em termos numéricos. O primeiro reconhecimento do problema é geralmente verbal. Entretanto um modelo verbal é difícil de ser visualizado e, portanto, mais convenientemente traduzido num diagrama conceitual, o qual contém as variáveis, as forçantes e como estes componentes estão inter-relacionados por formulações matemáticas dos processos. As forçantes são algo como radiação solar, temperatura, etc. que não são necessariamente mostradas num diagrama, mas influenciam nas taxas dos processos (Jørgesen & Bendricchio, 2001).

Para elaboração de um modelo conceitual objetivando a visualização dos processos envolvidos num fenômeno físico, inicialmente relacionam-se os efeitos do clima (precipitação e temperatura) com a evapotranspiração de referência. Esta por sua vez, influencia nas necessidades hídricas das plantas e na demanda de água para irrigação numa bacia, a qual depende das culturas irrigadas, tecnologia de irrigação adotada e respectivas áreas irrigadas (Figura 1).

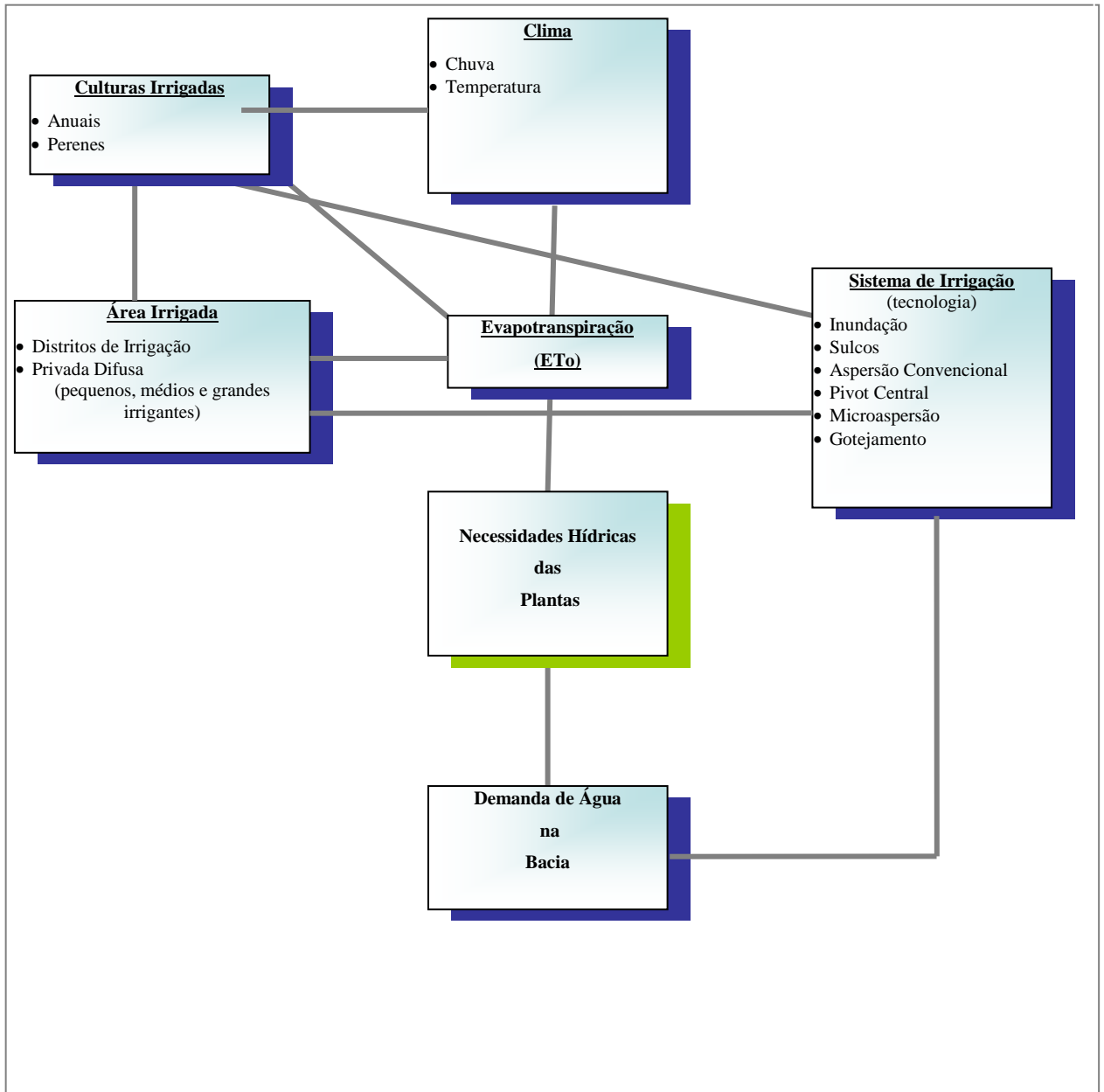


Figura 1 - Esquema do modelo conceitual da dinâmica do clima na demanda de água para agricultura.

As mudanças climáticas interferem diretamente no processo, uma vez que envolvem mudanças no regime de precipitação e na temperatura, assim como na frequência de eventos climáticos extremos. No semi-árido os eventos extremos estão relacionados com o fenômeno *El Niño* e especialmente, alterações na temperatura da superfície do mar (TSM) com mudanças no dipolo norte-sul e implicações na entrada da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) no continente, responsável pela quadra invernal na região. Estas mudanças impactam diretamente na evapotranspiração das plantas que influencia nas necessidades hídricas das culturas e na demanda de água para irrigação numa bacia. A vazão do rio pode ser alterada.

Uma barragem pode funcionar como regularizador das alterações de demandas, através da liberação de água, controlando a vazão regularizada do rio (Figura 2).

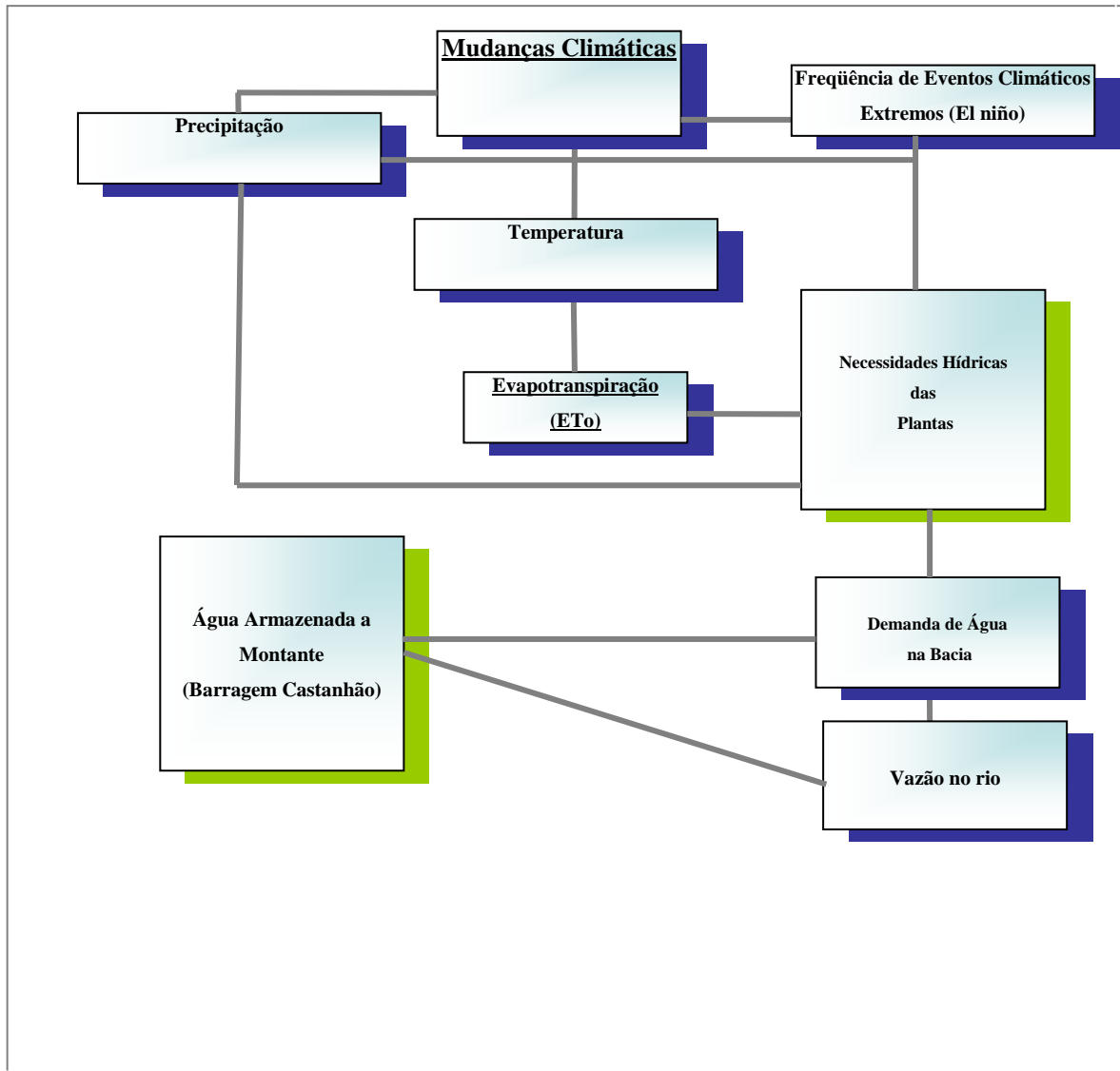


Figura 2 - Esquema do modelo conceitual da dinâmica das mudanças climáticas na bacia.

O objetivo do presente trabalho é analisar os impactos das mudanças climáticas na demanda de água para a agricultura irrigada, considerando-se a variedade das culturas irrigadas e a eficiência dos sistemas de irrigação adotados, assim como os cenários de mudanças climáticas fornecidos por técnicas de redução de escala dinâmica, aplicados em nível de bacia hidrográfica, (rio Jaguaribe, no trecho compreendido entre as barragens do Castanhão e de Itaiçaba).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Mudanças climáticas *versus* variabilidade climática

Mudanças climáticas referem-se a um conjunto de alterações no estado do clima que tanto podem ser identificadas por mudanças nas médias como na variabilidade das propriedades do clima e que persistem por um período extenso, tipicamente décadas ou mais. Podem ocorrer devido a processos internos e/ou forçantes externas. Algumas influências externas, tais como: radiação solar e vulcanismo ocorrem naturalmente e contribuem para a variabilidade total natural do sistema climático. Outras mudanças externas, como composição da atmosfera que se intensificaram com a revolução industrial, são resultantes das atividades humanas (antropogênicas). Hegerl et al. (2007) chamam atenção para o entendimento de que resultam de forçantes externas antropogênicas e diferenciam das naturais e como podem ser distinguidas das mudanças e variabilidade natural que resultam de processos internos do sistema climático.

A variabilidade interna está presente em todas as escalas de tempo. Processos atmosféricos que geram variabilidade interna são conhecidos por operarem em escalas de tempo, variando do instantâneo até vários anos. Componentes como os oceanos e grandes lençóis de gelo tendem a operar em escalas temporais mais longas. Estes componentes produzem variabilidade interna. Adicionalmente a variabilidade interna é produzida pela combinação de componentes, tal como o caso *El-Niño-Oscilação Sul* (ENOS).

Há um razoável consenso entre os cientistas que o aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera aumenta a temperatura global (Carter et al., 2007). Emissões futuras desses gases são produtos de um sistema dinâmico (processo ou conjunto de processos, cuja evolução no tempo é governada por um conjunto determinístico de leis físicas) muito complexo, determinado por forçantes, quais sejam: crescimento demográfico, desenvolvimento sócio-econômico e mudanças tecnológicas. Cenários climáticos são representações do futuro que são consistentes com hipóteses sobre emissões futuras de gases de efeito estufa e outros poluentes, considerando-se as forçantes que os influenciam (Nakicenovic et al., 2000).

A distinção entre os efeitos de influências externas e a variabilidade climática interna requer uma comparação cuidadosa entre as mudanças observadas, resultantes de uma forçante

externa (mudanças climáticas forçadas) e aquelas que são esperadas em decorrência da variabilidade interna. Estas expectativas são baseadas na compreensão física do sistema climático. Este entendimento pode ser representado por modelos conceituais ou quantificado com modelos climáticos. Um arranjo de modelos climáticos é utilizado para quantificar expectativas neste sentido, variando de simples modelos de balanço de energia para modelos de complexidade intermediária, até modelos acoplados, tais como combinações de modelos oceânicos e atmosféricos (Hegerl et al., 2007).

A comparação entre mudanças observadas e aquelas que são esperadas é realizada de várias maneiras. Detecção formal e atribuição recorrem a métodos estatísticos para pesquisar se dados climáticos observados contêm evidência de respostas esperadas a forçantes externas, as quais são diferentes da variação gerada dentro do sistema climático (variabilidade natural interna). Estes métodos não se limitam a simples análises lineares ou de tendências. Abrangem a identificação de respostas observadas a uma ou várias forçantes, através da exploração do padrão temporal e espacial das respostas esperadas (Hegerl et al., 2007).

Detecção é o processo de demonstração que o clima mudou em algumas de suas propriedades, utilizando-se dados empíricos, sem a justificativa para a mudança, considerando-se que a variabilidade interna sozinha é considerada pequena. *Atribuição* das causas das mudanças climáticas é o processo de estabelecimento das causas mais prováveis para a mudança detectada com determinado nível de confiança. Uma atribuição inequívoca requereria experimentação controlada do sistema climático. Como isto não é possível, a atribuição de mudanças climáticas de causa antropogênica é compreendida como a demonstração que uma mudança detectada é consistente com respostas estimadas para uma dada combinação de forçantes naturais e antropogênicas e não consistente com explicações físicas plausíveis (Hegerl et al., 2007).

A detecção de influência antropogênica não é ainda possível para todas as variáveis climáticas, pois incertezas ainda existem por persistirem dificuldades na avaliação, apesar dos avanços da pesquisa. Algumas variáveis respondem menos fortemente a forçantes externas ou são menos plausíveis de serem modeladas ou observadas (Hegerl et al., 2007).

2.1. Modelos de circulação global

Os Modelos de Circulação Global (GCMs) geralmente utilizados para simular o clima presente e projetar o clima futuro com forçantes de gases de efeito estufa e aerossóis, tipicamente dividem a atmosfera e oceano em grades de resolução horizontal de 2 a 4° de latitude e longitude com 10 a 20 camadas na vertical. Em geral, a maioria dos Modelos de Circulação Global simulam processos na escala global ou continental em detalhe e provêm uma representação de precisão razoável da média climática planetária (Dibike & Coulibaly, 2004a; 2004b; 2005). Por outro lado, estes são incapazes de representar características locais.

Modelos climáticos são baseados em princípios físicos bem estabelecidos e deve-se demonstrar que sejam capazes de reproduzir características de clima recente e mudança climática passada. Há considerável confiança que Modelos de Circulação Global Oceânico-Atmosférico provêm estimativas quantitativas aceitáveis das mudanças climáticas futuras, particularmente na escala continental ou maior.

Modelos numéricos representando processos físicos na atmosfera, oceano, criosfera e superfície da terra (Modelos de Circulação Global) são as mais avançadas ferramentas disponíveis para simular a resposta do sistema climático global ao aumento da concentração de gases de efeito estufa. Enquanto modelos mais simples também têm sido utilizados para prover estimativas globais e regionais da resposta do clima, apenas os GCMs, geralmente em conjunto com modelos regionais aninhados (acoplados) ou outros métodos de redução de escala, possuem potencial para prover estimativas física e geograficamente consistentes de mudanças climáticas regionais (IPCC 1994, citado por Carter et al. (2007).

Os Modelos de Circulação Global representam o clima utilizando uma malha de quadrículas tridimensionais sobre o globo (Figuras 3 e 4), tipicamente possuindo uma resolução horizontal entre 250 e 600 km, 10 a 20 camadas verticais na atmosfera e algumas vezes 30 camadas nos oceanos. Sua resolução é um tanto grosseira, em relação à escala da maioria dos trabalhos de avaliação de impactos (Carter et al., 2007).

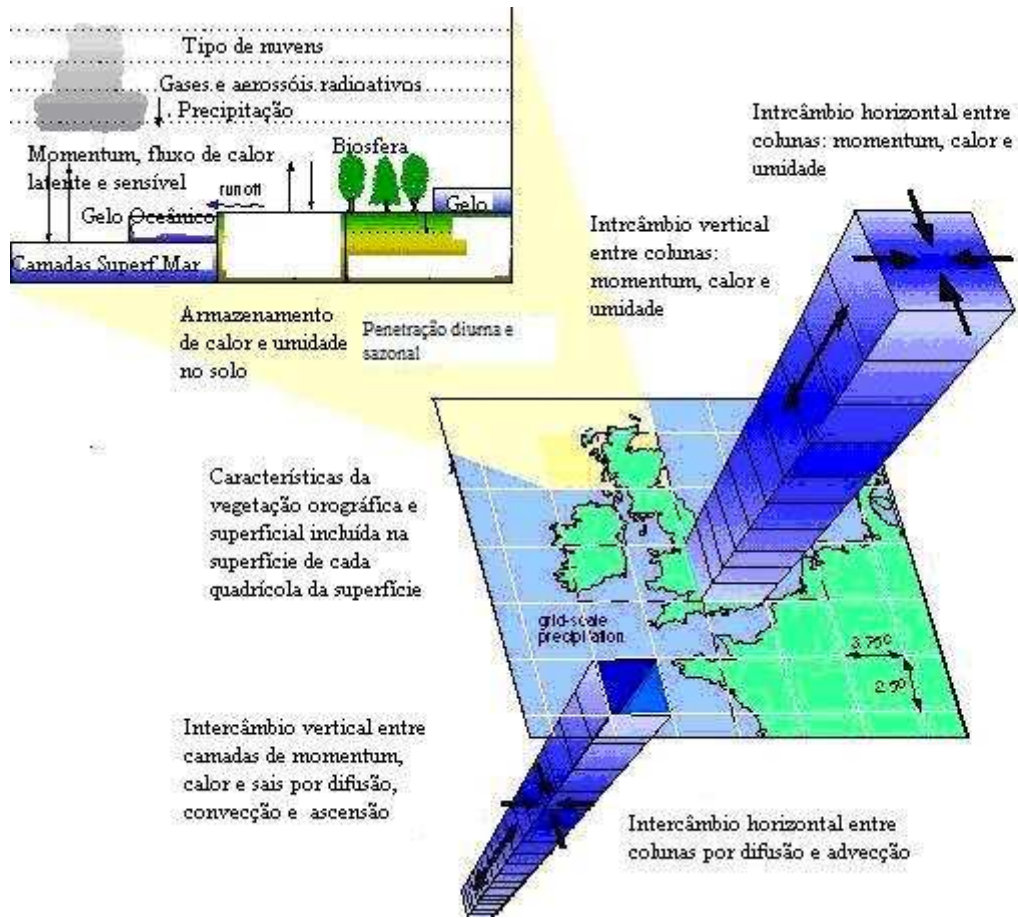


Figura 3 - Estrutura conceitual de um modelo de circulação global oceânico-atmosférico acoplado.

Fonte: (Viner & Hulme, 1997 citado por Carter et al., 2007).

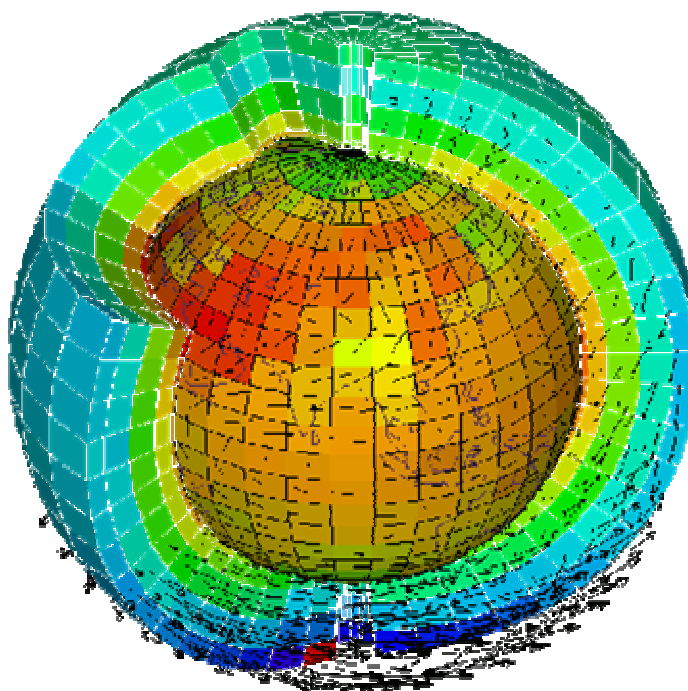


Figura 4 - Malha de quadrículas tridimensionais sobre o globo.

Fonte: *Laboratoire de Météorologie Dynamique* (2009).

Além do mais, muitos processos físicos, tais como aqueles relacionados a nuvens, também ocorrem em escalas menores e não podem ser adequadamente modelados. Ao invés, suas propriedades conhecidas devem ser estimadas sobre a escala maior, através de técnicas conhecidas como parametrização. Esta é uma fonte de incerteza em simulações do clima futuro baseadas em GCMs. Desta forma, os mesmos podem simular respostas bem diferentes para uma mesma forçante, simplesmente por causa da forma de como certos processos e respectivas respostas são modeladas (Carter et al., 2007).

Como os modelos climáticos têm evoluído e a potência computacional aumentado, vem ocorrendo uma tendência em direção ao aumento da resolução. Alguns GCMs antigos operavam numa resolução horizontal de uns 1.000 km com 2 a 10 níveis na vertical. Modelos mais recentes são processados com aproximadamente 250 km de resolução espacial com talvez 20 níveis verticais (>20 em alguns modelos oceânicos). Entretanto, embora modelos de maior resolução contenham mais detalhes espaciais (como topografia, melhor definição de bordas terra/mar, etc.) isto não necessariamente garante um desempenho superior do modelo (Carter et al., 2007).

O modelo HadCM2 – *Hadley Centre Coupled Model* – versão 2 possui resolução horizontal de 2,5° em latitude e 3,75° em longitude; espaçamento de grade de 278 km na direção norte – sul e 417 km leste – oeste no equador, reduzindo-se para 295 km a 45° norte-sul. A resolução vertical possui 11 a 19 níveis na atmosfera e 17 a 20 níveis no oceano. Uma descrição mais detalhada pode ser obtida em Johns et al. (1997). O modelo HadCM3 foi desenvolvido a partir do seu antecessor, HadCM2, incluindo-se melhorias nos componentes atmosféricos e oceânicos (Johns et al., 2003).

Rosenberg et al. (2003) aplicaram dois Modelos de Circulação Global (*Canadian Coupled Model* e HadCM2) para estudar as conseqüências potenciais da variabilidade climática e mudanças em todas as bacias continentais dos Estados Unidos. Os autores encontraram um clima mais quente para o ano de 2095 com elevação de temperaturas variando de 6,0 – 8,0 ° C no sudoeste; 3° C nas planícies do norte e grandes lagos; e 1,5 – 3,0 ° C na costa leste. Três padrões distintos de mudanças na precipitação anual para o ano de 2095 foram projetados. Aumentos de 150 – 300 mm na metade leste do País, aumentos de mais de 175 mm no noroeste e aumentos moderados de 25 a 100 mm nas grandes planícies do oeste, exceção para o rio Grande e baixo Colorado (redução de cerca de 10%). Apesar do aumento na precipitação, o modelo HadCM2 para 2095 previu uma elevação da evapotranspiração potencial, reduzindo a quantidade de água disponível para fluxo em rios e recarga de água subterrânea. Temperaturas mais elevadas também alteram o ciclo hidrológico através do precoce derretimento de neve.

Em simulações de mudanças climáticas, modelos são utilizados para fazer projeções de possíveis mudanças em escala de tempo de muitas décadas, para a qual não há analogia passada com precisão. Confiança num modelo pode ser adquirida através de simulações de registros históricos. Não há como fazer testes diretamente, para avaliar a qualidade das projeções, uma vez que não há períodos de observação suficientes de mudanças forçadas exatamente como aquelas esperadas para o século 21. Confiança nestas estimativas é maior para algumas variáveis climáticas, como temperatura, que para outras, como precipitação (Randall et al., 2007).

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC (2007) projetou, utilizando vinte e três (23) Modelos de Circulação Global, mudanças de temperatura para 2090 – 2099, em relação àquelas de 1980 – 1999, variando de 0,3 – 0,9 ° C (cenário de concentração de carbono na atmosfera constante ao do ano 2000) a 2,4 – 6,4 ° C. O padrão de precipitação

projetado é *bastante provável* de aumentar em latitudes altas, enquanto reduções são *prováveis* de ocorrer na maioria das regiões sub-tropicais.

Incertezas no processo de detecção e atribuição das mudanças climáticas ainda perduram. Algumas forçantes ainda são omitidas nos estudos, tais como, aerossóis carbonáceos e mudanças no uso e ocupação da terra. Entretanto análises de detecção e atribuição de mudanças climáticas atribuem significativa influência antropogênea para a temperatura no século 20. Outra fonte de incertezas são erros de instrumentação, tais como métodos de medição ou influência da urbanização (Hegerl et al., 2007).

2.3. Climatologia de base do modelo (condições iniciais)

A climatologia de base (*baseline*) ou de referência pode ser definida como aquela em relação a qual a mudança é mensurada, o que torna a caracterização climática da região de suma importância em estudos de impactos de mudanças climáticas. A escolha da climatologia de base e cenários podem fortemente influenciar nos resultados. Um dos critérios de avaliação da qualidade do Modelo de Circulação Global é a avaliação de sua *performance* em simular o clima presente na região. Isto pode ser realizado comparando-se a climatologia de base do modelo com dados da região, determinando-se assim, a habilidade do modelo climático em simular padrões de circulação (Carter et al., 2007).

Questões a serem consideradas na seleção da climatologia de base incluem tipos de dados requeridos, duração do período de referência, fontes de dados e como podem ser aplicados na avaliação de impactos.

Conforme recomendações do IPCC (1994) citadas por Carter et al. (2007), a climatologia de base do modelo deve ser selecionada de acordo com os critérios abaixo:

- seja representativa do clima atual ou englobe médias recentes da região de estudo;
- tenha uma duração que abranja as variações climáticas, incluindo um número significativo de anomalias climáticas (como secas severas ou estações amenas);
- cubra um período para o qual, dados da maioria das variáveis climáticas sejam abundantes, adequadamente distribuídos sobre o espaço e prontamente disponíveis;

- inclua dados de alta qualidade para uso em avaliações de impactos;
- seja consistente e prontamente comparável com climatologias de base utilizadas em outros estudos de impactos.

Uma climatologia de base bem conhecida é a normal climatológica de um período de 30 anos, conforme definida pela Organização Mundial de Meteorologia, a qual pode ser utilizada como de referência ou padrão. Há um número de fontes alternativas de dados de climatologia de base que podem ser aplicadas em estudos de impactos: agências ou arquivos de meteorologia, conjunto de dados globais, saídas de modelos climáticos e geradores climáticos. Um dos conjuntos de dados disponíveis de domínio público é do *Climate Research Unit (CRU)* (Carter et al., 2007).

Há dois tipos de informações oriundas de modelos de clima global que podem ser úteis na descrição da climatologia de base: reanálise dos dados e saídas das simulações dos modelos de circulação global ou regional. A reanálise de dados é um processo em que dados de resolução fina são gerados pela combinação de dados observados com simulados oriundos de modelos numéricos. Este processo é conhecido como assimilação. Saídas das simulações dos modelos de circulação global ou regional é outra fonte de informação do clima presente. Tais simulações concentram-se em representar a dinâmica do sistema climático global não forçado por mudanças antropogênicas na composição da atmosfera. Para algumas regiões e em algumas escalas temporais, estes modelos estimam a variabilidade natural de forma bastante semelhante com a observada (Tett et al., 1997 citado por Carter et al., 2007).

Uma vez que registros de observações climáticas globais mal se estendem a um século de duração, simulações de controle dos modelos oferecem uma fonte alternativa de dados que possibilitam investigação da variação multi-decadal do clima. Simulações de controle de diversos modelos oceânico-atmosférico de circulação global são disponíveis na página eletrônica do IPCC (*Data Distribution Centre* (Carter et al., 2007).

Uma das formas de selecionar/validar a utilização de um modelo de circulação global na construção de cenários regionais de mudanças climáticas é através da avaliação do desempenho do modelo em simular o clima presente na região. Esta avaliação é feita comparando-se a saída do modelo com dados observados (Carter et al., 2007).

2.4. Cenários: conceito e elaboração

Atualmente, diversos grupos de tomadores de decisão, consultores e pesquisadores desenvolvem e utilizam cenários de diversas formas. Pode-se definir como sendo descrições de possibilidades futuras que refletem diferentes perspectivas no passado, presente e futuro (Notten et al, 2003).

Ainda segundo Notten et al. (2003), há três temas de alcance para classificação da tipologia de cenários que contemplam os aspectos chaves para seu desenvolvimento: i. *objetivos do projeto* – descrevendo-os, bem como demandas futuras; ii. *suporte à decisão*: devem propor opções estratégicas concretas; iii. *processo de construção*: envolve aspectos como o grau de dados quantitativos e qualitativos utilizados, ou a escolha de envolvimento do público com encontros, entrevistas ou questionário.

Notten et al. (2003) enumeram diversas características de cenários. Dentre essas, destacam-se a inclusão de esboço normativo; serem preditivos e antecipativos; poderem explorar uma área geográfica particular; poderem variar numa escala temporal de curto a longo prazo; e numa escala espacial que integrem multi-escala (global para regional ou local para global); definirem metodologia de coleta de dados (abordagem participativa). Segundo os autores, um cenário deveria elastecer o pensamento sobre o futuro, numa larga variação de alternativas possíveis. (um alto grau de derivação é um pré-requisito para desenvolvimento de cenários). O cenário convencional adere ao *status quo* ou tendências atuais. O nível de integração de um cenário refere-se ao grau de como componentes relevantes ao sujeito de um estudo são incorporados para formar um conjunto no cenário. Demonstram um alto grau de interação entre as variáveis e sua dinâmica. Entretanto, a introdução de muitos elementos pode deteriorar o poder de comunicação.

Os pontos de partida para desenvolvimento participativo dos cenários de recursos hídricos, numa perspectiva de mudança climática, fundamentam-se nos postulados utilizados por Aerts & Droogers (2004):

- É a gestão de recursos hídricos, tanto em nível de bacia, como em nível local (parcela irrigada) que lida com a implementação de medidas adaptativas para lidar com condições climáticas alteradas;

- O sistema de recursos hídricos provê bens e serviços que são gerenciados de forma que valores atuais e futuros sejam otimizados em relação aos objetivos da política de gerenciamento de recursos hídricos;
- Os bens e serviços são função do estado do sistema de recursos hídricos, expressos em termos de disponibilidade hídrica e qualidade da água;
- Mudança climática é vista como uma influência exógena no sistema local de recursos hídricos;
- Medidas adaptativas na bacia devem permitir a avaliação de estratégias potenciais, na base de um conjunto de critérios ou indicadores (de estado e de decisão) que se relacionam com os objetivos e metas das políticas locais;
- A fim de se identificar todos os indicadores relevantes e capturar o potencial de adaptação, deve-se permitir a participação ativa do público envolvido (*stakeholders*).

Segundo Aerts & Droogers (2004), o ponto de partida para desenvolvimento de cenários considerará que o sistema de recursos hídricos pode ser visto como um sistema produtivo que provê bens e serviços, tanto para a população como para o ecossistema. Estes bens e serviços podem ser de quatro categorias: i. água para agricultura; ii. água para indústria; iii. água para a natureza; iv. água para a população. Assume-se que estes bens e serviços relacionam-se diretamente com o estado do sistema de recursos hídricos (disponibilidade hídrica e qualidade da água).

A abordagem no contexto do sistema de recursos hídricos numa bacia hidrográfica pode ser dividida em cinco partes: *i. forçantes*, tais como: crescimento populacional, crescimento econômico e mudanças climáticas que atuam sobre: *ii. pressões*: atividades ou poluentes resultantes da influência das forçantes. Essas pressões causam alterações no: *iii. estado do sistema de recursos hídricos*: expresso em termos de indicadores que quantificam uma mudança: *iv. impactos*: que podem induzir a uma: *v. resposta* (Aerts & Droogers, 2004).

Jessel & Jacobs (2005) relatam que a modelagem de cenários aponta para todas as conseqüências de longo prazo imagináveis e também exemplifica para o público de interesse (*stakeholders*) e permite a integração de diferentes disciplinas e metodologias.

Westhoek et al. (2006) apontam que para se determinar os tipos de cenários, considera-se *otimização de políticas, visão construída e orientação estratégica*. Tipicamente são construídos através do cenário de base ou de referência (o de sempre, sem mudanças). A visão construída considera o futuro que se deseja lutar ou alternativamente o que queremos evitar, de qualquer maneira; A orientação estratégica questiona que alternativas, em nossos papéis específicos, precisam ser preparadas para nós; o que fazer se tal direção é errada ou muito arriscada. Este último considera o ponto de vista do ator.

Para um cenário de orientação estratégica, Westhoek et al. (2006) levantam que é extremamente recomendável o uso de um conjunto de cenários contrastantes, considerando-se a direção de importantes fatores forçantes (pode ser crescimento macro-econômico, demografia, produção e consumo agrícola mundial e seus preços, tecnologia). Os cenários devem ter compromisso com política de biodiversidade, agrícola, legislação ambiental, uso legal da terra e mobilidade. Pode começar com uma matriz especificando visões mundiais ou paradigmas de desenvolvimento.

Num cenário de uso e ocupação do solo, por exemplo, o potencial conflito com requerimentos legais e padrões de qualidade ambiental é considerado, assim como as características sócio-econômicas de uma região, considerando-se política agrícola, ambiental e fisiografia regional. Jesse & Jacobs (2005) desenvolveram cenários para servirem de ferramenta na gestão de recursos hídricos na bacia do rio Havel, Alemanha, considerando as opções e estratégias para ação, considerando o desenvolvimento futuro de áreas de assentamento; o futuro de reflorestamento e aproveitamento das florestas; abandono de áreas cultiváveis. Os cenários de uso e ocupação do solo foram requisitados como um *entrada* da modelagem hidrológica.

2.4.1. Cenários de emissões para projeções climáticas globais e regionais

O processo de detecção e atribuição de mudanças climáticas envolve experimentos com cenários idealizados, isto é, aumento de dióxido de carbono (CO₂) em simulações de elevação da concentração a uma taxa de 1% por ano. Equilíbrio em níveis atmosféricos de 2 x CO₂ e 4 x CO₂.

Nakicenovic et al. (2000) definiram uma família de cenários de emissões que foram elaborados a partir das seguintes premissas:

- A1: baixo crescimento populacional, crescimento do PIB muito elevado, elevado consumo de energia, baixa mudança no uso da terra, disponibilidade de recursos alta a média, rápido desenvolvimento tecnológico, energia fóssil e balanceada;
- A2: alto crescimento populacional, crescimento do PIB médio, elevado consumo de energia, média a alta mudança no uso da terra, disponibilidade de recursos baixa, lento desenvolvimento tecnológico, energia regional;
- B1: baixo crescimento populacional, crescimento do PIB elevado, baixo consumo de energia, alta mudança no uso da terra, disponibilidade de recursos baixa, médio desenvolvimento tecnológico, eficiência e introdução de tecnologias limpas;
- B2: médio crescimento populacional, crescimento do PIB médio, médio consumo de energia, média mudança no uso da terra, disponibilidade de recursos média, médio desenvolvimento tecnológico, dinâmica energética como a usual.

Para geração das projeções de mudanças climáticas no século 21, um subconjunto de três cenários do IPCC *Special Report on Emission Scenarios* – SREs (Nakicenovic et al., 2000) dos seis mais comumente usados foram utilizados para o relatório IPCC (2007) com projeções simuladas para 2100:

- A1B: com todos os componentes atmosféricos fixados em valores observados no ano 2000 e são geradas projeções para 100 anos adicionais;
- B1: com componentes atmosféricos fixados em 2100 e são geradas projeções para 100 anos adicionais;
- A2: com componentes atmosféricos fixados em 2100 e são geradas projeções para 200 anos adicionais.

Estes cenários representam baixa, média e alta concentração de CO₂, respectivamente. Esta escolha resultou de limitações computacionais, não representando preferência ou qualificação dos cenários escolhidos sobre outros. Representam cenários de forçantes antropogênicas não mitigadas (Meehl et al., 2007). O resultado demonstrou aquecimento comparável ao relatório do IPCC (2001) de +3,0°C para os anos de 2071 a 2100, em relação a 1961 a 1990 e + 3,13°C para 2080 a 2099 em relação a 1980 a 1999. O aquecimento é maior no cenário A2, intermediário no crescimento moderado A1B e baixo no crescimento pequeno B1. A precipi-

tação global média aumenta em todos os cenários, indicando uma intensificação do ciclo hidrológico.

Considerando-se as projeções regionais, está prevista redução de precipitação para grandes áreas do Nordeste do Brasil e Amazônia. O aquecimento no cenário A1B entre 1980 a 1999 e 2080 a 2099 é da ordem de 1,8°C a 5,1°C, com média de 3,3°C para o norte da América do Sul (incluindo Amazônia e Nordeste do Brasil), com previsão para aquecimento maior nos meses de Junho, Julho, Agosto (JJA) que para Dezembro, Janeiro e Fevereiro (DJF) (Christensen et al., 2007).

2.5. Incertezas das mudanças climáticas

Jones et al. (2004) alertam para as incertezas nos principais passos na avaliação de impactos de mudanças climáticas, através da aplicação de diferentes cenários. Tais incertezas devem ser consideradas nas opções de avaliação de impactos e vulnerabilidade, bem como de adaptação às mudanças climáticas. Embora ainda não possam ser quantificadas, podem ser apontadas as fontes de incertezas:

- Incertezas no futuro das emissões: há incertezas nas hipóteses chaves sobre a relação entre população futura, desenvolvimento socioeconômico e mudanças tecnológicas que fazem a base dos cenários do IPCC, elaborados por Nakicenovic et al. (2000). Este tipo de incerteza pode ser aceito, fazendo-se projeções climáticas para uma gama de cenários de emissões que cubra maior parte da amplitude da incerteza. Carter et al. (2007) recomenda o uso e elaboração de múltiplos cenários. As emissões são atualmente consideradas como uma das duas maiores incertezas na projeção climática futura;
- Incertezas nas concentrações futuras: o entendimento imperfeito de alguns processos físicos no ciclo do carbono e reações químicas na atmosfera gera incertezas na conversão das emissões para concentrações de gases. Uma incerteza potencialmente maior é a questão do clima, ciclo de carbono e química atmosférica. A fim de se refletir esta incerteza nos cenários climáticos, o uso de Modelos de Circulação Global Oceânico-Atmosférico (AOGCMs) que explicitamente simulem o ciclo do carbono e química de todas as substâncias presentes torna-se necessário;

- Incertezas na resposta climática: há muito o que não se compreende sobre o sistema climático e incertezas surgem por causa de descrição incorreta ou incompleta de processos-chaves e suas respectivas respostas nos modelos. Tal realidade é ilustrada pelo fato que atualmente GCMs que contêm representações diferentes do sistema climático, projetam diferentes padrões e magnitudes de mudanças climáticas para o mesmo período futuro, quando aplicam o mesmo cenário de concentrações. Esta é considerada a maior incerteza, juntamente com o futuro das emissões, discutida acima;
- Incerteza devido à variabilidade natural: o clima varia nas escalas temporais de anos e décadas, devido a interações naturais entre atmosfera, oceano e terra. Espera-se que tal variabilidade natural persista no futuro. Tal incerteza ainda não pode ser removida, mas pode ser quantificada, através do processamento de conjuntos de projeções futuras do clima. Cada membro do conjunto usa o mesmo modelo e o mesmo cenário de emissão ou concentração, mas cada um é inicializado de um ponto de partida diferente no clima de controle. O processamento do modelo para períodos de 10 a 30 anos fornecerá uma amplitude de possibilidades futuras;
- Incerteza na mudança climática regional: todas as técnicas de regionalização carregam consigo quaisquer erros nos campos de forçantes dos GCMs. Técnicas diferentes podem fornecer projeções distintas, até quando baseadas na mesma projeção do GCM. Com a mesma técnica, até mesmo diferentes Modelos de Circulação Regional (RCMs) fornecerão projeções regionais distintas, mesmo baseando-se na mesma saída do GCM.

2.6. Métodos de redução de escala (*downscaling*)

Infelizmente, os Modelos de Circulação Global (GCMs) são restritos em sua utilidade para estudos de impactos locais, em função de sua grosseira resolução espacial (tipicamente da ordem de 50.000 km²) e inabilidade de solucionar importantes características da submalha, tais como: nuvens e topografia (IPCC-TGCI, 1999 citado por Wilby et al., 2002). O método usado para converter saídas dos Modelos de Circulação Global em variáveis meteorológicas locais requeridas para modelagem hidrológica viável é geralmente referido como técnicas de redução de escala (*downscaling*) (Dibike & Coulibaly, 2004a; 2004b; 2005).

Como uma consequência, dois grupos de técnicas emergiram em resposta à necessidade de se relacionar preditores atmosféricos de escala regional para clima local: a) redução estatística de escala; e b) modelos climáticos regionais de simulação de um sub-GCM, numa malha de escala de características climáticas dinâmicas, utilizando variáveis atmosféricas temporais supridas por um GCM, contornando um domínio específico (IPCC-TGCI, 1999 citado por Wilby et al, 2002).

As metodologias de redução de escala são agrupadas em quatro grupos principais: a) redução de escala dinâmica; b) tipificação climática; c) geração estocástica do clima; ou d) abordagens baseadas em regressão.

2.6.1. Redução de escala dinâmica

Redução de escala dinâmica envolve o *aninhamento* de um Modelo de Circulação Regional (RCM) a uma resolução mais grosseira de um Modelo de Circulação Global (GCM). O RCM utiliza o GCM para definir as condições de contorno atmosféricas variáveis com o tempo, em torno de um domínio finito, no qual a dinâmica física da atmosfera é modelada, utilizando-se uma malha horizontal espaçada de 20 – 50 km. A principal limitação dos RCMs é que são tão dependentes de computadores quanto os GCMs (impõem restrições ao tamanho de domínio viável, número de experimentos e duração das simulações). Os cenários produzidos por RCMs são também sensíveis à escolha das condições de contorno (como umidade do solo) utilizadas para iniciar experimentos. A principal vantagem dos RCMs é sua capacidade de solução de características atmosféricas de menor escala, como precipitação orográfica, e podem ser usados para explorar a significância relativa de diferentes forçantes externas, tais como ecossistema terrestre ou mudanças químicas atmosféricas (Wilby et al., 2002; Wilby & Dawson, 2007).

Alves et al. (2003) aplicaram o *downscaling* dinâmico para simulação da precipitação sazonal no setor norte do Nordeste do Brasil, utilizando o *aninhamento* de um Modelo Regional Espectral (MRE – *National Centers for Environmental Prediction*) em modelo global (ECHAM4.5 – *Max Planck Institute*) para ano seco (1983) e ano chuvoso (1985). O MRE obteve menores erros na simulação de chuva para o ano de 1983 comparado ao modelo ECHAM4.5. Na simulação da configuração e intensidade da banda de precipitação associada

à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), em 1985, o modelo ECHAM4.5 teve melhor desempenho que o MRE que simulou uma banda mais estreita e subestimou a chuva observada.

Posteriormente, Alves et al. (2005) aplicaram novamente os mesmos modelos para os anos de 1971 a 2000, quando ficou claro um melhor desempenho do MRE na simulação da distribuição de chuva no setor norte do Nordeste do Brasil e no estado do Ceará. Já simulações da banda de precipitação associada à ZCIT mostraram que o ECHAM4.5 teve melhor desempenho que o MRE.

As vantagens da redução de escala dinâmica são: resolução de 10 – 50 km do clima; resposta física consistente às diferentes forçantes externas; capacidade de solucionar processos atmosféricos, tal como precipitação orográfica e consistência com o GCM. Entre as desvantagens citam-se: depende do realismo das forçantes do Modelo de Circulação Global; a escolha do tamanho do domínio e localização afeta os resultados; requer significantes recursos computacionais; conjunto de cenários climáticos raramente produzidos; as condições iniciais de contorno afetam os resultados; a escolha do esquema de nuvens/convecção afeta os resultados de precipitação; não é rapidamente transferido para novas regiões ou domínio (Wilby et al., 2002; Wilby & Dawson, 2007).

2.6.2. Tipificação climática

Envolve um agrupamento de variáveis meteorológicas locais em relação a diferentes classes de circulação atmosférica. Cenários futuros de clima regional são construídos, tanto a partir da distribuição das variáveis observadas (condicionadas aos padrões de circulação produzidos por um Modelo de Circulação Global), ou por geração de seqüências de padrões climáticos usando técnicas de Monte Carlo, a partir de amostras dos dados observados. Apesar de esquemas de tipificação climática serem geralmente restritos, possuem uma base inadequada para simulação de eventos raros ou extremos e são totalmente dependentes de relações climáticas estacionárias de circulação-superfície. Potencialmente, a limitação mais séria é que mudanças de precipitação produzidas por mudanças na frequência de padrões climáticos são raramente consistentes com mudanças produzidas pelo Modelo de Circulação Global hospede

(a menos que preditores adicionais, tal como umidade atmosférica, sejam empregados). (Wilby et al., 2002; Wilby & Dawson, 2007).

2.6.3. Redução de escala estatística

2.6.3.1. Geração estocástica do clima

A redução de escala estocástica do clima tipicamente envolve modificação de parâmetros convencionais de geração climática. Cenários de mudanças climáticas são gerados estocasticamente revisando-se conjuntos de parâmetros com os *outputs* de um Modelo de Circulação Global. A maior vantagem da técnica é que podem ser reproduzidas muitas estatísticas climáticas observadas e tem sido largamente utilizada, particularmente para estudos de impactos na agricultura. Além do mais, geradores estocásticos do clima permitem a produção eficiente de grandes conjuntos de cenários para análises de risco. As principais desvantagens são relacionadas a sua baixa habilidade em reproduzir a variabilidade climática inter-anual para decenal e, o que os efeitos imprevisíveis que transformam-se em ocorrência de precipitação podem ter em variáveis secundárias como temperatura (Wilby et al., 2002; Wilby & Dawson, 2007).

2.6.3.2. Abordagens baseadas em regressão

Relacionam-se às representações lineares ou não lineares entre preditores empíricos de escala local e regional com os de larga escala atmosférica. Esquemas de redução de escala individuais diferem de acordo com a escolha da função matemática de transferência, variáveis preditoras ou procedimento de ajuste estatístico. Atualmente, diversas técnicas, tais como: regressão linear e não linear, redes neurais artificiais, correlação canônica e componentes principais de análise têm sido usadas para derivar relações preditores-predição. A principal vantagem do método é a facilidade relativa de sua aplicação, casada com seu uso das relações de transferência de escala. A principal desvantagem é que os modelos geralmente explicam apenas uma fração da variabilidade climática observada (especialmente em séries de precipitação). O método da tipificação climática também assume a validade dos parâmetros do modelo sob condições climáticas futuras, e a redução de escala é altamente sensível às variáveis

preditoras escolhidas e à forma estatística. Além do mais, reduzindo-se a escala de eventos extremos futuros, utilizando-se o método da regressão é problemático, uma vez que estes fenômenos, por definição, tendem a se localizarem nos limites ou longe do espectro de dados calibrados. (Wilby et al., 2002; Dibike & Coulibaly, 2004a; 2004b; 2005; Wilby & Dawson, 2007).

Os pontos fortes do método de redução de escala estatística são: possibilidade de geração de cenários em escala de estações meteorológicas, a partir de um Modelo de Circulação Global; conjuntos de cenários climáticos permitem análise de risco/incerteza; permite exploração de seqüência temporal de eventos meteorológicos e baixo custo. Já os pontos fracos são: depende do realismo das forçantes do Modelo de Circulação Global; a escolha do tamanho do domínio e localização afetam os resultados; requer alta qualidade de dados para calibração do modelo, as relações preditores-predições são geralmente não estacionárias; a escolha das variáveis preditoras e funções de transformação afetam os resultados; variabilidade climática de baixa frequência é problemática (Wilby et al., 2002; Diaz Nieto & Wilby, 2005; Wilby & Dawson, 2007).

2.7. O sistema PRECIS e o modelo regional HadRM3P

As projeções dos Modelos de Circulação Global podem ser adequadas até algumas centenas de quilômetros ou mais, entretanto, os mesmos não capturam os detalhes locais, geralmente necessários para avaliação de impactos em nível nacional ou regional. Um método universalmente aplicado para adicionar este detalhamento para as projeções globais é a utilização de um modelo climático regional, o qual é um modelo climático de alta resolução que cobre uma área limitada do globo (tipicamente 5.000 x 5.000 km, com uma resolução horizontal típica de 50 km). São baseados em leis físicas representadas por equações matemáticas que são solucionadas utilizando-se uma malha tridimensional (Jones et al., 2004).

O sistema PRECIS (*Providing Regional Climates for Impacts Studies*) é um sistema de modelagem regional que foi desenvolvido no *Hadley Centre*, Inglaterra, devido à crescente demanda dos países que necessitavam gerar cenários climáticos regionais com alta resolução espacial com baixo custo e de forma simples. Atualmente, o sistema PRECIS já é utilizado e consolidado como uma importante ferramenta para estudos de vulnerabilidade climática em

vários países, a exemplos da Inglaterra, Índia, África do Sul e China. Torna-se importante mencionar que experimentos utilizando PRECIS requerem alguns meses para processamento, de forma que não pode ser usado para prover cenários climáticos instantâneos. Maiores detalhes acerca do sistema PRECIS podem ser obtidos em Jones et al. (2004).

O modelo HadRM3P (*Hadley Regional Model 3, with Providing Regional Climates for Impacts Studies* – PRECIS (Moberg & Jones, 2004)) foi implementado no Brasil pelo CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. Sua dinâmica é baseada no HadAM3P, uma versão mais recente da componente atmosférica do HadCM3 (Modelo de Circulação Global) do Hadley Centre, Inglaterra.

Alves (2007) aplicou o sistema PRECIS e o modelo regional HadRM3, utilizando o período 1961-1990 para climatologia de base do modelo (condições iniciais). Isto se deveu ao padrão climatológico adotado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM). Realizou três simulações climáticas contínuas para os anos de 1961 a 1990, a partir de três condições de contorno laterais do modelo global HadAM3P (resolução horizontal $2,5^\circ$ de latitude x $3,75^\circ$ de longitude, correspondendo a 300 km na linha do equador). Usando o HadRM3, valores de variáveis climáticas foram gerados a cada 6 horas na resolução espacial do modelo global. O *Hadley Centre* usa, para gerar o clima do presente (1961-90) temperaturas da superfície do mar (TSM) e cobertura de gelo usadas pela componente atmosférica do modelo HadCM3 e que logo passam a ser as condições laterais para as simulações do HadRM3. Para os cenários futuros, as TSMs e cobertura de gelo derivadas da simulação da componente oceânica do modelo HadCM3, é que são somadas aos campos médios observados de TSM (1961-90) para forçar os modelos globais e regionais.

O modelo regional HadRM3 possui uma resolução horizontal de 50 km com 19 níveis na vertical (da superfície até 30 km na estratosfera), e 4 níveis no solo. A resolução espacial é de $0,44^\circ$ x $0,44^\circ$ latitude/longitude, o que corresponde a uma grade de aproximadamente 50 km. Para fins de mudança climática, o modelo usa uma representação do ciclo de sulfato e de alguns outros aerossóis. Maiores detalhes das principais características do HadRM3P implementado no CPTEC são descritos por Alves (2007) e Ambrizzi et al. (2007).

Alves (2007) analisou o viés da precipitação gerada pelo modelo HadRM3P para toda a América do Sul e concluiu que as regiões com menores discrepâncias são as Regiões Sul e

Nordeste do Brasil e que a distribuição espacial e temporal simulada pelo modelo se aproxima do padrão climatológico, ou seja, permite identificar os diferentes regimes pluviométricos observados durante as estações do ano. Dentre outros aspectos, destacou: os baixos índices pluviométricos sobre o semi-árido do Nordeste e que, apesar de o modelo simular corretamente o posicionamento da Zona de Convergência Intertropical-ZCIT, a precipitação associada a este sistema não consegue adentrar ao continente, resultando em elevados desvios negativos de previsão da precipitação no extremo norte da América do Sul. O período de estiagem sobre grande parte da Região Nordeste, caracterizado pelos baixos totais pluviométricos, também foi capturado pelo Modelo.

Analisando-se as séries temporais do ciclo anual climatológico da precipitação observada e simuladas pelo modelo para o norte do Nordeste (Figura 5), observou-se que uma característica marcante nas séries temporais simuladas em três processamentos pelo modelo é uma concordância com o ciclo climatológico, isto é, não há erros grosseiros na representação da precipitação, tanto em média quanto à variação sazonal estão bem representadas (pouca precipitação durante os meses secos e totais elevados durante os meses chuvosos). Observou-se que o que mais se destaca nesta região é que a curva simulada mostra-se deslocada para direita em relação ao ciclo anual (Alves, 2007).

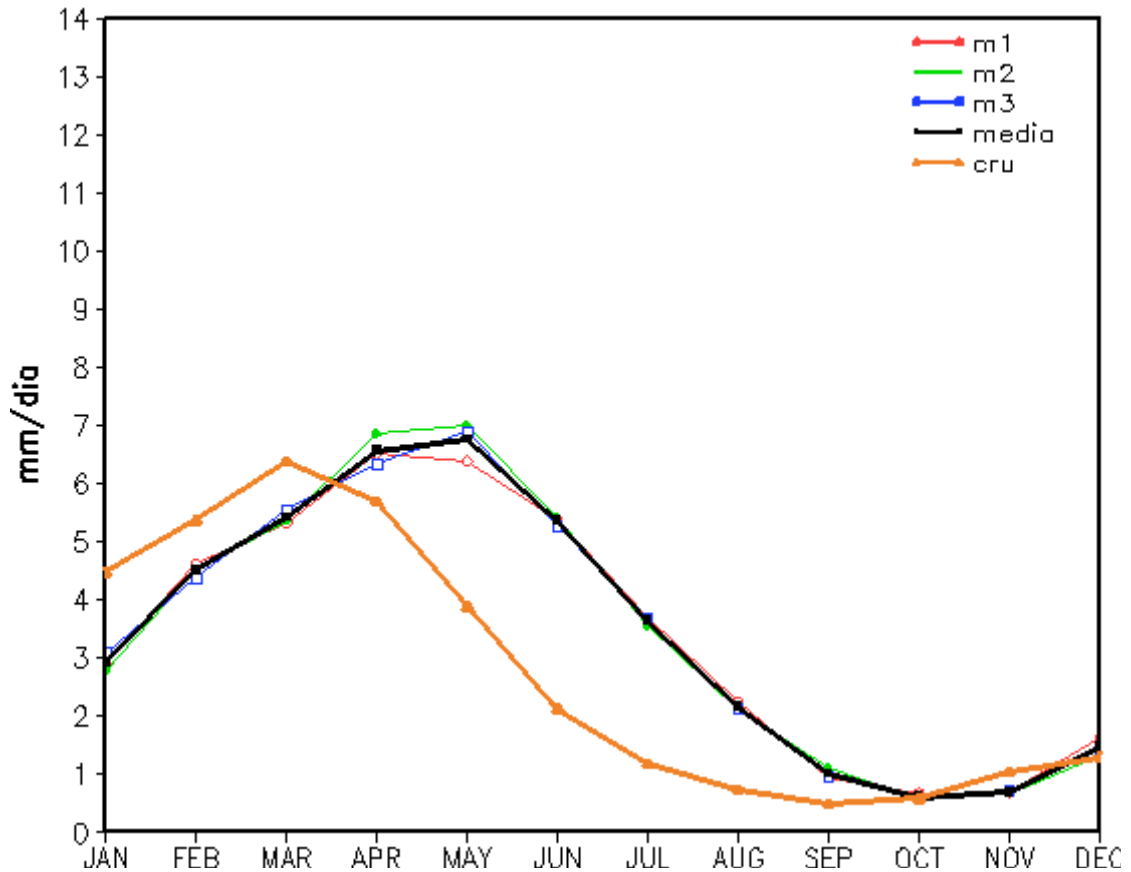


Figura 5 - Ciclo anual da precipitação (mm dia^{-1}) observado e simulado pelo modelo para o norte do Nordeste. A linha laranja representa a precipitação observada. A linha preta representa a média do conjunto das três simulações (m 1, m 2 e m 3). A linha vermelha, verde e azul representa cada membro do conjunto.

Fonte: Alves (2007).

De acordo com Alves (2007), de uma maneira geral, o modelo reproduz razoavelmente bem a variabilidade espacial e temporal da temperatura, em particular nas médias latitudes. Apesar da uniformidade da temperatura na região equatorial ao longo do ano, o modelo subestima os valores de temperatura em todas as estações (Figura 6).

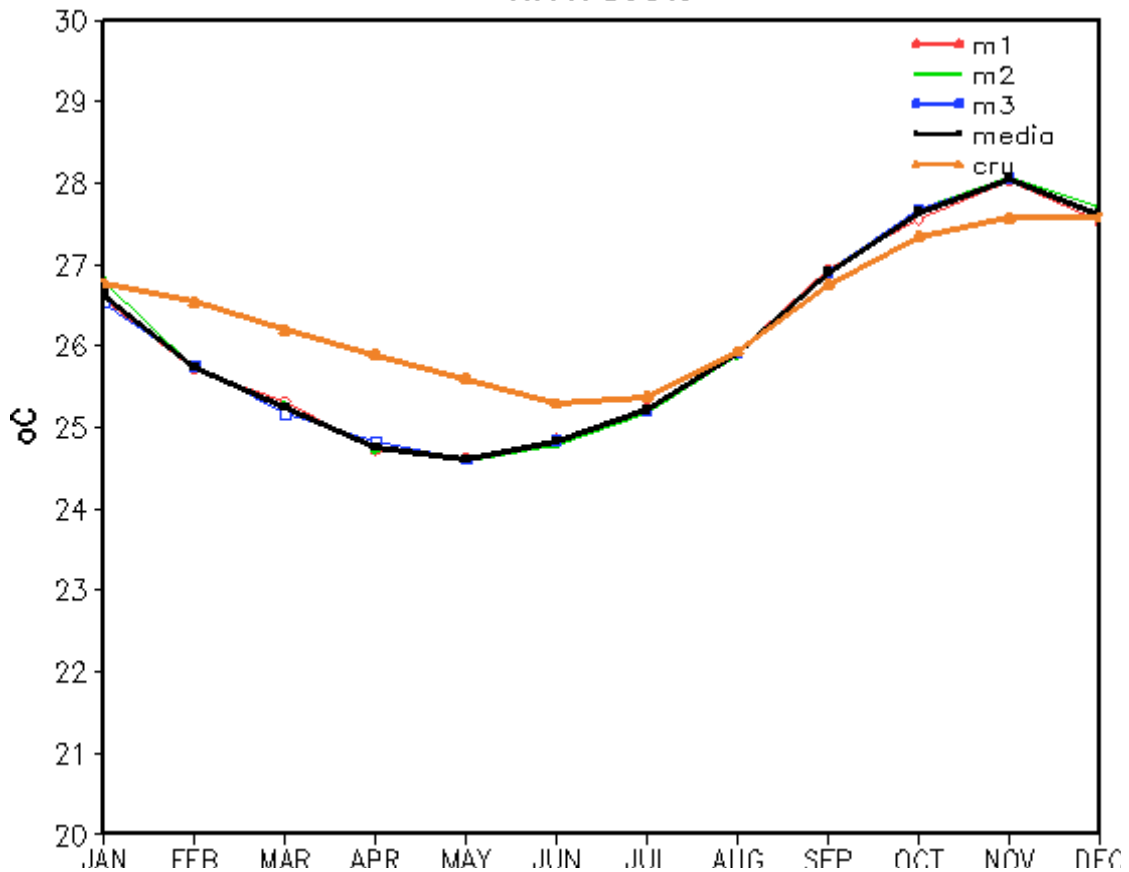


Figura 6 - Ciclo anual da temperatura (°C) observado e simulado pelo modelo para o norte do Nordeste. A linha laranja representa a temperatura observada. A linha preta representa a média do conjunto das três simulações (m 1, m 2 e m 3) . A linha vermelha, verde e azul representa cada membro do conjunto.

Fonte: Alves (2007).

Quanto à incerteza da variabilidade natural, Alves (2007) concluiu que o modelo HadRM3P capturou o sinal das anomalias de precipitação durante os eventos extremos *El Niño* (1983) e *La Niña* (1985), indicando sua sensibilidade a uma forte forçante externa. Considerou que as séries temporais da variabilidade climática interanual nas regiões selecionadas mostram uma dispersão relativamente pequena entre os membros do conjunto (resultante de três processamentos), e de maneira geral, consistente com as anomalias observadas.

2.8. Krigagem

Há vários métodos de interpolação espacial. Attorre et al. (2007) compararam o Inverso Quadrado da Distância, krigagem e redes neurais na interpolação espacial de variáveis climáticas (temperatura e precipitação) e de nove índices bioclimáticos. Os resultados demonstraram o melhor desempenho para a krigagem quando envolve-se latitude, longitude, elevação, declividade, continentalidade e radiação solar estimada.

A krigagem é uma técnica utilizada na Geoestatística para estimar valores de variáveis para locais não mensurados, por meio de observações adjacentes interdependentes. Na krigagem ordinária, os valores desconhecidos das variáveis de interesse são estimados por uma média ponderada de valores vizinhos. Os pesos são escolhidos de modo que esse estimador seja o melhor estimador linear não tendencioso (sem viés), para o caso de variáveis com distribuição Normal. Os pesos são derivados de uma função de covariância denominada variograma, que pode ser representada por diferentes modelos matemáticos.

O modelo de covariância também permite a incorporação de características qualitativas do local, como um padrão de anisotropia (varia com a direção de medida). Freeze & Cherry (1979), por exemplo, definem *anisotropia* em fluxo subterrâneo como: a variação da condutividade hidráulica com a direção de medida, em qualquer ponto dado, na formação geológica.

Na prática, o padrão de continuidade espacial para o modelo de função aleatória é geralmente tomado a partir da evidência da continuidade espacial dos dados amostrados. A solução probabilística do problema consiste em conceituar valores desconhecidos. Para cada ponto, o modelo segue uma função estacionária aleatória que consiste de várias variáveis aleatórias. Cada uma delas obedece a uma mesma lei probabilística. O erro da estimativa é definido como a diferença entre o valor estimado e a variável aleatória modelando o valor verdadeiro. O valor esperado do erro numa localização particular é geralmente referido como a tendência. Igualando-se este valor a zero pode-se assegurar resultados não tendenciosos. A distância não é geométrica e sim uma distância estatística (o que distingue a krigagem do método do inverso do quadrado da distância). As equações utilizadas na krigagem, assim como detalhes do modelo matemático podem ser encontrados em Isaaks & Srivastava (1989), na forma apresentada a seguir:

Em cada ponto onde não possuímos uma amostra, estima-se o valor real desconhecido, utilizando uma combinação linear ponderada das amostras disponíveis, através de uma função aleatória não tendenciosa:

$$v' = \sum_{j=1}^n w_j \cdot v \quad (1)$$

Onde:

v' é o valor real desconhecido (estimado);

w_j é o peso das amostras vizinhas;

v é o valor da amostra conhecida.

O erro r de qualquer valor estimado é a diferença entre o próprio valor estimado no ponto i e o valor real naquele ponto:

$$r_i = v'_i - v_i \quad (2)$$

Então, o erro médio (m_r) de um conjunto de estimativas é:

$$m_r = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k r_i = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k v'_i - v_i \quad (3)$$

Infelizmente, é impossível se utilizar muito estas equações, uma vez que envolvem quantidades que não se conhecem, nomeadas valores reais $v_1 \dots v_k$.

A solução probabilística para este problema consiste em conceituar os valores desconhecidos como um processo de saída, resolvendo o problema do modelo conceitual. Para qualquer ponto que se deseja estimar o valor desconhecido, o modelo é uma função aleatória estacionária que consiste de várias variáveis aleatórias, uma para o valor de cada localização da amostra, $V(x_1), \dots, V(x_n)$ e uma para o valor desconhecido no ponto que está se tentando estimar, $V(x_0)$.

Cada uma destas variáveis possui a mesma lei probabilística. Em todas as localizações, o valor esperado da variável aleatória é $E\{V\}$. Qualquer par de variáveis aleatórias possui uma distribuição conjunta que depende apenas da separação entre dois pontos e não de sua localização. A covariância entre dois pares de variáveis aleatórias separadas por uma distância particular h , é $C_v(h)$.

Cada valor no modelo é visto como uma saída de uma variável aleatória. As amostras são saídas de variáveis aleatórias, assim como é o valor verdadeiro desconhecido. Nossa estimativa também é uma variável aleatória, uma vez que é uma combinação linear ponderada das variáveis aleatórias nas localizações das amostras disponíveis:

$$V'(x_0) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot V(x_i) \quad (4)$$

onde

$V'(x_0)$ é o valor desconhecido no ponto x_0 que está se tentando estimar;

w_i é o peso das amostras vizinhas;

$V(x_i)$ é o valor da amostra conhecida no ponto x_i .

De forma semelhante, o erro da estimativa (R), definido como a diferença entre a própria estimativa e a variável aleatória modelando o valor real, também é uma variável aleatória:

$$R(x_0) = V'(x_0) - V(x_0) \quad (5)$$

$$R(x_0) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot V(x_i) - V(x_0) \quad (6)$$

Pode-se assegurar que o erro em qualquer posição da amostra possui um valor esperado de zero (0), aplicando-se a fórmula para o valor esperado de uma combinação linear na Eq. 6:

$$E\{R(x_0)\} = E\left\{ \sum_{i=1}^n w_i \cdot V(x_i) - V(x_0) \right\} \quad (7)$$

$$= \sum_{i=1}^n w_i \cdot E\{V(x_i)\} - E\{V(x_0)\} \quad (8)$$

onde

$E\{R(x_0)\}$ é o valor esperado do erro no ponto x_0

$E\{V(x_i)\}$ é o valor esperado do no ponto x_i

$E\{V(x_0)\}$ é o valor esperado no ponto x_0

O valor esperado do erro em qualquer localização particular, $E\{R(x_0)\}$ é geralmente referido como tendência. Ajustando-se este valor em zero (0) para assegurar resultados não tendenciosos:

$$E\{R(x_0)\} = 0 = E\{V\} \sum_{i=1}^n w_i - E\{V\} \quad (9)$$

$$E\{V\} \sum_{i=1}^n w_i = E\{V\} \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (11)$$

Tal conclusão permite utilizar esta condição não tendenciosa. A krigagem ordinária produz uma série de estimativa para as quais, a variância dos erros (σ^2_R) é mínima. A variância do erro de um conjunto de k estimativas pode ser escrita assim:

$$\sigma^2_{R=} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (r_i - m_R)^2 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k [v'_i - v_i - \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (v'_i - v_i)]^2 \quad (12)$$

Assumindo-se que o erro médio é igual a zero (0), pode-se simplificar para:

$$\sigma^2_{R=} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (r_i - 0)^2 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k [v'_i - v_i]^2 \quad (13)$$

Como $V'(x_0) = \sum_{i=1}^n w_i V(x_i)$ (Eq. 4) e $R(x_0) = V'(x_0) - V(x_0)$ (Eq.5).

Esta equação requer valores reais, desta forma tem-se que recorrer ao modelo de funções aleatórias. As amostras disponíveis são agrupadas numa combinação ponderada para formar a estimativa. O passo seguinte é encontrar uma expressão para a variância do erro. A fórmula para a variância de uma combinação linear ponderada aplicada à Eq.4 é:

$$Var\{\sum_{i=1}^n w_i V_i\} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i \cdot w_j \cdot Cov\{V_i V_j\} \quad (14)$$

onde

$Var\{\sum_{i=1}^n w_i V_i\}$ é a variância do valor desconhecido

$Cov\{V_i V_j\}$ é a covariância entre os valores i e j

Considerando a Eq.5, pode-se expressar a variância do erro:

$$\begin{aligned} Var\{R(x_0)\} &= Cov\{V'(x_0) V'(x_0)\} - Cov\{V'(x_0) V(x_0)\} - Cov\{V(x_0) V'(x_0)\} + \\ &\quad Cov\{V(x_0) V(x_0)\} \\ &= Cov\{V'(x_0) V'(x_0)\} - 2Cov\{V'(x_0) V(x_0)\} + Cov\{V(x_0) V(x_0)\} \end{aligned} \quad (15)$$

O primeiro termo $Cov\{V'(x_0) V'(x_0)\}$ é a covariância de $V'(x_0)$ que é igual à variância de $V'(x_0)$:

$$Var\{V'(x_0)V'(x_0)\} = Var\left\{\sum_{i=1}^n w_i \cdot V_i\right\} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i \cdot w_j \cdot \tilde{C}_{ij} \quad (16)$$

Onde:

\tilde{C}_{ij} é a covariância entre i e j .

Assumindo-se que as variáveis aleatórias possuem a mesma variância σ^2 , pode-se expressar:

$$Cov\{V(x_0)V(x_0)\} = \sigma^2 \quad (17)$$

$$\begin{aligned} 2 Cov\{V'(x_0) V'(x_0)\} &= 2 Cov\left\{\left(\sum_{i=1}^n w_i \cdot V_i\right) V_o\right\} \\ &= 2 E\left\{\sum_{i=1}^n w_i \cdot V_i \cdot V_o\right\} - 2 E\left\{\sum_{i=1}^n w_i \cdot V_i\right\} \cdot E\{V_o\} \\ &= 2 \sum_{i=1}^n w_i \cdot E\{V_i \cdot V_o\} - 2 \sum_{i=1}^n w_i \cdot E\{V_i\} \cdot E\{V_o\} \\ &= 2 \sum_{i=1}^n w_i \cdot Cov\{V_i, V_o\} \\ &= 2 \sum_{i=1}^n w_i \cdot C_{io} \end{aligned} \quad (18)$$

Combinando-se os três termos, tem-se a expressão que dá a variância do erro como uma função de n variáveis, fornecendo os pesos w_1, \dots, w_n :

$$\sigma_R^2 = \sigma^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i \cdot w_j \cdot \tilde{C}_{ij} - 2 \sum_{i=1}^n w_i \cdot C_{io} \quad (19)$$

A minimização de uma função de n variáveis é geralmente obtida igualando-se n primeiras derivadas parciais a zero (0). Como o modelo aplica condições não tendenciosas, não se pode aceitar qualquer conjunto de n pesos como uma solução, mas devem ser restritos a soluções possíveis àqueles conjuntos de pesos que a soma é igual a um (1). Tais problemas de otimização restrita podem ser solucionados utilizando-se os parâmetros de Lagrange (μ), o qual é introduzido na equação:

$$\sigma_R^2 = \sigma^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i \cdot w_j \cdot \tilde{C}_{ij} - 2 \sum_{i=1}^n w_i \cdot C_{io} + 2 \underbrace{\mu \left(\sum_{i=1}^n w_i - 1 \right)} \quad (20)$$

$2\mu(\sum_{i=1}^n w_i - 1) = 0$, pois $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ para satisfazer a condição não tendenciosa, logo

$$\sum_{i=1}^n w_i - 1 = 0.$$

$$\frac{\partial(\sigma^2_R)}{\partial\mu} = \frac{\partial(2\mu(\sum_{i=1}^n w_i - 1))}{\partial\mu} = 2(\sum_{i=1}^n w_i - 2) \quad (21)$$

Igualando-se a Eq. 21 a zero, produz-se a condição não tendenciosa:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1, \text{ logo: } \frac{\partial(\sigma^2_R)}{\partial\mu} = 0 \quad (22)$$

Analisando a Eq.19 para a derivação $\frac{\partial(\sigma^2_R)}{\partial\omega}$:

$$\sigma^2_R = \sigma^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i \cdot w_j \cdot \tilde{C}_{ij} - 2 \sum_{i=1}^n w_i \cdot C_{i0}$$

O 1º termo independe de w_i ;

O 2º termo:

$$\frac{\partial(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i \cdot w_j \cdot \tilde{C}_{ij})}{\partial\omega_i} = \frac{\partial(\omega_1^2 C_{11} + 2\omega_1 \sum_{j=2}^n w_j \cdot \tilde{C}_{1j})}{\partial\omega_i} = 2\omega_1 \tilde{C}_{11} + 2 \sum_{j=2}^n w_j \cdot \tilde{C}_{1j} = 2 \sum_{j=1}^n w_j \cdot \tilde{C}_{1j}; \quad (23)$$

O 3º termo:

$$\frac{\partial(\sum_{i=1}^n w_i \cdot \tilde{C}_{i0})}{\partial\omega_1} = \frac{\partial(w_i \cdot \tilde{C}_{i0})}{\partial\omega_1} = \tilde{C}_{i0}; \quad (24)$$

O último termo:

$$\frac{\partial(\mu(\sum_{i=1}^n w_i - 1))}{\partial\omega_1} = \frac{\partial(\mu\omega_1)}{\partial\omega_1} = \mu \quad (25)$$

Então:

$$\frac{\partial(\sigma^2_R)}{\partial\omega_1} = 2\sum_{j=1}^n w_j \cdot \tilde{C}_{1j} - 2\tilde{C}_{10} + 2\mu \quad (26)$$

Igualando-se a zero:

$$\frac{\partial(\sigma^2_R)}{\partial\omega_1} = 2\sum_{j=1}^n w_j \cdot \tilde{C}_{1j} - 2\tilde{C}_{10} + 2\mu = 0$$

$$\sum_{j=1}^n w_j \cdot \tilde{C}_{1j} + \mu = \tilde{C}_{10} \quad \forall i=1, \dots, n \quad (27)$$

A diferenciação com relação aos outros pesos produz equações similares:

$$\frac{\partial(\sigma^2_R)}{\partial\omega_i} = 2\sum_{j=1}^n w_j \cdot \tilde{C}_{ij} - 2\tilde{C}_{i0} + 2\mu = 0 \Rightarrow \sum_{j=1}^n w_j \cdot \tilde{C}_{ij} + \mu = \tilde{C}_{i0} \quad (28)$$

$$\frac{\partial(\sigma^2_R)}{\partial\omega_n} = 2\sum_{j=1}^n w_j \cdot \tilde{C}_{nj} - 2\tilde{C}_{n0} + 2\mu = 0 \Rightarrow \sum_{j=1}^n w_j \cdot \tilde{C}_{nj} + \mu = \tilde{C}_{n0} \quad (29)$$

O sistema de equações referido geralmente como o sistema da krigagem ordinária pode ser escrito numa notação de matrizes:

$$\begin{bmatrix} \tilde{C}_{11} & \dots & \tilde{C}_{1n} & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \tilde{C}_{n1} & \dots & \tilde{C}_{nm} & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \omega_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{C}_{10} \\ \cdot \\ \cdot \\ \tilde{C}_{n0} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (30)$$

C w = D

A solução envolve a multiplicação de ambos os termos por C^{-1} :

$$C \cdot w = D$$

$$C^{-1} \cdot C \cdot w = C^{-1} \cdot D$$

$$I \cdot w = C^{-1} \cdot D$$

$$w = C^{-1} \cdot D \quad (31)$$

A solução pode ser então obtida, aplicando-se os pesos obtidos pela Eq.29, estimando as variáveis aleatórias pela Eq.4.

Alves et al. (2007) empregaram a metodologia de análise geoestatística para descrever a variabilidade temporal da precipitação pluvial ao longo dos anos. Analisaram a variabilidade temporal da precipitação pluvial do município de Juiz de Fora – MG, no período de 2000 a 2009, referentes a cenários futuros de mudanças climáticas. A mesma metodologia foi empregada no Sri Lanka por Silva et al. (2007) e na bacia do Guadalquivir, Espanha por Díaz et al. (2007) para estimativa de impactos das mudanças climáticas nas necessidades hídricas de culturas irrigadas.

2.9. Mudanças climáticas e efeitos na agricultura

As respostas fisiológicas resultantes do aumento de concentração de CO₂ atmosférico, conhecido como efeito de fertilização de CO₂ podem produzir plantas maiores e mais vigorosas, mais matéria seca total e geralmente maior quantidade colhida de produtos. Estresse hídrico e seca, no entanto, são os fatores limitantes mais importantes na produtividade das culturas em regiões semi-áridas. Sob condições de seca, a transpiração diminui significativamente. Quando a transpiração é reduzida, a perda de calor pelas folhas desacelera e a temperatura das folhas se eleva. Estresse hídrico nas plantas é aumentado pela baixa umidade, temperaturas altas, ventos fortes e alta intensidade luminosa. O aumento na concentração de CO₂ afeta o desenvolvimento vegetal diretamente através do estímulo da fotossíntese e redução da transpiração e, como resultado, pode melhorar a eficiência do uso da água. Numa correlação significativa entre a quantidade de CO₂ na atmosfera e estresse hídrico, relacionada com a produtividade final de grãos de trigo foi demonstrado que com a elevação de CO₂, ocorrem 10% de aumento, em plantas bem irrigadas e 20% em plantas sob estresse hídrico. O estresse hídrico durante certos estágios de desenvolvimento pode ter um impacto maior na produtividade dos grãos do que estresse similar em outros estágios de desenvolvimento e as cultivares diferem na susceptibilidade aos efeitos da seca. Na realidade incertezas permanecem devido à falta de conhecimento em modelos de simulação de plantas (Eitzinger et al., 2003).

Enquanto a elevação de CO₂ sozinha tende a acelerar o crescimento das plantas e a produtividade das culturas, temperaturas mais elevadas e mudanças no regime pluviométrico podem tanto beneficiar como prejudicar os sistemas agrícolas. O aumento na concentração de CO₂ pode induzir o fechamento dos estômatos das plantas e assim, reduzir perdas de água por transpiração (Tubiello et al., 2002).

Por outro lado, Hacour et al. (2002), em experimentos com batata (*Solanum tuberosum* L. cv Bintje), relatam que os resultados sugeriram que o CO₂ induziu redução na altura e acelerou fortemente a senescência das plantas. No estágio de máxima cobertura vegetal, a média do número de folhas verdes caiu significativamente como resultado da elevação de CO₂ e houve redução no índice de área foliar (IAF).

Droogers et al. (2004) alertam quanto à importância de se fazer distinção entre plantas C3 e C4. A diferença entre plantas C3 e C4 está no caminho da fixação de CO₂. Plantas C4 são mais eficientes e a perda de carbono durante o processo de fotorespiração é negligenciável. Plantas C3 podem perder até 50% de seu carbono recém fixado durante a fotorespiração. Esta diferença sugere que plantas C4 não responderão positivamente ao aumento de CO₂ atmosférico. Entretanto tem sido sugerido que o enriquecimento atmosférico com CO₂ pode e faz substancial fortalecimento fotossintético em espécies C3. Exemplos de plantas C3 são: batata, beterraba, trigo, arroz e a maioria das árvores, exceto espécies de manguezais. Plantas C4 são encontradas nos trópicos (exemplos são milheto, milho, cana-de-açúcar). Uma terceira categoria são as chamadas crassuláceas que podem ter opções de vias C3 ou C4, dependendo das condições (exemplos: mandioca, abacaxi e cebola). Estudos de modelagem têm sido conduzidos para tentar explicar o processo e resultados têm indicado que a produção de biomassa e produtividade aumentará sob elevação de níveis de CO₂.

Rötten & van Diepen (1995) citados por Droogers et al. (2004) sugerem que para a bacia do Reno, plantas C3 terão sua produtividade aumentada em 15-35% nos próximos 50 anos como resultado da elevação de níveis de CO₂. Para milho, uma planta C4, apenas 3%, indicando que o modelo foi baseado na hipótese que espécies C4 não se beneficiam de maiores níveis de CO₂.

Já no impacto da temperatura no crescimento das plantas, Droogers et al. (2004) distinguem dois efeitos: i. efeitos fisiológicos nas plantas; e ii. efeitos da interação planta-ecossistema. Estes efeitos possuem tanto impactos positivos como negativos. Em relação às plantas, espera-se que elevação das temperaturas diminuiria a produtividade de algumas culturas, especialmente se as temperaturas noturnas são maiores. No nível da interação cultura-ecossistema, a produtividade das culturas pode ser aumentada em regiões nórdicas como Rússia, Canadá e Europa. A previsão de aumento da produtividade está nas latitudes maiores,

basicamente devido ao elastecimento da estação de cultivo e a mitigação de efeitos negativos do frio no crescimento das plantas.

Pode-se assumir que a extensão do período de cultivo (ciclo) em consequência das mudanças climáticas terá pequenas alterações nos trópicos e mudanças na precipitação, combinadas com elevação na demanda para evapotranspiração, aumentam as necessidades de água para irrigação (Fischer et al., 2007).

Nos trópicos, estudam-se perdas de regiões propícias, deslocamento dos cultivos e impactos em zoneamentos agroclimáticos, devido a fatores limitantes de temperaturas elevadas ao desenvolvimento das diversas espécies. Pode-se citar no Brasil, trabalhos como de Assad et al. (2004) e Júnior et al. (2008). Hamada et al. (2006) estudaram efeito das mudanças climáticas sobre problemas fitossanitários de plantas e projetaram para o futuro, aumento no número de ciclos de pragas e intensidade de infestação de doenças.

2.10. Mudanças climáticas e demanda de água para irrigação

Mudanças na precipitação, combinadas com demandas evaporativas permitem a previsão de impactos na demanda de água para a agricultura irrigada. Hatch et al. (1999) estimaram, para o estado da Geórgia, Estados Unidos, que o resultado de elevação de temperatura seria a redução do ciclo de cultivo de 0-17 dias para a maioria das culturas e o aumento na temperatura causa aumento na evapotranspiração das plantas. Entretanto, devido a um efeito combinado do aumento de precipitação e redução de ciclo, a demanda de água para irrigação seria reduzida entre 1 – 20% em 2021 – 2040 e de 17 – 51% entre 2081 – 2099.

Schlenker et al. (2007), analisando o impacto das mudanças climáticas na agricultura irrigada na Califórnia comentam que inicialmente, cientistas do clima especularam que o aumento anual na precipitação na maioria dos cenários climáticos implicaria em moderada pressão sobre os recursos hídricos. Entretanto, em recentes estudos hidrológicos para climas moderados, aplicando-se uma escala geográfica mais detalhada, descobriram que apesar da possibilidade de modesto aumento na precipitação anual, o escoamento superficial durante a maior parte da estação de cultivo deve sofrer decréscimo, uma vez que a maior parte da precipitação se dará na forma de chuva do que de neve. O derretimento da neve ocorrerá mais cedo e acar-

retará redução na disponibilidade de água quando esta é mais necessária, elevando a demanda para irrigação, pressionando mais os rios e os sistemas de água subterrânea.

Silva et al. (2007) aplicaram o modelo do *Hadley Centre for Climate Prediction* (HadCM3) (resolução de 300 km x 300 km) para variáveis chaves que influenciam na demanda de água para irrigação (precipitação e evapotranspiração) no Sri Lanka, numa resolução local de 16 km x 16 km. Projeções para períodos de 30 anos foram aplicadas (2020, 2050 e 2080 para os cenários A2 e B2). Uma planilha computacional modelando o balanço hídrico, associada a um sistema de informação geográfica (SIG) foi utilizada para prever impactos nas necessidades hídricas de arroz irrigado na estação chuvosa. Previu-se redução de 17% na precipitação mensal durante a estação chuvosa no cenário A2 e 9% no cenário B2, apesar da precipitação anual ser esperada aumentar 14%, no cenário A2 e 5% no B2. A média das temperaturas aumenta 1,6°C (A2) e 1,3°C (B2) e a evapotranspiração de referência aumenta 2% (A2) e 1% (B2). A demanda de água para irrigação de arroz foi prevista aumentar em média no País, de 23 e 13% para os cenários A2 e B2, respectivamente.

Díaz et al. (2007) estimaram para 2050, aplicando o modelo HadCM3 na bacia de Guadalquivir, Espanha, uma elevação na média das necessidades hídricas de aproximadamente 19,3% e 16,3%, nos cenários A2 e B2, respectivamente, causada principalmente pela redução da precipitação na época de plantio e elastecimento da estação de irrigação.

2.11. Mudanças climáticas e impactos no Nordeste do Brasil

Döll (2002) projetou uma elevação das necessidades de irrigação de 46 mm para o Nordeste do Brasil em 2020, em relação ao período de 1960-90, quando aplicou os modelos ECHAM4 e HadCM3. Concluiu que mudanças na precipitação, combinadas com elevação na demanda para evapotranspiração aumentam as necessidades hídricas da irrigação.

Döll & Hauschild (2002) analisaram os impactos potenciais de mudanças climáticas de longo prazo nas necessidades hídricas da irrigação para os Estados do Ceará e Piauí, Brasil. Compararam as necessidades hídricas das culturas com a área irrigada de 1996 – 1998 com o clima de 1951 e 1980 e de cenários de 2011 - 2040 (derivados da redução de escala dos modelos climáticos ECHAM4 e HadCM2). O modelo ECHAM4 foi desenvolvido no *Max Planck*

Institute for Meteorology, Alemanha. Uma descrição detalhada do modelo pode ser obtida em Roeckner et al. (1996). Uma versão mais recente foi lançada como ECHAM5 (Roeckner et al., 2003). Pode ser utilizado em várias configurações que diferem na extensão vertical da atmosfera, bem quanto à relevância do processo. Pode hospedar sub-modelos para diferentes processos atmosféricos. A resolução vertical na atmosfera foi estendida para 39 ou 90 níveis (Roeckner et al. 2004).

Valores diários de temperatura e evapotranspiração de referência de Penman-Monteith para cada município foram gerados para o período de 1921 a 1980. Apesar da precipitação média se apresentar reduzida ligeiramente no caso do ECHAM4, cenários futuros (2011 a 2040, centrado em 2025) resultam em significativa redução de demanda em 48% para a maioria dos municípios com irrigação (até menos 6,5 mm ano⁻¹) e aumento em apenas 4% (menos que 0,3 mm.ano⁻¹). Os autores atribuíram os resultados à distribuição espacial e estacional da precipitação e questionável redução da evapotranspiração de Penman, devido às incertezas de medidas de radiação, umidade relativa e velocidade do vento. Com o HadCM2, as reduções das necessidades para irrigação foram ainda maiores. Por outro lado, os autores alertaram não terem modelado a variedade de culturas e consideraram uma taxa fixa de 0,6 para a eficiência de aplicação da água (relação entre a quantidade de água aplicada e aquela efetivamente disponibilizada às plantas) e concluíram que o modelo possivelmente subestimou o uso da água de irrigação devido a uma estimativa conservadora de áreas irrigadas, a negligência da variabilidade de culturas e um valor elevado para eficiência de aplicação da água de irrigação.

Medeiros (2003) avaliou os impactos das mudanças climáticas utilizando modelo estocástico de precipitação para transferir as alterações na precipitação gerada por um modelo de circulação global da atmosfera na bacia do rio Paraguaçu, Bahia. Utilizou dois modelos de circulação global (GCM). Um executado pelo Serviço Meteorológico do Reino Unido (UKHI) e outro executado pelo Centro de Clima Canadense (CCCII). Aplicou dois cenários, um com a concentração de CO₂ presente e outro com 2 x CO₂. Utilizou séries de 10 anos de chuvas diárias e séries de evapotranspiração mensais que serviram como dados de entrada do modelo chuva-vazão da bacia. Os valores de temperatura do modelo UKHI se comportaram mais próximos dos valores medidos nos meses de verão e outono; e maiores nos meses de inverno e primavera. Os valores do CCII são menores que os históricos em aproximadamente 5°C durante todos os meses do ano. A comparação das precipitações médias revelou não somente uma grande disparidade entre as estimativas dos Modelos de Circulação Global, como

também uma grande distância dos valores históricos, demonstrando que os Modelos de Circulação Global não puderam reproduzir com precisão os atuais valores de temperatura e precipitação da bacia. A evapotranspiração potencial aumentou para ambos os cenários, devido ao possível aumento da temperatura. Concluiu que os impactos hidrológicos na bacia eram mais fortemente controlados pelas reduções na precipitação que pelos acréscimos da temperatura.

Krol et al. (2006) e Krol & Bronstert (2007) aplicaram *The Regional Integrated Model* (Krol et al., 2001) para o semi-árido nordestino e série diária de temperatura, precipitação, umidade do ar e velocidade do vento como dados de entrada para o período de 1947 – 1998 e com cenários climáticos futuros, resultantes de uma técnica estatística, usando observações diárias de longo prazo, com um cenário constante (sem mudança climática) e tendências climáticas de dois Modelos de Circulação Global, ECHAM4 (Roeckner et al., 1996) e HadCM2 (Johns et al., 1997). Os autores verificaram que projeções de alterações na precipitação sobre a região (2070 – 2090 comparada a 1961 – 1990) divergiram, sendo menos 50% para ECHAM4 e mais 21% para HadCM2.

Após 2015, as projeções do modelo HadCM2 e no cenário com clima constante, a reserva hídrica demonstra um variado grau de armazenamento de água, sem uma tendência significativa. Para o modelo ECHAM4, o volume armazenado no Ceará apresenta um declínio acentuado. Após 2030, o modelo ECHAM4 demonstra um decréscimo de retirada de água porque a demanda de água não pode ser totalmente atendida, o que é resultado da redução da precipitação que tem sido projetada. Em contraste, o modelo HadCM2 não mostra significativo decréscimo de água retirada. Em ambos os cenários, a agricultura irrigada aumenta até 2025, principalmente devido ao aumento da área irrigada. Entretanto, devido ao decréscimo na precipitação, a crescente demanda de água não poderá ser atendida após 2025 para o modelo ECHAM4 e a produção então, começa a diminuir. Aumento das áreas irrigadas leva a um decréscimo de produtividade no modelo ECHAM4, principalmente devido ao não atendimento da demanda. Em contraste, segundo o modelo HadCM2, devido ao atendimento da demanda, as produtividades das culturas são raramente afetadas, demonstrando que a vulnerabilidade da produção irrigada pode significativamente mudar com os modelos (Krol et al., 2006; Krol & Bronstert, 2007).

Moncunill (2006) investigou a tendência de precipitação no Estado do Ceará utilizando séries de precipitação do período de 1961 a 2003. Encontrou redução na precipitação de 5,3

mm ano⁻¹, no total de chuva do semestre janeiro-junho. No total mensal, os meses apresentaram tendência negativa, exceto para o mês de janeiro. Realizou simulação numérica com o modelo regional RSM 97 acoplado com o Modelo de Circulação Global ECHAM4.5, sendo forçado exclusivamente pelas TSM (Temperaturas da Superfície do Mar) observadas. Demonstrou capturar bem a tendência para redução de precipitação e concluiu que a ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) possuiu uma tendência de ficar mais deslocada para o norte durante a quadra chuvosa do Nordeste do Brasil. A principal causa da tendência da redução da precipitação foi provocada pela alteração das Temperaturas da Superfície do Mar (TSM), em particular as tendências de aquecimento da TSM na região do El-Niño e na bacia norte do Atlântico tropical, entre outras áreas.

2.12. Variáveis para estimativa de água para irrigação

2.12.1. Precipitação efetiva

Doorenbos & Pruitt (1977) lembram que para a estimativa da porcentagem de chuva efetiva disponível para as culturas, escolhe-se o nível de segurança da chuva. Um valor prático e verdadeiro de chuva que é muito utilizado é o da chuva mensal média que ocorre com 25% de probabilidade. No entanto, isto supõe também escassez de chuva de um ano em cada quatro. É preferível conhecer também o grau de escassez e a frequência esperada durante os anos mais secos.

Para irrigação, segundo Bernardo et al. (2005) pode-se definir precipitação efetiva como sendo a parte da precipitação que é utilizada pela cultura para atender sua demanda de evapotranspiração, ou seja, é a precipitação total menos a parte que escoia sobre a superfície do solo e a parte que percola abaixo do sistema radicular da cultura. Pozzebon et al. (2003) subtraem ainda a evaporação da água interceptada pela vegetação. Tem-se que ter em mente que a quantidade de precipitação de fato efetiva, dependerá do teor de água do solo imediatamente anterior à precipitação. Quando uma chuva ocorrer logo após uma irrigação, praticamente não haverá efetividade. Quando ocorrer poucos dias após a irrigação, a quantidade realmente efetiva será a lâmina que o solo poderá reter até que seu teor de água chegue à *capacidade de campo*. Assim, o conceito de precipitação efetiva é mais importante no manejo de sistemas de irrigação do que no dimensionamento dos projetos. Normalmente no cálculo da demanda má-

xima de irrigação para dimensionamento de projeto, não se considera a precipitação efetiva (Bernardo et al., 2005).

2.12.2. Evapotranspiração de referência (ET_o) e coeficiente de cultivo (Kc)

Evaporação é o processo em que, água líquida é convertida em vapor e removida de uma superfície evaporante, tais como lagos, rios, solos e vegetação. A *transpiração* consiste da vaporização de água líquida contida nos tecidos vegetais e sua remoção para a atmosfera. A *evapotranspiração* é o processo de evaporação e transpiração ocorrendo simultaneamente (Allen et al., 1998).

O efeito do clima nas necessidades hídricas das culturas é dado pela *evapotranspiração de referência* (ET_o) e o efeito da cultura pelo *coeficiente de cultivo* (Kc). O painel de *experts* da FAO recomendou a adoção do método de Penman-Monteith ajustado e ficou conhecido como o método combinado FAO Penman-Monteith, válido globalmente como padrão para cálculo das necessidades hídricas das culturas (Allen et al., 1998).

O modelo matemático completo de Penman-Monteith para estimativa das necessidades hídricas das plantas pode ser encontrado em Allen et al. (1998), sendo a equação básica da evapotranspiração de referência (ET_o) dada por :

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (32)$$

onde:

ET_o é a evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹);

Rn é a radiação líquida na superfície das culturas (MJ m² dia⁻¹);

G é o fluxo de calor no solo (MJ m² dia⁻¹);

T é a média diária da temperatura do ar a 2 m de altura (°C);

u₂ é a velocidade do vento a 2 m de altura (m s⁻¹);

e_s é a pressão da saturação de vapor (kPa);

e_a é a pressão de vapor atual (kPa);

(e_s - e_a) é o déficit de saturação de vapor (kPa);

Δ é a inclinação da curva da pressão de vapor *versus* temperatura (kPa °C⁻¹);

γ é a constante psicrométrica (kPa °C⁻¹).

Os dados básicos para estimativa da ET_o Penman-Monteith FAO (ET_oPM) compõe um conjunto contendo temperatura máxima e mínima, pressão de vapor real ou atual, radiação líquida e velocidade do vento. Com este conjunto torna-se possível estimar as diversas variáveis, conforme equações a seguir:

$$\gamma = 0,665 \times 10^{-3} P_{atm} \quad (33)$$

onde:

P_{atm} é a pressão atmosférica (kPa)

$$P_{atm} = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065z}{293} \right)^{5,26} \quad (34)$$

onde:

z é a altitude da estação em relação ao nível do mar (m)

$$\Delta = \frac{4098 \left[0,6108 \exp \frac{17,27T}{T + 237,3} \right]}{(T + 237,3)^2} \quad (35)$$

onde:

\exp é a base do logarítmo natural = 2,7183;

T é a média da temperatura do ar (°C);

$$e^o(T) = 0,6108 \exp \left[\frac{17,27T}{T + 237,3} \right] \quad (36)$$

onde:

$e^o(T)$ é a pressão de saturação de vapor em determinada temperatura do ar T (kPa);

T é a temperatura do ar (°C);

$$e_s = \frac{e^o(T_{máx}) + e^o(T_{mín})}{2} \quad (37)$$

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (38)$$

onde:

R_{ns} é a radiação de onda curta líquida que chega à superfície terrestre (MJ m² dia⁻¹);

R_{nl} é a radiação de onda longa líquida que sai da superfície terrestre (MJ m² dia⁻¹).

$$R_{ns} = 1 - \alpha(R_s) \quad (39)$$

onde:

α é o albedo ou coeficiente de reflexão da cobertura vegetal, o qual assume o valor de 0,23 para a grama de referência hipotética (adimensional);

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{T_{m\acute{a}xK^4} + T_{m\acute{i}nK^4}}{2} \right] (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) (1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35) \quad (40)$$

onde:

σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($4,903 \times 10^{-9}$ MJ.m² dia⁻¹);

$T_{m\acute{a}xK}$ é a temperatura máxima absoluta durante período de 24 h (°K);

$T_{m\acute{i}nK}$ é a temperatura mínima absoluta durante período de 24 h (°K);

R_s é a radiação solar medida ou calculada (MJ m⁻² dia⁻¹);

R_{so} é a radiação de céu claro medida ou calculada (MJ m⁻² dia⁻¹).

$$R_{so} = (0,75 + 2 \times 10^{-5} z) R_a \quad (41)$$

onde:

z é a altitude da estação em relação ao nível do mar (m);

R_a é a radiação extraterrestre (MJ m⁻² dia⁻¹).

O Quadro 1 apresenta a radiação extraterrestre (R_a) do décimo-quinto dia do mês para o hemisfério sul, conforme Allen et al. (1998), interpolando-se para a região de estudo.

Quadro 1 – Radiação extraterrestre (MJ m⁻² dia⁻¹) para cada mês, segundo a latitude.

Ra (MJm ² dia ⁻¹)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
4°	37,6	38,3	38,0	36,0	33,4	31,8	32,3	34,6	37,0	38,0	37,6	37,2
6°	38,3	38,7	38,0	35,6	32,7	30,9	31,5	34,0	36,8	38,2	38,2	38,0
fator para interpolação/°	0,35	0,20	0,00	-0,20	-0,35	-0,45	-0,40	-0,30	-0,10	0,10	0,30	0,40
4,66°	37,8	38,4	38,0	35,9	33,2	31,5	32,0	34,4	36,9	38,1	37,8	37,5
5,67°	38,2	38,6	38,0	35,7	32,8	31,0	31,6	34,1	36,8	38,2	38,1	37,9
Raméd (MJm ² dia ⁻¹)	38,0	38,5	38,0	35,8	33,0	31,3	31,8	34,3	36,9	38,1	37,9	37,7

Allen et al. (1998) propuseram modelo de estimativa da ET_oPM com dados limitados.

Para sua utilização assume-se que:

- ao amanhecer, a temperatura está próxima da temperatura mínima e esta por sua vez considera-se que esteja próxima do ponto de orvalho, o ar está próximo da saturação com vapor d'água e a umidade relativa próxima de 100%. Esta temperatura é empregada para estimativa da pressão de vapor real (e_a), então:

$$e_a = e^o(T_{min}) = 0,611 \exp \left[\frac{17,27T_{min}}{T_{min} + 237,3} \right] \quad (42)$$

onde:

e_a é a pressão de vapor real (kPa);

$e^o (T_{\min})$ é a pressão de saturação de vapor na temperatura mínima (kPa);

T_{\min} é a temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$);

- a diferença entre a temperatura máxima e mínima está relacionada com o grau de cobertura de nuvens de uma localidade. Condições de céu claro resultam em altas temperaturas durante o dia (T_{\max}) por causa da transparência atmosférica à radiação solar que chega e temperaturas mais baixas durante a noite (T_{\min}) por causa de menos radiação de onda longa refletida que é absorvida pela atmosfera. Por outro lado, em dias nublados, T_{\max} é relativamente menor porque parte significativa da radiação solar nunca atinge a superfície da Terra e é absorvida e refletida pelas nuvens. De forma similar, T_{\min} será relativamente mais alta, uma vez que a cobertura de nuvens age como uma coberta que diminui a radiação de onda longa líquida refletida. Desta forma, o cálculo da radiação é baseado pela diferença entre temperaturas máxima e mínima:

$$R_s = k_{R_s} \sqrt{(T_{\max} - T_{\min})} R_a \quad (43)$$

onde:

R_s é a radiação solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);

R_a é a radiação extraterrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);

T_{\max} é a temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$);

T_{\min} é a temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$);

k_{R_s} é o coeficiente de ajuste (0,16;...;0,19) ($^{\circ}\text{C}^{-0.5}$);

- na ausência de dados, u_2 é considerado 2 m.s^{-1} que é a média de mais de 2.000 estações ao redor do globo;
- o efeito do fluxo de calor no solo (G) é ignorado para cálculos diários, uma vez que sua magnitude é pequena.

Considerando que muitos modelos de circulação global não provêm todas as variáveis necessárias para estimativa da evapotranspiração de referência, Kay & Davies (2008) compararam a evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith e método baseado em apenas temperatura, em modelagem hidrológica, envolvendo mudanças climáticas na Grã-Bretanha. Os resultados sugeriram que as incertezas dos impactos hidrológicos foram menos em função da forma de estimativa da evapotranspiração que da estrutura do modelo climático de circulação global ou regional. Acharam que o método baseado apenas em

temperatura apresentou melhor desempenho que Penman-Monteith, apesar deste último ser mais fisicamente robusto e atribuíram ao fato de que provavelmente, o envolvimento de outras variáveis oriundas de modelos climáticos requeridas para estimativa da evapotranspiração, possui interações complexas ainda pouco claras, quando se consideram mudanças climáticas.

O efeito do clima nas necessidades hídricas das plantas é dado pela evapotranspiração de referência (ET_o), a qual é a correção da diferença entre a evaporação de uma superfície líquida e a evapotranspiração da superfície de referência (cobertura de grama com alfafa ou outra vegetação de 0,12 m de altura uniforme, em ativo crescimento, cobrindo totalmente o solo, cultivada sob condições abundantes de disponibilidade de água no solo). O efeito da cultura é dado pelo coeficiente de cultivo (Kc), o qual é o coeficiente de correção entre a evapotranspiração da cultura e da superfície de referência (Allen et al., 1998).

O conhecimento das necessidades hídricas das espécies irrigadas, estimadas pelo coeficiente de cultivo (Kc) e evapotranspiração de referência (ET_o) é de fundamental importância para uma gestão sustentável dos recursos hídricos em nível de uma bacia hidrográfica, assim como as culturas que são irrigadas, épocas de plantio e métodos de irrigação utilizados (Gondim et al., 2005).

2.12.3. Eficiência de aplicação

Embora do ponto de vista agrônomo a Eficiência de Aplicação (Ea) tenha importância relativa, por não indicar o grau de uniformidade na distribuição da água de irrigação e por não traduzir, necessariamente, a reposição da lâmina requerida na zona radicular das culturas, é um indicador das perdas e da quantidade de água efetivamente disponibilizada às plantas. Desta forma, a Eficiência de Aplicação (Ea) associada à Eficiência de Condução (Ec) são os parâmetros que indicam a parcela de água efetivamente disponibilizada às culturas em relação à quantidade total derivada e, portanto, de interesse na conservação e eficiência no uso de recursos hídricos (Barbosa, 2005). O autor citado considerou uma eficiência de condução (Ec) de 90% (Quadro 2).

Quadro 2 – Eficiência de aplicação e eficiência final para os diversos sistemas de irrigação.

Sistemas de Irrigação	Eficiência de Aplicação (Ea) (%)	Referência Bibliográfica	Eficiência Final de Aplicação (Ea x Ec) (%)
Inundação	58	Colares (2004); Costa & Souza (2006)	52
Faixa	60	Estimado	54
Bacia	60	Estimado	54
Sulco	60	Castro (1997), modificado	54
Aspersão Convencional	71	Ramos et al. (2003)	64
Pivô Central	72	Nunes (2006)	65
Microaspersão	82	Ramos et al. (2003); Nunes (2006) , modificado	74
Gotejamento	82	Ramos et al. (2003), Nunes (2006) modificado	74

Fonte: Barbosa (2005), modificado.

Colares (2004); Costa & Souza (2006) elaboraram um diagnóstico no Distrito de Irrigação Morada Nova, Ceará, com o objetivo de avaliar as eficiências de aplicação e de uso da água em algumas unidades texturais de solo utilizadas para o cultivo do arroz irrigado por inundação. Os resultados obtidos demonstraram uma amplitude de valores de eficiência de aplicação dos sistemas de irrigação referentes às unidades texturais argilo-siltosa e areia franca, a partir do segundo evento de irrigação. Observa-se que na textura argilo-siltosa a média da eficiência de aplicação situa-se em torno de 77,0%, ao passo que na unidade textural areia-franca a média não supera 38,0%.

Nunes (2006) avaliando a eficiência de aplicação em 24 parcelas de áreas irrigadas variando de 0,5 a 6,0 ha no Distrito de Irrigação Jaguaribe-Apodi, em Limoeiro do Norte (CE), identificou 13 parcelas irrigadas com déficit. As demais parcelas apresentaram as seguintes eficiências de aplicação: de 7,89 a 79,51% para microaspersão, de 35,55 a 92,99% para gotejamento e de 68,83 a 74,74% para pivô central.

2.13. O rio Jaguaribe, a jusante do Castanhão até Itaiçaba

A bacia hidrográfica do rio Jaguaribe ocupa uma área de 74.621km², cerca de 48% do território cearense, estando subdividida em cinco sub-bacias: Salgado, Alto Jaguaribe, Médio Jaguaribe, Baixo Jaguaribe e Banabuiú, (Ceará, 2008). Parte do Médio e Baixo Jaguaribe (Figura 7), objeto deste trabalho é de grande importância econômica e ambiental para o Estado do Ceará, por abranger grandes perímetros públicos de irrigação (Jaguaribe-Apodi-DIJA e Tabuleiro de Russas) e por derivarem as águas do Rio Jaguaribe para o abastecimento urbano e industrial da região do Jaguaribe e Região Metropolitana de Fortaleza.

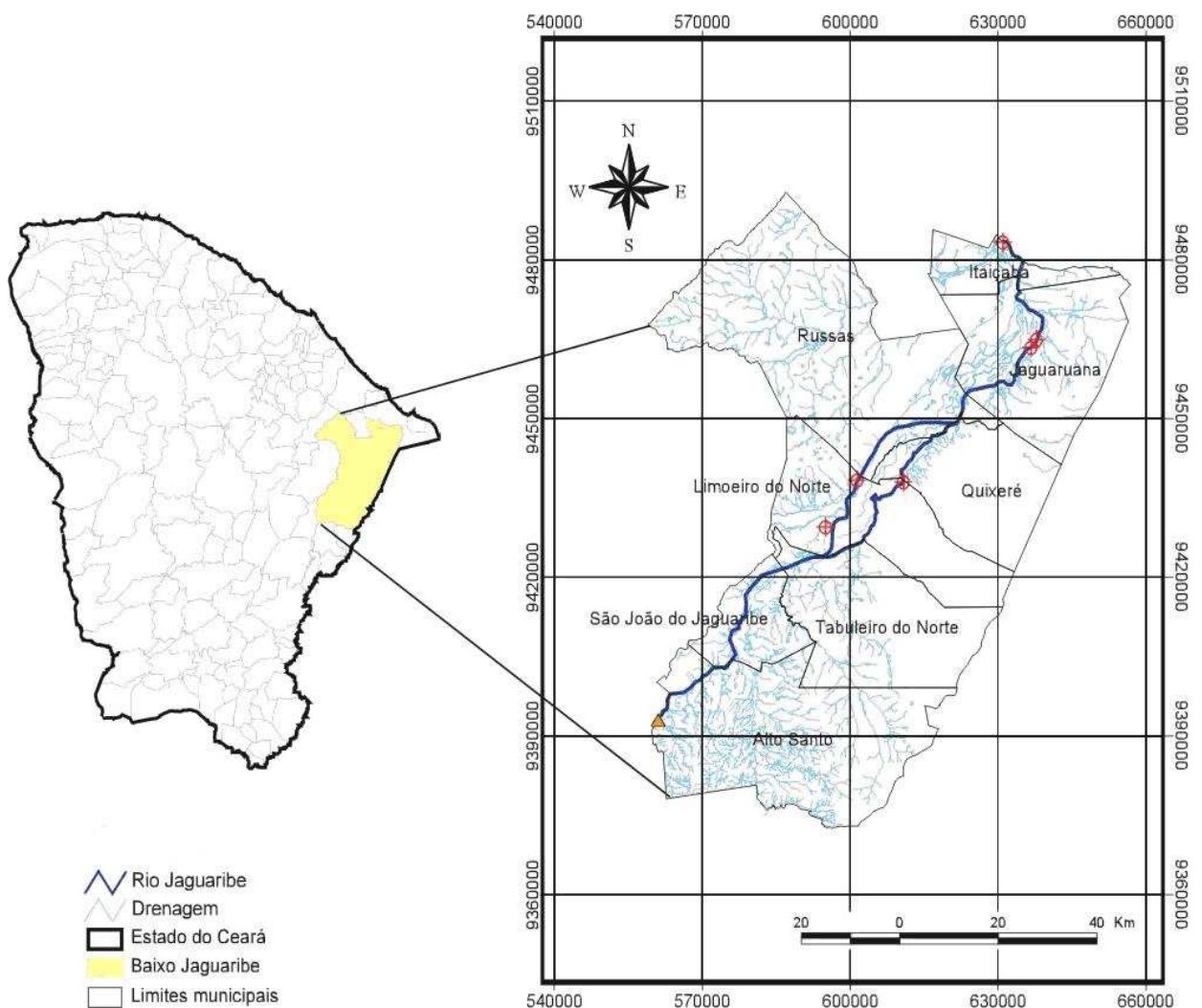


Figura 7 – Parte do médio e baixo Jaguaribe objeto do estudo.

Os principais usos da água na região em estudo, por ordem de volume requerido, são: irrigação (72,94%), carcinicultura de água doce (22,64%), consumo humano (2,87%), piscicultura (0,97%) e consumo industrial (0,59%) (Figueiredo et al., 2003).

O trecho do rio Jaguaribe é perenizado desde 2002 pelo açude Castanhão e compreende oito municípios localizados nos vales perenizados do Médio e Baixo Jaguaribe, em trecho de 165,6 km sem interferência de água salina, compreendido entre a barragem do Castanhão e a barragem de Itaiçaba, que deriva água para o Canal do Trabalhador. Fazem parte desse trecho os municípios de Alto Santo, São João do Jaguaribe, Tabuleiro do Norte, Limoeiro do Norte, Quixeré, Russas, Jaguaruana e Itaiçaba, ocupando uma área de 6.415,10 km².

Atualmente, a irrigação em perímetros públicos já abrange uma área de 3.536 ha, enquanto a área irrigada difusa na Região do Médio e Baixo Jaguaribe é de 3.835 ha, pelo Cadastro de Outorga da Companhia de Gestão de Recursos Hídricos – COGERH (2008). A irrigação no Médio e Baixo Jaguaribe deverá ampliar-se, estando previsto para entrar em operação a 2^a Etapa do Perímetro Jaguaribe-Apodí (2.500 ha) e do Projeto Tabuleiro de Russas (10.460 ha), aumentando a demanda de água proveniente do Rio Jaguaribe (Figueiredo et al., 2003). Construído pelo Governo Federal, através do DNOCS, em parceria com o Governo do Estado do Ceará, o Açude Castanhão (Figura 8) tem capacidade para acumular 6,7 bilhões de m³ de água e permitiu aumentar a vazão regularizada do Rio Jaguaribe de 22 para 57 m³ s⁻¹ (Ceará, 2008).

O Canal da Integração constitui-se de um complexo de estação de bombeamento, canais, sifões, adutoras e túneis, que realizam a transposição das águas do açude Castanhão para reforçar o abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza, assim como do Complexo Portuário e Industrial do Pecém, fazendo a integração das bacias hidrográficas do Jaguaribe e Região Metropolitana (Ceará, 2008).

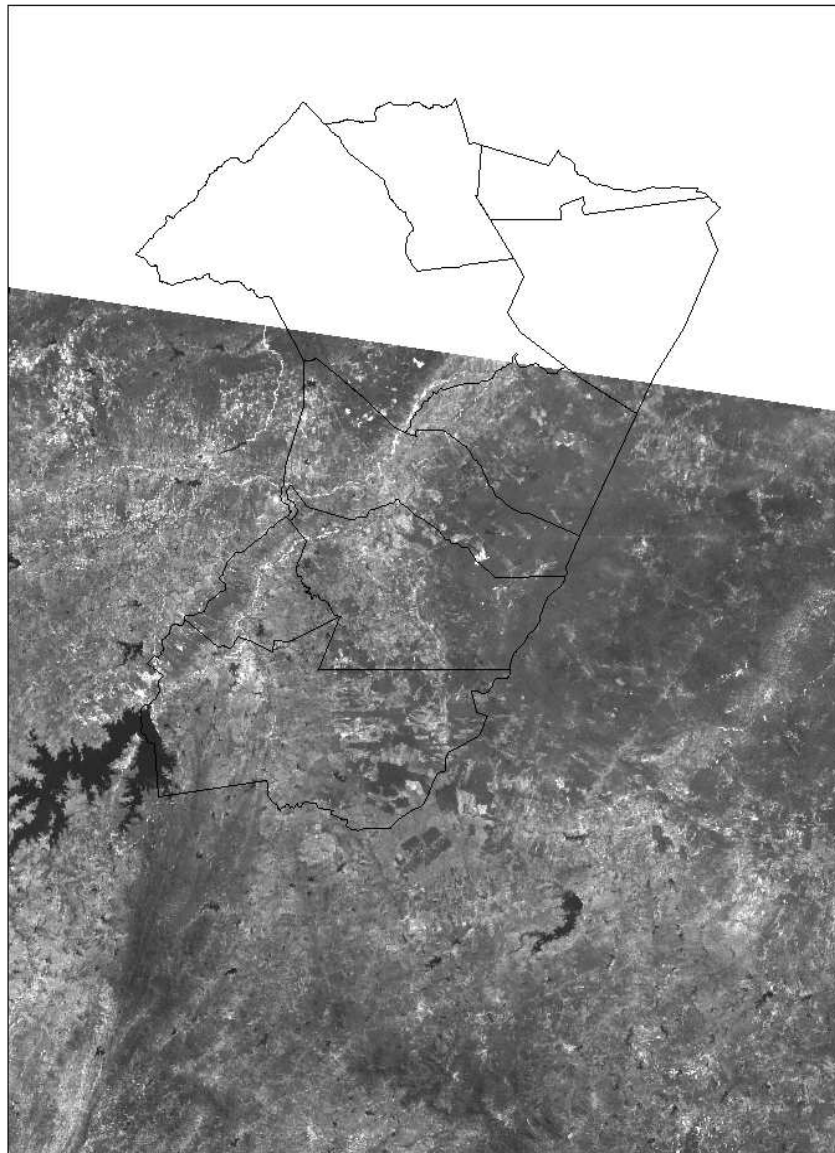


Figura 8 – Imagem do satélite CBERS (INPE, 2007), onde se visualiza a Barragem do Castanhão.

O açude Castanhão armazena água de bacia hidráulica de 325 km² e sua capacidade máxima de armazenamento (Figura 9) ocorre na cota 104,27 m (DNOCS, 2008). A obra teve como finalidade a irrigação (suporte hídrico para o aproveitamento de uma área irrigável de 30.000 ha, incluindo o Perímetro Irrigado Tabuleiros de Russas com uma área irrigável de 10.600 ha), abastecimento (derivação de água para abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) e Complexo Industrial-Portuário do Pecém, além de diversos centros urbanos do Baixo Jaguaribe, através do Canal Castanhão - RMF (Eixão)), usos múltiplos (controle de enchentes do baixo Vale Jaguaribe; aproveitamento hidrelétrico, através de uma usina de potência em torno de 22,5 Mw (vazão nominal de 70 m³.s⁻¹); Piscicultura – Produção de 3.800

toneladas de pescado por ano, proporcionando absorção de mão-de-obra de 2.300 famílias e produção de alimentos para outras 21.000 pessoas por dia) e na transposição, funcionando como *Reservatório Pulmão* e canal adutor da Transposição de águas da Bacia do Rio São Francisco ou Tocantins (DNOCS, 2008).

A vazão regularizada é de $22,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (com 90% de garantia, Q_{90}) mais vazão remanescente do Açude Orós, aproximada de $7,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (DNOCS, 2008).

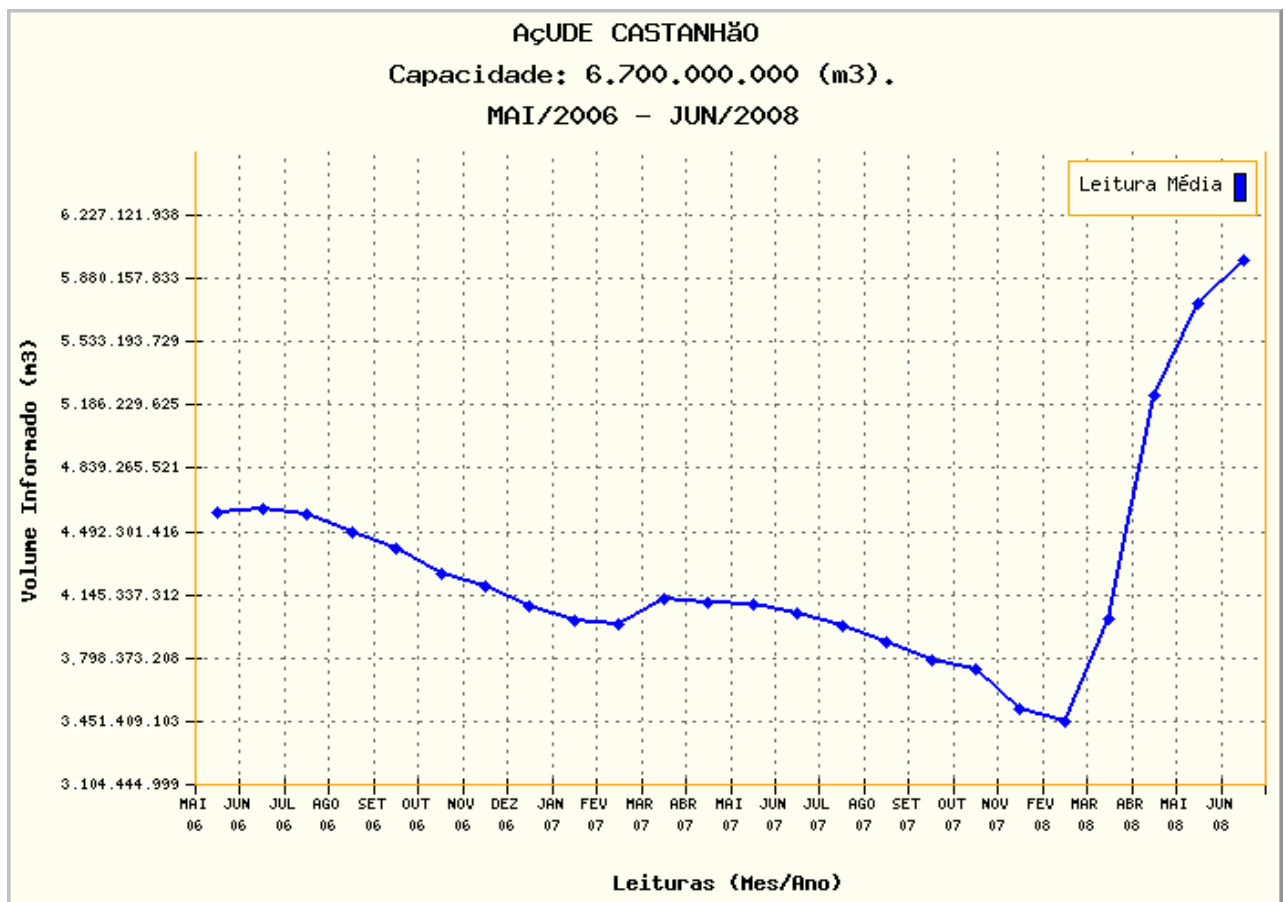


Figura 9 – Dados do monitoramento do reservatório Castanhão.

Fonte: DNOCS (2008).

Quanto à tecnologia de irrigação adotada, Gondim et al. (2004) levantaram os métodos (superficial, convencional ou localizado) e sistemas (inundação, sulcos, faixa, microbacias, aspersão, pivot, microaspersão ou gotejamento) de irrigação adotados na região, respectivas áreas irrigadas, culturas e distribuição da atividade nos municípios envolvidos. Observaram que o maior percentual de área é representado pela irrigação por inundação, seguido pela microaspersão; aspersão; pivot; gotejamento; sulco e faixa (Quadro 3).

Os sistemas de irrigação por superfície (inundação, sulco, faixa e microbacias) representam, portanto, significativa área e demandam maiores volumes de água por unidade de área, merecendo atenção especial numa estratégia de gestão de recursos hídricos, considerando-se também que a melhoria no processo de gestão da água de irrigação em cada parcela causa impacto positivo na gestão do recurso hídrico na bacia.

Quadro 3 - Sistemas de irrigação, área irrigada e número de irrigantes.

Sistemas de Irrigação	Área Total (ha)	%Área	Total Irrigantes	%Irrigantes
Aspersão	771,80	14,37	275	20,91
Faixa	77,84	1,45	70	5,32
Gotejamento	429,75	8,00	56	4,26
Inundação	2.132,82	39,70	584	44,41
Microaspersão	1.130,80	21,05	27	2,05
Microbacias	35,50	0,66	24	1,83
Pivot Central	465,00	8,66	1	0,08
Sulco	328,31	6,11	278	21,14
TOTAL	5.371,82	100,00	1.315	100,00

Fonte: Gondim et al. (2004).

As principais culturas da região, em termos de área irrigada, incluindo aquela irrigada com água do Canal do Trabalhador (Quadro 4) são em ordem decrescente: arroz, feijão, milho, capim e banana. Foram identificadas 36 culturas exploradas com irrigação na Região do Baixo Jaguaribe, totalizando uma área de 7.559 ha, quando se inclui a área irrigada com água transportada pelo canal do trabalhador (Barbosa, 2005).

Quadro 4 – Áreas plantadas na Região do Baixo Jaguaribe por cultura e município, incluindo-se demanda atendida pelo canal do trabalhador.

Cultura	Áreas Plantadas (ha)										
	Alto Santo	São João do Jaguaribe	Tabuleiro do Norte	Morada Nova	Limoeiro do Norte	Quixeré	Russas	Jaguaruana	Itaiçaba	Beberibe	SOMA
Açaí	-	-	-	-	-	-	-	9,0	-	-	9,0
Acerola	-	-	-	-	-	-	-	78,0	-	-	78,0
Algodão	-	-	-	-	543,8	-	-	-	-	-	543,8
Arroz	3,5	218,1	349,7	-	427,3	17,8	249,6	80,0	-	-	1.345,9
Atemóia	-	-	-	-	-	-	-	3,8	-	-	3,8
Banana	6,1	81,2	5,3	-	888,0	4,3	5,6	18,1	-	-	1.008,6
Caju	-	0,5	-	-	-	-	1,3	11,3	2,3	721,3	736,6
Cana	13,0	1,3	0,7	-	-	-	-	-	-	-	15,0
Capim / Pasto	66,1	81,6	7,8	-	149,4	4,5	34,3	83,5	-	-	427,1
Cebola	1,0	-	-	-	-	-	0,5	1,0	-	-	2,5
Coco	-	1,3	0,7	-	1,7	0,3	80,0	16,0	-	-	100,0
Feijão	114,4	328,8	19,5	-	122,2	20,1	158,4	195,6	1,0	-	959,9
Figo	-	-	-	-	-	-	-	0,5	-	-	0,5
Fragrante	-	5,5	-	-	-	-	1,5	1,8	-	-	8,8
Goiaba	2,0	0,2	-	-	73,6	-	7,8	58,2	-	-	141,8
Graviola	-	0,2	-	-	29,4	-	0,5	5,0	-	-	35,1
Hortaliças	-	-	-	-	-	-	-	2,0	-	-	2,0
Laranja	-	1,0	-	1,5	-	-	2,0	2,0	-	-	6,5
Limão	3,0	38,5	35,1	1,5	36,0	-	-	2,0	-	-	116,1
Mamão	-	0,4	-	-	5,7	-	-	-	-	-	6,1
Mandioca	-	0,5	-	-	0,8	-	-	-	-	-	1,3
Manga	-	-	-	-	40,9	-	-	89,5	-	-	130,4
Maracujá	3,0	0,2	-	-	-	-	-	0,5	-	-	3,7
Melancia	-	-	-	-	2,5	4,0	0,5	62,3	-	-	69,3
Melão	-	-	-	-	2,5	-	9,2	40,0	72,5	-	124,2
Milho	-	2,5	15,0	-	853,5	4,7	10,8	13,0	1,0	-	900,5
Ornamentais	-	-	-	-	-	-	0,5	-	-	-	0,5
Pimenta	-	-	-	-	5,8	-	-	-	-	-	5,8
Pimentão	-	-	-	-	4,0	-	0,5	1,0	-	-	5,5
Pinha / Ata	-	-	-	-	33,0	-	1,3	-	-	-	34,3
Quiabo	-	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8
Sapota	-	-	-	-	2,0	-	-	8,0	-	-	10,0
Soja	-	-	-	-	418,7	-	-	-	-	-	418,7
Sorgo	13,3	15,9	2,5	-	170,8	3,5	19,8	57,8	-	-	283,5
Tomate	-	-	-	-	1,0	-	0,5	-	-	-	1,5
Uva	-	-	-	-	14,5	-	-	7,5	-	-	22,0
Totais (ha)	225	778	436	3	3.827	59	584	847	77	721	7.559

Fonte: Barbosa (2005).

A precipitação média mensal em milímetros (períodos anuais considerados entre parênteses) dos municípios com estações na área do estudo encontram-se no Quadro 5.

Quadro 5 - Precipitação média mensal (mm) dos municípios com estações na área do estudo .

Município	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Jaguaruana (1912-83)	43,0	119,9	211,5	182,8	108,4	45,3	21,0	3,6	2,3	1,3	3,4	11,7	754,2
Limoeiro do Norte (1984-99)	65,3	126,9	185,4	171,5	92,8	38,1	16,6	3,6	2,3	1,9	3,4	15,7	723,5
Russas (1962-77)	77,6	92,8	234,8	218,6	129,6	56,3	25,0	3,9	1,9	0,2	1,7	14,2	856,6
S. J. do Jaguaribe (1911-83)	71,4	114,6	190,9	156,0	91,0	42,2	19,5	4,1	1,1	2,3	3,0	18,7	714,8

Fonte: ANEEL (2001), citado por Barbosa et al. (2005).

Os dados de precipitação efetiva e evapotranspiração de referência (ET_o) de Penman Monteith/FAO foram estimados por Barbosa et al. (2005), os quais usaram a técnica de interpolação dos dados pelo *Método do Inverso do Quadrado da Distância* (IQD) (Quadros 6 e 7).

Quadro 6 - Precipitação efetiva por município estimada com base na média dos valores interpolados (IQD) para as áreas irrigadas.

Município	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Alto Santo	59,2	92,1	134,9	124,0	83,3	43,2	22,0	5,8	2,4	2,3	3,0	19,5	591,6
Itaiçaba	61,4	92,9	131,4	120,6	82,3	42,7	17,0	6,0	2,0	2,0	2,6	16,7	577,7
Jaguaruana	60,3	92,3	132,0	121,8	83,6	43,0	18,2	5,9	2,2	2,0	2,7	17,1	581,0
Limoeiro do Norte	59,3	93,9	132,4	123,6	84,4	42,1	18,0	5,3	2,3	1,9	2,9	16,4	582,5
Quixeré	58,9	91,8	132,7	125,1	87,4	43,5	19,0	5,3	2,6	1,7	2,6	16,4	586,9
Russas	57,8	93,3	133,4	124,4	85,6	42,6	19,0	5,2	2,4	1,9	2,9	16,5	585,1
S. J. do Jaguaribe	61,9	91,8	132,0	119,7	82,0	43,0	18,0	5,9	1,8	2,1	2,6	17,5	578,4
Tabuleiro do Norte	65,5	89,2	128,5	114,5	79,7	46,0	14,2	8,4	1,5	2,1	1,8	17,1	568,4

Fonte: Barbosa et al. (2005).

Quadro 7 - ET_o (Penman-Monteith/FAO) por município, estimada com base nos valores interpolados (IQD) para as áreas irrigadas.

Município	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Alto Santo	199,9	153,9	146,2	133,4	136,1	137,1	163,4	195,9	214,3	232,1	218,2	211,2	2.141,8
Aracati	200,9	154,6	147,1	133,8	136,7	137,0	164,1	196,3	214,7	232,0	218,0	211,9	2.147,2
Itaiçaba	200,4	154,5	147,0	134,1	136,6	137,3	164,0	196,5	214,6	232,3	217,9	211,0	2.146,2
Jaguaretama	192,7	151,3	142,6	131,8	132,3	135,6	162,8	197,5	210,5	228,3	209,1	198,3	2.092,8
Jaguaruana	199,5	153,9	146,2	133,6	136,0	137,2	163,5	196,2	214,2	232,1	217,6	210,2	2.140,1
Limoeiro do Norte	198,4	153,7	145,9	133,5	135,5	136,7	163,9	196,9	213,4	231,0	215,1	207,4	2.131,6
Morada Nova	206,3	157,0	150,3	136,1	140,0	139,4	164,3	195,4	217,9	236,4	226,1	221,2	2.190,5
Quixeré	197,0	153,0	144,9	132,9	134,6	136,5	163,3	196,8	212,8	230,6	214,3	205,6	2.122,3
Russas	198,0	153,4	145,6	133,4	135,3	136,9	163,5	196,7	213,3	231,2	215,5	207,2	2.129,9
S. J. do Jaguaribe	201,5	154,8	147,4	134,3	137,2	137,7	163,9	196,1	215,2	233,1	219,7	213,1	2.154,1
Tabuleiro do Norte	201,7	155,0	147,6	134,3	137,2	137,5	164,1	196,2	215,3	232,9	219,4	213,2	2.154,5

Fonte: Barbosa et al. (2005).

As lâminas líquidas capazes de satisfazer as necessidades hídricas das culturas perenes (Quadro 8) e temporárias (Quadro 9) foram estimadas por Barbosa (2005) e Barbosa et al. (2006).

Quadro 8 – Lâminas de irrigação líquidas anuais (mm) para as culturas perenes, considerando-se os parâmetros climáticos dos municípios analisados.

Cultura	L. Líquida (mm/ano)	Cultura	L. Líquida (mm/ano)
Açaí	1.565	Forragem	1.634
Acerola	1.663	Goiaba	990
Atemóia, Graviola e Pinha	1.409	Hortaliças	1.565
Banana	1.565	Mamão	1.760
Caju	1.017	Manga	1.111
Cana	1.634	Maracujá	1.080
Capim	1.174	Plantas Ornamentais	1.565
Citros	1.259	Sapota	1.111
Coco	1.565	Uva	1.378
Figo	1.565		

Fonte: Barbosa (2005); Barbosa et al. (2006).

Quadro 9 – Lâminas líquidas de irrigação (mm) por ciclo de produção das culturas temporárias, em função do mês de plantio e médias entre os municípios analisados.

Cultura	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Algodão	101	171	297	468	610	754	814	810	701	555	381	176
Arroz	310	303	396	606	787	975	1.063	1081	984	831	635	407
Cebola	196	210	327	522	682	853	926	932	829	673	484	280
Feijão	72	27	47	113	192	298	372	417	425	396	322	193
Mandioca	568	755	947	1.136	1.223	1.227	1.154	1.055	768	596	492	440
Melancia	102	53	71	137	208	311	387	436	450	419	354	224
Melão	64	40	73	142	218	315	382	424	424	392	318	173
Milho	95	46	114	238	354	501	588	633	618	540	413	228
Pimenta	112	140	248	402	545	707	783	796	725	593	412	202
Pimentão	55	82	168	301	422	561	639	663	615	515	366	162
Quiabo	202	305	460	651	798	932	958	911	754	574	389	227
Soja	84	101	189	330	458	604	685	710	659	562	419	211
Sorgo	84	104	190	328	454	600	682	708	659	559	414	203
Tomate	150	212	337	511	658	818	881	877	766	610	422	220

Fonte: Barbosa (2005); Barbosa et al. (2006).

2.14. Análise de sensibilidade

Gates & Ahmed (1995) analisaram a sensibilidade de desempenho de um sistema de entrega de água de irrigação no Alto Nilo, Egito, à incerteza hidráulica e hidrológica de um canal hipotético, através de simulação Monte Carlo. O dimensionamento do sistema foi avaliado por análise estatística de medidas de desempenho previstas: adequabilidade, dependência e equidade na entrega de água, através da sensibilidade do coeficiente de variação do desempenho a mudanças no coeficiente de variação dos respectivos parâmetros de entrada. Os resultados indicaram que o desempenho do sistema deve focar os seguintes parâmetros, em ordem decrescente de prioridade: geometria da seção transversal do canal, evapotranspiração potencial da cultura, nível de suprimento hídrico, eficiência de irrigação, inclinação do canal e o coeficiente de resistência hidráulica de Manning.

Até recentemente, a definição de análise de sensibilidade foi considerada como uma medida local do efeito de um dado de entrada em determinado dado de saída. A abordagem local é aceitável para uma determinada classe de problemas. Objetiva determinar quais fatores necessitam mais precisão nas determinações e identificar os elos fracos da cadeia de avaliação do modelo (aqueles que propagam mais variância nos parâmetros de saída).

A análise de sensibilidade neste contexto é geralmente desempenhada utilizando-se técnicas de regressão, tal como coeficientes de regressão padronizados. Estes medem sensibilidade para determinado fator. Nos métodos de análise de sensibilidade local, apenas um ponto do espaço do fator é explorado e fatores são modificados um de cada vez. Uma desvantagem dos métodos baseados em regressão é que são pobres para modelos não lineares (Saltelli et al., 2004).

Muitos outros métodos têm sido desenvolvidos, dentre os quais o método de Morris que é o mais universalmente empregado e a definição de análise de sensibilidade que contempla a evolução da abordagem passa a ser: o estudo de como a incerteza na saída do modelo (numérica ou outra) pode ser atribuída a diferentes fontes de incertezas na entrada do modelo. A análise de sensibilidade permite a alguém priorizar pesquisa futura e direcionar investimento e esforço na melhoria da estimativa de valores de parâmetros incertos que mais controlam a incerteza da saída (Saltelli et al., 2004).

Análise de sensibilidade é um método alternativo para a incorporação indireta de incertezas no processo de decisão. Preocupa-se com a forma como erros que certo conjunto de dados de entrada afetam o erro na saída final. A análise de sensibilidade na realidade, compõe uma coleção de métodos utilizados para avaliar o comportamento dos dados de saída de um modelo espacial multicritério a pequenas mudanças nos valores dos dados de entrada. A análise de sensibilidade identifica aquelas entradas do modelo e parâmetros que significativamente influenciam nas previsões do modelo. É útil para estimar mudanças na saída do modelo, em relação a alterações em seus parâmetros ou entradas, quando se varia um parâmetro ou entrada de cada vez. Análise de sensibilidade poderia prover sinais de como criar uma combinação ideal de parâmetros do modelo. Tal informação é importante para avaliar a aplicabilidade de certo modelo e entender o comportamento do sistema modelado. A integração de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) e modelagem ambiental tem o potencial de facilitar a análise de sensibilidade de forma interativa e os resultados podem ser visualizados num contexto espacial, assim, os efeitos de mudanças feitas pelos parâmetros de entrada do modelo podem ser vistos espacialmente (Dixon, 2005).

Saltelli et al. (2004) apontam os passos no processo de análise de sensibilidade, os quais podem ser assim resumidos:

- Estabelecer quais os objetivos de sua análise e conseqüentemente definir a forma da função de saída que responde as suas indagações;
- Decidir quais fatores de entrada deseja-se incluir na sua análise;
- Selecionar uma função de distribuição para cada fator de entrada, a qual pode ser: tomada na literatura; derivada de uma função de distribuição empírica; baseada na opinião de especialistas; selecionada de uma distribuição normal truncada; roleta russa, com diferentes pesos atribuídos.

Já a escolha do método deve, segundo os autores, ser baseada:

- Nas questões que está tentando-se direcionar;
- No número de avaliações do modelo que se pode efetuar, considerando-se tempo de execução, número de fatores de entrada;
- Na presença de correlação entre os fatores de entrada.

Os autores apontam ainda as propriedades ideais do método de análise de sensibilidade:

- Habilidade de combinar a influência de escala e forma. A influência da entrada deve incorporar o efeito da amplitude (*range*) da variação da entrada e a forma de sua função densidade de probabilidade;
- Incluir apuração multidimensional, isto é, o efeito da variação de um fator quando todos os outros são mantidos constantes nos valores centrais; um método global deveria, ao invés, avaliar o efeito de um fator, enquanto todos os outros também estão sendo variados;
- Uma análise de sensibilidade global deve ser capaz de apreciar o chamado efeito de interação, o qual é especialmente importante para modelos não lineares, não aditivos, nos quais o efeito da alteração de dois fatores é diferente da soma dos efeitos individuais.

Dixon (2005) empregou a análise de sensibilidade utilizando técnicas de redes neurais associada a um Sistema de Informação Geográfica (SIG) na predição da vulnerabilidade da água subterrânea na bacia do rio Illinois, na fronteira dos estados americanos de Arkansas e Oklahoma. Os dados de qualidade da água e localização de poços e fontes foram utilizados para validação do modelo e não como dados de entrada. A análise de sensibilidade envolveu o teste mais comum, isto é, uma comparação da resposta (saída do modelo) ao variar os parâme-

tros de aprendizagem do modelo. Assim, a análise de sensibilidade de um número de conjuntos neurais foi processada. A análise de sensibilidade demonstrou que os modelos neurais são sensíveis às formas da rede (sino, triangular ou trapezoidal) e número dos conjuntos neurais, assim como à natureza das regras de pesos e técnicas de validação durante os processos de aprendizagem, permitindo indicar a utilização da metodologia para avaliar vulnerabilidade das águas subterrâneas ao transporte de solutos (nitrato).

Como se pode denotar, a análise de sensibilidade vem ganhando aplicação cada vez mais abrangente no universo da modelagem. Pode-se ainda citar como exemplos: Norton (2008) empregou a metodologia chamada de análise de sensibilidade algébrica em modelos ambientais e chamou atenção para a diferença entre análise de sensibilidade determinística e análise de incerteza com métodos probabilísticos. O autor aplicou a análise para descrever fontes de patógenos e respectivos transportes numa rede de drenagem. Concluiu que a análise de sensibilidade algébrica, de equação em equação, fornece valiosa visão de onde a sensibilidade é alta e onde é baixa, onde há interações e não linearidades significativas. Considera que a descoberta que algumas sensibilidades são negligenciáveis pode simplificar o restante da análise. E finalmente, conclui que o papel da análise de sensibilidade é a determinação de como as variáveis se comportam e a natureza das interseções não lineares.

Já Izquierdo et al. (2008) aplicaram a análise de sensibilidade para avaliar a importância relativa de tubos numa rede de distribuição de água, baseada na quantificação da incerteza dos dados de dimensionamento pela média de uma análise de limite do erro e gerou um índice de importância para os tubos, conforme sua categoria na rede, principal, secundário ou terciário.

2.15. Adaptação às mudanças climáticas no contexto de bacia hidrográfica

Muitas comunidades e regiões que são vulneráveis às mudanças climáticas também estão sob pressão de forças, tais como crescimento populacional, depleção de recursos e pobreza. Políticas públicas que reduzam pressões nos recursos, que melhorem o gerenciamento de riscos ambientais e aumentem o bem estar dos membros mais pobres da sociedade podem simultaneamente avançar na equidade e no desenvolvimento sustentável, fortalecendo a capacidade adaptativa e reduzindo vulnerabilidades ao clima e outros estresses. Inclusão de riscos climáticos no desenho e implementação de iniciativas de desenvolvimento pode promover a

equidade e o desenvolvimento que é mais sustentável e que reduz vulnerabilidade às mudanças climáticas (IPCC, 2001).

A vulnerabilidade na agricultura pode ser definida em termos de produtividade, lucratividade das fazendas, economia regional e fome. Populações de menor renda e regiões agrícolas marginais, tais como semi-árido são mais vulneráveis às mudanças climáticas (Aerts & Droogers, 2004).

A adaptação vem recebendo progressiva atenção no desenvolvimento de políticas, como um mecanismo complementar à mitigação. A adaptação considera a habilidade de conviver ou absorver estresses ou impactos ou ainda recuperar-se deles. Pode também referir-se a ações elaboradas para se tirar vantagens das novas oportunidades que podem surgir como resultado das mudanças no clima. A fim de se estudar e se avaliar o desenvolvimento de estratégias de adaptação para bacias hidrográficas, deve-se conhecer o sistema para o qual estratégias de adaptação serão aplicadas (Aerts & Droogers, 2004).

A otimização do gerenciamento é um trabalho básico de um gestor de recursos hídricos, assegurando a qualidade da água e sua alocação em resposta às demandas de todos os usuários. Desta forma, a otimização do gerenciamento pode ser expressa como o uso ótimo dos bens e serviços, pelo: fortalecimento do bem estar humano; fortalecimento da capacidade e segurança alimentar; fortalecimento da capacidade industrial; e fortalecimento da qualidade do ecossistema natural. Todo gestor de água numa dada bacia tem que lidar com trocas entre as medidas, em relação aos quatro objetivos citados. Quantificando-se esses objetivos e prioridades, medidas potenciais (incluindo adaptação) podem ser endereçadas ao seu desempenho (Aerts & Droogers, 2004).

Ainda segundo os autores, a adaptação pode ocorrer de uma forma reativa ou antecipativa (adaptação preventiva). A maioria das adaptações são modificações nas práticas existentes e nos processos de tomada de decisão já existentes na agricultura e setor de recursos hídricos. Há diversas medidas possíveis de adaptação que formam a base para o desenvolvimento de estratégias adaptativas (Aerts & Droogers, 2004).

A pesquisa alerta que a maioria dos estudos de impactos não consideram a adaptação como integrante do processo de avaliação e estes trabalhos podem superestimar o efeito nega-

tivo das mudanças climáticas. Desta forma, sugere-se que sejam incluídas opções de adaptação interativamente com os estudos de impactos, primeiramente identificando-se os impactos potenciais e em seguida simulando-os com a inclusão das medidas adaptativas. Uma das formas de identificação do conjunto potencial de medidas adaptativas é a análise de sensibilidade (Aerts & Droogers, 2004).

3. HIPÓTESES

As mudanças climáticas afetam a demanda de água para a agricultura irrigada, na bacia do Jaguaribe, a qual depende de como a temperatura, precipitação e interações entre as duas variáveis irão se comportar.

A utilização de modelo de mudanças climáticas submetido à redução de escala dinâmica, integrado a um sistema de informação geográfica é uma ferramenta adequada para avaliação de impactos em escala menor que global ou continental.

A análise de sensibilidade é capaz de fornecer respostas valiosas na seleção de um conjunto de medidas adaptativas e mitigadoras aos impactos das mudanças climáticas.

4. METODOLOGIA

4.1. Delimitação da área de estudo e tipologia da agricultura irrigada regional

Os instrumentos computacionais de geoprocessamento, chamados de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), permitem a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e criar bancos de dados georreferenciados (Câmara & Medeiros, 1998). A área objeto do estudo foi então delimitada entre 4°39'30" e 5°40'00" de latitude sul e 37°35'30" e 38°27'00" de longitude oeste, abrangendo o trecho do vale do rio Jaguaribe, situado entre a barragem do Castanhão, até a barragem de Itaiçaba (Figura 10).

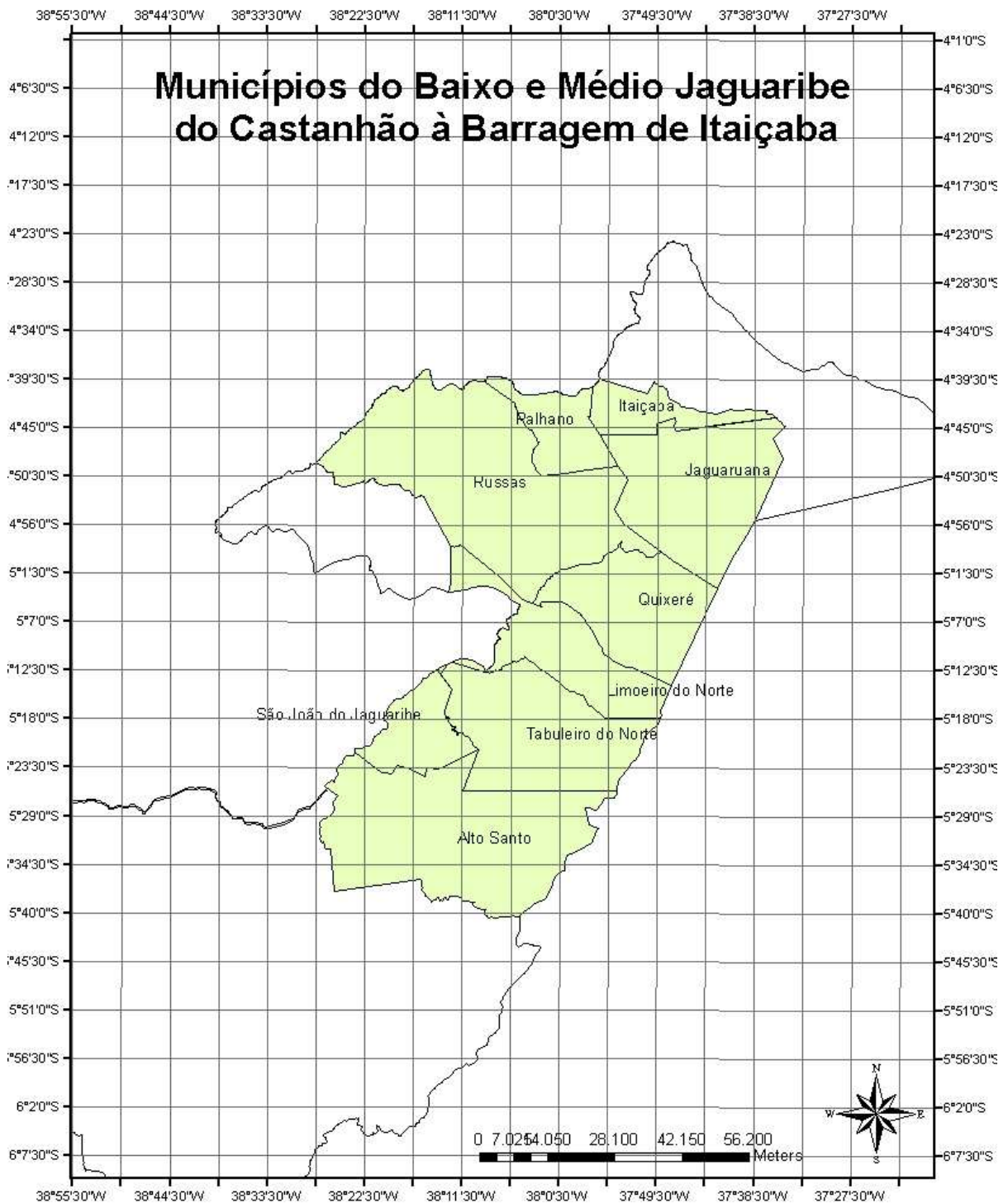


Figura 10 – Municípios e coordenadas geográficas da área de estudo.

O trabalho compreendeu 160 km do rio Jaguaribe, envolvendo os seguintes municípios: Alto Santo, Jaguaruana, Limoeiro do Norte, São João do Jaguaribe, Tabuleiro do Norte, Itaiçaba, Quixeré e Russas (Figura 11).

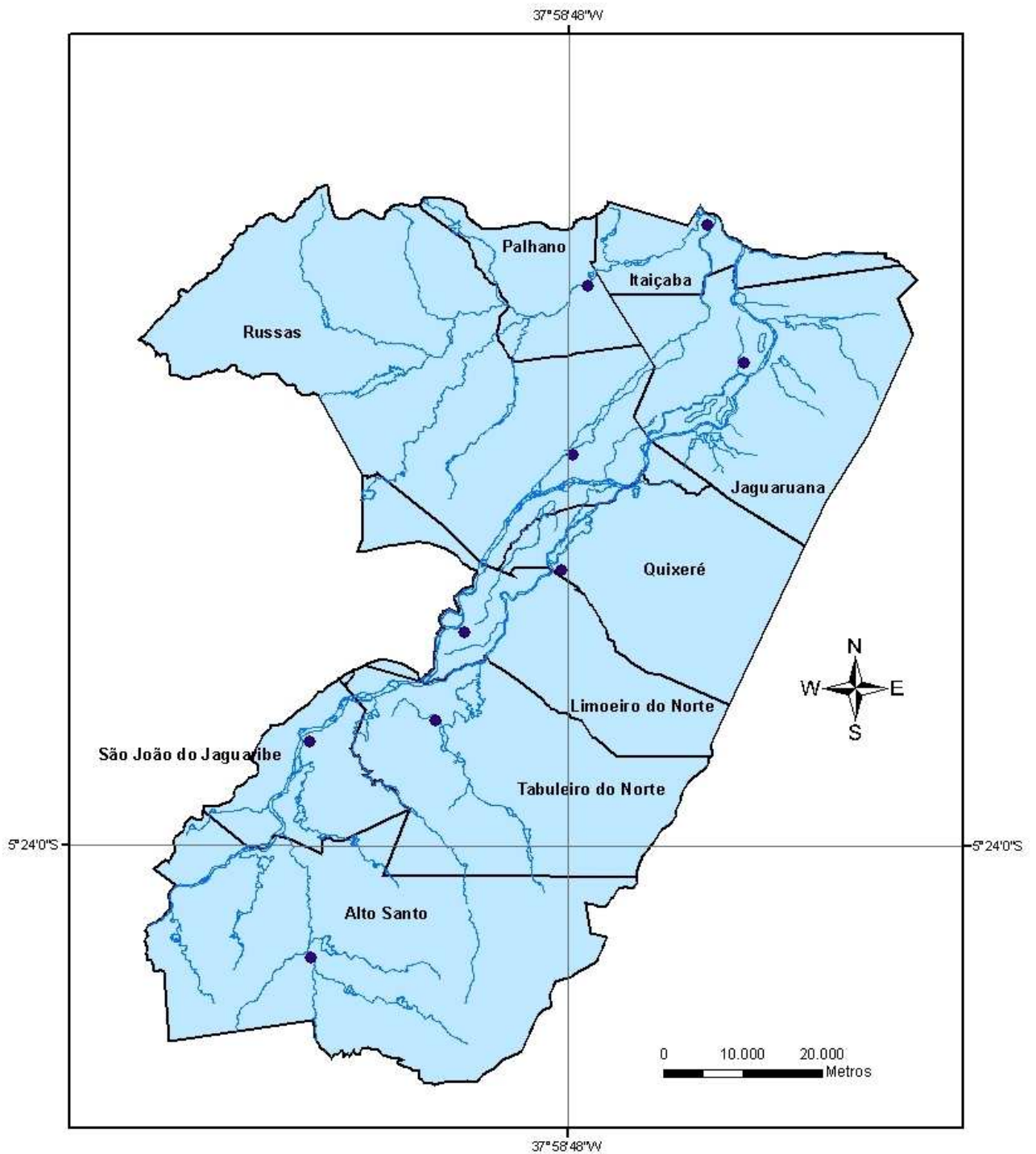


Figura 11 – Área de estudo com localização das sedes municipais (rio Jaguaribe entre as barragens do Castanhão e de Itaiçaba).

A partir do cadastro de outorga da Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará - COGERH (2008), identificou-se a tipologia da agricultura irrigada praticada na região (culturas, tecnologia empregada e área), envolvendo todas as áreas de irrigação difusa

(projetos de irrigação fora dos perímetros irrigados) que captam água diretamente no rio e o Distrito de Irrigação Jaguaribe-Apodi.

4.2. Análise da climatologia de base do modelo de mudanças climáticas

A climatologia de base ou de referência pode ser definida como aquela através da qual a mudança climática é mensurada, o que torna a caracterização climática da região de suma importância. A escolha da climatologia de base e cenários podem fortemente influenciar nos resultados de estudos de impactos de mudanças climáticas. Um dos critérios para avaliar a qualidade dos Modelos de Circulação Global é a avaliação de sua *performance* em simular o clima presente na região. Isto pode ser realizado comparando-se a climatologia de base do modelo (*hindcasts*) com dados da região, determinando-se assim, a habilidade do modelo climático em simular padrões de circulação (Carter et al., 2007).

De maneira geral, os dados de clima têm maior utilidade quando comparados com valores padrões ou normais. Para que sejam consideradas como *normais climatológicas*, as médias das variáveis meteorológicas devem se referir a períodos padronizados de pelo menos trinta anos. As médias mensais são obtidas a partir dos valores diários e em seguida faz-se uma análise de homogeneidade que inclui verificação de tendências, desvios, valores alterados e outros problemas que evidenciem a heterogeneidade dos dados. Em seguida, analisa-se a origem da variação e descontinuidades não climáticas (Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Departamento Nacional de Meteorologia, 1992).

Identificou-se que a estação de Jaguaruana-CE (4°47'S e 37°36'W) do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET possui dados disponíveis de temperatura e precipitação (normais climatológicas) de 1961-1990 (Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Departamento Nacional de Meteorologia, 1992), os quais foram comparados com a climatologia de base do modelo adotado.

Para comparação dos dados, utilizou-se como método, a *Distância Euclidiana* (Eq. 44), a qual é uma consequência do teorema de Pitágoras e permite a conveniência de se trabalhar em termos de distâncias quadradas, sem nenhuma informação perdida, uma vez que não existe

distância negativa (Wilks, 2006), a qual é a diferença entre cada média mensal da variável climática avaliada, para a normal climatológica e *hindcast* do modelo:

$$\|x - y\| = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_k - y_k)^2} \quad (44)$$

Onde:

$\|x - y\|$ é a distância entre os pontos x e y ;

K é igual ao número de dimensões;

k refere-se às coordenadas dos pontos x e y .

A *Distância Euclidiana* pode ser mais facilmente visualizada em duas dimensões e considerando-se um dos pontos na origem, substituindo-se um vetor por zero, o qual localiza a origem.

4.3. Desenvolvimento de um modelo conceitual, integração de modelos e verificação

Num processo de modelagem e simulação, o nível de detalhamento depende dos objetivos e das informações disponíveis. Ao mesmo tempo em que se buscam modelos que consigam representar determinados fenômenos, não se deve sofisticá-los a ponto de necessitar de excessivas informações, que normalmente são escassas ou de difícil obtenção. Se isso ocorrer, não há a aplicação prática dos modelos, dificultando a sua validação e aperfeiçoamento. A modelagem objetiva produzir ferramentas que possam ser utilizadas para testar hipóteses, gerar hipóteses alternativas, sugerir experimentos para refutá-las, e prever comportamento dos sistemas em situações ainda desconhecidas. A complexidade dos sistemas, dos seus comportamentos e as interações existentes, dificultam o desafio dos modeladores, considerando a necessidade de seguir rigor científico, alcançar certa padronização geral, e ao mesmo tempo representar realidades e interesses de conhecimento local bastante diversificados. Os métodos utilizados e as combinações de abordagens assumidas apresentam vantagens e desvantagens, conforme o requerimento de dados em cada opção, assim como da capacidade de representar os processos da melhor forma, nas escalas espacial e temporal em que mais adequadamente podem ser respondidas as questões de interesse (Victoria, 2004).

A definição de um modelo conceitual permite ainda a visualização da forma de integração dos modelos e verificação das respectivas compatibilidades das escalas temporais, avaliando-se a viabilidade da própria integração e necessidade de ajustes.

Jørgesen & Bendoricchio (2001) consideram que a verificação é uma etapa de teste lógica interna do modelo e é de alguma forma, uma avaliação subjetiva de comportamento do modelo durante sua utilização e ocorre antes da calibração. Esta por sua vez, em alguns modelos simples que contenham apenas poucos parâmetros bem definidos ou diretamente medidos pode não ser necessária.

O modelo integrado proposto neste trabalho possui o seguinte formato com fluxos de entradas e saídas (Figura 12):

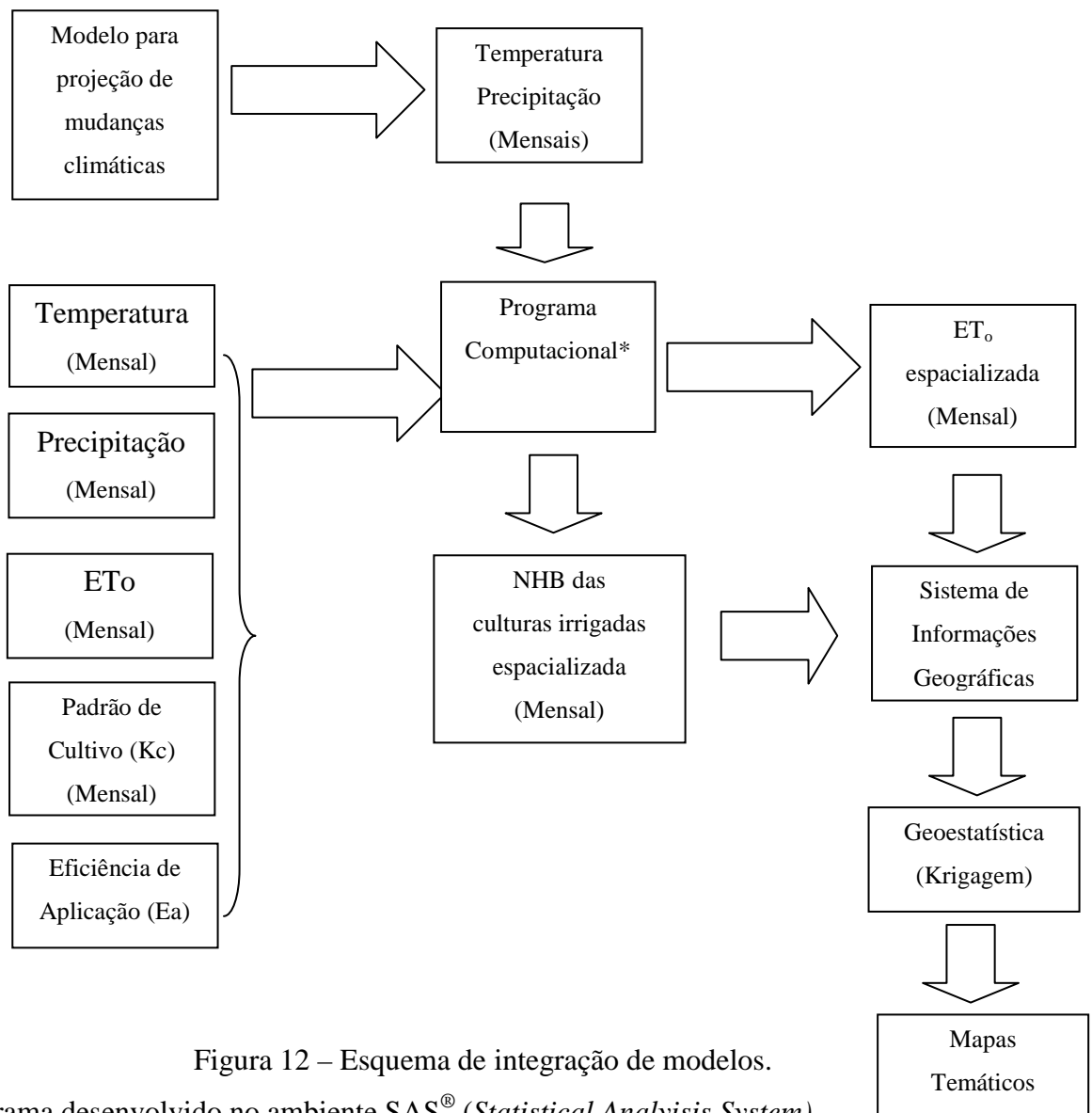


Figura 12 – Esquema de integração de modelos.

* Programa desenvolvido no ambiente SAS® (*Statistical Analysis System*)

O modelo regional de mudanças climáticas (modelo de circulação global HadAM3P aplicado como condição de contorno do modelo regional HadRM3P, utilizando-se o sistema PRECIS) gera projeções mensais georreferenciadas de temperatura (mínima, máxima e média) e precipitação. Estes dados foram processados em programa elaborado no ambiente *Statistical Analysis System* – SAS® para estimativa da evapotranspiração de referência de Penman-Monteith FAO (ET_oPM), pixel a pixel. Em seguida, as projeções foram transferidos para um Sistema de Informação Geográfica, onde foram analisadas quanto a sua variabilidade espacial, utilizando-se o programa ArcGIS® 9.3 e distribuídas espacialmente na área de estudo, considerando-se a latitude/longitude, utilizando-se a ferramenta de geoestatística de interpolação, conhecida como krigagem (Isaaks & Srivastava, 1989) linear ordinária. Neste contexto, a interpolação para cada pixel foi usada para geração de mapas temáticos das variáveis.

Juntamente com os dados de precipitação, definiram-se as necessidades hídricas mensais de irrigação, para a climatologia de base do modelo (1961-90) e para o ano de 2040, cenários A2 e B2 do IPCC sugeridos por Nakicenovic et al. (2000).

4.4. Projeções de mudanças climáticas

No presente estudo foi utilizado o sistema integrado de modelagem regional PRECIS (*Providing Regional Climates for Impacts Studies*), versão 1.2, utilizando as condições de contorno do Modelo Climático Global, HadAM3P, acoplado ao Modelo Climático Regional (HadRM3P), através da técnica dinâmica de redução de escala (*downscaling*).

Um conjunto de dados composto de uma climatologia de base do modelo de 1960-1990 (*baseline*) e projeções climáticas foram processados no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE-CPTEC (Alves, 2007). Os dados foram então extraídos, considerando-se as coordenadas geográficas da região em estudo, com resolução de 0,44° x 0,44°, gerando-se então, dados para as quadrículas para cada variável, a fim de abranger toda a região estudada.

Os dados foram analisados quanto a sua variabilidade espacial, considerando o posicionamento georreferenciado dos irrigantes e os dados de saída do modelo (latitude/longitude), utilizando-se geoestatística (krigagem) associada a um sistema de informação geográfica. A mesma metodologia foi empregada para avaliação de impactos das mudanças climáticas na

demanda de água para irrigação de arroz no Sri Lanka por Silva et al. (2007) e na bacia do Guadalquivir, Espanha por Díaz et al. (2007).

Na Figura 13 são apresentados os dados de saída do modelo (pontos). Os pontos representam medidas das variáveis, sendo uma quadrícula formada por quatro pontos nas suas arestas. Uma das restrições do modelo é sua resolução que quando aplicada a uma área pequena como a estudada, necessita-se envolver uma quantidade de dados que permitam a interpolação por krigagem. Desta forma, a área de domínio ultrapassa um pouco os limites da bacia. Entretanto, considerando-se a pequena área da região do estudo e pequena variabilidade da temperatura em regiões equatoriais, esta medida não deve trazer grandes diferenças nas estimativas.

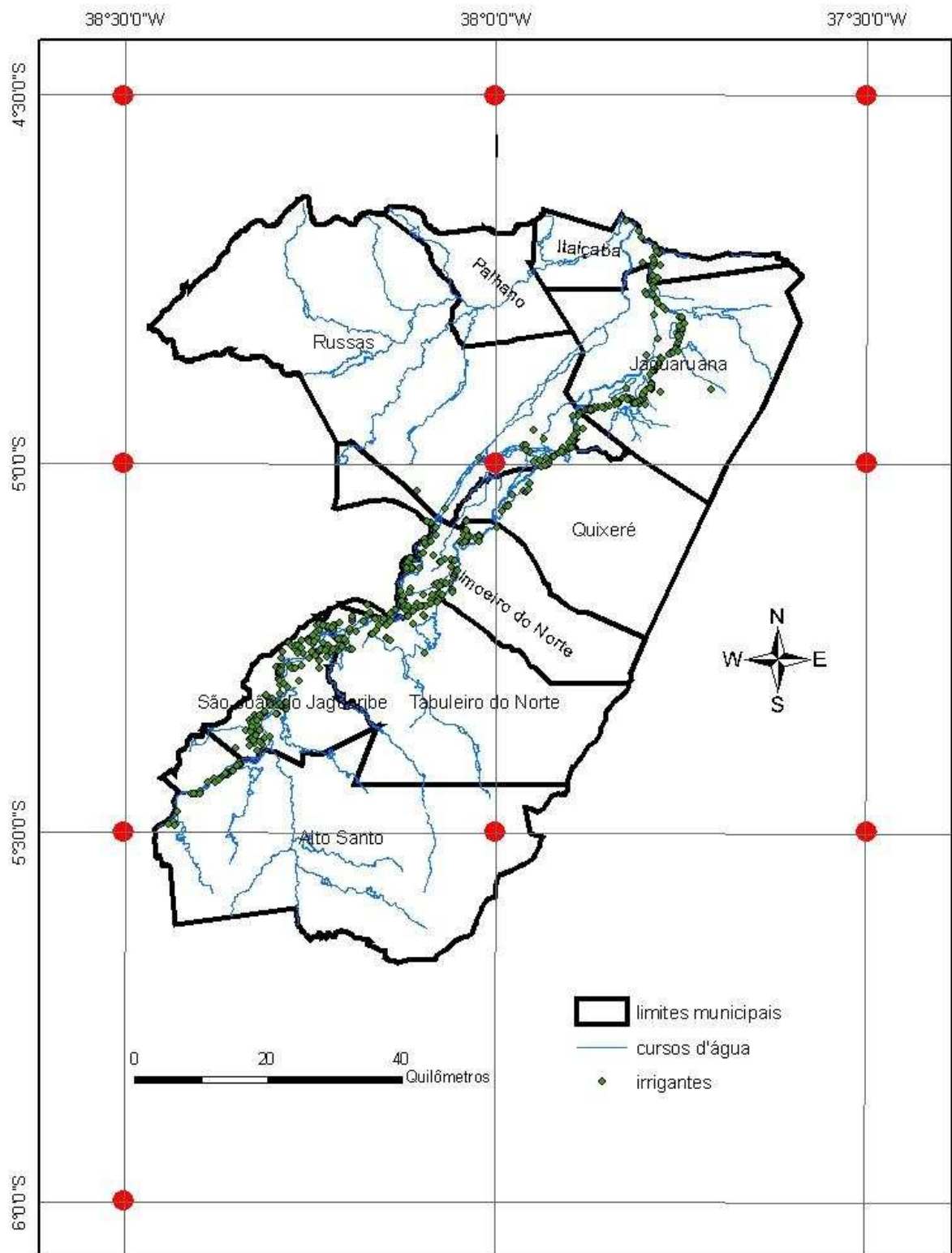


Figura 13 – Mapa com pontos para interpolação por krigagem (domínio).

4.5. Simulação de cenários de mudanças climáticas para estimativa dos impactos na demanda de água para irrigação

A necessidade de água para irrigação é função do clima, área irrigada, tipo de cultura, período de cultivo e tecnologia de irrigação que está sendo utilizada, considerando-se sua eficiência. *Necessidade de irrigação líquida* (NHL) é definida como a quantidade de água que deve ser adicionada ao solo para que as culturas possam utilizar na evapotranspiração, a uma taxa ótima. A frequência de irrigação requerida para uma cultura, sob determinado clima depende grandemente da quantidade de água que pode ser armazenada no solo (Bernardo et al., 2005).

Foi utilizada uma metodologia similar à aplicada por Knox et al. (1997) para a Inglaterra e País de Gales, Tsanis & Naoum (2003) para a ilha de Creta, na Grécia, Victoria et al. (2005) para Santa Catarina (Brasil) para estimar as necessidades de água da agricultura irrigada. Informações sobre o uso da terra permitiram modelar a demanda volumétrica para irrigação na área objeto de estudo. Sistemas de Informação Geográfica – SIG, foram utilizados para mapeamento da informação espacial dos dados meteorológicos e distribuição dos irrigantes, a fim de se estimar a demanda de irrigação, incorporando-se a variabilidade espacial e temporal das variáveis de demanda de água de irrigação, conforme realizado por George et al. (2004) no Uzbequistão e por Fortes et al. (2005) na Índia.

Um modelo simples de balanço hídrico, utilizando precipitação e evapotranspiração mensal foi aplicado e a demanda mensal de água para irrigação foi estimada à medida que diferenças entre evapotranspiração das culturas e precipitação média mensal ocorrem. A evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada, utilizando-se de dados espacializados da temperatura mensal (Silva et al. 2007). Considerando-se a insuficiência de dados (disponibilidade apenas das temperaturas máxima e mínima), utilizou-se o modelo de Penman-Monteith FAO para estimativa da ET_o (ET_oPM) com dados limitados, conforme proposto por Allen et al. (1998). Metodologia similar foi empregada por Popova et. al (2006) na Bulgária e por Jabloun & Sahli (2008) na Tunísia. A evapotranspiração das culturas (ET_c) foi estimada como o produto entre a evapotranspiração de referência (ET_oPM) e o coeficiente de cultivo (K_c) para os diferentes estádios fenológicos, através da expressão apresentada por Doorenbos & Pruitt (1977):

$$ET_c = ET_o K_c \quad (44)$$

em que:

ET_c – evapotranspiração da cultura, [L.T⁻¹];

ET_o - evapotranspiração de referência, [L.T⁻¹];

K_c – coeficiente de cultivo da cultura.

Considerando-se que neste trabalho busca-se quantificar a demanda de água para irrigação em escala de bacia e não para manejo de água em parcela irrigada, assume-se que no início das irrigações não haja déficit de umidade no solo (Díaz et al., 2007) e no cálculo da demanda máxima para irrigação, empregou-se a precipitação mensal média e não a precipitação efetiva, conforme preconizado por Bernardo et. al. (2005).

Outro aspecto a ser considerado é a *percentagem da área molhada* em irrigação localizada que considera reduções das perdas de água por evaporação direta do solo. Uma suposição do modelo considera que estas perdas estão embutidas no cálculo da eficiência de aplicação da água de irrigação.

Foram consideradas todas as áreas de irrigação difusa e perímetros irrigados que captam água diretamente no rio Jaguaribe, no trecho delimitado para o estudo.

Os valores de K_c foram utilizados de acordo com as durações dos estádios e estádios de desenvolvimentos inicial, intermediário ou final das culturas identificadas na região. Estes foram extraídos de uma base de dados, disponível na página eletrônica da Embrapa Agroindústria Tropical (2006) e de Allen et al. (1998).

A *necessidade hídrica líquida das culturas* (NHL) definida como a quantidade de água, adicional à umidade no solo proveniente da precipitação que as plantas cultivadas devem receber para se desenvolverem sem estresse hídrico (Fischer et. al., 2007), é dada pela equação:

$$NHL = ET_o K_c - ppt_{\text{mensal média}} \quad (45)$$

onde:

NHL – necessidade hídrica líquida [L.T⁻¹];

$ppt_{\text{mensal média}}$ – precipitação mensal média [L.T⁻¹];

Sendo a *Necessidade Hídrica Líquida* (NHL) igual à evapotranspiração da cultura (ETc), a *Necessidade Hídrica Bruta* (NHB) foi estimada pela Eq. 46, baseando-se na metodologia apresentada por Cuenca (1989), utilizando-se a precipitação média, ao invés da efetiva. A partir da NHL e variação da eficiência de aplicação final de irrigação (Quadro 2), foi então, estimada a necessidade hídrica bruta (NHB), a qual pode ser considerada como a necessidade de água para as plantas, incluindo-se as perdas ocorridas na irrigação, escoamento superficial ou percolação profunda.

$$NHB = \frac{EToKc}{Ea} - ppt_{média} \quad (46)$$

NHB é a necessidade hídrica bruta [$L^3.T^{-1}$].

Para estimar a NHB foram considerados os valores de eficiência de aplicação (Ea) final de irrigação obtidos em revisão de literatura, possível para cada método de irrigação mais perdas de 10% na condução da água até a parcela irrigada, constantes do Quadro 2.

Foi definido um coeficiente de cultivo mensal ponderado para a área total, correspondente à média ponderada dos Kcs de cada cultura, utilizando como pesos, as áreas das culturas irrigadas e uma eficiência de aplicação mensal ponderada para todos os sistemas em conjunto, correspondente à média ponderada das eficiências de cada sistema utilizando como peso as áreas dos sistemas de irrigação adotados.

Considerando-se que para o setor de irrigação na área do estudo, mudanças concretas estão sendo esperadas para os próximos 30 anos, sendo as mesmas: operacionalização total do Projeto Tabuleiro de Russas com incremento da área irrigada em 10.600 ha e incorporação de mais 2.500 ha irrigados no Distrito de Irrigação Jaguaribe-Apodí (Ceará, 2008) e a interligação com a bacia do São Francisco, o horizonte temporal de interesse para avaliação dos impactos das mudanças climáticas considerado foi o período de 2025 a 2055, representado neste estudo pelo ano de 2040.

As mudanças climáticas dependem das forçantes de emissões de gases de efeito estufa e aerossóis para a atmosfera, tais como aumento de população, intensidade de emissão de carbono das fontes de energia, emissões sulfúricas, modalidade de crescimento econômico, desenvolvimento tecnológico. Os cenários A1 e B1 consideram as mesmas projeções popula-

cionais, assumindo-se baixas taxas de fertilidade e de mortalidade. O cenário A2 assume alta fertilidade e alta mortalidade e o cenário B2 é intermediário. Optou-se, então, por simular demanda de água para os cenários B2 e A2 que consideram uma população global futura entre 8,93 e 10,71 bilhões de habitantes e demais hipóteses de projeções futuras do Produto Interno Bruto (PIB), energia primária, emissões cumulativas de CO₂ e uso da terra, conforme o Quadro 10 (Nakicenovic et al., 2000).

Quadro 10 - Hipóteses de projeções futuras para 2040 nos cenários A2 e B2.

2040	A2	B2
População (milhões)	10.715	8.930
PIB (Trilhões de US\$ a preços de 1990)	72,3 a 82,2	85,5 a 93,2
Energia Primária (EJ)	871	773
Carvão	211	93
Óleo	244	238
Gás	208	251
Nuclear	34	32
Biomassa	97	79
Outras Renováveis	77	80
Emissões cumulativas (GtCO ₂)	530,7	446,0
Uso da Terra (milhões de ha)	12.949	12.949
Cultivos	1.623	1.598
Pastagens	3.546	3.508
Biomassa	252	190
Florestas	4.307	4.323
Outros	3.220	3.300

Fonte: IPCC-SRES (Nakicenovic, 2000).

4.6. Análise de sensibilidade

Segundo Jørgesen & Bendoricchio (2001), a análise de sensibilidade do modelo é uma etapa posterior à verificação.

As projeções do modelo regional de mudanças climáticas, integrado ao modelo de necessidades hídricas da agricultura irrigada em nível de bacia hidrográfica foram expressas em termos de amplitudes (*range*), possuindo um limite inferior e superior (mínimo e

máximo). As amplitudes de variáveis climáticas-chave projetadas formam as entradas do modelo de demanda de água para irrigação, conforme observado por Jones (2000). Como modificações nessas variáveis de entrada impactam na demanda (NHB) podem ser avaliadas por uma análise de sensibilidade.

A análise de sensibilidade foi feita para as seguintes variáveis de entrada, em escala mensal: temperatura máxima (28,5 a 37,5°C), fixando-se a temperatura mínima em 23°C, temperatura mínima (22,2 a 25,8°C), fixando-se a temperatura máxima em 33,5°C, evapotranspiração mensal (63 a 181 mm), precipitação mensal (0 a 200 mm), alterações na eficiência de aplicação da água de irrigação (0,15 a 0,95), e finalmente, uma variação no uso e ocupação do solo com arroz *versus* banana irrigados (culturas mais intensas em uso de água e área), variando numa proporção de 15 a 85% da área total irrigada.

As amplitudes foram definidas em função dos valores projetados pelo modelo regional de mudanças climáticas. Assumiu-se que alterações na temperatura e precipitação decorrentes das mudanças climáticas são variáveis independentes, conforme preconizado por Jones (2000).

Aplicou-se uma análise de sensibilidade univariada multidimensional (quando se varia um fator de cada vez, conforme classificado por Saltelli et al. (2004), através de programação no *Statistical Analytic System*® (SAS), a fim de se avaliar a sensibilidade da demanda de água de irrigação às variáveis de entrada.

4.7. Validação

A calibração, embora possa não ser necessária, deve ser seguida pela validação. Esta por sua vez, é sempre requerida. O modelador testa o modelo com um conjunto de dados independentes para observar quão bem o modelo simula esses dados. Pode ser estrutural (qualitativa) ou preditiva (quantitativa). O modelo exibe boa habilidade preditiva se suas previsões para o comportamento de um sistema são razoáveis com observações do sistema real (Jørgesen & Bendoricchio, 2001).

Para validação do modelo, foi aplicada regressão linear entre ET_{oPM} estimada com dados mínimos e estimada com dados de uma estação de referência e da NHB (mm), estimada utilizando-se dados da climatologia de base do modelo de mudanças climáticas (1961-90) e o volume anual de água para irrigação registrado no Cadastro de Outorga da COGERH (2008).

Caso a regressão apresente resultado insatisfatório, poder-se-á empregar o indicador agroclimático *déficit potencial de umidade no solo* (PSMD) para validar a aplicação do modelo das mudanças climáticas na necessidade de água para irrigação, conforme preconizado por Knox et al. (1997) na Grã-Bretanha; Silva et al. (2007) no Sri Lanka; Díaz et al (2007) na Espanha. Os autores acharam fortes relações entre PSMD e necessidade hídrica para irrigação, sob diferentes condições climáticas.

Para a estimativa do PSMD, um balanço hídrico mensal foi aplicado. O PSMD para cada pixel, ao final de cada mês é calculado pela equação abaixo:

$$PSMD_i = PSMD_{i-1} + ET_{o_i} - P_i \quad (47)$$

onde:

$PSMD_i$ o *déficit potencial de umidade no solo* ao final do mês i (mm);

$PSMD_{i-1}$ o *déficit potencial de umidade no solo* ao final do mês $i-1$ (mm);

ET_{o_i} , evapotranspiração de referência (mm) no mês i ;

P_i precipitação (mm) no mês i .

Se o $PSMD_i$ for menor que zero, assume-se que o déficit da umidade no solo foi preenchido com precipitação e qualquer excedente de chuva passa a ser perdido na forma de escoamento superficial ou percolação profunda. Nestes casos, o $PSMD_i$ é novamente considerado nulo, conforme assumido por Díaz et al. (2007).

5. ORIGINALIDADE DO TRABALHO

O ineditismo do trabalho deve-se ao estudo de impactos das mudanças climáticas na demanda de água para irrigação, utilizando-se Modelo de Circulação Global submetido a técnicas de redução de escala dinâmica, aplicado em nível de bacia hidrográfica, considerando-se dados reais da área irrigada, tecnologia empregada, assim como respectiva eficiência de aplicação de água na irrigação e o padrão de cultivo mensal da região.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o Cadastro de Outoga da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH, 2008) obteve-se, empregando-se ferramentas de geoprocessamento, a distribuição e localização georreferenciada dos irrigantes na região do estudo. Foram excluídos os irrigantes que ficaram localizados às margens do rio Banabuiú (Figura 14).

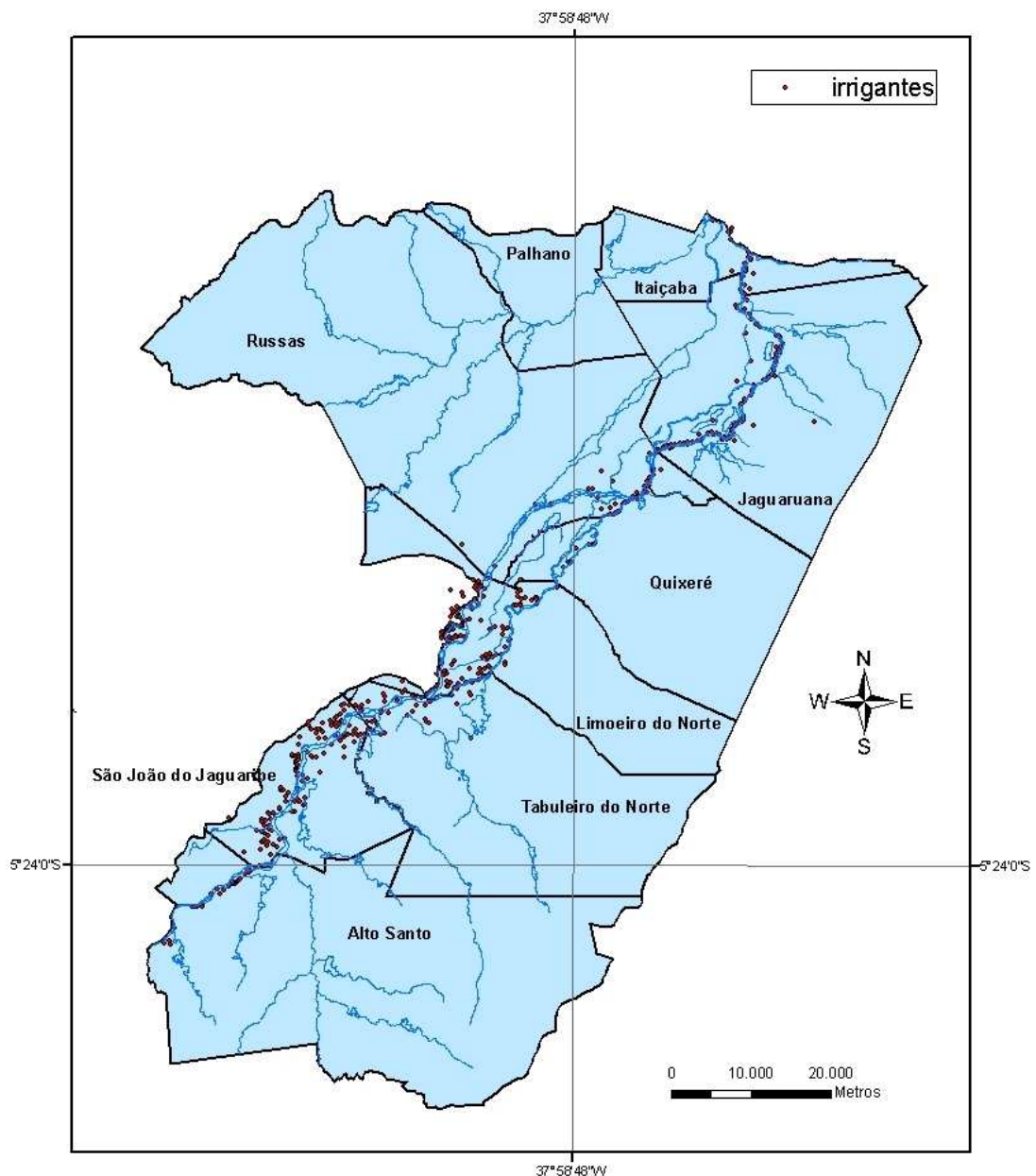


Figura 14 – Localização georreferenciada dos irrigantes às margens do rio Jaguaribe.
 Fonte: elaborada a partir de dados da Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará COGERH (2008).

O padrão temporal de cultivo das culturas irrigadas (anuais e perenes), em escala mensal, na bacia, é apresentado na Tabela 1. A Tabela 2 apresenta a tipologia da agricultura irrigada praticada na região, apresentando todas as culturas irrigadas na bacia e respectivos sistemas de irrigação adotados e áreas irrigadas.

Tabela 1 – Padrão temporal de cultivo mensal das culturas irrigadas.

Culturas	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<i>Euterpe oleracea</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Malpighia glabra</i> L.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Gossypium hirsutum</i> L.								X	X	X	X	X
<i>Annona</i> sp.	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Oryza Sativa</i>							X	X	X	X	X	
<i>Musa paradisiaca</i> L.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Anacardium occidentale</i>	X				X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Saccharum officinarum</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Capim de pisoteio	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Citrus</i>	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Cocos nucifera</i> L.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Vigna unguiculata</i>							X	X		X	X	
<i>Ficus carica</i> L.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Capim de corte	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Psidium guajava</i>	X				X	X	X	X	X	X	X	X
Hortaliças	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Manihot esculenta</i>									X	X	X	X
<i>Carica papaya</i> L.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Mangifera indica</i> L.	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Passiflora edulis</i>	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Citrullus vulgaris</i>								X	X	X		
<i>Cucumis melo</i>								X	X		X	X
<i>Zea mays</i> (grão)								X	X	X	X	
<i>Zea mays</i> (verde)								X	X	X		
Ornamentais	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Capsicum frutescens</i>								X	X	X	X	X
<i>Capsicum annuum</i> L.									X	X	X	X
<i>Manilkara zapota</i>	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Glycinum max</i> L.							X	X	X	X		
<i>Pennisetum glaucum</i>								X	X	X	X	
<i>Lycopersicon esculen-</i>								X	X	X	X	
<i>Vitis</i> sp.	X				X	X	X	X	X	X	X	X

Fonte: elaborada a partir de dados da Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará COGERH (2008).

Tabela 2 – Tipologia da agricultura irrigada (culturas, sistemas de irrigação e área máxima irrigada ao longo do ano).

Culturas	Sistemas de Irrigação e Área (ha)					Área Total (ha)
	Inundação	Sulcos	Aspersão	Localizada	Pivot	
<i>Euterpe oleracea</i>	-	-	-	9,00	-	9,00
<i>Malpighia glabra</i> L.	-	-	-	78,00	-	78,00
<i>Gossypium hirsutum</i> L.	-	-	-	-	275,00	275,00
<i>Annona sp.</i>	1,50	4,20	-	96,70	15,75	118,15
<i>Oryza Sativa</i>	1.397,30	10,00	-	-	-	1.407,30
<i>Musa paradisiaca</i> L.	92,80	61,45	5,30	748,05	15,75	923,35
<i>Anacardium occidentale</i>	-	0,50	0,75	17,75	-	19,00
<i>Saccharum officinarum</i>	14,30	-	-	-	25,00	39,30
Capim de pisoteio	207,05	56,42	44,25	3,00	225,00	535,72
<i>Citrus</i>	53,75	44,35	-	3,50	-	101,60
<i>Cocos nucifera</i> L.	2,45	1,20	1,80	93,50	-	98,95
<i>Vigna unguiculata</i>	63,50	131,40	509,05	48,25	125,00	877,20
<i>Ficus carica</i> L.	-	-	-	0,50	-	0,50
Capim de corte	11,50	2,25	4,50	-	-	18,25
<i>Psidium guajava</i>	8,65	4,20	1,00	113,70	-	127,55
Hortaliças	-	-	4,50	-	-	4,50
<i>Manihot esculenta</i> Crantz	0,95	-	0,50	-	-	1,45
<i>Carica papaya</i> L.	0,50	-	-	4,70	-	5,20
<i>Mangifera indica</i> L.	-	0,90	-	135,00	-	135,90
<i>Passiflora edulis</i>	-	-	0,50	0,20	-	0,70
<i>Citrullus vulgaris</i> Schrad	-	2,50	2,00	31,25	-	35,75
<i>Cucumis melo</i>	-	2,50	-	120,50	-	123,00
<i>Zea mays</i> (grão)	5,90	10,30	16,05	15,00	275,00	322,25
<i>Zea mays</i> (verde)	-	-	-	-	300,00	300,00
Ornamentais	-	-	0,50	4,00	-	4,50
<i>Capsicum frutescens</i>	0,80	-	-	-	-	4,80
<i>Capsicum annuum</i> L.	-	-	-	16,70	-	16,70
<i>Manilkara zapota</i>	-	0,50	-	7,50	-	8,00
<i>Glycinum max</i> L.	-	-	-	275,00	-	275,00
<i>Pennisetum glaucum</i> (L.)	-	-	-	20,00	50,00	70,00
<i>Lycopersicon esculentum</i>	-	-	-	0,50	-	0,50
<i>Vitis sp.</i>	-	-	-	19,50	-	19,50
TOTAL	1.860,95	332,67	590,70	1.865,80	1.306,50	5.956,62

Fonte: elaborada a partir de dados da Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará COGERH (2008).

O padrão de cultivo mostra larga variabilidade de culturas irrigadas na área do estudo. A informação da área efetivamente irrigada em cada mês, coeficiente de cultivo (Kc) mensal ponderado pela área de cada cultura irrigada e eficiência de irrigação mensal ponderada pela área de cada sistema de irrigação adotado são apresentados na Tabela 3. Dados detalhados são apresentados nos APÊNDICES A e B. Pode-se observar que a eficiência de irrigação ponderada mostrou-se sempre maior que 0,6, considerada por Döll & Hauschild, (2002), variando de 0,62 (julho e novembro) a 0,71 (abril), quando a área de irrigação por inundação apresenta-se mínima (em torno de 110 ha).

Já a área irrigada variou de 1.163,3 ha no mês de março para um máximo de 5.956,6 ha no mês de outubro, não coincidindo com a área apresentada por Barbosa (2005), uma vez que aqui não estão computadas as áreas irrigadas nas adjacências do Canal do Trabalhador e excluiram-se os irrigantes no leito do rio Banabuiú. O coeficiente de cultivo ponderado varia desde 0,87 (outubro), alcançando máximo de 1,11 e 1,10 em março e abril, quando se pratica irrigação complementar, basicamente em culturas perenes.

Tabela 3 – Coeficientes de cultivo (Kc) ponderados pela área de cada cultura irrigada e eficiências médias ponderadas pela área de cada método de irrigação adotado, em cada mês.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Área irrigada (ha)	2.247,7	2.247,7	1.163,3	1.281,5	2.247,7	2.247,7	4.807,2	5.939,9	5.079,4	5.956,6	5.345,9	2.668,6
Kc ponderado	0,94	0,94	1,11	1,10	0,94	0,94	0,98	0,98	0,94	0,87	0,90	0,92
Ea final ponderada	0,67	0,67	0,70	0,71	0,67	0,67	0,62	0,63	0,63	0,63	0,62	0,67

6.1. Análise do modelo climático PRECIS-HadRM3P, considerando a climatologia local

A seguir, através das Tabelas 4 a 7 e Figuras 15 a 17 são demonstradas comparações da climatologia de base do modelo HadRM3P- PRECIS, com as normais climatológicas da estação de Jaguaruana, CE, localizada dentro da área de estudo. Os resultados demonstram que o modelo subestima as máximas, notadamente nos meses de abril e maio (3,63°C e 3,14°C, respectivamente), conforme já preconizado por Alves (2007).

Tabela 4 – Comparação da média das temperaturas máximas (°C) da climatologia de base do modelo (1961-90) com normal climatológica da estação de Jaguaruana-CE (1961-90).

	Jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Climatologia de Base do												
Modelo 1961-1990 (CB)	31,06	30,11	28,91	28,17	28,86	29,55	30,65	31,78	32,42	32,83	32,93	32,17
Normal Climatológica												
1961-1990 (NC)	33,08	32,90	29,40	31,80	32,00	31,50	32,00	33,20	34,00	34,10	33,70	32,70
Distância Euclidiana												
(Diferença CB-NC)	2,02	2,79	0,49	3,63	3,14	1,95	1,35	1,42	1,58	1,27	0,77	0,53

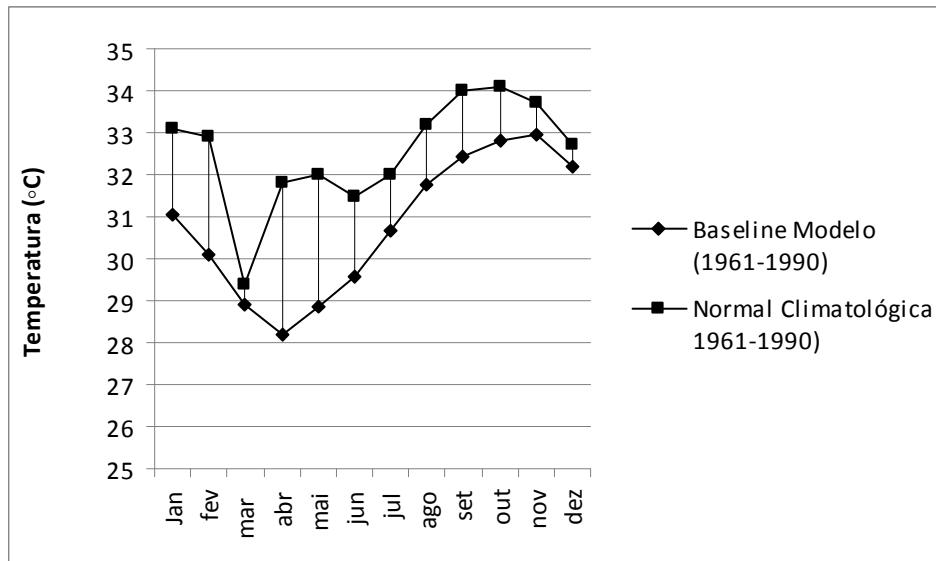


Figura 15 – Comparação da média das temperaturas máximas (°C) da climatologia de base do modelo (1960-90) com normal climatológica da estação de Jaguaruana-CE (1961-90).

Já para as temperaturas mínimas, pode-se observar uma boa concordância para os meses de novembro a maio, sendo superestimada nos meses de junho a outubro (menos de 2°C).

Tabela 5 – Comparação da média das temperaturas mínimas (°C) da climatologia de base do modelo (1961-90) com normal climatológica da estação de Jaguaruana-CE (1961-90).

	Jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	Out	nov	dez
CB (1961-1990)	23,45	23,34	23,45	23,55	23,38	23,07	22,87	23,03	23,37	23,80	24,07	23,84
NC (1961-1990)	23,70	23,50	23,50	23,40	22,90	21,80	21,20	21,10	21,80	22,60	23,80	23,50
Diferença CB-NC	0,25	0,16	0,05	0,15	0,48	1,27	1,67	1,93	1,57	1,20	0,27	0,34

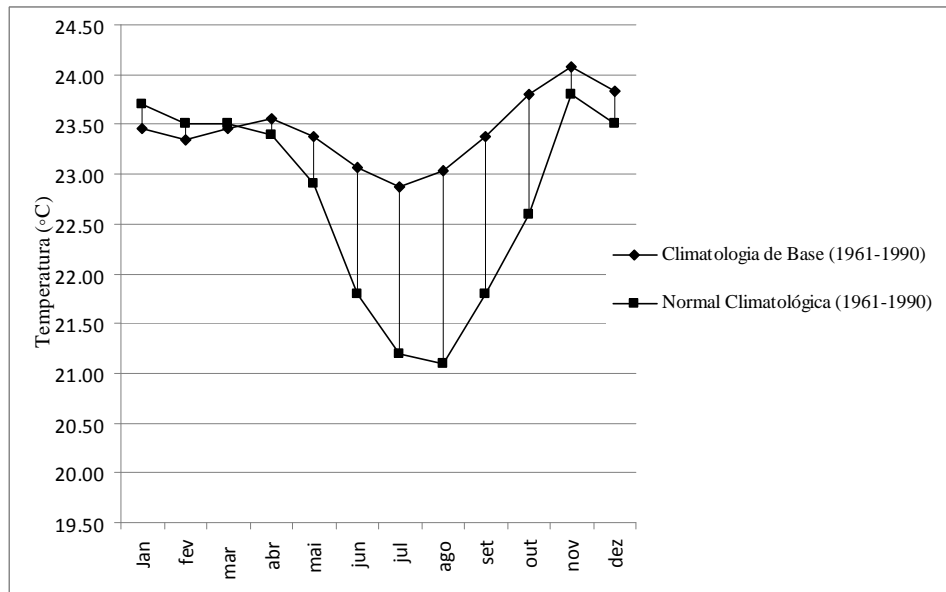


Figura 16 – Comparação da média das temperaturas mínimas (°C) da climatologia de base do modelo (1961-90) com normal climatológica da estação de Jaguaruana-CE (1961-90).

As temperaturas médias aproximam-se, apresentando diferenças entre a climatologia de base do modelo e normal climatológica de mais de 2°C apenas para os meses de fevereiro e dezembro, sendo menor que 1°C na maioria dos demais meses (Tabela 6 e Figura 17). Entretanto, pode-se observar que as temperaturas médias da normal climatológica (Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Departamento Nacional de Meteorologia, 1992), apresentam-se inexplicavelmente baixas (24°C em fevereiro e 26°C em dezembro), quando se compara com os meses vizinhos (27,9°C em janeiro, 26,9 °C em março e 28,1 °C em novembro).

Tabela 6 – Comparação da média das temperaturas médias (°C) da climatologia de base do modelo (1961-90) com a respectiva normal climatológica da estação de Jaguaruana-CE (1961-90).

	Jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
CB 1961-1990	27,26	26,73	26,18	25,86	26,12	26,31	26,76	27,41	27,90	28,32	28,50	28,01
NC 1961-1990	27,9	24,00	26,90	26,90	25,20	26,10	26,00	26,40	27,30	27,50	28,10	26,00
Diferença CB-NC	0,65	2,73	0,72	1,04	0,92	0,21	0,76	1,01	0,60	0,81	0,40	2,01

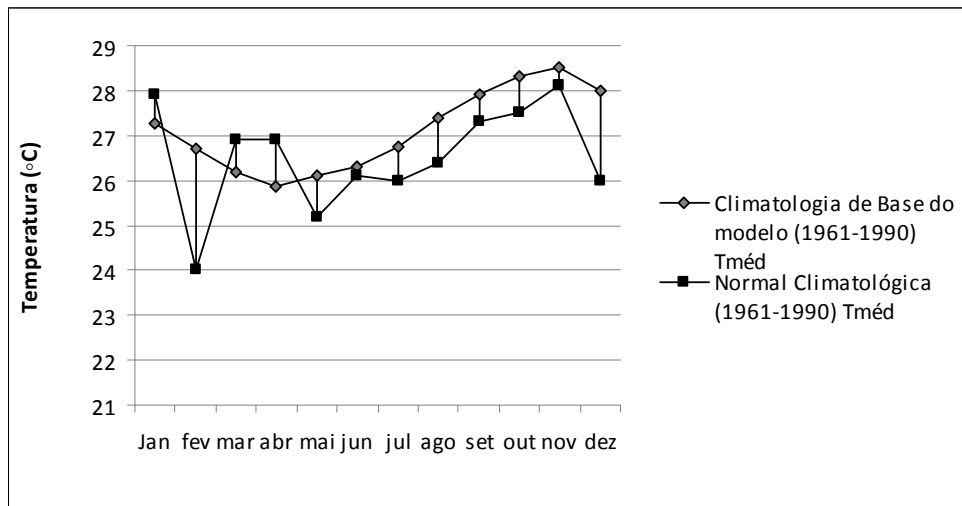


Figura 17 – Comparação da média das temperaturas médias (°C) da climatologia de base do modelo (1961-90) com normal climatológica da estação de Jaguaruana-CE (1961-90).

Com relação à precipitação (Tabela 7 e Figura 18), considerando-se apenas a quadrícula que abrange a localização do município de Jaguaruana-CE (estação do INMET), pode-se observar que o modelo, através da climatologia de base, capturou bem a época chuvosa, entretanto, subestimou a precipitação no mês de março (em 87,80 mm mensais) e nos meses da estação da estiagem (julho, agosto e setembro), em cerca de 50 mm em relação à normal climatológica.

Ao se analisar apenas o município de Jaguaruana, a climatologia de base do modelo de 1961-90 estima uma precipitação média anual de 721,20 mm (Tabela 7), aproximando-se portanto daquela divulgada pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, (2001) citado por Barbosa et al. (2005) para o município, de 754,2 mm (Quadro 6), porém menor que a normal climatológica de 906,10 mm para a estação localizada naquele município (Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, 1992).

Tabela 7 – Comparação da precipitação mensal (mm) da climatologia de base do modelo 1961-90 (CB) nas quadrículas (4,5°S/37,5°W) e normal climatológica (NC) da estação de Jaguaruana-CE (4,47°S/37,36°S).

	Jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total
CB (1961-90)	77,40	113,70	143,40	170,40	137,40	35,40	7,20	2,70	3,00	2,10	5,40	23,1	721,20
NC (1961-90) Estação de Jaguaruana	29,60	123,40	231,20	181,30	115,20	55,10	45,70	54,80	47,80	3,30	1,20	17,50	906,10
Diferença CB- NC	47,80	-9,70	-87,80	-10,90	22,20	19,70	38,50	52,10	-44,80	-1,20	4,20	5,60	-184,90

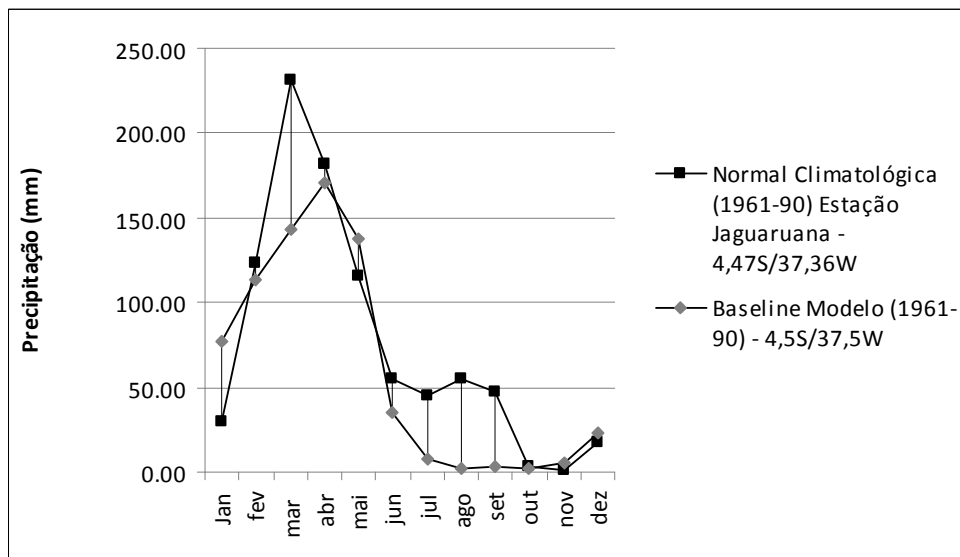


Figura 18 – Comparação da precipitação mensal (mm) da climatologia de base do modelo 1961-90 nas quadrículas (4,5°S/37,5°W) e normal climatológica da estação de Jaguaruana-CE (4,47°S/37,36°S).

6.2. Projeções das variáveis climáticas

Na Tabela 8, são apresentadas as médias mensais das temperaturas máximas da *baseline* (1961 – 1990) e período de 2010 a 2100, para os cenários A2 e B2, definidas pelo modelo de mudanças climáticas empregado, assim como as variações (acréscimos de temperatura entre *baseline* e 2100) para cada cenário. Podem-se observar maiores acréscimos de temperatura para o cenário A2 e para os meses de março, abril, maio (pico em abril), em ambos os cenários. Gráficamente os resultados estão apresentados na Figura 19.

Tabela 8 – Temperaturas médias mensais das máximas (°C) para os cenários A2 e B2, *baseline* de 1961 a 1990 e 2010 a 2100, assim como as variações para cada cenário.

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1961-1990	31,06	30,11	28,91	28,17	28,86	29,55	30,65	31,78	32,42	32,83	32,93	32,17
2010-A2	32,13	31,54	30,24	29,78	30,17	30,99	31,77	32,59	33,12	33,43	33,65	33,03
2010-B2	31,98	31,41	30,02	29,25	30,22	30,84	31,61	32,48	32,94	33,42	33,50	32,91
2040-A2	33,81	33,68	32,24	32,20	32,15	33,15	33,44	33,81	34,16	34,39	34,73	34,34
2040-B2	33,23	33,35	31,69	30,87	32,27	32,77	33,05	33,55	33,73	34,30	34,37	34,03
2070-A2	35,45	35,82	34,23	34,62	34,13	35,31	35,12	35,03	35,21	35,33	35,80	35,65
2070-B2	34,53	35,28	33,36	32,49	34,32	34,70	34,49	34,61	34,51	35,18	35,24	35,15
2100-A2	36,78	36,97	37,20	37,63	37,07	36,25	36,08	35,53	35,35	36,05	36,51	36,65
2100-B2	35,29	35,53	35,49	36,62	36,26	35,33	34,91	34,48	34,35	34,99	35,25	35,19
Varição-A2	5,72	6,86	8,29	9,46	8,21	6,70	5,43	3,75	2,93	3,22	3,58	4,48
Varição-B2	4,23	5,42	6,58	8,45	7,40	5,78	4,26	2,70	1,93	2,16	2,32	3,02

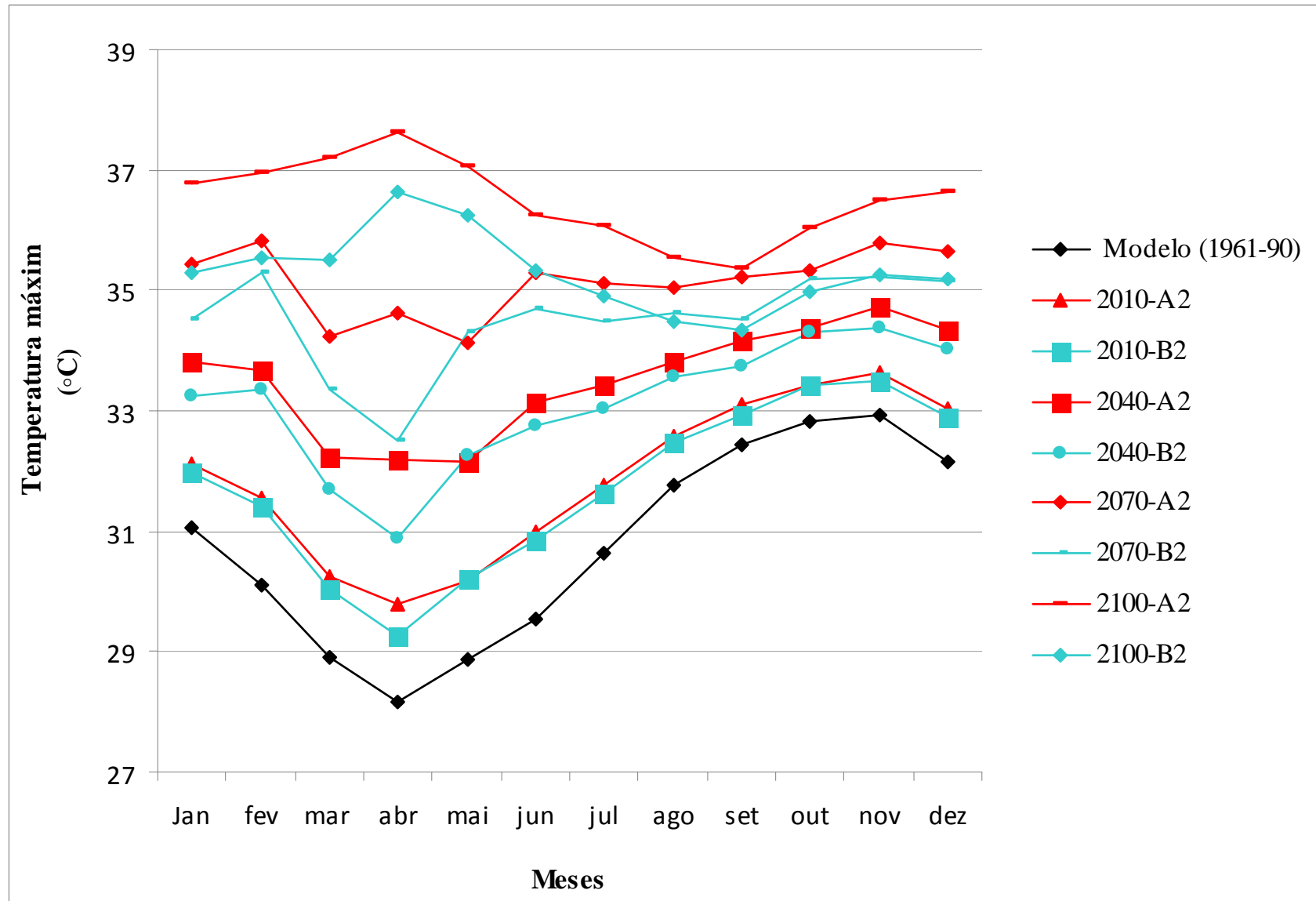


Figura 19 - Médias mensais das temperaturas máximas para os cenários A2 e B2, *baseline* (1961 a 1990) e 2010 a 2100.

Na Tabela 9, são apresentadas as médias mensais das temperaturas mínimas para a *baseline* (1961-1990) e período de 2010 a 2100, para os cenários A2 e B2, assim como as variações (acréscimos de temperatura) para cada cenário. Apesar de serem menores que para as temperaturas máximas, também há acréscimos para as temperaturas mínimas, sendo também maiores para o cenário A2 e para os meses de março, abril, maio para ambos os cenários. Os resultados estão apresentados na Figura 20.

Tabela 9 – Médias mensais das temperaturas mínimas para os cenários A2 e B2, de 1961-90 e 2010 a 2100, assim como as variações para cada cenário.

	Jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1961-1990	23,45	23,34	23,45	23,55	23,38	23,07	22,87	23,03	23,37	23,80	24,07	23,84
2010-A2	24,08	24,14	24,20	24,41	24,19	24,00	23,69	23,68	23,94	24,22	24,60	24,27
2010-B2	24,00	24,03	24,09	24,09	24,12	23,80	23,47	23,55	23,75	24,12	24,40	24,22
2040-A2	25,02	25,32	25,33	25,69	25,41	25,39	24,93	24,65	24,79	24,86	25,39	24,92
2040-B2	24,83	25,05	25,05	24,91	25,23	24,89	24,37	24,32	24,32	24,59	24,89	24,79
2070-A2	25,96	26,52	26,46	26,98	26,63	26,78	26,16	25,63	25,65	25,49	26,19	25,56
2070-B2	25,65	26,08	26,01	25,73	26,37	25,97	25,27	25,09	24,89	25,07	25,38	25,37
2100-A2	27,62	27,72	28,19	28,48	28,31	27,17	26,87	26,17	25,95	26,20	26,61	27,33
2100-B2	25,81	26,76	26,98	27,16	27,23	26,45	25,69	25,11	24,85	24,84	25,45	25,56
Varição-A2	4,17	4,38	4,74	4,93	4,93	4,10	4,00	3,14	2,58	2,40	2,54	3,49
Varição-B2	2,36	3,42	3,53	3,61	3,85	3,38	2,82	2,08	1,48	1,04	1,38	1,72

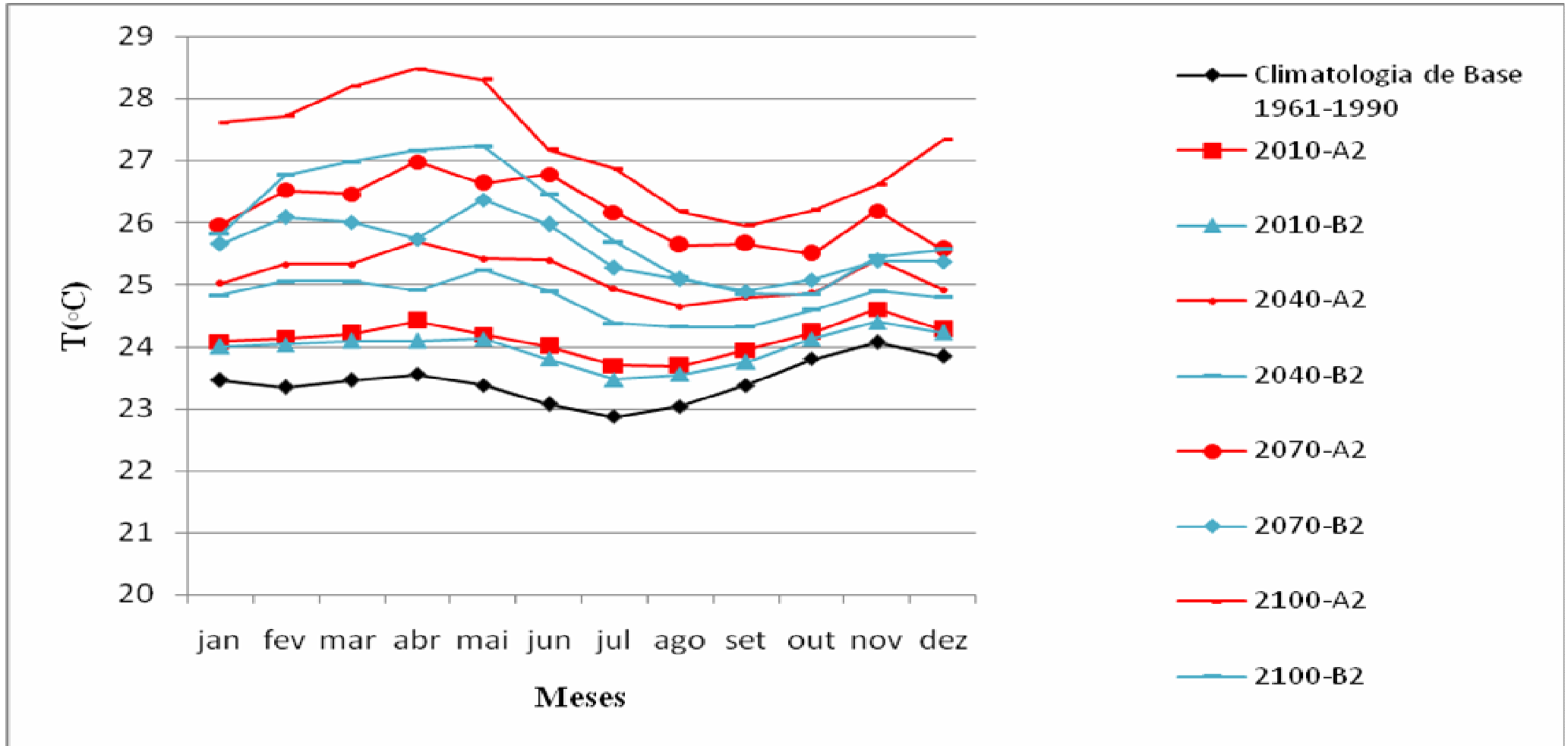


Figura 20 - Médias mensais das temperaturas mínimas para os cenários A2 e B2, 1961-90 e 2010 a 2100.

Na Tabela 10, são apresentadas as médias mensais das precipitações para os cenários A2 e B2, *baseline* de 1961 a 1990 e 2010 a 2100, assim como as variações para cada cenário. Observam-se reduções contínuas até o final do século, sendo desta vez, maiores para o cenário B2 e para os meses de março, abril e maio para ambos os cenários. Gráficamente os resultados estão apresentados pela Figura 21.

Tabela 10 – Precipitações médias mensais para os cenários A2 e B2, de 1961-90 e 2010 a 2100, assim como as variações para cada cenário.

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total
1961-1990	72	110	186	188	127	54	23	6	5	4	13	32	820
2010-A2	93	114	175	182	125	62	31	11	8	6	13	31	851
2010-B2	75	105	183	181	127	60	31	11	8	6	14	31	832
2040-A2	87	91	138	124	63	24	11	3	4	2	6	14	567
2040-B2	45	67	153	120	67	22	10	3	3	2	7	15	514
2070-A2	101	87	119	102	27	13	8	2	5	2	1	3	470
2070-B2	32	49	150	98	36	7	9	3	9	3	3	5	404
2100-A2	14	39	53	82	9	2	1	1	2	1	1	3	208
2100-B2	10	20	30	2	2	1	1	1	1	1	2	3	74
Varição-A2	-58	-71	-133	-106	-118	-52	-22	-5	-3	-3	-12	-29	-612
Varição-B2	-62	-90	-156	-186	-125	-53	-22	-5	-4	-3	-11	-29	-746

Pela Figura 21, pode-se verificar que as precipitações do mês de janeiro dos anos de 2010, 2040 e 2070 e no mês de fevereiro de 2010, no cenário A2 apresentam-se maiores que para as condições iniciais (período de 1961-90), sendo que para 2100, a redução é mais drástica para o cenário B2, resultando numa redução de precipitação mais intensa naquele cenário que no A2, embora as forçantes das mudanças climáticas possuem maiores concentrações no cenário A2. O cenário A2 estabelece para 2040 emissões cumulativas de CO₂ de 530,7 Gt e o B2 446,0 Gt (Nakicenovic et al., 2000), sendo o primeiro, mais crítico em termos de mudanças climáticas.

É possível que o desempenho do modelo possa ser aperfeiçoado, calibrando-se as condições iniciais da precipitação, considerando-se dados registrados, a exemplo da Normal Climatológica (vide Tabela 7).

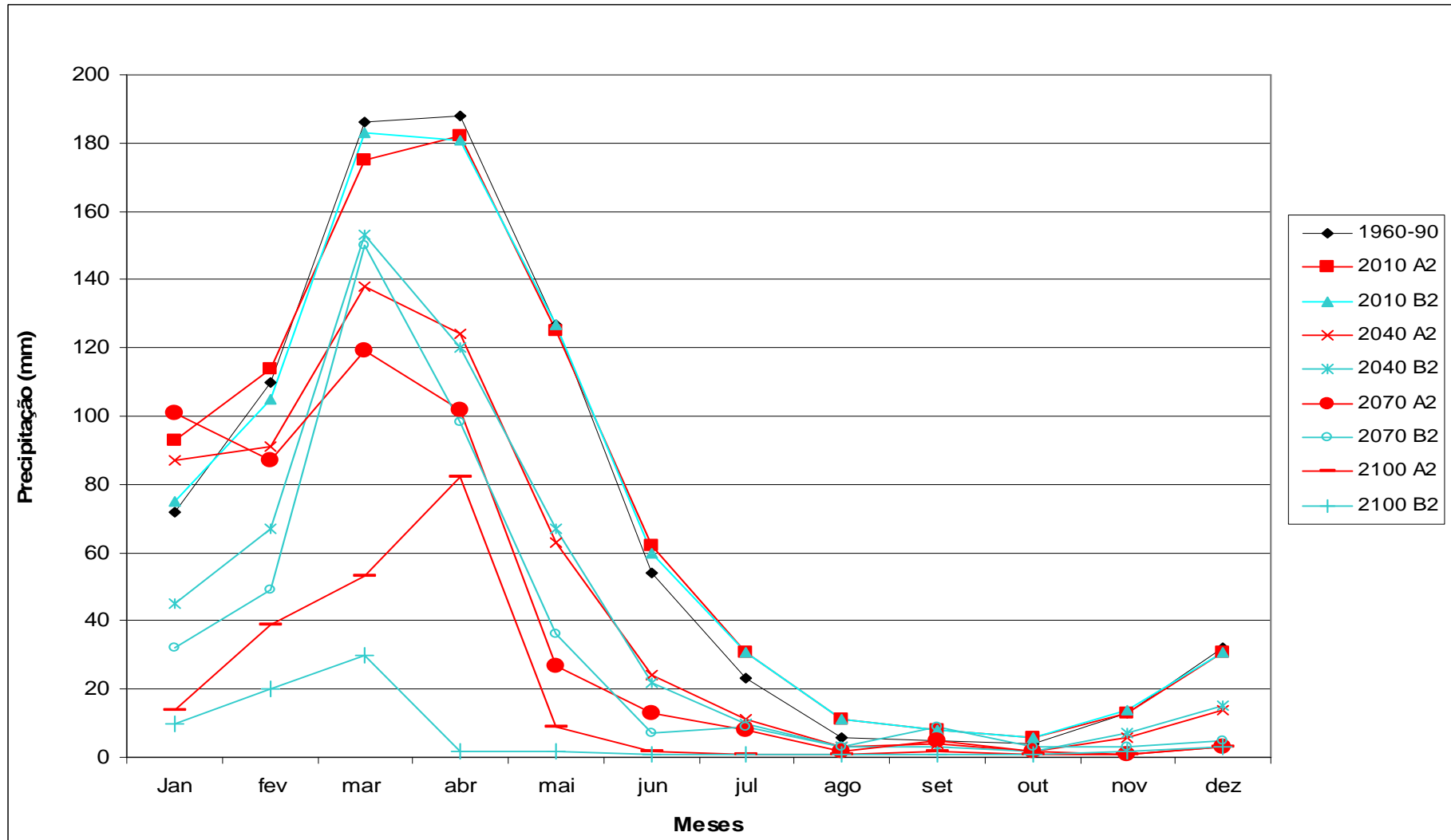


Figura 21 – Médias mensais das precipitações (mm) para 1961-90 e 2010 a 2100, cenários A2 e B2.

6.3. Análise da variabilidade espacial

O uso do modelo climático regional HadRM3P, acoplado ao global HadAM3, submetido à técnica de redução de escala dinâmica, pelo sistema PRECIS permitiu a avaliação de impactos em áreas menores, como resultado de melhor resolução espacial, comparando-se aos modelos globais que são aplicados em escalas continental e global. A melhor resolução de modelos possibilita uma análise mais detalhada dos impactos em nível local.

O mapeamento das temperaturas máxima e mínima e precipitação da climatologia de base do modelo, bem como para as projeções (2040), cenários A2 e B2 foi realizada através da ferramenta geoestatística de *krigagem* linear ordinária, associada a um sistema de informação geográfica (APÊNDICES C, D e E), dividindo-se os níveis de temperatura e precipitação em classes. Há clara demonstração de haver, de uma maneira geral, redução da precipitação e aumento da temperatura média, em direção ao interior do semi-árido, mantendo-se a concentração de chuvas nos meses de fevereiro a maio.

6.3.1. Temperaturas máxima, mínima e média mensais

Nas Tabelas 11 e 12, são apresentados os valores das projeções das temperaturas máxima e mínima mensais (°C) para os anos de 2040, cenários A2 e B2, em relação à climatologia de base do modelo (1961-90), bem como mínimos, máximos, média e desvio padrão observados na área objeto de estudo. A diferença entre as condições iniciais e 2040 pode ser observada, através da percentagem. Nas Figuras 22 e 23, são apresentados os dados graficamente.

Tabela 11 – Projeções da temperatura máxima mensal (°C) para climatologia de base e para o ano de 2040, cenários A2 e B2 – mínimos, máximos, média e desvio padrão observados.

	Jan	Fev	Mar	Abril	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1961-90												
Mínimo	28,8	28,5	28,2	27,8	28,4	28,7	28,9	29,1	29,2	29,4	29,6	29,3
Máximo	34,3	32,7	30,4	29,0	30,3	32,0	34,1	36,0	37,0	37,5	37,4	36,0
Média	32,6	31,2	29,4	28,5	29,3	30,6	32,5	34,1	34,8	35,3	35,2	34,1
Desvio Padrão	1,9	1,4	0,7	0,4	0,6	1,1	1,8	2,4	2,7	2,8	2,7	2,3
2040 A2												
Mínimo	33,3	33,2	32,1	32,2	32,6	33,6	33,5	33,4	33,3	33,4	33,8	33,4
Máximo	37,3	37,0	34,7	34,3	34,3	36,0	36,8	37,5	38,6	39,0	39,2	38,5
Média	36,1	35,8	33,4	33,4	33,4	35,0	35,8	36,4	37,1	37,4	37,6	37,0
%	10,7	14,7	13,6	17,2	14,0	14,4	10,2	6,7	6,6	5,9	6,8	8,5
Desvio Padrão	1,3	1,2	0,8	0,7	0,6	0,7	1,0	1,2	1,6	1,7	1,6	1,5
2040 B2												
Mínimo	32,6	33,0	31,6	30,6	32,8	33,1	33,1	33,1	32,8	33,4	33,4	33,1
Máximo	36,8	36,6	33,9	32,5	34,7	35,5	36,3	37,3	38,1	38,9	38,8	38,0
Média	35,5	35,4	32,8	31,4	33,7	34,5	35,4	36,2	36,6	37,3	37,2	36,6
%	8,9	13,5	11,6	10,2	15,0	12,7	8,9	6,2	5,2	5,7	5,7	7,3
Desvio Padrão	1,3	1,2	0,7	0,6	0,7	0,7	1,0	1,3	1,6	1,7	1,6	1,5

Tabela 12 – Projeções da temperatura mínima mensal (°C) para 1961-90 e para o ano de 2040, cenários A2 e B2 – mínimos, máximos, média e desvio padrão observados.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1961-90												
Mínimo	21,4	21,2	21,3	21,3	21,0	20,6	20,9	21,6	22,1	22,8	22,8	22,2
Máximo	25,4	25,3	25,2	25,3	25,3	25,0	24,7	24,7	25,0	25,6	25,6	25,6
Média	22,8	22,5	22,5	22,6	22,4	22,2	22,3	22,7	23,0	23,8	23,8	23,4
Desvio Padrão	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,2	1,0	0,9	0,9	0,9	1,1
2040 A2												
Mínimo	23,6	24,0	23,8	24,0	23,6	23,9	23,8	23,9	24,0	24,1	24,7	24,0
Máximo	26,1	26,4	26,3	26,9	26,6	26,6	26,0	25,6	25,7	25,7	26,2	25,8
Média	24,5	24,8	24,6	25,1	24,8	25,0	24,7	24,5	24,5	24,5	25,1	24,4
%	7,5	10,2	9,3	11,1	10,7	12,6	10,8	7,9	3,1	5,5	5,5	10,3
Desvio Padrão	0,7	0,6	0,7	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,54	0,4	0,5
2040 B2												
Mínimo	23,6	23,9	23,3	22,9	23,5	23,3	23,0	23,3	23,5	23,8	24,1	23,9
Máximo	25,9	26,1	26,1	26,1	26,4	26,1	25,4	25,3	25,2	25,4	25,7	25,7
Média	24,3	24,5	24,2	24,0	24,7	24,5	24,1	24,1	23,9	24,3	24,6	24,3
%	6,6	8,9	7,6	6,2	10,3	10,4	8,1	6,2	2,3	3,4	3,4	3,8
Desvio Padrão	0,6	0,6	0,8	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5

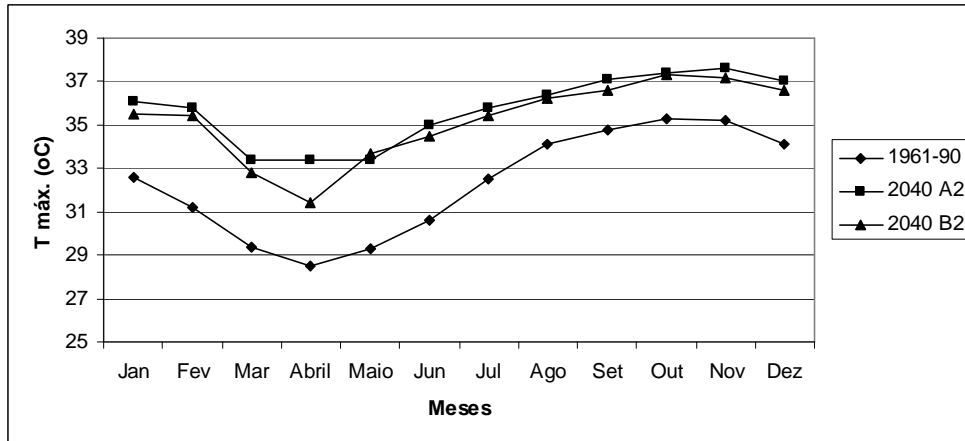


Figura 22 - Temperatura máxima mensal (°C) para climatologia de base e projeções para o ano de 2040, cenários A2 e B2.

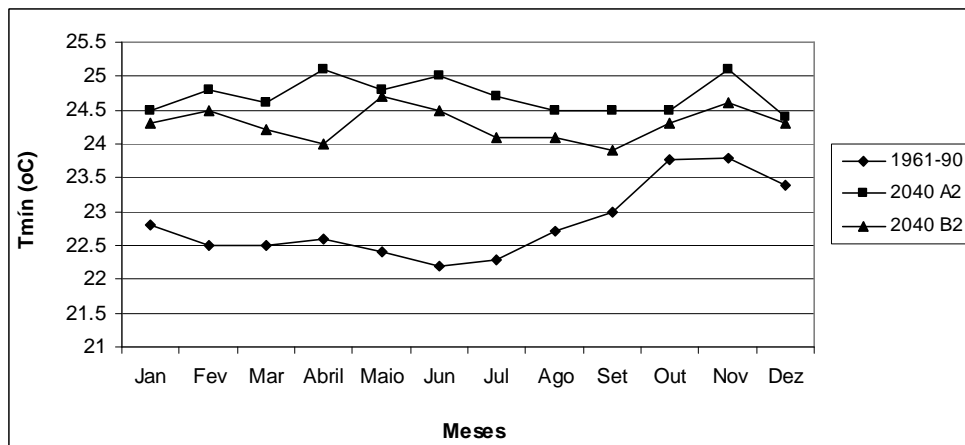


Figura 23 - Temperatura mínima mensal (°C) para climatologia de base e projeções para o ano de 2040, cenários A2 e B2.

Na Tabela 13, são apresentados os valores das projeções da temperatura média mensal (mm) para a climatologia de base do modelo (1961-90) e para o ano de 2040, cenários A2 e B2, bem como mínimos, máximos, média e desvio padrão observados. A diferença entre a climatologia de 1961-90 e projeções para 2040 pode ser observada através da percentagem. Na Figura 24 apresenta-se uma comparação gráfica. Os maiores aumentos de temperatura para o ano de 2040 estão previstos para os meses de abril no cenário A2 (2,4 °C) e fevereiro em ambos os cenários (2,0 °C no A2 e 1,8 °C no B2).

Tabela 13 – Projeções da temperatura média mensal (mm) para o anos de 2040, cenários A2 e B2 – mínimos, máximos , média e desvio padrão observados.

	Jan	Fev	Mar	Abril	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1961-90												
Mínimo	26,3	26,0	25,0	24,0	25,0	25,1	25,1	25,9	25,8	26,0	26,8	26,9
Máximo	28,2	27,4	27,0	27,1	27,0	27,0	28,0	29,0	30,0	30,1	30,2	30,0
Média	27,5	26,8	26,2	25,9	26,2	26,60	26,9	27,5	28,1	28,6	28,8	28,3
Desvio Padrão	0,4	0,2	0,5	0,8	0,5	0,4	0,6	0,9	1,1	1,1	1,1	0,8
2040 A2												
Mínimo	26,8	26,8	26,5	27,1	27,1	27,0	26,1	26,1	25,7	25,7	26,8	26,8
Máximo	30,1	31,0	29,0	28,9	28,7	30,0	29,9	29,9	31,0	31,0	32,0	31,0
Média	28,8	28,8	28,0	28,3	28,0	28,4	28,5	28,5	28,7	28,7	29,4	29,0
%	4,7	7,5	6,9	9,3	6,9	6,8	5,9	3,6	2,1	0,3	2,1	2,5
Desvio Padrão	0,9	0,9	0,5	0,3	0,3	0,5	0,8	0,8	1,3	1,3	1,3	1,0
2040 B2												
Mínimo	26,5	26,4	25,6	25,8	27,4	26,5	26,2	25,9	25,8	25,9	26,3	26,5
Máximo	29,6	29,5	29,0	27,7	28,2	28,8	29,1	29,7	31,0	30,7	30,8	31,0
Média	28,4	28,6	27,6	27,1	27,8	28,1	27,9	28,2	28,3	30,0	29,0	28,7
%	3,3	6,7	5,3	4,6	6,1	5,6	3,7	2,5	0,7	4,9	0,7	1,4
Desvio Padrão	0,8	0,7	0,2	0,4	0,1	0,5	0,7	1,0	1,1	1,0	1,2	0,9

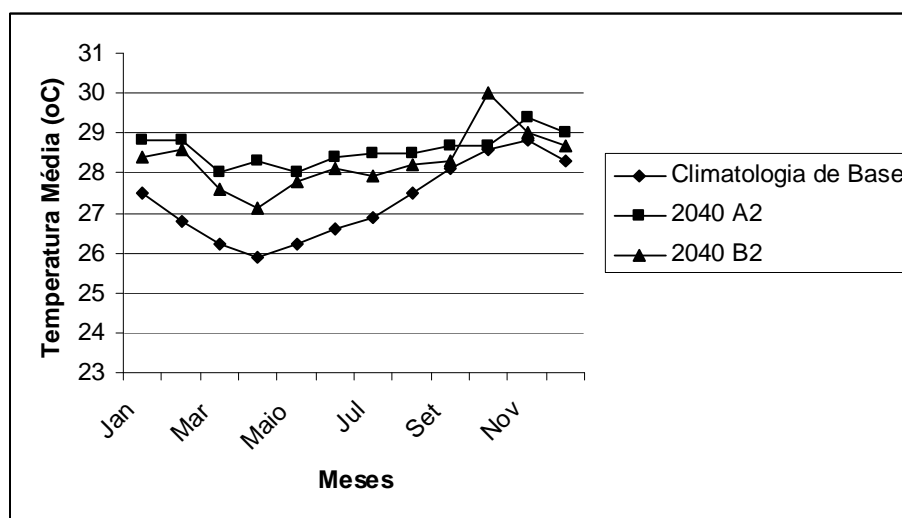


Figura 24 – Temperatura média mensal da climatologia de base do modelo (1961-90) e projeções para 2040, cenários A2 e B2.

6.3.2. Precipitação

Na Tabela 14 e Figura 25, são apresentados os valores da precipitação média mensal (mm) para a climatologia de base do modelo (1961-90) e projeções para o ano de 2040, cenários A2 e B2, bem como mínimos, máximos, média e desvio padrão observados, pelo método

de krigagem dos dados interpolados na área do estudo. O modelo climático utilizado projeta para o ano de 2040, redução na precipitação nos meses de março e abril (meses de maior precipitação, ao longo do ano), sendo respectivamente de 25,8% e 34% para o cenário A2 e 17,7% e 36,2% para o cenário B2, em relação a 1961-90. Com relação ao total anual, a precipitação média prevista pela climatologia de base do modelo para toda a região de 820 mm anuais, aproxima-se da média mensal do município de Russas de 856,6 mm (ANEEL, 2001 citado por Barbosa et al., 2005). Estima-se que o total anual caia para 567 mm e 514 mm em 2040, cenários A2 e B2, respectivamente (decréscimos de 30,8% e 37,3%).

Tabela 14 – Precipitação mensal (mm) para climatologia de base do modelo e projeções para o ano de 2040, cenários A2 e B2 – mínimos, máximos, média e desvio padrão observados.

	Jan	Fev	Mar	Abril	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
1961-90													
Mínimo	39	76	162	137	69	22	8	0	0	0	6	16	
Máximo	187	200	224	380	400	300	195	101	49	40	50	95	
Média	72	110	186	188	127	54	23	6	5	4	13	32	820
Desvio Padrão	28	25	12	47	57	39	25	11	6	5	7	14	
2040 A2													
Mínimo	52	57	105	76	37	9	4	0	0	0	3	7	
Máximo	144	147	195	248	178	172	124	50	36	22	21	41	
Média	87	91	138	124	63	24	11	3	4	2	6	14	567
%	20,8	-17,3	-25,8	-34,0	-50,4	-55,6	-52,2	-50,0	-20,0	-50,0	-53,8	-56,3	-30,8
Desvio Padrão	21	20	19	34	26	20	12	5	6	3	3	6	
2040 B2													
Mínimo	26	40	110	77	40	8	3	0	0	0	3	8	
Máximo	116	135	219	303	229	148	133	55	40	18	20	47	
Média	45	67	153	120	67	22	10	3	3	2	7	15	514
%	-37,5	-39,1	-17,7	-36,2	-47,2	-59,3	-56,5	-50,0	-40,0	-50,0	-46,2	-53,1	-37,3
Desvio Padrão	18	19	25	37	30	18	13	6	5	3	3	7	

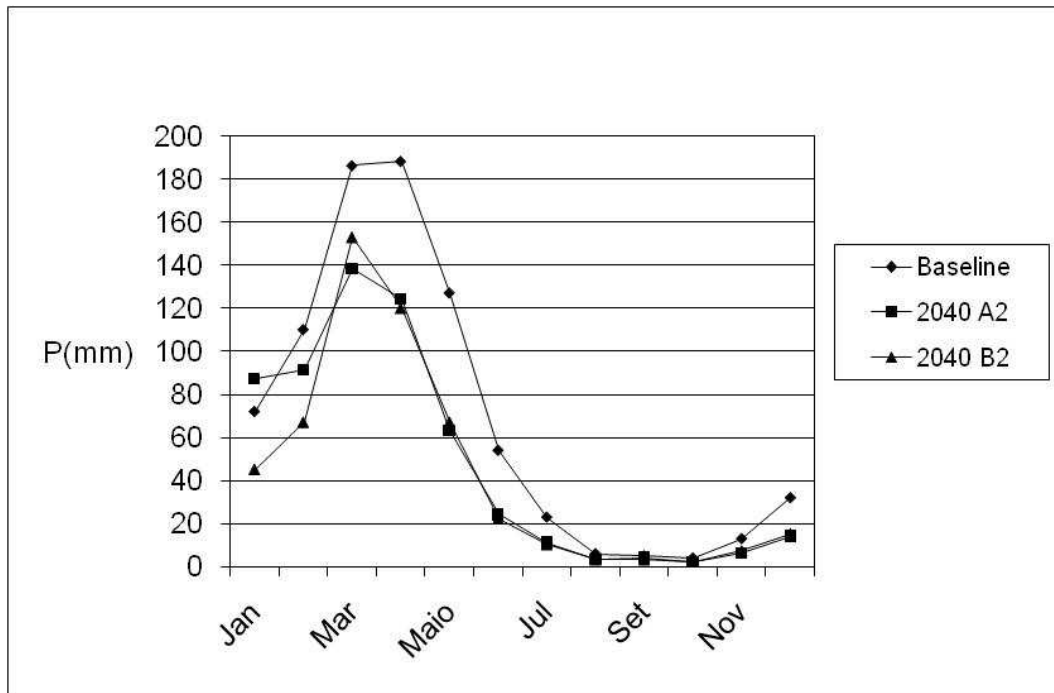


Figura 25 - Precipitação mensal (mm) para climatologia de base do modelo e projeções para o ano de 2040, cenários A2 e B2.

O modelo de mudanças climáticas projetou para janeiro de 2040, cenário A2, uma precipitação média maior quando comparada com as condições iniciais (período de 1961-90) com uma drástica redução no cenário B2 e para o mês de fevereiro uma redução maior para o cenário B2 que para o A2. Estes aspectos foram determinantes para a composição do resultado apresentado.

Foi então projetada pelo modelo, uma redução da precipitação maior no cenário B2 que no A2 (37,3% e 30,8%, respectivamente). Tal resultado pode ser visto, conforme alerta Randall et al. (2007) que ainda há maior incerteza nas projeções de modelos de mudanças climáticas para precipitação que para temperatura. Há ainda de se considerar a possibilidade de calibração de modelo com dados medidos, conforme ponderado anteriormente.

6.3.3. Evapotranspiração de referência (ET_o)

Para estimar a ET_oPM com dados limitados, primeiramente foi escolhido o melhor Kr (coeficiente de ajuste que varia de 0,16 a 0,19, segundo Allen et al., (1998)) para a região. Comparou-se a ET_o de Penman-Monteith FAO, estimada com dados mínimos e utilizando conjunto completo de dados disponíveis, referentes ao ano de 2006, da estação de referência, localizada em Limoeiro do Norte (CE), sendo 0,17 o melhor valor de Kr com R² de 0,90 e b=1,07 (Figura 26), quando comparado à qualidade de ajuste para um Kr de 0,16; 0,18 ou 0,19.

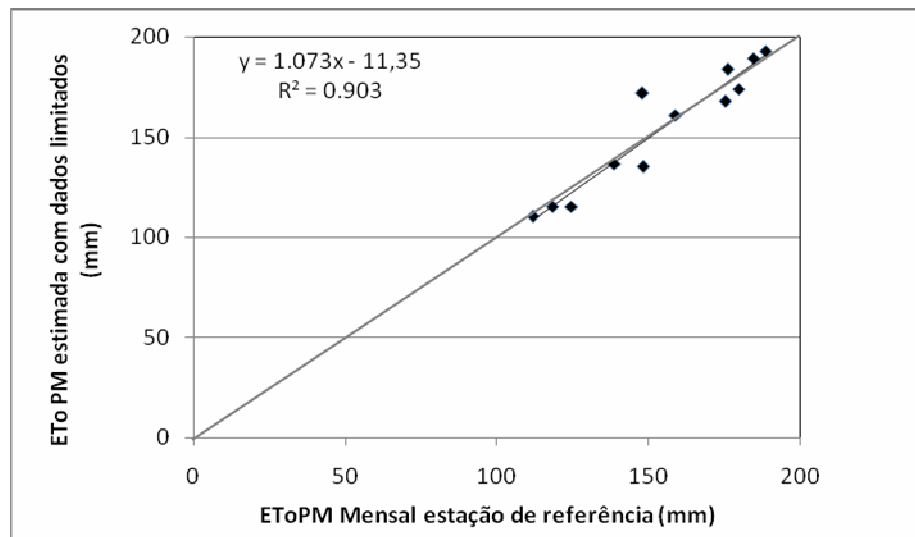


Figura 26 - Regressão linear entre ET_oPM estimada com dados da estação de referência localizada em Limoeiro do Norte-CE e com dados limitados utilizando Kr=0,17.

A Figura 27 apresenta mapa temático de altitude, gerado utilizando-se o *Global Mapper*®, a partir de dados da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) que obteve dados de elevação em escala global aproximada, gerando a mais completa base de dados digital de alta resolução do planeta. SRTM consistiu de um sistema de radar específico e modificado que sobrevooou sobre a nave especial *Endeavour* durante uma missão de onze dias em Fevereiro de 2000 (NASA, 2007). Desta forma, utilizou-se o programa *Global Mapper*® para inserir os dados georreferenciados do levantamento SRTM. O mapa temático de altitude foi então empregado para a estimativa da ET_oPM.

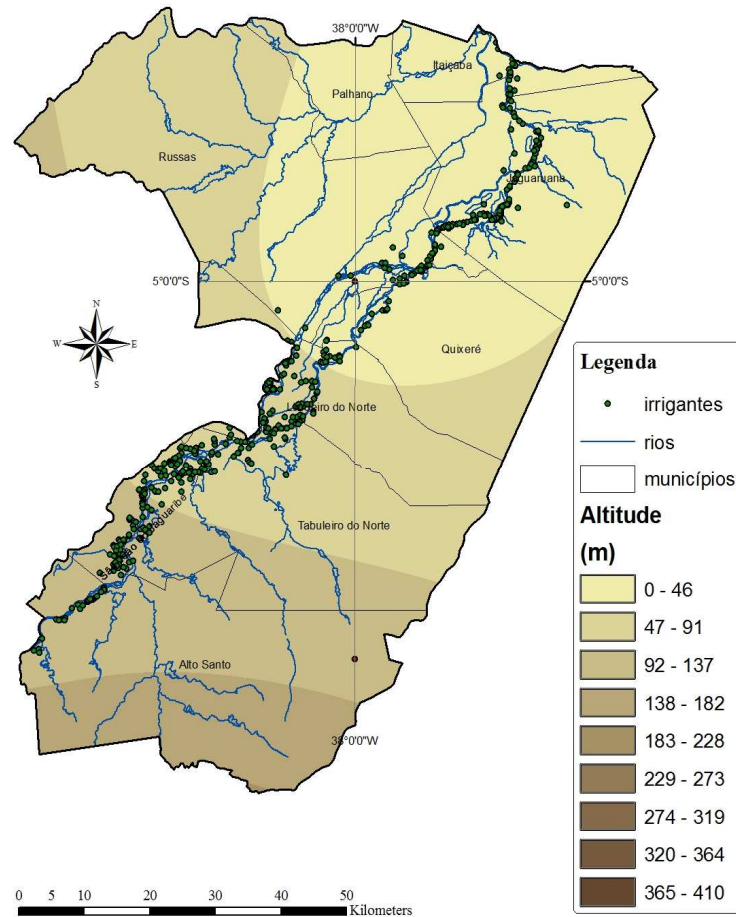


Figura 27 - Altitude (m) da área de estudo.

Na Tabela 15, são apresentados os valores da evapotranspiração de referência média mensal (mm), segundo Penman-Monteith FAO estimadas com dados mínimos, para a climatologia de base do modelo (1961-90) e projeções para o ano de 2040, cenários A2 e B2, bem como mínimos, máximos, média e desvio padrão observados. A diferença entre as condições iniciais e 2040 pode ser observada através dos totais anuais. A Figura 28 apresenta a comparação gráfica. Projetou-se uma elevação média da evapotranspiração anual de 216 mm e 190 mm (12,6 e 11,1%) para os cenários A2 e B2, respectivamente, passando de 1.719 mm para 1.935 mm e 1.909 mm anuais em 2040, respectivamente. O modelo projetou maior elevação da evapotranspiração no mês de abril (29 mm) para o cenário A2 e em maio (26 mm) no cenário B2.

Vale salientar que a ET_{oPM} anual para a região diferiu da estimada por Barbosa et al. (2005) (2.131,6 mm para Limoeiro do Norte). Esta por sua vez foi estimada através da inter-

polação pelo método do Inverso do Quadrado da distância, utilizando dados secundários. Torna-se necessária porém, uma validação com dados medidos por estação de referência.

Tabela 15 – Projeções da evapotranspiração – ET_o Penman-Monteith mensal (mm) estimada com dados mínimos para o ano de 2040, cenários A2 e B2 – mínimos, máximos, média e desvio padrão observados e o total anual (mm), em relação ao período de referência (1961-90).

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
1961-90													
Mínimo	88	76	80	72	73	73	79	87	88	92	101	89	
Máximo	160	141	130	106	116	117	148	171	182	197	187	181	
Média	158	131	122	101	107	107	138	160	170	183	173	169	1.719
Desvio Padrão	15	11	8	6	8	8	12	14	16	18	16	16	
2040 A2													
Mínimo	130	116	115	110	104	108	116	125	126	135	131	133	
Máximo	188	166	158	137	138	141	158	175	188	204	194	197	
Média	178	158	147	130	130	134	151	167	178	192	184	186	1.935
%	12,7	20,6	20,5	28,7	21,5	25,2	9,4	4,4	4,7	4,9	6,4	10,1	12,6
Desvio Padrão	11	10	8	5	6	6	8	9	12	13	12	12	
2040 B2													
Mínimo	125	116	111	99	108	106	116	123	125	138	131	131	
Máximo	183	165	153	128	142	140	157	175	186	204	194	193	
Média	173	156	144	119	133	132	149	167	176	193	184	183	1.909
%	9,5	19,1	18,0	17,8	24,3	23,4	8,0	4,4	3,5	5,5	6,4	8,3	11,1
Desvio Padrão	12	10	8	5	6	6	8	10	12	13	12	12	

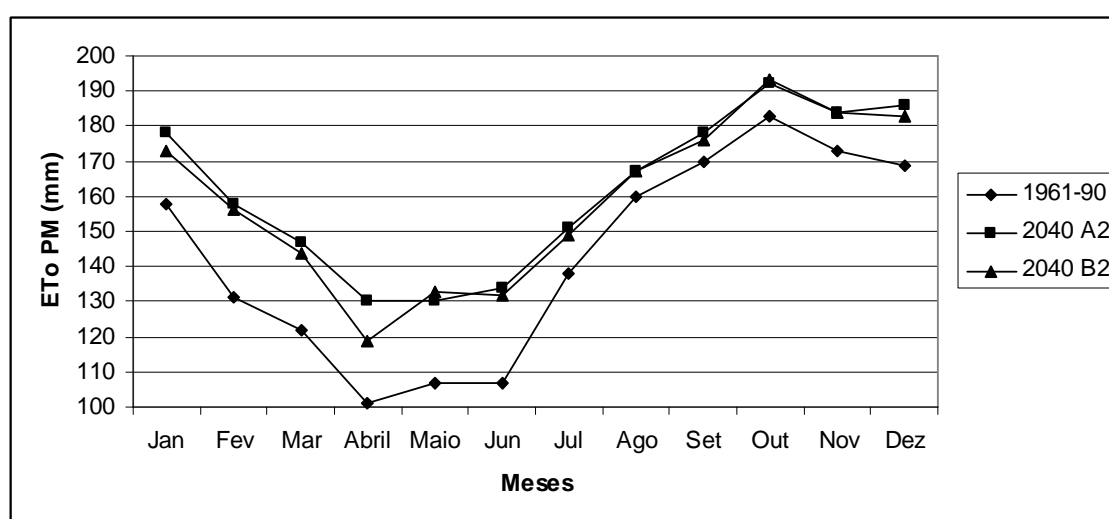


Figura 28 - Projeções da evapotranspiração mensal (mm) para climatologia de base do modelo e o ano de 2040, cenários A2 e B2.

Nas Figuras 29, 30 e 31, são apresentados os mapas temáticos dos totais anuais da evapotranspiração de referência (mm), segundo Penman-Monteith FAO, estimada com dados limitados, para 1961-90 e 2040 cenários A2 e B2.

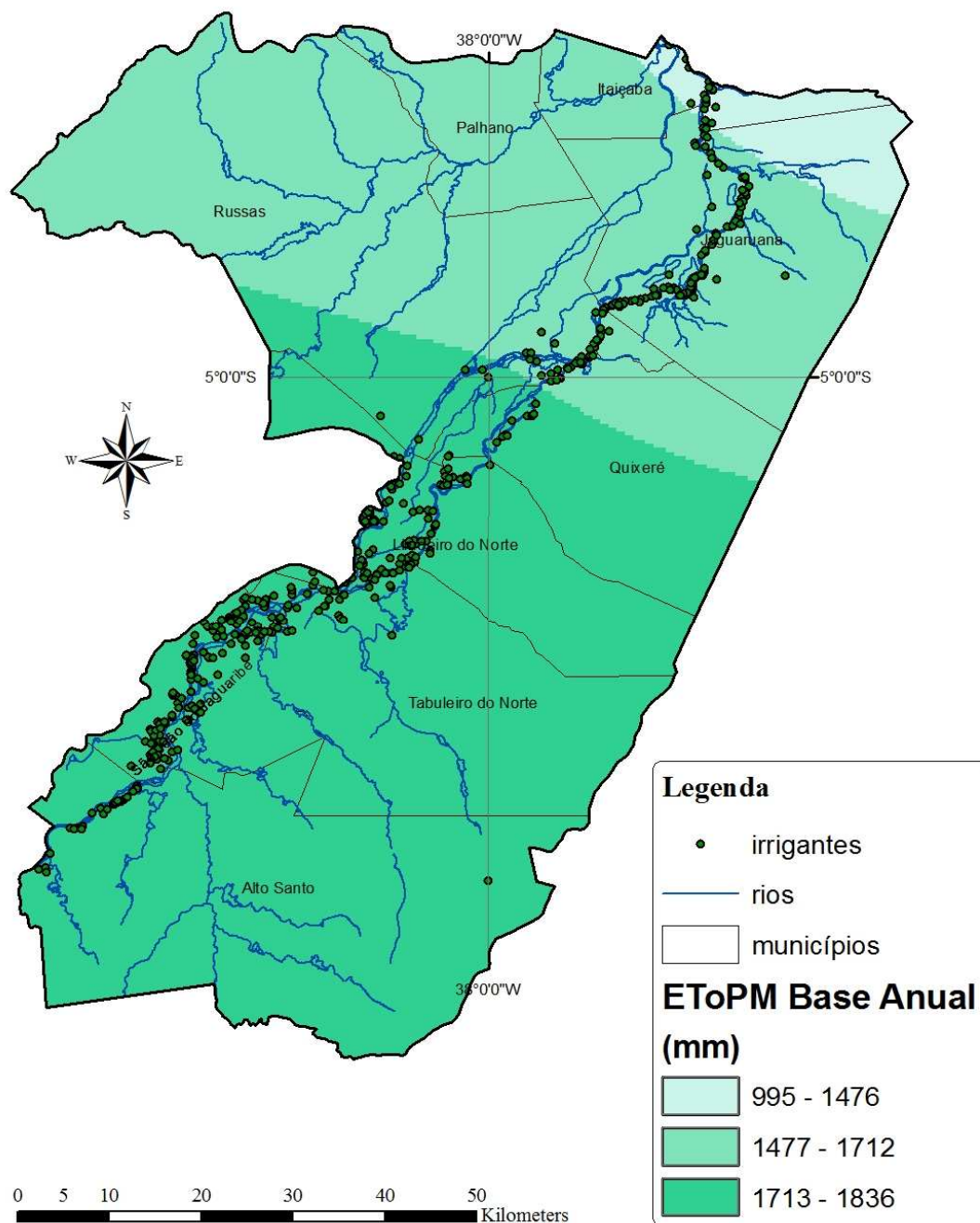


Figura 29 – Mapa temático da ET₀PM anual média (mm) para o período de 1961-90.

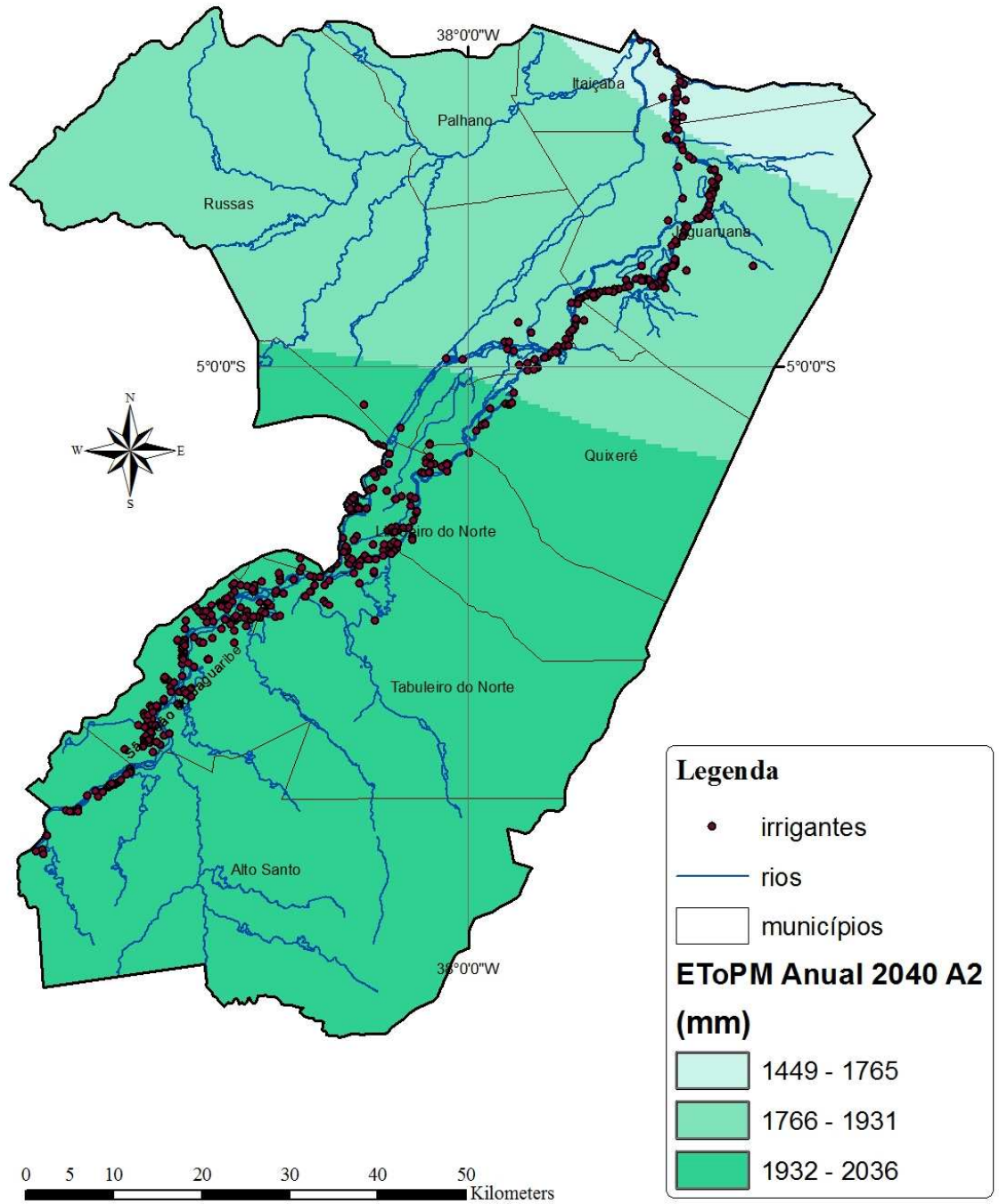


Figura 30 - Mapa temático das projeções da ET₀PM anual (mm) para 2040, cenário A2.

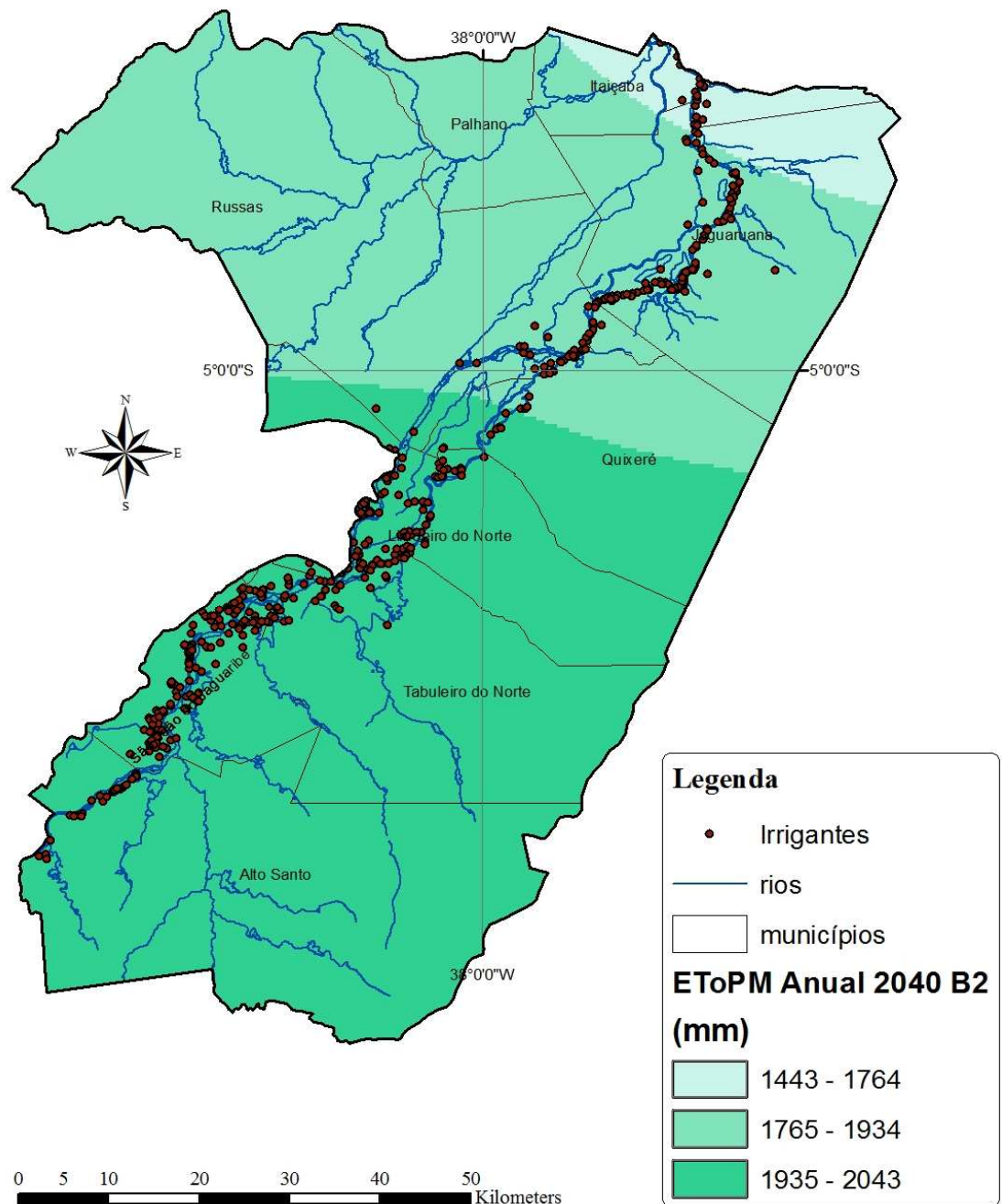


Figura 31 - Mapa temático das projeções da ET_0PM anual (mm) para 2040, cenário B2.

6.3.4. Necessidade hídrica bruta (NHB)

A Tabela 16 apresenta os valores das projeções das necessidades hídricas brutas (NHB) mensais (mm) para todas as culturas irrigadas (anuais e perenes) na região objeto de estudo, considerando a climatologia de base do modelo (1961-90) e para o ano de 2040, cenários A2 e B2, bem como mínimos, máximos, média e desvio padrão obtidos. Na Figura 32 é apresentada a comparação gráfica. O modelo projetou uma elevação da necessidade hídrica bruta anual média em 2040 de 1.766 mm para 2.300 mm e 2.320 mm (30,2% 31,4%) para os cenários A2 e B2, respectivamente.

Tabela 16 - Necessidade hídrica bruta (NHB) mensal (mm) para as todas as culturas.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
1961-90													
Mínimo	39	0	0	0	0	73	124	134	131	128	143	88	
Máximo	192	111	30	16	62	134	218	262	268	266	243	222	
Média	152	76	12	0	41	117	203	246	251	250	231	187	1.766
Desvio Padrão	21	24	14	14	14	12	16	22	22	23	16	23	
2040 A2													
Mínimo	113	79	49	61	88	134	182	195	188	185	188	176	
Máximo	178	154	117	110	146	186	244	272	279	278	274	256	
Média	159	130	100	89	127	169	231	259	265	264	262	245	2.300
%(anual)	4.6	71.1	733.3	89.0	100.0	44.4	13.8	5.3	5.6	5.6	13.4	31.0	30,2
Desvio Padrão	11	17	11	12	10	9	11	11	17	17	16	14	
2040 B2													
Mínimo	137	92	4	58	86	139	182	190	190	190	188	172	
Máximo	228	182	97	88	151	182	241	271	276	279	273	250	
Média	204	157	69	77	130	169	230	258	261	265	261	239	2.320
%(anual)	34.2	106.6	475.0	77.0	217.1	44.4	13.3	4.9	4.0	6.0	13.0	27.8	31,4
Desvio Padrão	17	16	14	6	10	8	11	15	17	17	15	14	

Embora o cenário A2 (Nakicenovic et al., 2000) seja mais crítico em termos de mudanças climáticas, o aumento das necessidades hídricas médias neste estudo, porém, apresentou-se um pouco maior no cenário B2. Isto pode ser atribuído principalmente, ao fato de o modelo projetar uma redução da precipitação maior naquele cenário (30,2% e 31,4%, respectiva-

mente). Desta forma, há uma necessidade de se irrigar mais nos meses de janeiro e fevereiro no cenário B2, conforme se pode deduzir da Tabela 16 e Figura 32.

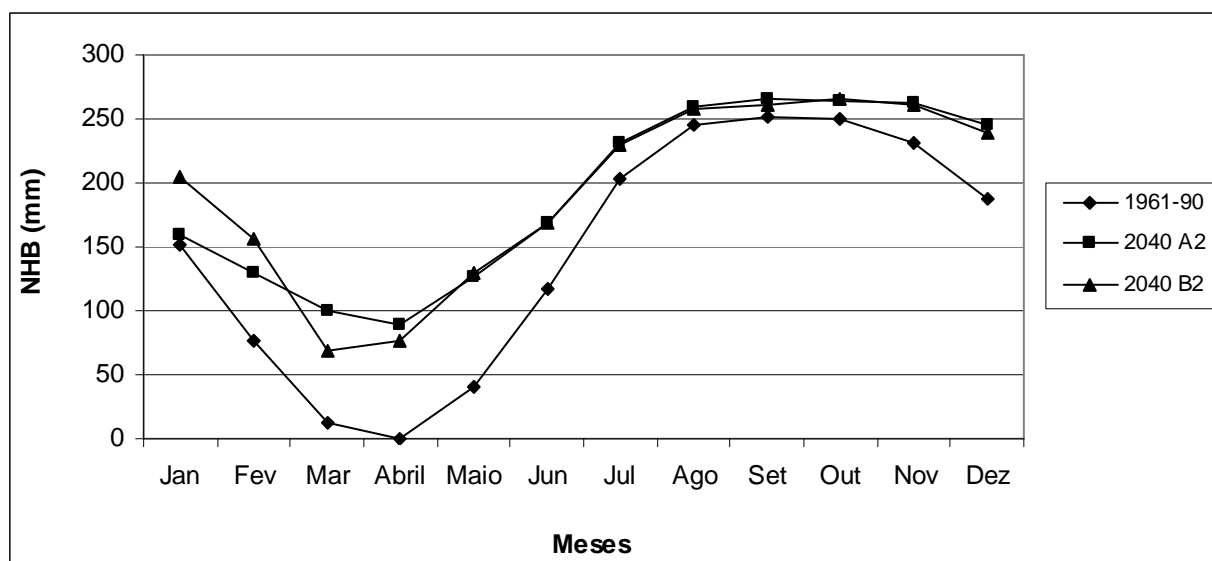


Figura 32 - Comparação gráfica da necessidade hídrica bruta (NHB) mensal (mm) para todas as culturas.

Os mapas temáticos das necessidades hídricas brutas totais anuais médias para 1961-90 e projeções para o ano de 2040, cenários A2 e B2 foram resultados da interpolação dos dados georreferenciados, empregando-se a krigagem (Figuras 33, 34 e 35).

Elgaali et al. (2007), ao comparar impactos na demanda de água para irrigação, decorrentes das mudanças climáticas, estimados por modelos de circulação global ($3,75^\circ \times 2,5^\circ$ de resolução espacial) e modelos submetidos à redução de escala ($0,5^\circ \times 0,5^\circ$ de resolução espacial), quando aplicados sobre a bacia do rio Arkansas, obtiveram resultados distintos para as diferentes escalas e atribuíram ao fato da precisão, comprovada pela maior compatibilidade do modelo regionalizado com a climatologia de base da região.

O aumento da necessidade de água para irrigação decorrente das mudanças climáticas também foi previsto por Silva et al. (2007) que aplicaram o modelo do *Hadley Centre for Climate Prediction* (HadCM3) (resolução de $300 \text{ km} \times 300 \text{ km}$) no Sri Lanka, após uma redução de escala ($16 \text{ km} \times 16 \text{ km}$), utilizando a krigagem. A demanda de água para irrigação de arroz em 2050 foi prevista aumentar em média, naquele país, 23% e 13% para os cenários A2 e B2, respectivamente. Isto ocorreu principalmente devido à redução da precipitação (-17% e

-9%, cenários A2 e B2, respectivamente) durante a época de irrigação (embora a precipitação total anual foi prevista aumentar pelo modelo), combinada com aumento da evapotranspiração (2% e 1% para os cenários A2 e B2, respectivamente), decorrente do aumento da temperatura (1,4°C e 1°C para os cenários A2 e B2, respectivamente).

A mesma tendência foi verificada por Díaz et al. (2007) que estimaram para 2050, na bacia de Guadalquivir, Espanha, utilizando projeções do modelo HadCM3 interpoladas por krigagem, uma elevação na média das necessidades hídricas de aproximadamente 19,3% e 16,3%, cenários A2 e B2, respectivamente, causada principalmente pelo aumento da evapotranspiração (8,6% e 7,7%, cenários A2 e B2, respectivamente), redução da precipitação na época de plantio (- 6,7% e - 0,5%, para os cenários A2 e B2, respectivamente), acompanhadas de um elástico da estação de irrigação.

Mesmo sendo uma área menor (sub-bacia hidrográfica) que as estudadas por Díaz et al. (2007) e Silva et al. (2007) (Espanha e Sri Lanka, respectivamente), observa-se também considerável variabilidade espacial dos resultados. A demanda de água cresce no sentido litoral-interior do semi-árido, para todos os períodos estudados (Figuras 33, 34 e 35).

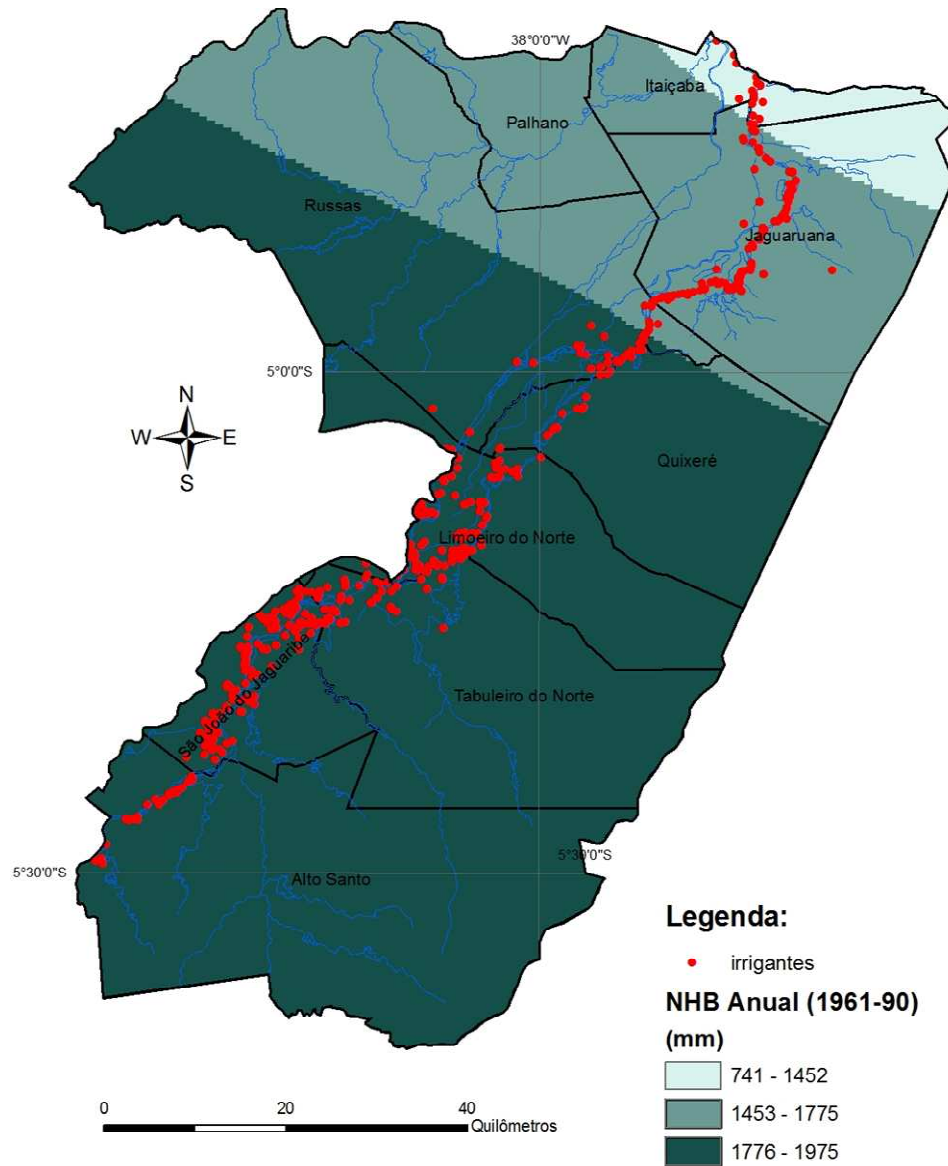


Figura 33 - Mapa temático da necessidade hídrica bruta (mm) anual 1961-90.

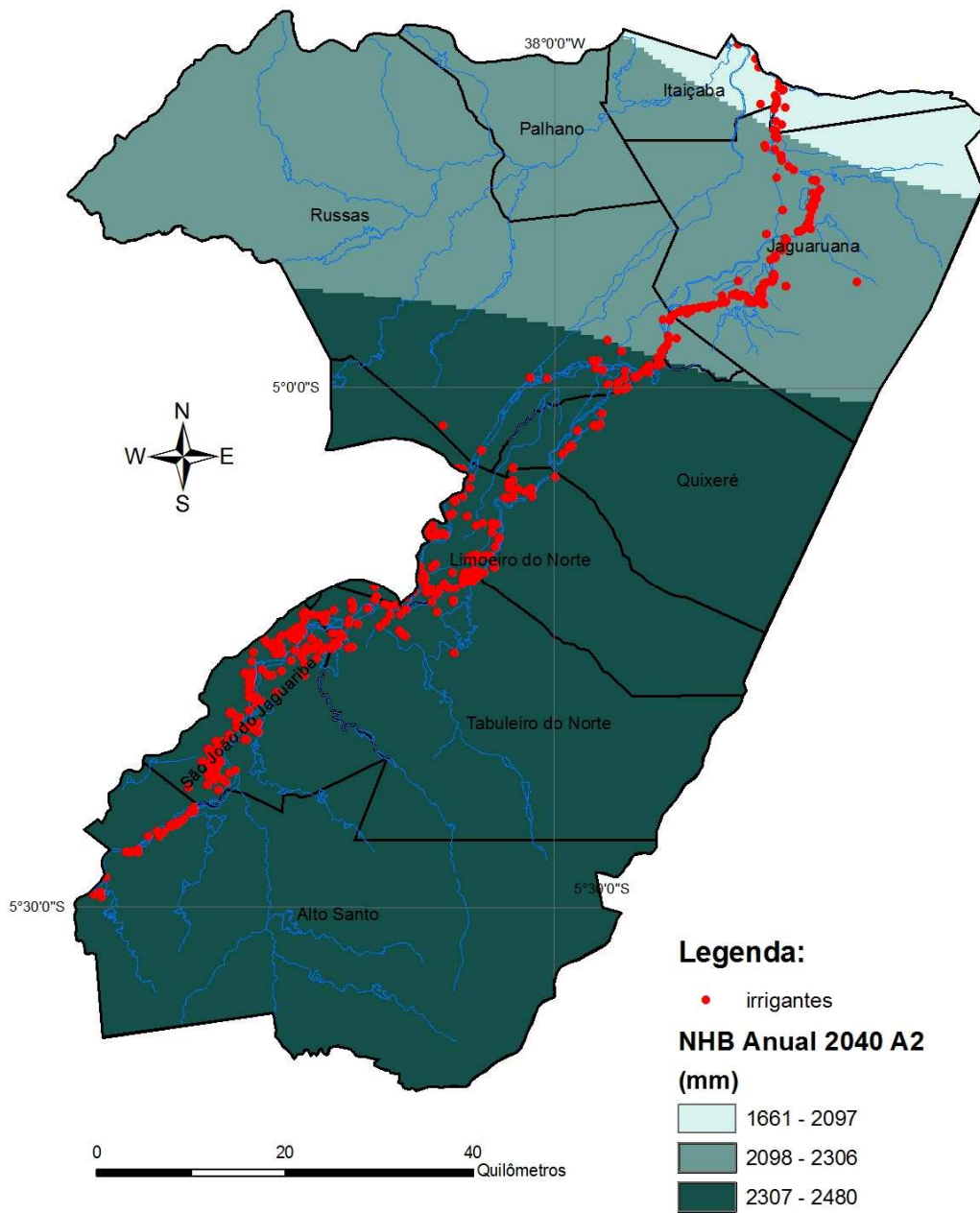


Figura 34 - Mapa temático das projeções da necessidade hídrica bruta (mm) anual para o ano de 2040, cenário A2.

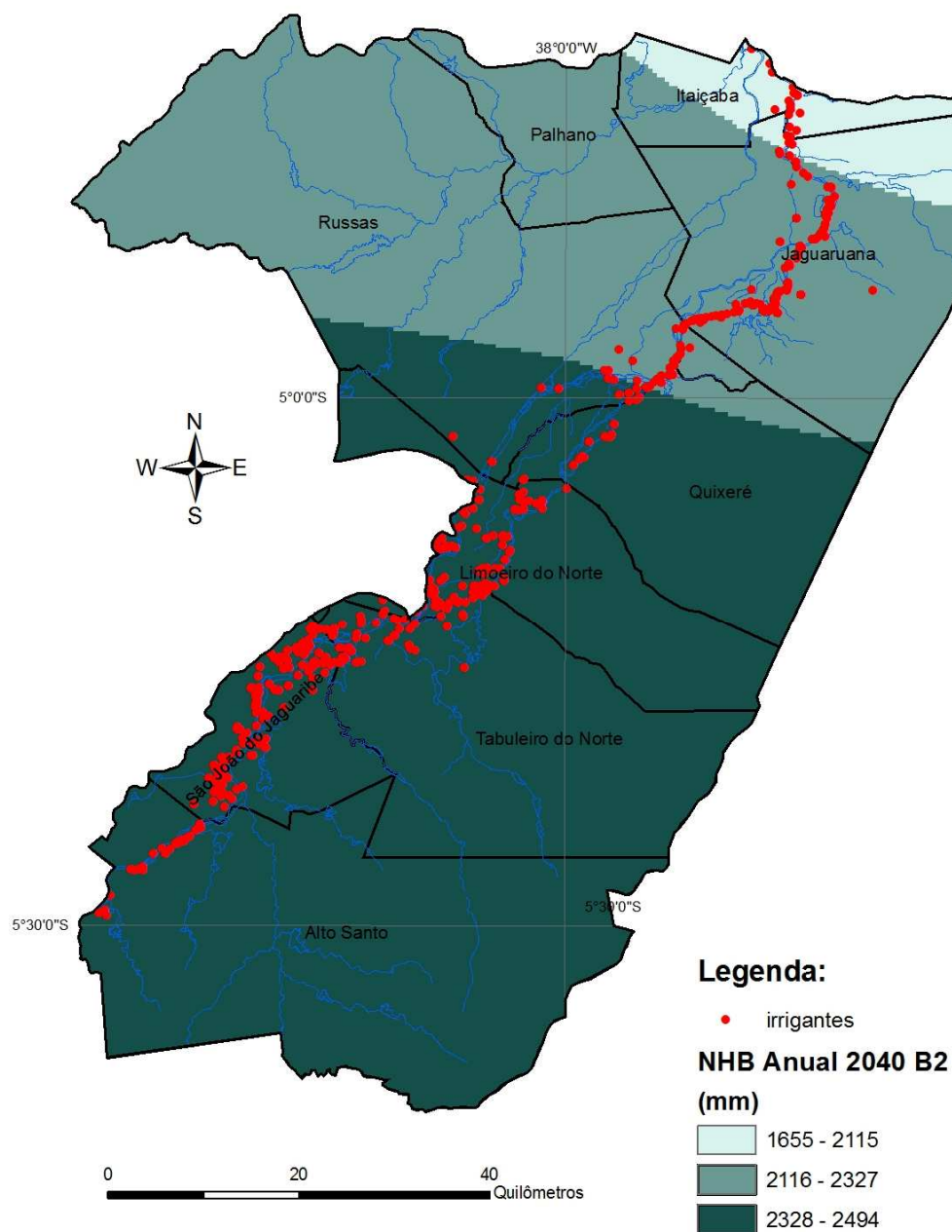


Figura 35 - Mapa temático das projeções de necessidade hídrica bruta (mm) anual para o ano de 2040, cenário B2.

Um incremento médio de 533 mm e 564 mm (33,62% e 37,87%) nas necessidades hídricas anuais das culturas em relação à climatologia de base do modelo foi projetado para 2040, cenários A2 e B2, respectivamente (Tabela 17 e Figuras 36 e 37), observando-se maiores níveis, nas proximidades ao litoral, decorrente de maior redução na precipitação.

Tabela 17 – Incrementos da demanda anual de água para irrigação (mm)

Estatísticas	Cenários	
	2040 A2	2040 B2
Mínimo	437	462
Máximo	921	914
Média	543	564
Desvio Padrão	76	75

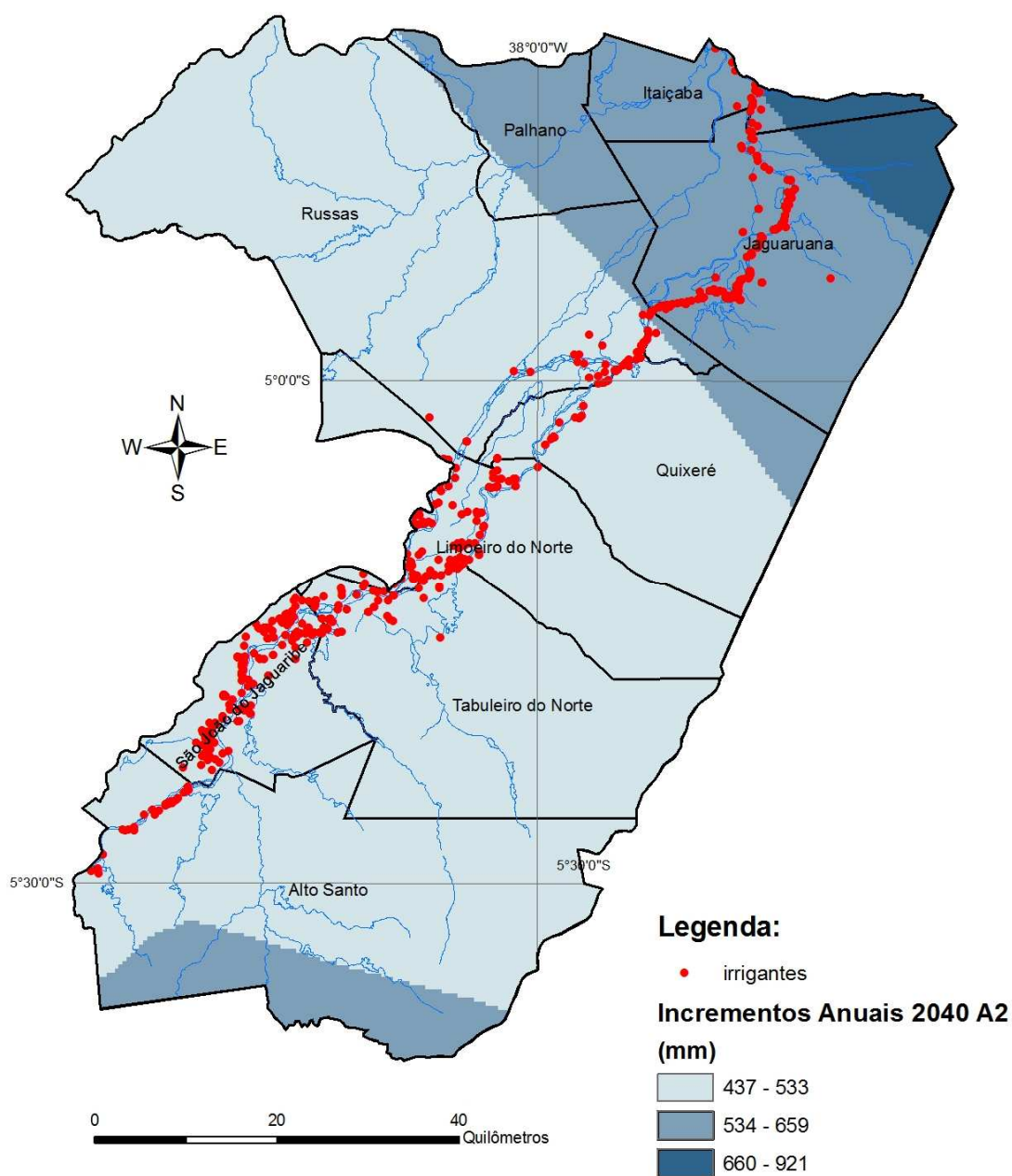


Figura 36 – Projeções dos incrementos anuais na NHB (mm), para o ano de 2040, cenário A2.

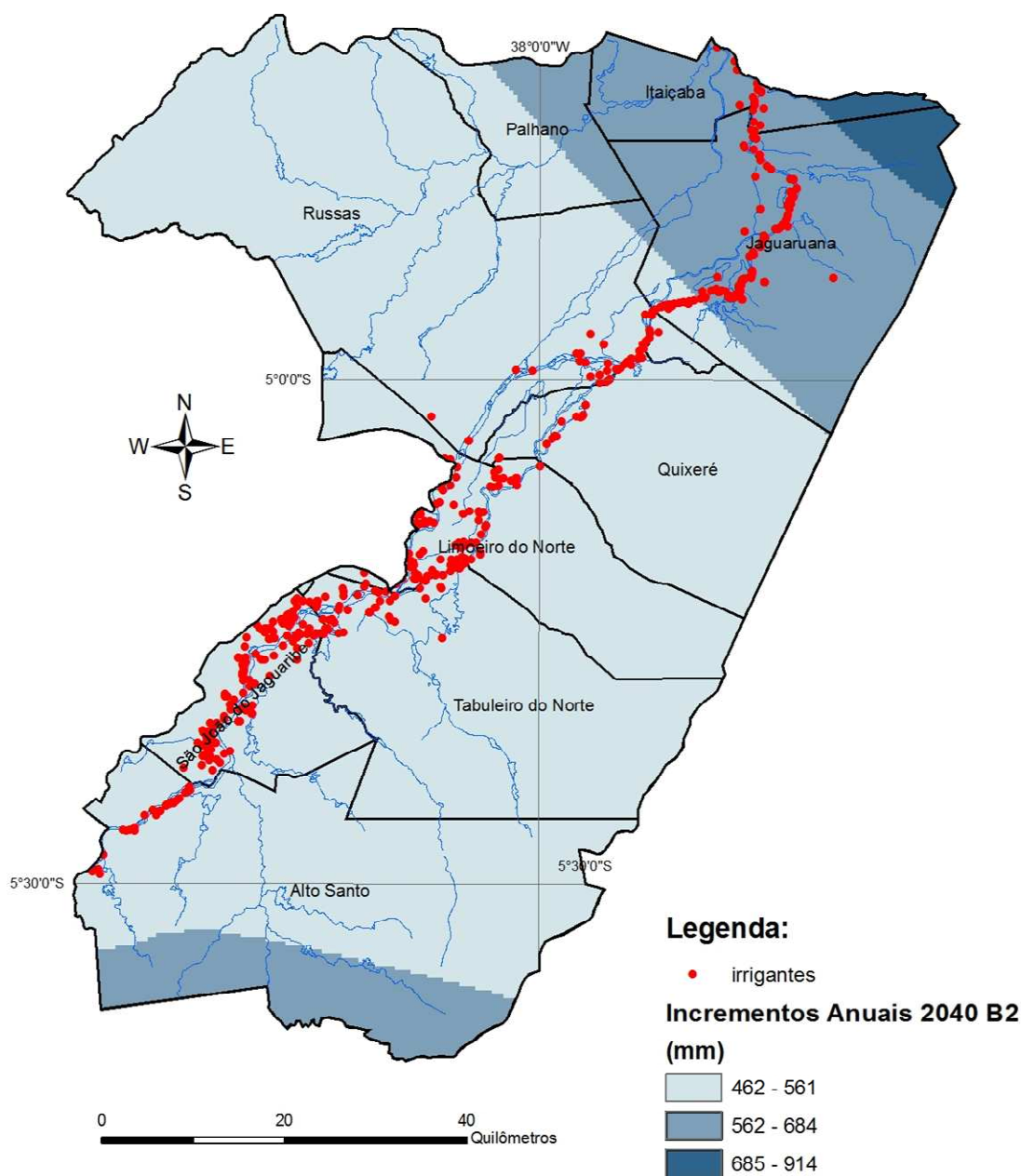


Figura 37 – Projeções dos incrementos anuais na NHB (mm), para o ano de 2040, cenário B2.

Para culturas tropicais perenes em clima semi-árido, pode ocorrer também um elasticidade na estação de irrigação, porém, decorrente basicamente de redução na precipitação, não sendo decorrente do encurtamento da estação fria, conforme advertido por Fischer et al. (2007). Os autores consideram que quanto à extensão do período de cultivo (ciclo) em consequência das mudanças climáticas, pode-se assumir ter pequenas alterações nos trópicos e mudanças na precipitação, combinadas com elevação na demanda para evapotranspiração, indicam uma maior necessidade hídrica para irrigação no futuro.

Por outro lado, conforme Tubiello et al. (2002), o aumento na concentração de CO₂ pode induzir o fechamento dos estômatos das plantas e assim, reduzir perdas de água por transpiração. Segundo Eitzinger et al. (2003), quando a transpiração é reduzida, a perda de calor pelas folhas desacelera e a temperatura das mesmas se eleva. O estresse hídrico nas plantas é aumentado pela baixa umidade, temperaturas altas, ventos fortes e alta intensidade luminosa. Os autores alertaram quanto a incertezas que permanecem devido à falta de conhecimento de modelos de simulação sobre os processos fisiológicos das plantas.

Torna-se então importante, a confirmação da tendência e redução de incertezas de como a temperatura e especialmente, a precipitação deverão se comportar diante das mudanças climáticas na região. Também o efeito do aumento da concentração de CO₂ na fisiologia das plantas, através do aperfeiçoamento de modelos de simulação, a fim de se planejar medidas adaptativas para os irrigantes, tais como melhorias de eficiência na aplicação da água e escolha de métodos de irrigação, bem como adaptação no padrão de cultivo, selecionando-se culturas que consumam menos água.

6.4. Validação do modelo aplicado

Para validação da modelagem, estimou-se a ET_o mensal, segundo Penman-Monteith FAO empregando-se apenas as temperaturas máximas e mínimas, oriundos da climatologia de base do modelo de mudanças climáticas (1961-90) e com dados da normal climatológica para o mesmo período (variável independente), provenientes da estação de Jaguaruana (CE). Em seguida, as estimativas foram comparadas, através de regressão linear. O coeficiente de regressão R^2 de 0,85 e coeficiente angular $b=0,61$ (Figura 38) demonstrou haver apenas regular relação entre as estimativas, conforme abordagem de Wilks (2006). Considerando-se que o coeficiente linear da equação (53,06) não é desprezível para a variável em análise, há desvios quando se utiliza a equação de regressão, conforme demonstra a Figura 39. Os resíduos variam entre aproximadamente 1,3 e 18,2 mm mensais em valores absolutos. A ET_o apresenta-se ora superestimada, ora subestimada pela equação de regressão, em relação às temperaturas máximas e mínimas oriundas da climatologia de base do modelo. É possível que decorram das divergências das temperaturas máximas e mínimas da normal climatológica e estimadas pela climatologia de base do modelo, conforme se mencionou anteriormente.

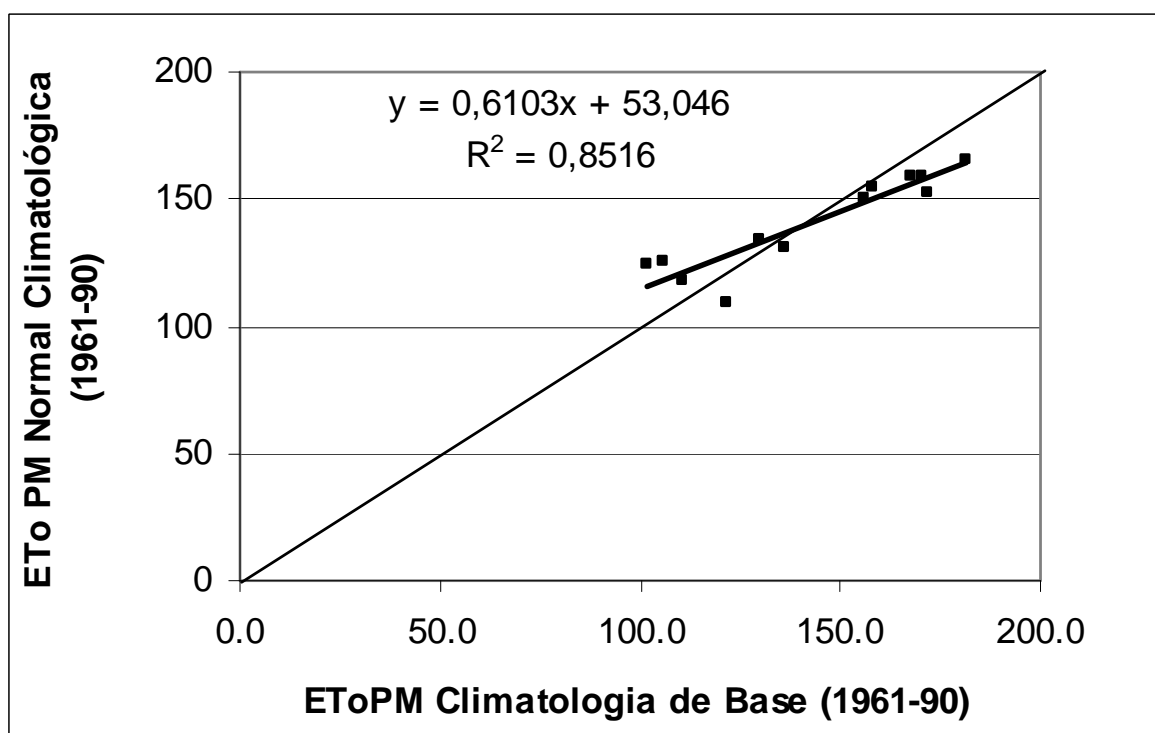


Figura 38 - Regressão linear da ET_o (mm mês⁻¹) estimada com dados da normal climatológica e *hindcasts* do modelo de mudanças climáticas (1961-90).

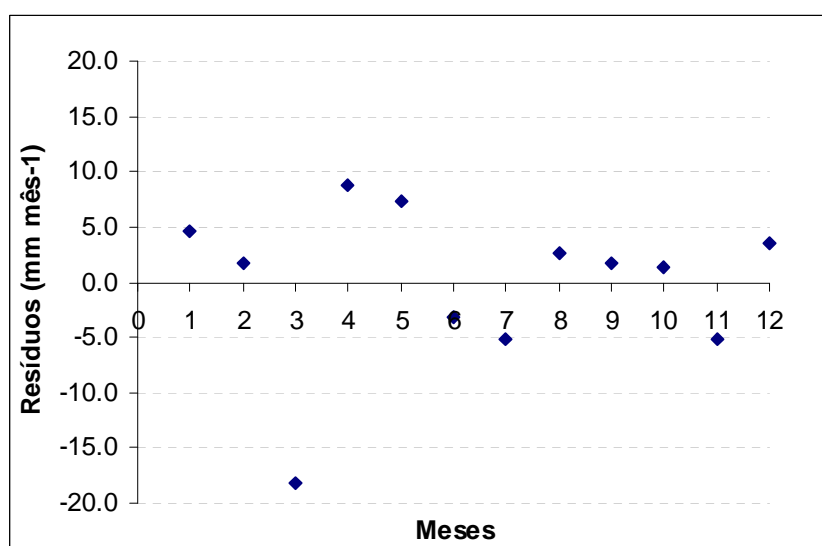


Figura 39 - Resíduos da regressão linear da ET_o (mm mês⁻¹) estimada com dados da normal climatológica e dados do modelo de mudanças climáticas (1961-90).

Considerando-se a inexistência de dados passados suficientes, comparou-se ainda, a média das ET_{oPM} de 2002-2006, estimada com a única fonte de conjunto de dados completos disponível na região (estação de Limoeiro do Norte, CE), com a ET_{oPM} estimada com dados limitados (temperatura máxima e mínima da climatologia de base do modelo de mudanças climáticas, período de 1961-90). Para isto, parte-se da suposição que não houve mudanças climáticas significativas entre o período de 1961-90 e 2006. Apesar das limitações da regressão anterior, foi observado um coeficiente de determinação (R^2) de 0,902 (Figura 40) e coeficiente angular (b) = 0,95, havendo uma leve tendência de se subestimar a ET_{oPM} quando se utiliza dados da climatologia de base do modelo.

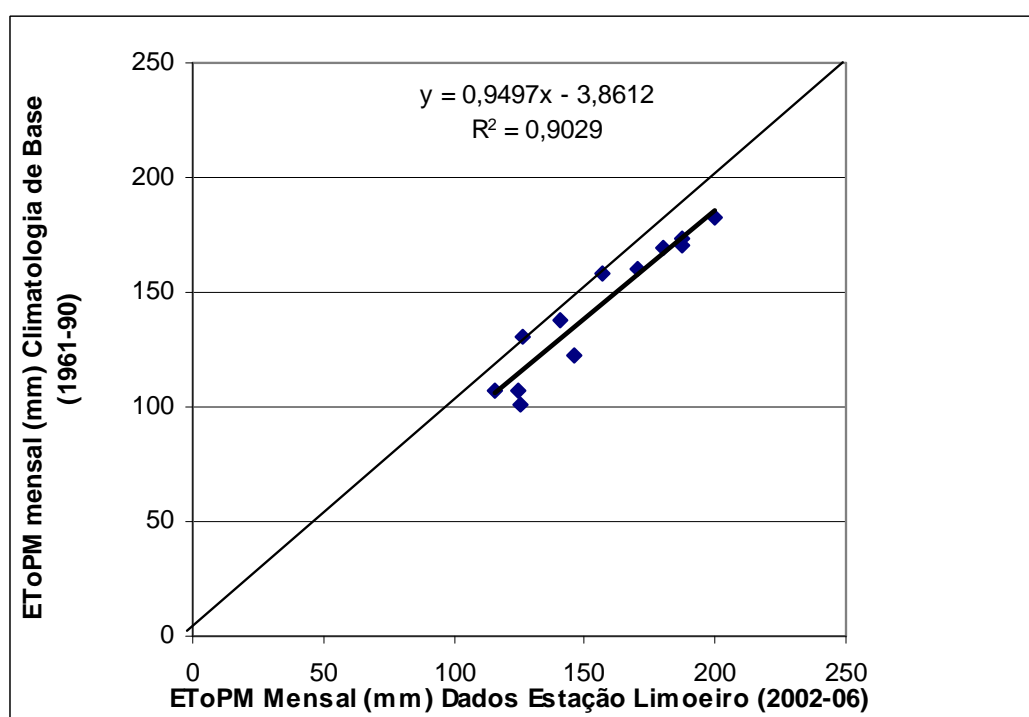


Figura 40 - Regressão linear da ET_o (mm m-1) estimada com conjunto completo de dados medidos (2002-2006) e *hindcasts* do modelo de mudanças climáticas (1961-90).

A Tabela 18 e Figura 41 apresentam os desvios da ET_{oPM} estimada via regressão linear, variando de $0,30 \text{ mm dia}^{-1}$ em abril e maio a $0,42 \text{ mm dia}^{-1}$ em outubro e novembro, com desvio médio de $0,36 \text{ mm dia}^{-1}$ e Quadrado Médio do Erro (QME) igual a $0,067 \text{ mm dia}^{-1}$ (menores que $0,45 \text{ mm dia}^{-1}$, níveis portanto aceitáveis, segundo Jabloun & Sahli, 2008) e erro relativo (relação entre QME e a média dos dados observados) igual a 0,014 (menor que 0,2 e portanto aceitável segundo Stockle et al. (2004) *apud* Cai et al. (2008)).

Tabela 18 – Comparação entre ET_o PM mensal (mm) estimada com dados limitados da climatologia de base do modelo e dados completos da estação de Limoeiro do Norte – CE.

Mês	ET_o (mm mês ⁻¹) 1961-90	ET_o (mm mês ⁻¹) Estação 2002-06	ET_o Predita pela regressão (mm mês ⁻¹)	Desvios absolutos (mm dia ⁻¹)	Desvios absolutos (mm mês ⁻¹)
1	158	156	146	0,38	11,8
2	131	127	121	0,37	10,4
3	122	146	112	0,32	10,0
4	101	125	92	0,30	8,9
5	107	125	98	0,30	9,2
6	107	116	98	0,31	9,2
7	138	141	127	0,35	10,8
8	160	170	148	0,38	11,9
9	170	187	158	0,41	12,4
10	183	200	170	0,42	13,0
11	173	187	161	0,42	12,5
12	169	180	157	0,40	12,3

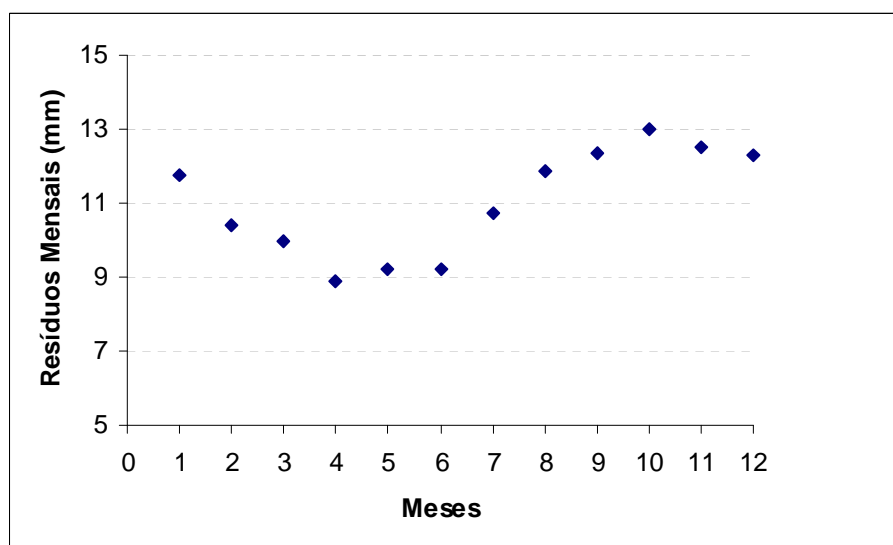


Figura 41 – Desvios mensais da regressão linear entre ET_o PM mensal (mm) estimada com dados limitados da climatologia de base do modelo e dados completos da estação de Limoeiro do Norte –CE.

Estimou-se ainda, o coeficiente de regressão entre a demanda de água para irrigação (NHB), segundo o Cadastro de Outorga da COGERH (2008) e NHB mensal, conforme Tabela 19. A demanda de água foi estimada com dados da climatologia de base do modelo (1961-90). A comparação com a demanda atual não é o ideal, uma vez que são períodos distintos e não se

dispõe de dados independentes de demanda de 1961-90, nem de ET_oPM estimada com dados medidos para o mesmo período. Para isto, supôs-se que a mudança climática entre 1961-90 e 2008 foi pequena.

Tabela 19 - Demanda mensal de água para irrigação (mm), segundo o Cadastro de Outorga da COGERH (2008) e NHB estimada (mm).

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Demanda registrada (mm)	35	31	53	48	28	31	20	151	209	180	200	370
NHB estimada (mm)	86	21	0	0	0	53	115	154	165	179	186	137

Houve fraca concordância (R^2 de 0,34) entre a demanda registrada no Cadastro de Outorga de água para irrigação (COGERH, 2008) e necessidade hídrica bruta para irrigação modelada, quando se utiliza as variáveis climáticas geradas (precipitação) e estimadas com dados da climatologia de base do modelo (ET_oPM) com tendência de superestimar ($b=0,51$) (Figura 42). Pode-se atribuir ao fato de que a demanda registrada no Cadastro de Outorga da COGERH (2008) indica os meses de demanda e o volume demandado, pois inexistente consumo mensal medido. Este foi distribuído igualmente entre os meses de demanda, o que não coincide com a realidade.

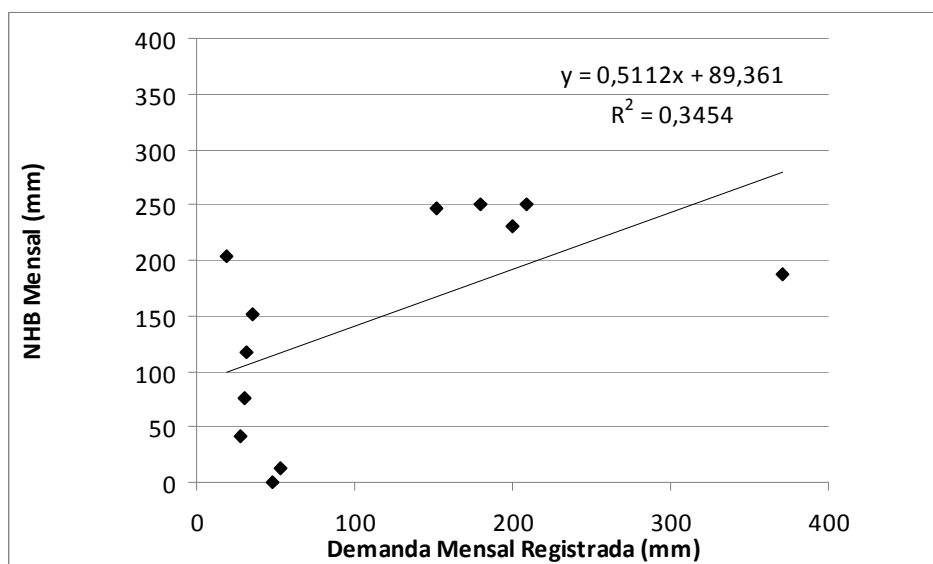


Figura 42 – Regressão linear entre a demanda mensal de água para irrigação (mm), segundo o Cadastro de Outorga da COGERH (2008) e modelada (mm) para o período de 1961-90 .

O mesmo aconteceu ao se utilizar o agroindicador PSMD, ou seja, fraca concordância (R^2 de 0,48) entre a demanda registrada no Cadastro de Outorga de água para irrigação e PSMD estimada, ($b=0,47$) (Tabela 20 e Figura 43).

Tabela 20 – Comparação entre demanda hídrica mensal (mm) registrada no Cadastro de Outorga (2008) e PSMD mensal (mm) estimada com dados da climatologia de base do modelo (1961-90).

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Demanda registrada (mm)	35	31	53	48	28	31	20	151	209	180	200	370
PSMD Mensal (mm)	86	21	0	0	0	53	115	154	165	179	186	137

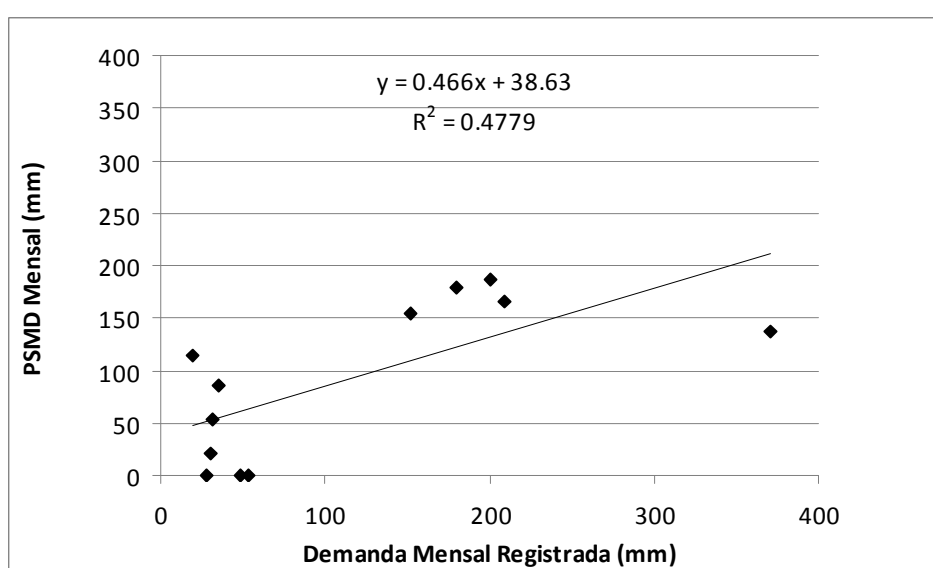


Figura 43 –Regressão linear entre demanda hídrica mensal (mm) registrada no Cadastro de Outorga (2008) e PSMD mensal (mm) estimado com dados da climatologia de base do modelo (1961-90).

6.5. Análise de sensibilidade

Na Figura 44, apresenta-se a análise de sensibilidade mensal da necessidade hídrica bruta das plantas, ao longo do ano à eficiência de irrigação. Os valores das abscissas referem-se à amplitude mensurada em pesquisas de campo por Costa & Sousa (2006) e Nunes (2006). Os valores da ordenada referem-se à reposta da necessidade hídrica bruta mensal da bacia (mm) à variação da eficiência de irrigação.

Pela forma dos gráficos, observa-se que a resposta é exponencial, sendo maior quando a eficiência apresenta-se muito baixa (0,15 a 0,45), denotando que a capacitação dos irrigantes que possuem menor desempenho na eficiência de aplicação fornece uma resposta maior à economia de água.

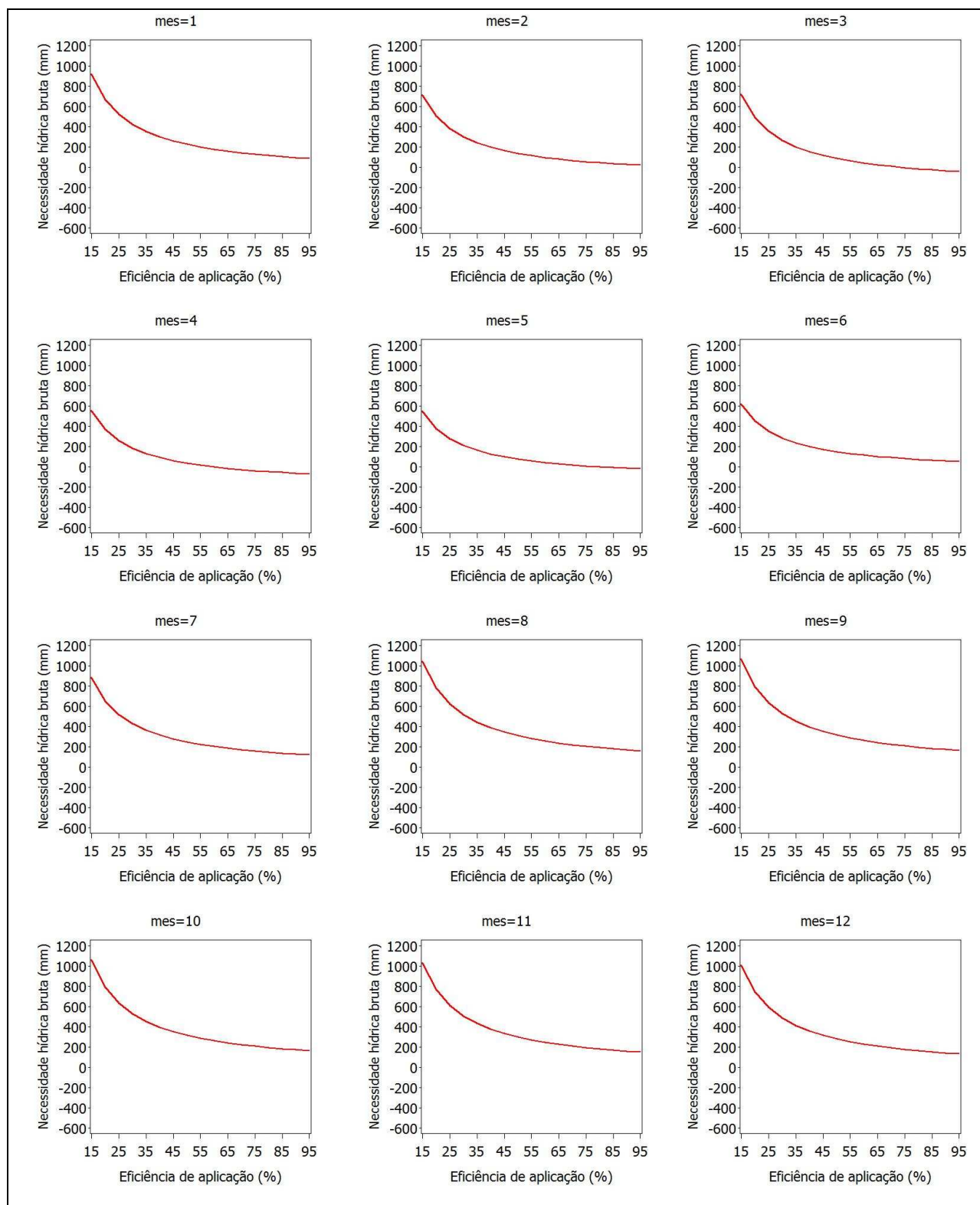


Figura 44 – Sensibilidade da necessidade hídrica das plantas à eficiência de aplicação.

A resposta da necessidade hídrica das plantas ao aumento da temperatura máxima apresenta-se positiva e linear para todos os meses do ano (Figura 45). Os valores das abscissas

referem-se à amplitude das médias das temperaturas máximas estimadas para a climatologia de base do modelo (1961-90) e para 2040 cenários A2 e B2. Os valores da ordenada referem-se à reposta da necessidade de irrigação na bacia (mm), apresentando-se mais elevados entre os meses de agosto a novembro.

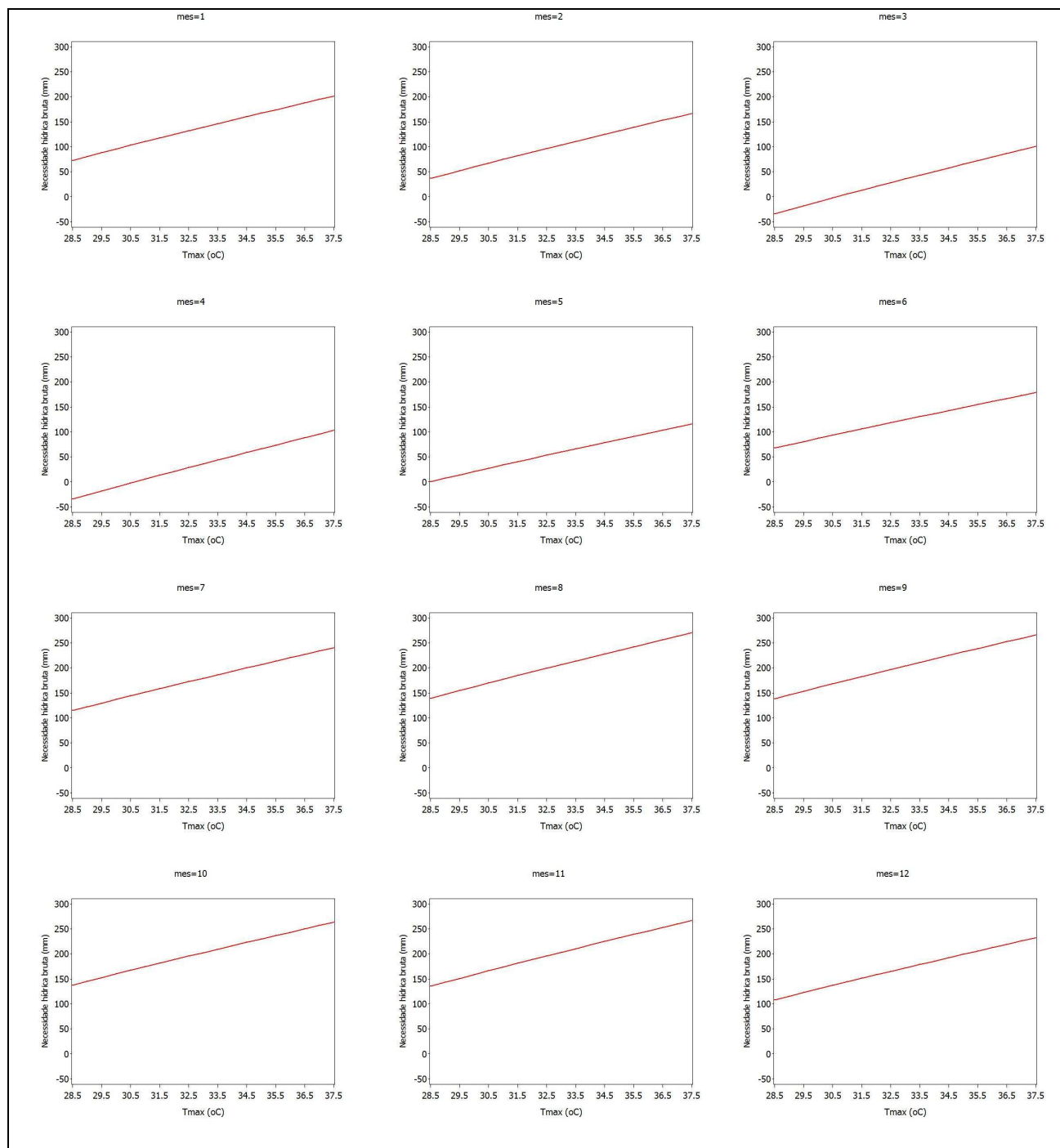


Figura 45 – Sensibilidade da necessidade hídrica das plantas ao aumento da temperatura máxima.

A análise de sensibilidade da necessidade hídrica das plantas ao aumento da temperatura mínima apresenta-se negativa e linear para todos os meses do ano (Figura 46). Os valores das abscissas referem-se à amplitude das médias das temperaturas mínimas estimadas para a climatologia de base do modelo (1961-90) e para 2040 cenários A2 e B2. Os valores da ordenada referem-se à reposta da necessidade de irrigação na bacia (mm), apresentando-se mais elevados entre os meses de agosto a novembro.

É interessante salientar que a resposta é oposta à da temperatura máxima, ou seja, a elevação da temperatura mínima, para um mesmo valor de temperatura máxima, resulta numa redução da necessidade hídrica bruta de irrigação. Este resultado pode ser explicado pela redução no déficit da pressão de vapor que ocorre quando se diminui a amplitude entre as temperaturas máximas e mínimas (considerada temperatura de ponto de orvalho pela suposição do modelo de estimativa da evapotranspiração de Penman-Monteith FAO com dados mínimos). Sendo menor o déficit da pressão de vapor, menor será a ET_oPM , o que implicaria numa menor NHB.

Como as temperaturas máximas e mínimas, na realidade variam simultaneamente, torna-se necessário observar a resposta da NHB decorrente do aumento da ET_oPM .

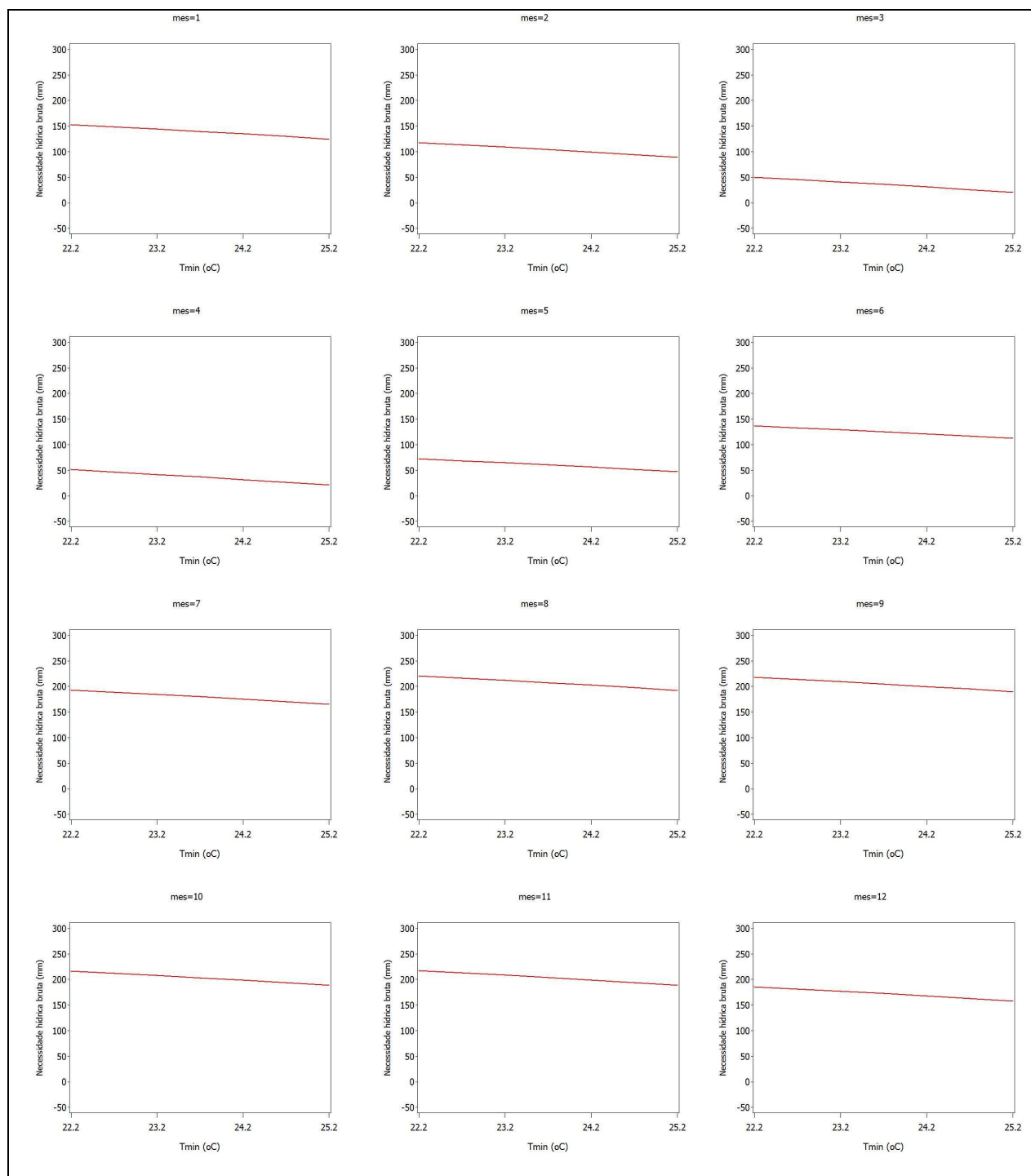


Figura 46 – Sensibilidade da necessidade hídrica das plantas ao aumento da temperatura mínima.

A resposta da necessidade hídrica das plantas ao aumento da evapotranspiração de referência de Penman-Monteith FAO (ET_{oPM}) apresenta-se positiva e linear para todos os meses do ano (Figura 47). Os valores das abscissas referem-se à amplitude da ET_o estimadas para a

climatologia de base do modelo (1961-90) e para 2040 cenários A2 e B2. Os valores da ordenada referem-se à reposição da necessidade de irrigação na bacia (mm), apresentando-se mais elevados entre os meses de agosto e outubro.

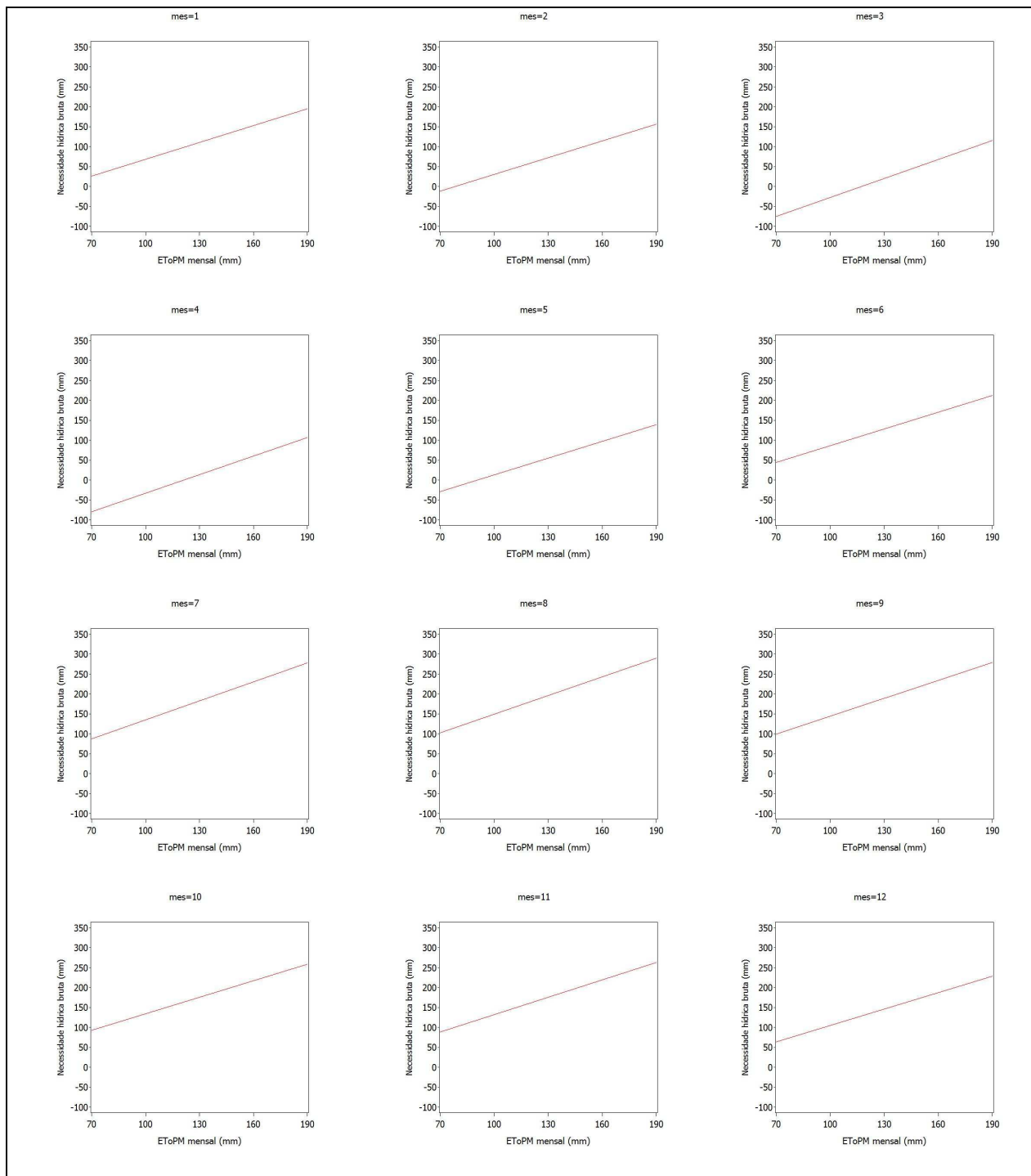


Figura 47 – Sensibilidade da necessidade hídrica das plantas ao aumento da evapotranspiração de referência.

A Figura 48 apresenta a análise de sensibilidade da necessidade hídrica bruta à precipitação mensal. A resposta é linear e negativa (reduz-se à medida que a precipitação aumenta).

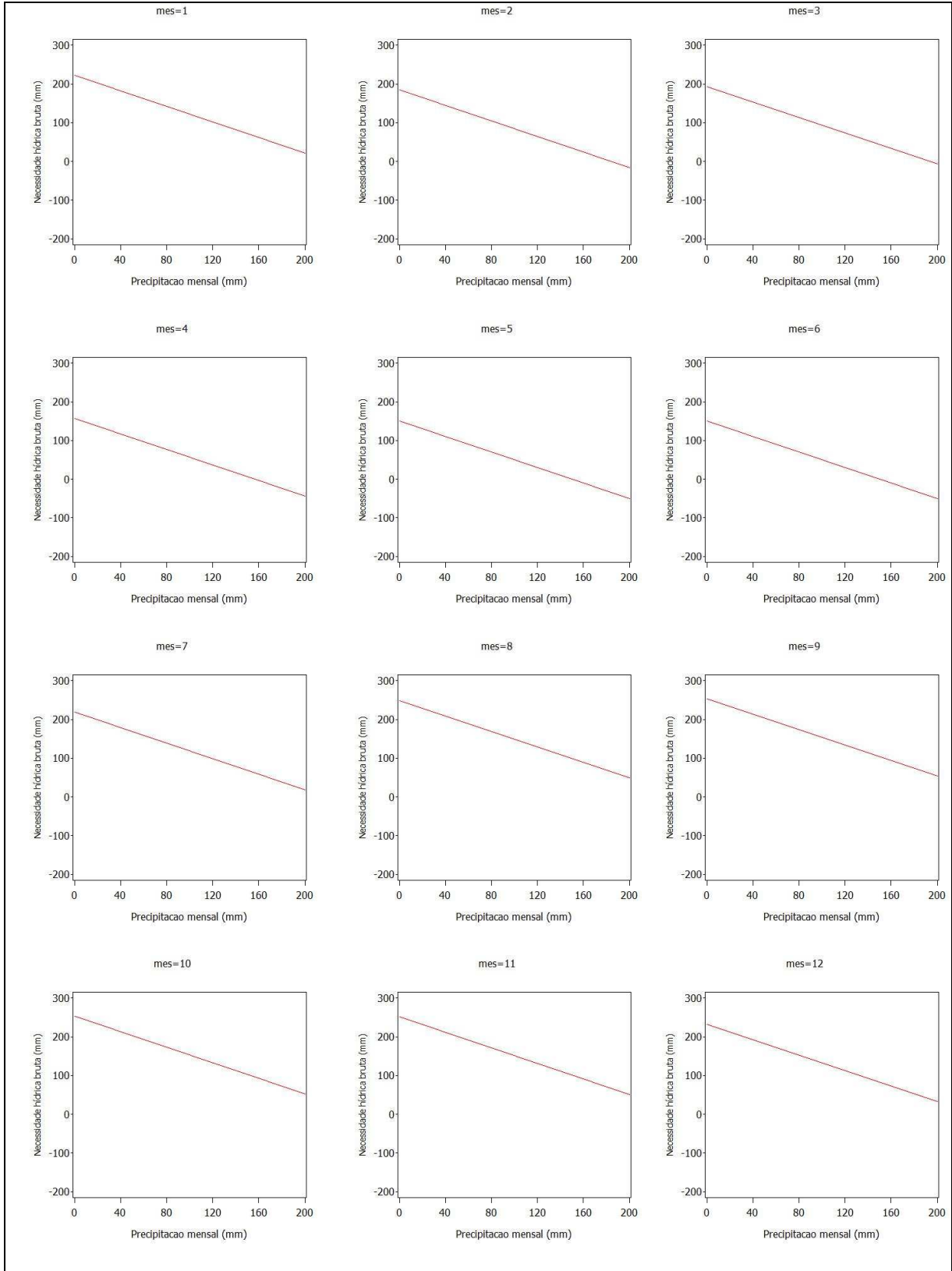


Figura 48 – Sensibilidade da necessidade hídrica das plantas à precipitação.

Já a resposta da necessidade de água para irrigação à irrigação das áreas irrigadas com arroz ao invés de banana (simulando apenas alternativas de decisão para alocação de água por serem culturas mais intensas em demanda hídrica), como é esperado, apresenta-se inalterada nos meses em que não se observa cultivo de arroz (janeiro a junho e dezembro, conforme APÊNDICE B).

A resposta é linear para os demais meses, sendo positiva para o mês de agosto (coeficiente de cultivo máximo de 1,20 para arroz) e negativa para os meses de julho, em função do estágio de cultivo inicial e coeficiente de cultivo (Allen et al., 1998) mais baixos para arroz (1,05), setembro e outubro (0,90), e novembro (0,60), quando comparado ao da banana (1,20) (Figura 49).

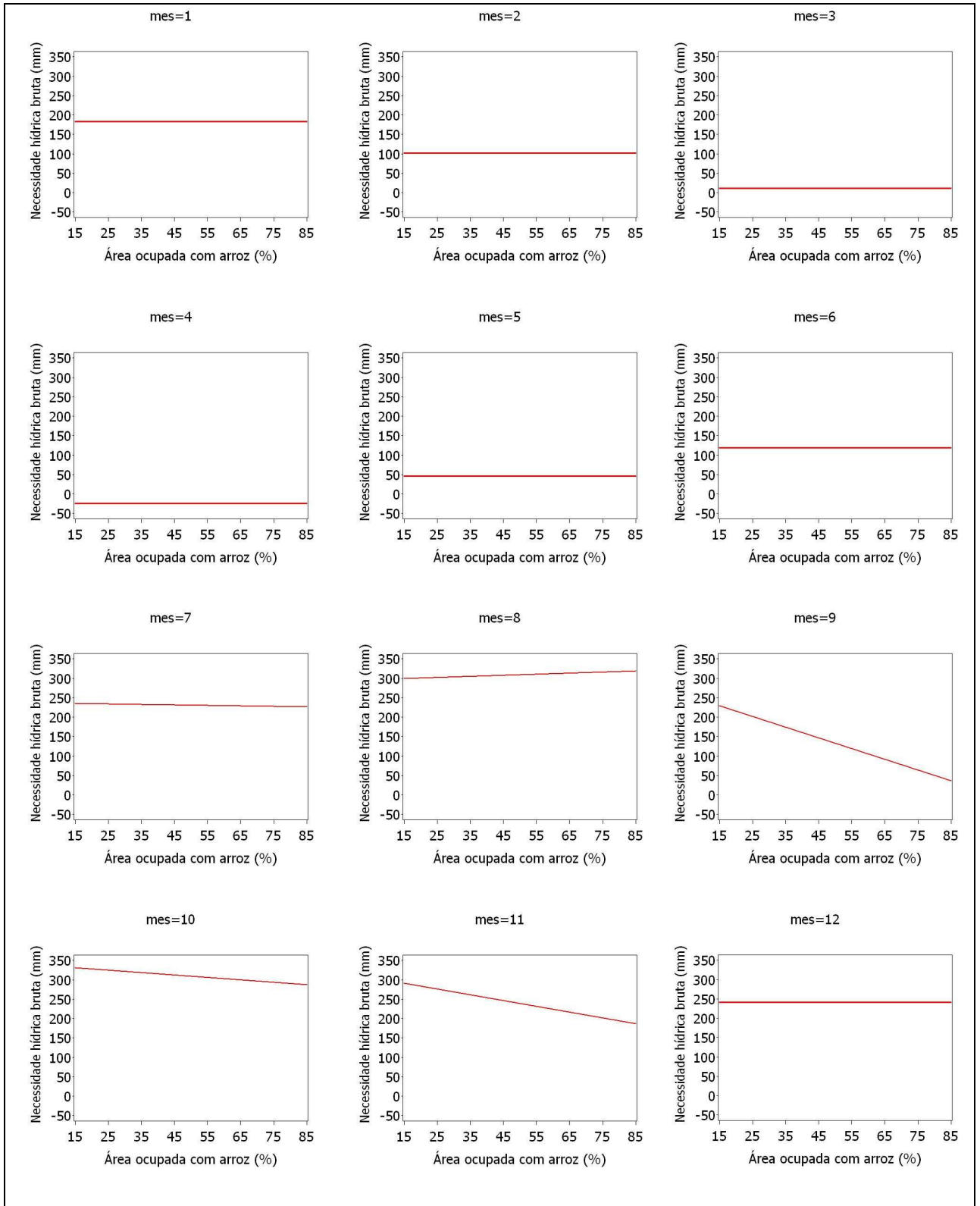


Figura 49 - Sensibilidade da necessidade hídrica das plantas à proporção da área irrigada com arroz.

Os resultados da análise de sensibilidade são apresentados na forma de coeficientes dos modelos lineares (temperaturas máxima e mínima, evapotranspiração de referência de Penman-Monteith FAO, precipitação e percentagem da área cultivada com arroz) e não lineares (eficiência de aplicação final ponderada - $E_{a_{pond}}$), denominados coeficientes de sensibilidade da necessidade hídrica bruta (CS-NHB), derivados algebricamente a partir da equação utilizada para cálculo da NHB.

A sensibilidade da NHB à temperatura máxima, mantendo-se a temperatura mínima num valor hipotético de 23°C (Tabela 22), variou entre $12,32 \text{ mm }^{\circ}\text{C}^{-1}$ (junho) a $15,24 \text{ mm }^{\circ}\text{C}^{-1}$ (abril). Já a sensibilidade da NHB à elevação da temperatura mínima, mantendo-se a temperatura máxima num valor hipotético de $33,5^{\circ}\text{C}$ variou entre $-8,20 \text{ mm }^{\circ}\text{C}^{-1}$ (junho) a $-10,25 \text{ mm }^{\circ}\text{C}^{-1}$ (abril). Uma vez que o modelo de mudanças climáticas prevê aumento das temperaturas máximas e mínimas, analisou-se também a sensibilidade da NHB à elevação da ET_o , variando de $1,37 \text{ mm mm}^{-1}$ (dezembro) a $1,59 \text{ mm mm}^{-1}$ (março). Para precipitação, a sensibilidade apresentou-se uniforme ao longo do ano, $-1,00 \text{ mm mm}^{-1}$ (ou seja, a NHB reduz-se de 1 mm para cada milímetro adicional de chuva).

Analisando-se o mês de outubro (mês de maior demanda de água para irrigação), por exemplo, pela Tabela 21, pode-se interpretar, através dos coeficientes de sensibilidade (CS) que ao se elevar um grau centígrado na temperatura máxima, a NHB aumenta 13,93 mm. Já elevando-se um grau centígrado na temperatura mínima, a NHB reduz 9,41 mm. Se a ET_o sofrer uma elevação de 1 mm, reflete numa elevação de 1,38 mm de NHB. Ao se reduzir um milímetro na precipitação a NHB aumentaria 1,00 mm. Cada percentual reduzido na área ocupada com arroz, a NHB cai 0,63 mm. O parâmetro β do modelo exponencial da eficiência apresenta-se variável com taxas variáveis, ao longo da curva (Figura 44), com média de 159,21. A eficiência de aplicação é, de fato, o fator de maior impacto, dentre os que impactam na NHB. Já ao se aumentar a área de arroz, há elevação na NHB apenas no mês de agosto ($0,27 \text{ mm } \%^{-1}$ de área plantada) e maior redução na NHB em setembro ($-2,75 \text{ mm } \%^{-1}$ de área plantada).

Tabela 21 - Coeficientes de sensibilidade da necessidade hídrica bruta (CS-NHB) a cada uma das variáveis analisadas. Os CS-NHB correspondem aos dos coeficientes angulares de modelos lineares derivados da análise de sensibilidade algébrica, exceto para eficiência de aplicação ponderada ($Ea_{final_{Pond}}$), onde o coeficiente é o parâmetro β de um modelo não linear ($NHB = \beta / Ea_{final_{Pond}}$.)

Mês	Temp. máx (mm °C ⁻¹)	Temp. mín (mm °C ⁻¹)	ET _o PM (mm mm ⁻¹)	Precipitação (mm mm ⁻¹)	Eficiência de aplicação (parâmetro β)	Fração ocupada pelo arroz (mm % ⁻¹)
1	14,25	-9,62	1,40	-1,00	148,52	0,00
2	14,40	-9,74	1,40	-1,00	123,14	0,00
3	14,95	-10,10	1,59	-1,00	135,42	0,00
4	15,24	-10,25	1,55	-1,00	111,10	0,00
5	12,81	-8,56	1,40	-1,00	100,58	0,00
6	12,32	-8,20	1,40	-1,00	100,58	0,00
7	13,93	-9,28	1,58	-1,00	135,24	-0,12
8	14,52	-9,73	1,56	-1,00	156,80	0,27
9	14,16	-9,54	1,49	-1,00	159,80	-2,75
10	13,93	-9,41	1,38	-1,00	159,21	-0,63
11	14,59	-9,86	1,45	-1,00	155,70	-1,48
12	13,78	-9,30	1,37	-1,00	155,48	0,00

(*) parâmetro do modelo exponencial.

6.6. Limitações e pesquisa futura

Uma das formas de aperfeiçoar a estimativa da ET_oPM com dados mínimos para regiões áridas e semi-áridas é utilizar o critério da relação entre a precipitação (P) e a ET_o, proposto por Allen et al. (1998). Isto porque em regiões de baixa umidade relativa, a temperatura mínima pode ser maior que a temperatura do ponto de orvalho e pode resultar numa superestimativa da ET_o, devido a uma superestimativa da temperatura do ponto de orvalho e da diferença da pressão de vapor.

Quando a relação (P/ET_o) apresentar-se menor que 0,5, pode-se corrigir a temperatura mínima subtraindo-se 2°C, segundo Allen et al. (1998). De acordo com a Tabela 22, poder-se-

ia então, corrigir a temperatura mínima para os meses de janeiro, julho a dezembro da climatologia de base; janeiro e maio a dezembro para 2040 A2 e janeiro, fevereiro e junho a dezembro para 2040 B2.

Tabela 22 – Relação mensal entre precipitação (P) e ET_o .

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
P Base	72	110	186	188	127	54	23	6	5	4	13	32
ET_o PMBase	158	131	122	101	107	107	138	160	170	183	173	169
P/ ET_o	0,46	0,84	1,52	1,86	1,19	0,50	0,17	0,04	0,03	0,02	0,08	0,19
P 2040A2	87	91	138	124	63	24	11	3	4	2	6	14
ET_o 2040A2	178	158	147	130	130	134	151	167	178	192	184	186
P/ ET_o	0,49	0,58	0,94	0,95	0,48	0,18	0,07	0,02	0,02	0,01	0,03	0,08
P 2040B2	45	67	153	120	67	22	10	3	3	2	7	15
ET_o 2040 B2	173	156	144	119	133	132	149	167	176	193	184	183
P/ ET_o	0,26	0,43	1,06	1,01	0,50	0,17	0,07	0,02	0,02	0,01	0,04	0,08

Entretanto, não se procedeu a correção em virtude de as estimativas terem sido satisfatórias (desvios aceitáveis). Jabloun & Sahli (2008) também obtiveram estimativas satisfatórias da ET_o PM com dados limitados para regiões semi-áridas da Tunísia.

A resolução do modelo acoplado de $0,44^\circ \times 0,44^\circ$ sobre uma área pequena de 6.415,10 km² tornou necessária a inclusão de dados de borda, a fim de permitir a interpolação por krigagem.

O estudo foi baseado em apenas um modelo de circulação global. Pesquisa futura pode utilizar outros modelos de mudanças climáticas, bem como um horizonte temporal até o final do século, quando maiores impactos são esperados. Jones et al. (2004) recomendam o uso de tantos GCMs quanto possível em estudos de impactos das mudanças climáticas, apesar da pobre resolução, a fim de se refletir, pelo menos em parte, a incerteza científica da resposta do clima.

Kay & Davies (2008), considerando que muitos modelos de circulação global não provêm todas as variáveis necessárias para estimativa da evapotranspiração de referência, compararam a evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith e um método baseado em apenas temperatura, em modelagem hidrológica, envolvendo mudanças climáticas na Grã-Bretanha. Os resultados sugeriram que as incertezas dos impactos hidroló-

gicos foram menos em função da forma de estimativa da evapotranspiração que da estrutura do modelo climático de circulação global ou regional. Acharam que o método baseado apenas em temperatura apresentou melhor desempenho que Penman-Monteith, apesar deste último ser mais fisicamente robusto e atribuíram ao fato de que provavelmente, o envolvimento de outras variáveis oriundas de modelos climáticos requeridas para estimativa da evapotranspiração, possui interações complexas ainda pouco claras, quando se consideram mudanças climáticas. Tal fato pode ter sido neutralizado com a metodologia da estimativa da ET_oPM com dados mínimos empregada neste estudo.

Os impactos de temperatura mais alta e maior concentração de CO_2 na atmosfera na taxa de crescimento e produtividade das culturas não foram modelados neste estudo. Estes impactos podem influenciar no ciclo e conseqüentemente nos coeficientes de cultivo utilizados para estimar a demanda de água mensal. O conhecimento neste assunto precisa ser melhorado, através de técnicas de modelagem na agricultura.

Mudanças na freqüência de secas não foram previstas neste estudo e a variabilidade interanual pode agravar a situação, levando a um impacto mais forte na disponibilidade dos recursos hídricos e na demanda de água para irrigação.

O volume afluente anual para a barragem do Castanhão e perdas por evaporação também estarão sendo impactados pelas mudanças climáticas, merecendo serem estudados, a fim de se melhor avaliar a sustentabilidade hídrica da região.

Uma boa base de dados dos parâmetros climáticos do passado é de grande relevância para os estudos de mudanças climáticas, pois a mesma possui aplicação na seleção do modelo de mudanças climáticas a aplicar, na validação das estimativas e projeções com dados independentes e medidos em campo, no mesmo período de tempo do utilizado para modelar o presente.

Medições volumétricas mensais de consumo de água para irrigação podem ser importantes para se validar estudos desta natureza e fornecer informações para a tomada de decisão na gestão de recursos hídricos em nível de bacia hidrográfica.

A qualidade dos dados de eficiência de aplicação da água de irrigação, a qual tem grande variabilidade entre os agricultores, é uma fonte de incertezas e a dinâmica das culturas e áreas irrigadas também influencia nos resultados, podendo-se melhorar a precisão das projeções com aperfeiçoamento das bases de dados disponíveis.

Estimativas econômicas de perdas e elevação de custos com medidas adaptativas é importante linha de pesquisa para o adequado delineamento de políticas públicas.

7. CONCLUSÕES

A demanda de água para irrigação apresenta potencial de ser impactada pelo aquecimento global. Desta forma, o trabalho foi implementado visando analisar os impactos das mudanças climáticas na demanda de água para a agricultura irrigada, considerando-se, a variedade das culturas irrigadas e a eficiência dos sistemas de irrigação adotados, assim como os cenários de mudanças climáticas fornecidos por técnicas de redução de escala dinâmica, aplicados em nível de bacia hidrográfica, (rio Jaguaribe, no trecho compreendido entre as barragens do Castanhão e de Itaiçaba).

As mudanças climáticas, de fato, afetam a demanda de água para a agricultura irrigada, na bacia do Jaguaribe, a qual depende de como a temperatura, precipitação e interações entre as duas variáveis irão se comportar. A utilização de modelo de mudanças climáticas submetido à redução de escala dinâmica, integrado a um sistema de informação geográfica funciona como uma ferramenta adequada para avaliação de impactos em escala menor que global ou continental, ou seja, em nível de bacia hidrográfica, permitindo se concluir:

1. A utilização do Modelo de Circulação Global HadAM3 submetido a técnicas de redução de escala dinâmica, acoplado ao modelo regional HadRM3 pelo sistema PRECIS, associado a um Sistema de Informação Geográfica funcionou como adequada ferramenta para a avaliação de impactos das mudanças climáticas em escala de sub-bacia hidrográfica.
2. Considerando-se os cenários estudados e a aplicação das técnicas de redução de escala, as mudanças climáticas impactam na demanda de água para irrigação, a qual é determinada pelos impactos sobre os elementos do balanço hídrico (temperatura, evapotranspiração e especialmente neste caso, a precipitação).
3. A agricultura irrigada da região estudada pode tornar-se mais intensa em demanda de água, uma vez que o modelo utilizado prevê aumento nas necessidades de água para irrigação, resultante da combinação de tendências de aumento na evapotranspiração e redução na precipitação, sem considerar o aumento das áreas irrigadas.

4. A eficiência de aplicação de água para irrigação neste trabalho é o fator que impacta mais fortemente na demanda de água para irrigação na bacia analisada, segundo projeções para 2040, em todos os cenários analisados.

5. Apesar das mudanças climáticas impactarem no aumento de demanda de água para irrigação, a análise de sensibilidade indica que para 2040, a mesma é mais sensível à eficiência de aplicação final de irrigação que aos efeitos das mudanças climáticas, revelando-se como uma importante medida adaptativa a ser considerada.

6. A capacitação dos irrigantes e adequação dos sistemas de irrigação poderão, desta forma, desempenhar importante papel na prevenção de escassez de água na região, em função de impactos de mudanças climáticas, podendo constituir importante fator de mitigação e adaptação.

7. As projeções para o final do século, sinalizam para drástica diminuição na oferta hídrica, decorrente das reduções de precipitação projetadas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AERTS, J.C.J.H.; DROOGERS, P. Adaptation for regional water management In: Climate Change in Contrasting River Basins – adaptation strategies for water, food and environment. AERTS, J.C.J.H.; DROOGERS, P. eds. Cambridge: CABI Publishing. p. 1-24, 2004.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALVES, J.M.B.; BRISTOT, G.; COSTA, A.A.; MONCUNNIL, D.F.M.; SILVA, E.M. da; SANTOS, A. C.S. dos; BARBOSA, W.L.; NÓBREGA, D. do S.B. de; FILHO, V.P.S.; SOUZA, I.A. de. Uma aplicação da técnica de “downscaling” dinâmico no setor norte da região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 18, n. 2., p. 161-180, 2003.

ALVES, J.M.B.; CAMPOS, J.N.B.; FILHO, F. de A. de S.; MONCUNNIL, D.F.M.; SILVA, E.M. da S.; BARBOSA, W.L.; FERREIRA, A.G.; SUN, L.; MOURA, A.D. Uma avaliação preliminar de simulações climáticas de um modelo regional espectral aninhado em um modelo global (ECHAM4.5) sobre o setor norte da região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 2., p. 191-206, 2005.

ALVES, L.M. Simulações da variabilidade do clima presente sobre a América do Sul utilizando um modelo climático regional. 2007. 92 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia. Instituto Nacional de Pesquisas Especiais – INPE. São José dos Campos, 2007.

ALVES, M. de C.; MOTA, V.C.; de CARVALHO, L.G. Metodologia geoestatística para estudar a precipitação pluvial de Juiz de Fora – MG sob cenários futuros de mudanças climáticas. Conferência Regional Sobre Mudanças Globais: América do Sul, 3, 2007, São Paulo. Conferência...São Paulo. Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2007.

AMBRIZZI, T.; ROCHA, R.P. da; MARENGO, J.A.; PISNITCHENCO, I.; ALVES, L.N.; FERNANDEZ, J.P.R. Mudanças climáticas globais e efeitos sobre a biodiversidade – Relatório 3 – Cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI:

Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. São Paulo: IAG/USP/CPTEC/INPE. 108 p. 2007.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; JÚNIOR, J. Z.; ÁVILA, A. M. H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 11, p.1057-1064, 2004.

ATTORRE, F.; ALFO, M.; DE SANCTIS, M.; FRANCESCONI, F.; BRUNO, F. Comparison of interpolation methods for mapping climatic and bioclimatic variables at regional scale. **International Journal of Climatology**. v. 27, n. 13, p.1825-1843, 2007.

BARBOSA, F. C. **Estimativa das necessidades de irrigação e avaliação do impacto da cobrança pelo uso de recursos hídricos na bacia do Baixo Jaguaribe – CE**. 2005. 148 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2005.

BARBOSA, F.C.; TEIXEIRA, A. dos S.; GONDIM, R.S. Espacialização da evapotranspiração de referência e precipitação efetiva para estimativa das necessidades de irrigação na região do Baixo Jaguaribe – CE. **Revista Ciência Agronômica**, v. 36, n. 1, p. 24–33, 2005.

BARBOSA, F.C.; TEIXEIRA, A. dos S.; GONDIM, R.S. Necessidades de irrigação das culturas na bacia do baixo Jaguaribe In: *Gestão Sustentável no Baixo Jaguaribe*, Ceará. ROSA, M. de F.; GONDIM, R.S.; FIGUEIRÊDO, M.C.B. eds. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, p. 301 – 369, 2006.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. Manual de irrigação. 7^a. Ed. Viçosa: Ed. UFV, 611 p., 2005.

BINDER, L.C.W. Climate change and watershed planning in Washington state. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 42, n. 4, p. 915-926, 2006.

CAI, J.; LIU, Y.; LEI, T.; PEREIRA, L. S. Estimating reference evapotranspiration with FAO Penman-Monteith equation using daily weather forecast messages. **Agriculture and Forest Meteorology**, v. 145, n. p.22-35, 2007.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. de. Princípios básicos em geoprocessamento In Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura (ASSAD, E.D.; SANO, E.E. eds.). 2ª. ed. Brasília: EMBRAPA-SPI/EMBRAPA SPAC. 434 p., 1998.

CARTER, T.R.; ALFSEN, K.; BARROW, E.; BASS, B.; DAI, X. DESANKER, P.; GAFFIN, S.R.; GIORGI, F.; HULME, M.; LAL, M.; MATA, L.J.; MEARNS, L.O.; MITCHEL, J.F.B.; MORITA, T.; MOSS, R.; MURDIYARSO, D.; PABON-CAICEDO, J.D.; PALUTIKOF, J. PARRY, M.L.; ROSENZWEIG, C.; SEGUIN, B.; SCHOLES, R.J.; WHETTON, P.H. General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment - Task group on data and scenario support for impact and climate assesement (TGICA) – Intergovernmental Panel on Climate Change. 66 p. 2007.

CASTRO, de L. C. A. **Análise da irrigação por sulcos utilizando a metodologia do balanço do volume**. 1997. 83 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 1997.

CEARÁ - SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS. Açude Castanhão. Disponível em:<<http://www.srh.ce.gov.br/linhas-de-acao/programa-de-acudes-estrategicos-2/acude-castanhao>>. Acesso em: 02.06.2008.

COGERH. **Cadastro de Outorga**: 2008. Fortaleza, 2008. 1 CD-ROM.

COLARES, D. S. **Análise técnico-econômica do cultivo de arroz irrigado no Perímetro Irrigado Morada Nova, Ceará**. 2004. 58 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2004.

COSTA, R.N.T; SOUZA, F. de. Irrigação por superfície In: Gestão Sustentável no Baixo Jaguaribe, Ceará. ROSA, M. de F.; GONDIM, R.S.; FIGUEIRÊDO, M.C.B. eds. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, p. 261–288, 2006.

CHRISTENSEN, J.H.; HEWITSON, B.; BUSUIOC, A.; CHEN, A.; GAO, X.; HELD, I.; JONES, R.; KOLLI, R.K.; KWON, W.-T.; LAPRISE, R.; MAGAÑA RUEDA, V.; MEARN, L.; MENÉNDEZ, C.G.; RÄISÄNEN, J.; RINKE, A.; SARR, A.; WHETTON, P. 2007: Regional Climate Projections. In: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [SOLOMON, S., D. QIN, M. MANNING, Z. CHEN, M. MARQUIS, K.B. AVERYT, M. TIGNOR AND H.L. MILLER (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. p. 849 – 926, 2007.

CUENCA, R. H. Crop water requirements In: Irrigation System Design: an Engineering Approach. Englewood Cliffs: Prentice-Hall Inc., p.173, 1989.

DÍAZ, J.A.R.; WEATHERHEAD, E.K.; KNOX, J.W.; CAMACHO, E. Climate change impacts on irrigation water requirements in the Guadalquivir river basin in Spain. **Regional Environmental Change**, v. 7, n. 3, p. 149-159, 2007.

DIBIKE, Y. B.; COULIBALY, P. Downscaling climate model outputs to study the hydrologic impact of climate change – Part I – calibration and validation of downscaling models. International Conference on Hydroinformatics, 6, 2004, Singapore. Conferência...Singapore. World Scientific Publishing Company, 2004a.

DIBIKE, Y. B.; COULIBALY, P. Downscaling climate model outputs to study the hydrologic impact of climate change – Part II– Scenario Simulation and Hydrologic Modeling. International Conference on Hydroinformatics, 6, 2004, Singapore. Conferência...Singapore. World Scientific Publishing Company, 2004b.

DIBIKE, Y. B.; COULIBALY, P. Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models. **Journal of Hydrology**, v. 307, n. 1-4, p. 145–163, 2005.

DIXON, B. Applicability of neuro-fuzzy techniques in predicting ground-water vulnerability: a GIS-based sensitivity analysis. **Journal of Hydrology**, v. 309, n. 1-4, p. 17–38, 2005.

DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.dnocs.gov.br/>. Acesso em: 12.06.08.

DÖLL, P. Impact of climate change and variability on irrigation requirements: a global perspective. *Climatic Change*. v. 54, n. 3, p. 269-293, 2002.

DÖLL, P.; HAUSCHILD, M. Model-based regional assessment of water use – an example for semi-arid Northeastern Brazil. **Water International**, v. 27, n. 3, p. 310-320, 2002.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome: FAO, 1977. 179p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 24).

DROOGERS, P.; van DAM, J., HOOBEVEEN, J.; LOEVE, R . Adaptation strategies to climate change to sustain food security In: *Climate Change in Contrasting River Basins – adaptation strategies for water, food and environment*. AERTS, J.C.J.H.; DROOGERS, P. eds. Cambridge: CABI Publishing. p. 49-73, 2004.

EMBRAPA AGROINDÚSTRIA TROPICAL. Base de dados sobre coeficientes de cultivo. Disponível em <<http://www.cnpat.embrapa.br/publicacoes/kc/index.php>>. Acesso em 11.12.2006.

ELGAALI, E.; GARCIA, L. A.; OJIMA, D. S. High resolution modeling of the regional impacts of climate change on irrigation water demand. **Climatic Change**, v. 84, n. 1-3, p. 441-461, 2007.

EITZINGER, J.; STASTNÁ, M.; ZALUD, Z.; DUBROVSKY, M. A simulation study of the effect of soil water balance and water stress on winter wheat production under different climate change scenarios. **Agricultural Water Management**, v. 61, n. 3, p. 195-217, 2003.

FIGUEIREDO, M. C. B., ROSA, M. de F., GONDIM, R. S., SABOIA, L. de F. Gestão da demanda hídrica em municípios do médio e baixo Jaguaribe. ENCONTRO NACIONAL

SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE (ENGEMA). CD-ROM. Anais...São Paulo: FGV/FAPESP/USP. ISSN 1679-7841. São Paulo, 2003.

FISCHER, G. TUBIELLO, F.N.; VELTHUIZEN. H.V.; WIBERG, D.A. Climate change impacts on irrigation water requirements: effects of mitigation, 1990-2008. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 74, n. 7, p. 1083–1107, 2007.

FORTES, P.S.; PLATONOV, A.E.; PEREIRA, L.S. GISAREG – A GIS based irrigation scheduling simulation model to support improved water use. **Agricultural Water Management**, v. 77, n. 1, p. 159-179, 2005.

FREEZE, R.A.; CHERRY, J. A. Groundwater. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall Incorporation. 1979. 604 p.

GATES, T. K.; AHMED, S. Sensitivity of predicted irrigation-delivery performance to hydraulic and hydrologic uncertainty. **Agricultural Water Management**, v. 27, n. 3-4, p. 267-282, 1995.

GEORGE, B.A.; RAGHUWANSHI, N.S.; SINGH, R. Development and testing of a GIS integrated irrigation scheduling model. **Agricultural Water Management**, v. 66, n. 3, p. 159-179, 2005.

GONDIM, R.S.; TEIXEIRA, A. dos S.; R., M. de F.; FIGUEIREDO, M. C. B. de; PEREIRA, P. M.; COSTA, C.A.G.; SABINO, K. V. Diagnóstico da Agricultura Irrigada no Baixo e Médio Jaguaribe. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 35, n. 3, p. 424-430, 2004.

GONDIM, R.S. TEIXEIRA, A. dos S.; BARBOSA, F.C. Novo paradigma para a água e coeficientes de cultivos aplicados à gestão de recursos hídricos em nível de bacia hidrográfica. **Revista Item Irrigação e Tecnologia**, v. x, n. 67, p.14-18, 2005.

HACOUR, A.; CRAIGON, J.; VANDERMEIREN, K.; OJANPERÄ, K.; PLEIJEL, H. ; DANIELSON, H.; HÖGY, P.; FINNAN, J.; BINDI, M. CO₂ and ozone effects on canopy

development of potato crops across Europe. **European Journal of Agronomy**, v. 17, n. 4, p. 257 -272, 2002.

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**. v.3, n. 2, p.73-85, 2006.

HATCH, U.; JAGTAP, S.; JONES, J.; LAMB, M. Potential effects of climate change on agricultural water use in the southeast U.S. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 35, n. 6, p. 1551-1561, 1999.

HEGERL,G.C.; ZWIERS,F.W.; BRACONNOT,P.; GILLETT,N.P.; LUO,Y.; MARENGO ORSINI, J.A.; NICHOLLS, N.; PENNER, J.E.; STOTT,P.A. 2007: Understanding and Attributing Climate Change. In: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING,M.; CHEN, Z.; MARQUIS,M.; AVERYT, K.B.; TIGNOR M.; MILLER, H.L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. p. 663 – 745, 2007.

INPE. Satélites. Disponível em <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em 10.10.07.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001. McCARTH, J.J.; CANZIANI, O.F.; LEARY, A.N.; DOKKEN, D.J.; WHITE, K.S. (Eds.). *Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge: University Press, U.K. 2001. 217 p.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. *Climate change 2007: The physical Science Basis – Summary for Policymakers*. Switerland: WMO/UNEP, 2007. 21 p.

ISAAK, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. *An introduction to geostatistics*. New York: Oxford University Press. 561 p. 1989.

IZQUIERDO, J.; MONTALVO, I.; PÉREZ, R.; HERRERA, M. Sensitivity analysis to assess the relative importance of pipes in water distribution networks. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 48, n. 1-2, p. 268-278, 2008.

JABLON, M.; SAHLI, A. Evaluation of FAO-56 methodology for estimating reference evapotranspiration using limited climatic data application to Tunisia. **Agricultural Water Management**. v. 95, n. 6, p. 707-715, 2008.

JESSEL, B.; JACOBS, J. Land use scenario development and stakeholder involvement as tools for watershed management within the Havel River Basin. **Limnologica**, v. 35, n. 1-2, p. 220-233, 2005.

JOHNS, T.C., CARNELL, R.E.; CROSSLEY, F.F. MITCHELL, J.F.B., SENIOR, C.A.; TETT, S.F.B.; WOOD, R.A. The second Hadley Centre coupled ocean-atmosphere GCM: model description, spinup and validation. **Climate Dynamics**. v. 13, n. 2, p. 103–134, 1997.

JOHNS, T.C.; GREGORY, J.M.; INGRAM, W.J.; . JOHNSON, C.E; JONES; A.; LOWE, J.A.; MITCHELL, J.F.B.; ROBERTS, D.L.; SEXTON, D.M.H.; STEVENSON, D.S.; TETT; S.F.B.; WOODAGE, M.J. . Anthropogenic climate change for 1860 to 2100 simulated with the HadCM3 model under updated emissions scenarios. **Climate Dynamics**. v. 20, n. 6, p. 583–612, 2003.

JONES, R.N. Analysing the risk of climate change using an irrigation demand model. **Climate Research**. v. 14, n. 2, p. 89-100, 2000.

JONES, R.G.; NOGUER, M.; HASSELL, D.C.; HUDSON, D.; WILSON, S.S.; JENKINS, G.J; MITCHELL, J.F.B. Generating high resolution climate change change scenarios using PRECIS. Exeter, UK: Met Office Hadley Centre, 39 p. 2004.

JØRGESEN, S.E.; BENDORICCHIO, G. Fundamentals of ecological modeling. Oxford: Elsevier Science Ltda. 530 p. 2001.

JÚNIOR, J. Z.; AVILA, A. M. H. de; CORAL, G.; JÚNIOR, C. M.; COLTRI, P. P.; ALFONSI, R. R.; NASSIF, D. S. P.; EVANGELISTA, S. R. de M.; MARIN, F. R.; PELLEGRINO, G. Q.; OTAVIAN, A. F.; EVANGELISTA, B. A.; MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; SALATI, E.; VICTORIA, D.; NAAS, I.; MOURA, D. J. de; DIAS, G. L. da S. IN: Aquecimento global e cenários futuros da agricultura brasileira. PINTO, H. S.; ASSAD, E. D. (Coords.). 112 p. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br/climaeagricultura/>>. Acesso em: 12.12.08

KAY, A.L.; DAVIES, H.N. Calculating potential evaporation from climate model data: A source of uncertainty for hydrological climate change impacts. **Journal of Hydrology**, v. 358, n. 3-4, p. 221-239, 2008.

KNOX, J.W.; WEATHERHEAD, E.K; BRADLEY, R.I. Mapping the total volumetric irrigation water requirements in England and Wales. **Agricultural Water Management**, v. 33, n.1, p. 1-18, 1997.

KROL, M. S.; JAEGER, A.; BRONSTERT, A.; KRYWKOW, J. The Semi-arid Integrated Model(SIM), a regional integrated model assessing water availability, vulnerability of ecosystems and society in NE Brazil. **Physics and Chemistry of the Earth, Part B, Hydrology, Oceans and Atmosphere**, v. 26, n. 7-8, p. 529-533, 2001.

KROL, M. S.; JAEGER, A.; BRONSTERT, A.; GÜNTNER, A. Integrated modeling of climate change, water, soil, agricultural and social-economic processes: A general introduction of the methodology and some exemplary results from the semi-arid Northeast of Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 328, n. 3-4, p. 417-431, 2006.

KROL, M. S.; BRONSTERT, A. Regional integrated modeling of climate change impacts on natural resources and resources usage in semi-arid Northeast Brazil. **Environmental Modelling & Software**, v. 22, n. 2, p. 259-268, 2007.

LABORATOIRE DE MÉTÉOROLOGIE DYNAMIQUE. Disponível em: <http://lmdz.lmd.jussieu.fr/>. Acesso em: 20.08.09.

MEDEIROS, Y.D.P. Análise dos impactos das mudanças climáticas em região semi-árida. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 8, n. 2., p. 127-136, 2003.

MEEHL, G.A.; STOCKER, T.F.; COLLINS, W.D.; FRIEDLINGSTEIN, P.; GAYE, A.T.; GREGORY, J.M.; KITO, H.; KNUTTI, R.; MURPHY, J.M.; NODA, A.; RAPER, S.C.B.; WATTERSON, I.G.; WEAVER, A.J.; ZHAO, Z. C. 2007: Global Climate Projections. In: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.B.; TIGNOR, M.; MILLER, H.L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. p.747 – 940, 2007.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA – Secretaria Nacional de Irrigação – Departamento Nacional de Meteorologia – Normas Climatológicas (1961 – 1990). Brasília, 1992. 84 p.

MOBERG, A.; JONES, P.D. Regional climate model simulations of daily maximum and minimum near-surface temperatures across Europe compared with observed station data 1961-1990. **Climate Dynamics**. v. 23, n. 7-8, p. 695-715, 2004.

MONCUNILL, D.F. The rainfall trend over Ceará and its implications. International Conference on Southern Hemisphere Meteorology, 8, 2006, Foz do Iguaçu. Proceedings...INPE. Foz do Iguaçu. 2006.

NASA. SRTM. Disponível em <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>>. Acesso em 29.03.07.

NAKICENOVIC, N.; ALCAMO, J.; DAVIS, G.; DE VRIES, B.; FENHANN, J.; GAFFIN, S.; GREGORY, K.; GR, A.; JUNG, T.Y.; KRAM, T.; LA ROVERE, E.L.; MICHAELIS, L.; MORI, S.; MORITA, T.; PEPPER, W.; PITCHER, H.; PRICE, L.; RIAHI, K.; ROEHL, A.; ROGNER, H.-H.; SANKOVSKI, A.; SCHLESINGER, M.; SHUKLA, P.; SMITH, S.; SWART, R.; VAN ROOIJEN, S.; VICTOR, N.; DADI, Z. Special Report on Emission Scenarios. [NAKICENOVIC, N.; SWART, R. (eds.)]. Intergovernmental Panel on Climate

Change, 2000. Disponível em < <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/index.htm>>
Acesso em 03.01.2007.

NORTON, J. P. Algebraic sensitivity analysis of environmental models. **Environmental Modelling & Software**, v. 23, n. 8, p. 963-972, 2008.

NOTTEN, P.W.F. van; ROTMANS, J.; van ASSELT, M.B.A.; ROTHMAN, D.S. An updated scenario typology. **Futures – The journal of policy, planning and future studies**, v. 35, n. 5, p. 423-442, 2003.

NUNES, A. B. de A. **Avaliação ex-post da sustentabilidade hídrica e da conservação ambiental de perímetros irrigados implantados – o caso do Perímetro Irrigado Jaguaribe-Apodi (DIJA)**. 2006. 176 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos). Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2006.

POPOVA, Z.; KERCHEVA, M.; PEREIRA, L.S. Validation of the FAO methodology for computing ET_0 with limited data. Application to South Bulgaria. **Irrigation and Drainage**. v. 55, n. 2, p. 201-215, 2006.

POZZEBON, E. J.; CUNHA, P.; CAVALCANTE, A.C.; CARRARI, E.; SILVA, L.M.C. Demanda hídrica para a agricultura irrigada e sua influência nas análises de pedidos de outorga de direito de uso de água. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15., 2003, Anais... Curitiba: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2003. 1 CDROM.

RANDALL, D.A.; WOOD, R.A.; BONY,S.; COLMAN, R.; FICHEFET,T.; FYFE, J.; KATTSOV, V.; PITMAN, A.; SHUKLA, J.; SRINIVASAN, J.; STOUFFER, R.J.; SUMI A.; TAYLOR. K.E. Climate models and their evaluation In: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [SOLOMON, S.; QIN,D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.B.; TIGNOR,M.; MILLER H.L. (eds.)]. Cambridge, United Kingdom and New York: Cambridge University Press, p. 589–622, 2007.

RAMOS, M. M.; PRUSKI, F. F.; RODRIGUES, L. N.; FREITAS, W. da S.; SANTANA, G. da S.; RIBEIRO, R. de A. Quantificação do uso e da eficiência de irrigação na bacia do São Francisco. **ITEM: Irrigação & Tecnologia Moderna**. Revista da Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, Brasília, v. 60, n. x, p. 22-33, 2003.

ROECKNER, E.; ARPE, K.; BENGTSSON, L.; CHRISTOPH, M.; CLAUSSEN, M.; DÜMENIL, L.; ESCH, M.; GIORGETTA, M.; SCHLESE, U.; SCHULZWEIDA, U. The atmospheric general circulation model ECHAM4: Model description and simulation of present-day climate. 1996. Hamburgo: *Max Planck Institut für Meteorologie*, Report No. 218, 90 p., 1996.

ROECKNER, E.; BÄUML, G.; BONAVENTURA, L.; BROKOPF, R.; ESCH, M.; GIORGETTA, M.; HAGEMANN, S.; KIRCHNER, I.; KORNBLUEH, L.; MANZINI, E.; RHODIN, A.; SCHLESE, U.; SCHULZWEIDA, U.; TOMPKINS, A. The atmospheric general circulation model ECHAM5 Parte I: Model description. 2003. Hamburgo: *Max Planck Institut für Meteorologie*, Report No. 349, 140 p., 2003.

ROECKNER, E.; BROKOPF, R.; ESCH, M.; GIORGETTA, M.; HAGEMANN, S.; KORNBLUEH, L.; MANZINI, E.; SCHLESE, U.; SCHULZWEIDA, U. The atmospheric general circulation model ECHAM5 Parte II: Sensitivity of Simulated Climate to Horizontal and Vertical Resolution. Hamburgo: 2004. *Max Planck Institut für Meteorologie*, Report No. 35, 64 p. 2004.

ROSENGERG, N.J.; BROWN, R.A.; IZAURRALDE, R.C.; THOMSON, A.M. Integrated assessment of Hardley Centre (HADCM2) climate change projections on agricultural productivity and irrigation water supply in the conterminous United States. I. Climate change scenarios and impacts on irrigation water supply simulated with HUMUS model. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 117, n. 1-2, p. 73-96, 2003.

SILVA, C.S. de; WEATHERHEAD, E.K.; KNOX, J.W.; RODRIGUEZ-DIAZ, J.A. Predicting the impacts of climate change – A case study of paddy irrigation water requirements in Sri Lanka. **Agricultural Water Management**, v. 93, n. 1-2, p. 19-29, 2007.

SALTELLI, A.; TARANTOLA, S.; CAMPOLONGO, F.; RATTO, M. Sensitivity analysis in practice – a guide to assessing scientific models. Sussex: Willey. 1^a.ed. 219 p. 2004.

SCHLENKER, W.; HANEMANN, W.M.; FISHER, A.C. Water availability, degree days and the potential impact of climate change on irrigated agriculture in California. **Climatic Change**, v. 81, p. 19 -38, 2007.

TSANIS, I.K.; NAOUM, S. The effect of spatially distributed meteorological parameters on irrigation water demand assessment. **Advances in Water Resources**, v. 26, n.3, p. 311-324, 2003.

TUBIELLO, F.N.; EWERT, F. Stimulating the effects of elevated CO₂ on crops: approaches and applications for climate change. **European Journal of Agronomy**, v. 18, n.1-2, p. 57 - 74, 2002.

VICTORIA, F. B. **Modelação multi-escala para planeamento e gestão de recursos hídricos em bacias agrícolas com usos múltiplos**. 2004. 241 f. Tese (Doutorado em Engenharia Rural). Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, 2004.

VICTORIA, F.B.; VIEGAS FILHO, J.S.; PEREIRA, L.S.; TEIXEIRA, J.L.; LANA, A.E. Multi-scale modeling for water resources planning and management in rural basins. **Agricultural Water Management**, v. 77, n. 1, p. 4-20, 2005.

WESTHOEK, H.J.; van den BERG, M.; BAKKES, J.A. Scenario development to explore the future of Europe's rural areas. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 114, n. 1, p. 7-20, 2006.

WILBY, R.L.; DAWSON, C.W.; BARROW, E.M. SDSM – a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. **Environmental Modelling & Software**, v. 17, n. 2, p. 147-159, 2002.

WILBY, R.L.; DAWSON. SDSM 4.1. – A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts – statistical downscaling model – user manual. 93 p. 2007.

Disponível em: <<http://www.cics.uvic.ca/scenarios/sdsm/select.cgi?w=sam>>. Acesso em: 02.08.2007.

WILKS, D.S. Statistical methods in the atmospheric sciences. New York: Elsevier. 630 p. 2006.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Área mensal irrigada e sistemas de irrigação adotados na região

Tabela 1- Janeiro = Fevereiro = Maio = Junho

Sistema de Irrigação	Área (ha) (b)	Eficiência de aplicação final (c)	Área ponderada bxc (ha)
Inundação	392,50	0,52	204,10
Sulco	175,97	0,54	95,02
Aspersão	63,10	0,64	40,38
Localizada	404,6	0,74	299,40
Pivo DIJA	281,5	0,65	182,98
Localizada DIJA	930	0,74	688,20
Total	2.247,67		1.510,09
Média Ponderada		0,67	

Tabela 2- Março

Sistema de Irrigação	Área (ha) (b)	Eficiência de aplicação final (c)	Área ponderada bxc (ha)
Inundação	110,05	0,52	57,23
Sulco	62,65	0,54	33,83
Aspersão	12,10	0,64	7,74
Localizada	209,25	0,74	154,85
Pivo DIJA	40,75	0,65	26,49
Localizada DIJA	728,5	0,74	539,09
Total	1.163,30		819,22
Média Ponderada		0,70	

Tabela 3- Abril

Sistema de Irrigação	Área (ha) (b)	Eficiência de aplicação final (c)	Área ponderada bxc (ha)
Inundação	111,55	0,52	58,01
Sulco	66,85	0,54	36,10
Aspersão	12,10	0,64	7,74
Localizada	220,95	0,74	163,50
Pivo DIJA	56,5	0,65	36,73
Localizada DIJA	813,5	0,74	601,99
Total	1.281,45		904,07
Média Ponderada		0,71	

Fonte: elaboradas a partir do Cadastro de Outorga da COGERH (2008).

APÊNDICE A

Área mensal irrigada e sistemas de irrigação adotados na região

Tabela 4 – Julho

Sistema de Irrigação	Área (ha) (b)	Eficiência de aplicação final (c)	Área ponderada bxc (ha)
Inundação	1.853,30	0,52	963,72
Sulco	317,37	0,54	171,38
Aspersão	572,15	0,64	366,18
Localizada	444,85	0,74	329,19
Pivo DIJA	406,50	0,65	264,23
Localizada DIJA	1.213,00	0,74	897,62
Total	4.807,17		2.992,31
Média Ponderada		0,62	

Tabela 5 - Agosto

Sistema de Irrigação	Área (ha) (b)	Eficiência de aplicação final (c)	Área ponderada bxc (ha)
Inundação	1.860,95	0,52	967,69
Sulco	332,67	0,54	179,64
Aspersão	590,70	0,64	378,05
Localizada	604,1	0,74	447,03
Pivo DIJA	1.306,50	0,65	849,23
Localizada DIJA	1.245,00	0,74	921,30
Total	5.939,92		3.742,94
Média Ponderada		0,63	

Tabela 6- Setembro

Sistema de Irrigação	Área (ha) (b)	Eficiência de aplicação final (c)	Área ponderada bxc (ha)
Inundação	1.797,43	0,52	934,66
Sulco	201,27	0,54	108,68
Aspersão	81,65	0,64	52,26
Localizada	580,55	0,74	429,61
Pivo DIJA	1.181,50	0,65	767,98
Localizada DIJA	1.237,00	0,74	915,38
Total	5.079,40		3.208,57
Média Ponderada		0,63	

Fonte: elaboradas a partir do Cadastro de Outorga da COGERH (2008).

APÊNDICE A

Área mensal irrigada e sistemas de irrigação adotados na região

Tabela 7- Outubro

Sistema de Irrigação	Área (ha) (b)	Eficiência de aplicação final (c)	Área ponderada bxc (ha)
Inundação	1.860,95	0,52	967,69
Sulco	332,67	0,54	179,64
Aspersão	590,70	0,64	378,05
Localizada	620,8	0,74	459,39
Pivo DIJA	1.306,50	0,65	849,23
Localizada DIJA	1.245,00	0,74	921,30
Total	5.956,62		3.755,30
Média Ponderada		0,63	

Tabela 8- Novembro

Sistema de Irrigação	Área (ha) (b)	Eficiência de aplicação final (c)	Área ponderada bxc (ha)
Inundação	1.860,95	0,52	967,69
Sulco	330,17	0,54	178,29
Aspersão	588,70	0,64	376,77
Localizada	597,55	0,74	442,19
Pivo DIJA	1.006,50	0,65	654,23
Localizada DIJA	962,00	0,74	711,88
Total	5.345,87		3.331,05
Média Ponderada		0,62	

Tabela 9- Dezembro

Sistema de Irrigação	Área (ha) (b)	Eficiência de aplicação final (c)	Área ponderada bxc (ha)
Inundação	394,25	0,52	205,01
Sulco	178,47	0,54	96,37
Aspersão	63,60	0,64	40,70
Localizada	541,8	0,74	400,93
Pivo DIJA	556,50	0,65	361,73
Localizada DIJA	934,00	0,74	691,16
Total	2.668,62		1.795,90
Média Ponderada		0,67	

Fonte: elaboradas a partir do Cadastro de Outorga da COGERH (2008).

APÊNDICE B

Área cultivada mensal e coeficientes de cultivo (Kcs) das culturas irrigadas

Tabela 1 - Janeiro = Fevereiro = Maio = Junho

CULTURA	Inundação	Sulco	Aspersão	Localizada	Pivô DIJA	Localizada DIJA	área (ha)	Percentual (%)	Kc (adimensional)	Kc x A (ha)
Açaí				9,00			9,00	0,40	1,00	9,00
Acerola				78,00			78,00	3,47	1,39	108,42
Anonáceas	1,50	4,20		11,70	15,75	85,00	118,15	5,26	0,95	112,24
Banana	92,8	61,45	5,30	19,55	15,75	728,50	923,35	41,08	1,10	1015,69
Caju		0,50	0,75	17,75			19,00	0,85	0,65	12,35
Cana	14,3				25,00		39,30	1,75	1,25	49,13
Capim	207,05	56,42	44,25	3,00	225,00		535,72	23,83	0,75	401,79
Citros	53,75	44,35		3,50			101,60	4,52	0,85	86,36
Coco	2,45	1,20	1,80	93,50			98,95	4,40	1,00	98,95
Figo				0,50			0,50	0,02	1,00	0,50
Forragem	11,50	2,25	4,50				18,25	0,81	0,75	13,69
Goiaba	8,65	4,20	1,00	53,70		60,00	127,55	5,67	0,63	80,36
Hortaliças			4,50				4,50	0,20	1,00	4,50
Mamão	0,50			4,70			5,20	0,23	1,19	6,19
Manga		0,90		95,00		40,00	135,90	6,05	0,71	96,49
Maracujá			0,50	0,20			0,70	0,03	0,69	0,48
Ornamentais			0,50	4,00			4,50	0,20	1,00	4,50
Sapoti		0,50		7,50			8,00	0,36	0,71	5,68
Uva				3,00		16,5	19,50	0,87	0,60	11,70
TOTAL	392,50	175,97	63,10	404,60	281,50	930,00	2.247,67	100,00		2.118,01

Fonte: elaborado a partir do Cadastro de Outorga da COGERH (2008).

Tabela 2- Março

CULTURA	Inundação	Sulco	Aspersão	Localizada	Pivô DIJA	Localizada DIJA	área (ha)	Percentual (%)	Kc (adimensional)	Kc x A (ha)
Açaí				9,00			9,00	0,77	1,00	9,00
Acerola				78,00			78,00	6,71	1,39	108,42
Anonáceas										
Banana	92,80	61,45	5,30	19,55	15,75	728,5	923,35	79,37	1,10	1015,69
Caju										
Cana	14,30				25,00		39,30	3,38	1,25	49,13
Capim										
Citros										
Coco	2,45	1,20	1,80	93,50			98,95	8,51	1,00	98,95
Figo				0,50			0,50	0,04	1,00	0,50
Forragem										
Goiaba										
Hortaliças			4,50				4,50	0,39	1,00	4,50
Mamão	0,50			4,70			5,20	0,45	1,19	6,19
Manga										
Maracujá										
Ornamentais			0,50	4,00			4,50	0,39	1,00	4,50
Sapoti										
Uva										
TOTAL	110,05	62,65	12,10	209,25	40,75	728,50	1.163,30	100,00		1.296,87

Fonte: elaborado a partir do Cadastro de Outorga da COGERH (2008).

Tabela 3 - Abril

CULTURA	Inundação	Sulco	Aspersão	Localizada	Pivô DIJA	Localizada DIJA	área (ha)	Percentual (%)	Kc (adimensi- onal)	Kc x A (ha)
Açaí				9,00			9,00	0,70	1,00	9,00
Acerola				78,00			78,00	6,09	1,39	108,42
Anonáceas	1,50	4,20		11,70	15,75	85,00	118,15	9,22	0,95	112,24
Banana	92,80	61,45	5,30	19,55	15,75	728,5	923,35	72,06	1,10	1015,69
Caju										
Cana	14,30				25,00		39,30	3,07	1,25	49,13
Capim										
Citros										
Coco	2,45	1,20	1,80	93,50			98,95	7,72	1,00	98,95
Figo				0,50			0,50	0,04	1,00	0,50
Forragem										
Goiaba										
Hortaliças			4,50				4,50	0,35	1,00	4,50
Mamão	0,50			4,70			5,20	0,41	1,19	6,19
Manga										
Maracujá										
Ornamentais			0,50	4,00			4,50	0,35	1,00	4,50
Sapoti										
Sorgo										
Uva										
TOTAL	111,55	66,85	12,10	220,95	56,50	813,50	1.281,45	100,00		1.409,11

Fonte: elaborado a partir do Cadastro de Outorga da COGERH (2008).

Tabela 4 – Julho

CULTURA	Inundação	Sulco	Aspersão	Localizada	Pivô DIJA	Localizada DIJA	área (ha)	Percentual (%)	Kc (adimensi onal)	Kc x A (ha)
Açaí				9,00			9,00	0,19	1,00	9,00
Acerola				78,00			78,00	1,62	1,39	108,42
Anonáceas	1,50	4,20		11,70	15,75	85,00	118,15	2,46	0,95	112,24
Arroz	1397,30	10,00					1407,30	29,28	1,05	1477,67
Banana	92,80	61,45	5,30	19,55	15,75	728,50	923,35	19,21	1,10	1015,69
Caju		0,50	0,75	17,75			19,00	0,40	0,65	12,35
Cana	14,30				25,00		39,30	0,82	1,25	49,13
Capim	207,05	56,42	44,25	3,00	225,00		535,72	11,14	0,75	401,79
Citros	53,75	44,35		3,50			101,60	2,11	0,85	86,36
Coco	2,45	1,20	1,80	93,50			98,95	2,06	1,00	98,95
Feijão	63,50	131,40	509,05	40,25	125,00	8,00	877,20	18,25	0,75	657,90
Figo				0,50			0,50	0,01	1,00	0,50
Ferragem	11,50	2,25	4,50				18,25	0,38	0,75	13,69
Goiaba	8,65	4,20	1,00	53,70		60,00	127,55	2,65	0,63	80,36
Hortaliças			4,50				4,50	0,09	1,00	4,50
Mamão	0,50			4,70			5,20	0,11	1,19	6,19
Manga		0,90		95,00		40,00	135,90	2,83	0,71	96,49
Maracujá			0,50	0,20			0,70	0,01	0,69	0,48
Ornamentais			0,50	4,00			4,50	0,09	1,00	4,50
Sapoti		0,50		7,50			8,00	0,17	0,71	5,68
Soja						275,00	275,00	5,72	1,71	470,25
Uva				3,00		16,50	19,50	0,41	0,60	11,70
TOTAL	1853,30	317,37	572,15	444,85	406,50	1.213,00	4.807,17	100,00		4.723,82

Fonte: elaborado a partir do Cadastro de Outorga da COGERH (2008).

Tabela 5 – Agosto

CULTURA	Inundação	Sulco	Aspersão	Localizada	Pivô DIJA	Localizada DIJA	área (ha)	Percentual (%)	Kc (adimensi onal)	Kc x A (ha)
Açaí				9,00			9,00	0,15	1,00	9,00
Acerola				78,00			78,00	1,31	1,39	108,42
Algodão					275,00		275,00	4,63	0,50	137,50
Anonáceas	1,50	4,20		11,70	15,75	85,00	118,15	1,99	0,95	112,24
Arroz	1397,30	10,00					1407,30	23,69	1,20	1688,76
Banana	92,80	61,45	5,30	19,55	15,75	728,50	923,35	15,54	1,10	1015,69
Caju		0,50	0,75	17,75			19,00	0,32	0,65	12,35
Cana	14,30				25,00		39,30	0,66	1,25	49,13
Capim	207,05	56,42	44,25	3,00	225,00		535,72	9,02	0,75	401,79
Citros	53,75	44,35		3,50			101,60	1,71	0,85	86,36
Coco	2,45	1,20	1,80	93,50			98,95	1,67	1,00	98,95
Feijão	63,50	131,40	509,05	40,25	125,00	8,00	877,20	14,77	1,20	1052,64
Figo				0,50			0,50	0,01	1,00	0,50
Fornagem	11,50	2,25	4,50				18,25	0,31	0,75	13,69
Goiaba	8,65	4,20	1,00	53,70		60,00	127,55	2,15	0,63	80,36
Hortaliças			4,50				4,50	0,08	1,00	4,50
Mandioca	0,95		0,50				1,45	0,02	0,70	1,02
Mamão	0,50			4,70			5,20	0,09	1,19	6,19
Manga		0,90		95,00		40,00	135,90	2,29	0,71	96,49
Maracujá			0,50	0,20			0,70	0,01	0,69	0,48
Melancia		2,50	2,00	23,25		8,00	35,75	0,60	0,41	14,66
Melão		2,50		120,50			123,00	2,07	1,21	148,83
Milho (grão)	5,90	10,30	16,05	15,00	275,00		322,25	5,43	0,49	157,90
Milho verde					300,00		300,00	5,05	0,70	210,00
Ornamentais			0,50	4,00			4,50	0,08	1,00	4,50
Pimenta	0,80					4,00	4,80	0,08	1,05	5,04
Sapoti		0,50		7,50			8,00	0,13	0,71	5,68
Soja						275,00	275,00	4,63	1,00	275,00
Sorgo					50,00	20,00	70,00	1,18	0,40	28,00
Tomate				0,50			0,50	0,01	0,70	0,35
Uva				3,00		16,50	19,50	0,33	0,60	11,70
TOTAL	1.860,95	332,67	590,70	604,10	1.306,50	1.245,00	5.939,92	100,00		5.837,70

Tabela 6 – Setembro

CULTURA	Inundação	Sulco	Aspersão	Localizada	Pivô	Localizada	área	Percentual	Kc	Kc x A
					DIJA	DIJA	(ha)	(%)	(adimen- sional)	(ha)
Açaí				9,00			9,00	0,18	1,00	9,00
Acerola				78,00			78,00	1,54	1,39	108,42
Algodão					275,00		275,00	5,41	1,05	288,75
Anonáceas	1,50	4,20		11,70	15,75	85,00	118,15	2,33	0,95	112,24
Arroz	1.397,30	10,00					1.407,30	27,71	0,90	1.266,57
Banana	92,80	61,45	5,30	19,55	15,75	728,50	923,35	18,18	1,10	1015,69
Caju		0,50	0,75	17,75			19,00	0,37	0,65	12,35
Cana	14,30				25,00		39,30	0,77	1,25	49,13
Capim	207,05	56,42	44,25	3,00	225,00		535,72	10,55	0,75	401,79
Citros	53,75	44,35		3,50			101,60	2,00	0,85	86,36
Coco	2,45	1,20	1,80	93,50			98,95	1,95	1,00	98,95
Feijão								0,00		
Figo				0,50			0,50	0,01	1,00	0,50
Forragem	11,50	2,25	4,50				18,25	0,36	0,75	13,69
Goiaba	8,65	4,20	1,00	53,70		60,00	127,55	2,51	0,63	80,36
Hortaliças			4,50				4,50	0,09	1,00	4,50
Mandioca	0,95		0,50				1,45	0,03	0,70	1,02
Mamão	0,50			4,70			5,20	0,10	1,19	6,19
Manga		0,90		95,00		40,00	135,90	2,68	0,71	96,49
Maracujá			0,50	0,20			0,70	0,01	0,69	0,48
Melancia		2,50	2,00	23,25		8,00	35,75	0,70	1,36	48,62
Melão		2,50		120,50			123,00	2,42	0,98	120,54
Milho (grão)	5,90	10,30	16,05	15,00	275,00		322,25	6,34	1,06	341,59
Milho verde					300,00		300,00	5,91	1,10	330,00
Ornamentais			0,50	4,00			4,50	0,09	1,00	4,50
Pimenta	0,80					4,00	4,80	0,09	1,05	5,04
Pimentão				16,70			16,70	0,33	0,55	9,19
Sapoti		0,50		7,50			8,00	0,16	0,71	5,68
Soja						275,00	275,00	5,41	0,80	220,00
Sorgo					50,00	20,00	70,00	1,38	0,75	52,50
Tomate				0,50			0,50	0,01	0,70	0,35
Uva				3,00		16,50	19,50	0,38	0,60	11,70
TOTAL	1.797,45	201,27	81,65	580,55	1.181,50	1.237,00	5.079,42	100,00		4.802,16

Tabela 7 - Outubro

CULTURA	Inundação	Sulco	Aspersão	Localizada	Pivô	Localizada	área	Percentual	Kc	Kc x A
				a	DIJA	DIJA	(ha)	(%)	(adimensi onal)	(ha)
Açaí				9,00			9,00	0,15	1,00	9,00
Acerola				78,00			78,00	1,31	1,39	108,42
Algodão					275,00		275,00	4,62	1,05	288,75
Anonáceas	1,50	4,20		11,70	15,75	85,00	118,15	1,98	0,95	112,24
Arroz	1397,30	10,00					1407,30	23,63	0,90	1266,57
Banana	92,80	61,45	5,30	19,55	15,75	728,50	923,35	15,50	1,10	1015,69
Caju		0,50	0,75	17,75			19,00	0,32	0,65	12,35
Cana	14,30				25,00		39,30	0,66	1,25	49,13
Capim	207,05	56,42	44,25	3,00	225,00		535,72	8,99	0,75	401,79
Citros	53,75	44,35		3,50			101,60	1,71	0,85	86,36
Coco	2,45	1,20	1,80	93,50			98,95	1,66	1,00	98,95
Feijão	63,50	131,40	509,05	40,25	125,00	8,00	877,20	14,73	0,75	657,90
Figo				0,50			0,50	0,01	1,00	0,50
Ferragem	11,50	2,25	4,50				18,25	0,31	0,75	13,69
Goiaba	8,65	4,20	1,00	53,70		60,00	127,55	2,14	0,63	80,36
Hortaliças			4,50				4,50	0,08	1,00	4,50
Mandioca	0,95		0,50				1,45	0,02	0,70	1,02
Mamão	0,50			4,70			5,20	0,09	1,19	6,19
Manga		0,90		95,00		40,00	135,90	2,28	0,71	96,49
Maracujá			0,50	0,20			0,70	0,01	0,69	0,48
Melancia		2,50	2,00	23,25		8,00	35,75	0,60	0,71	25,38
Melão		2,50		120,50			123,00	2,06	0,21	25,83
Milho (grão)	5,90	10,30	16,05	15,00	275,00		322,25	5,41	0,95	306,14
Milho verde					300,00		300,00	5,04	0,95	285,00
Ornamentais			0,50	4,00			4,50	0,08	1,00	4,50
Pimenta	0,80					4,00	4,80	0,08	0,90	4,32
Pimentão				16,70			16,70	0,28	0,80	13,36
Sapoti		0,50		7,50			8,00	0,13	0,71	5,68
Soja						275,00	275,00	4,62	0,50	137,50
Sorgo					50,00	20,00	70,00	1,18	0,75	52,50
Tomate				0,50			0,50	0,01	1,10	0,55
Uva				3,00		16,50	19,50	0,33	0,60	11,70
TOTAL	1.860,95	332,67	590,70	620,80	1.306,50	1.245,00	5.956,62	100,00		5.182,82

Fonte: elaborado a partir do Cadastro de Outorga da COGERH (2008).

Tabela 8 - Novembro

CULTURA	Inundação	Sulco	Aspersão	Localizada	Pivô DIJA	Localizada DIJA	Área (ha)	Percentual (%)	Kc (adimensional)	Kc x A (ha)
Acaí				9,00			9,00	0,17	1,00	9,00
Acerola				78,00			78,00	1,46	1,39	108,42
Algodão					275,00		275,00	5,14	1,05	288,75
Anonáceas	1,50	4,20		11,70	15,75	85,00	118,15	2,21	0,95	112,24
Arroz	1397,30	10,00					1407,30	26,32	0,60	844,38
Banana	92,80	61,45	5,30	19,55	15,75	728,50	923,35	17,27	1,10	1.015,69
Caju		0,50	0,75	17,75			19,00	0,36	0,65	12,35
Cana	14,30				25,00		39,30	0,74	1,25	49,13
Capim	207,05	56,42	44,25	3,00	225,00		535,72	10,02	0,75	401,79
Citros	53,75	44,35		3,50			101,60	1,90	0,85	86,36
Coco	2,45	1,20	1,80	93,50			98,95	1,85	1,00	98,95
Feijão	63,50	131,40	509,05	40,25	125,00	8,00	877,20	16,41	1,20	1.052,64
Figo				0,50			0,50	0,01	1,00	0,50
Fornagem	11,50	2,25	4,50				18,25	0,34	0,75	13,69
Goiaba	8,65	4,20	1,00	53,70		60,00	127,55	2,39	0,63	80,36
Hortaliças			4,50				4,50	0,08	1,00	4,50
Mandioca	0,95		0,50				1,45	0,03	0,70	1,02
Mamão	0,50			4,70			5,20	0,10	1,19	6,19
Manga		0,90		95,00		40,00	135,90	2,54	0,71	96,49
Maracujá			0,50	0,20			0,70	0,01	0,69	0,48
Melão		2,50		120,50			123,00	2,30	1,21	148,83
Milho (grão)	5,90	10,30	16,05	15,00	275,00		322,25	6,03	0,95	306,14
Ornamentais			0,50	4,00			4,50	0,08	1,00	4,50
Pimenta	0,80					4,00	4,80	0,09	0,90	4,32
Pimentão				16,70			16,70	0,31	1,05	17,54
Sapoti		0,50		7,50			8,00	0,15	0,71	5,68
Sorgo					50,00	20,00	70,00	1,31	0,80	56,00
Tomate				0,50			0,50	0,01	0,60	0,30
Uva				3,00		16,50	19,50	0,36	0,60	11,70
TOTAL	1.860,95	330,17	588,70	597,55	1.006,50	962,00	5.345,87	100,00		4.837,91

Fonte: elaborado a partir do Cadastro de Outorga da COGERH (2008).

Tabela 9 - Dezembro

CULTURA	Inundação	Sulco	Aspersão	Localizada	Pivô DIJA	Localizada DIJA	Área (ha)	Percentual (%)	Kc (adimensional)	Kc x A (ha)
Açaí				9,00			9,00	0,34	1,00	9,00
Acerola				78,00			78,00	2,92	1,39	108,42
Algodão					275,00		275,00	10,30	0,70	192,50
Anonáceas	1,50	4,20		11,70	15,75	85,00	118,15	4,43	0,95	112,24
Banana	92,80	61,45	5,30	19,55	15,75	728,50	923,35	34,60	1,10	1015,69
Caju		0,50	0,75	17,75			19,00	0,71	0,65	12,35
Cana	14,30				25,00		39,30	1,47	1,25	49,13
Capim	207,05	56,42	44,25	3,00	225,00		535,72	20,07	0,75	401,79
Citros	53,75	44,35		3,50			101,60	3,81	0,85	86,36
Coco	2,45	1,20	1,80	93,50			98,95	3,71	1,00	98,95
Figo				0,50			0,50	0,02	1,00	0,50
FORAGEM	11,50	2,25	4,50				18,25	0,68	0,75	13,69
Goiaba	8,65	4,20	1,00	53,70		60,00	127,55	4,78	0,63	80,36
Hortaliças			4,50				4,50	0,17	1,00	4,50
Mandioca	0,95		0,50				1,45	0,05	0,70	1,02
Mamão	0,50			4,70			5,20	0,19	1,19	6,19
Manga		0,90		95,00		40,00	135,90	5,09	0,71	96,49
Maracujá			0,50	0,20			0,70	0,03	0,69	0,48
Melão		2,50		120,50			123,00	4,61	0,98	120,54
Ornamentais			0,50	4,00			4,50	0,17	1,00	4,50
Pimenta	0,80					4,00	4,80	0,18	0,90	4,32
Pimentão				16,70			16,70	0,63	0,90	15,03
Sapoti		0,50		7,50			8,00	0,30	0,71	5,68
Uva				3,00		16,50	19,50	0,73	0,60	11,70
TOTAL	394,25	178,47	63,60	541,80	556,50	934,00	2.668,62	100,00		2.451,41

Fonte: elaborado a partir do Cadastro de Outorga da COGERH (2008).

APÊNDICE C

Parâmetros especializados da equação de Penman-Monteith FAO, precipitação e NHB (mm) - 1961-90

Mês	LAT	LONG	Tmáx (°C)	Tmín (°C)	Tméd (°C)	Ra MJm ² d ⁻¹	Altitude (m)	Δ (kPa °C ⁻¹)	γ (kPa °C ⁻¹)	es-ea (kPa)	Rn MJm ² d ⁻¹	EToDia (mm)	ETomês (mm)	Prec. (mm)	PSMD (mm)	NHB
1	-6,0	-38,5	32,9	21,4	27,2	38,008	410	0,211041	0,21104	0,06420	1,22820	5,2	161	124,50	36	101
1	-5,5	-38,5	34,2	22,2	28,2	38,008	114	0,222034	0,22203	0,06647	1,34868	5,4	168	71,70	96	164
1	-5,5	-38,0	34,2	22,0	28,1	38,008	122	0,220969	0,22097	0,06641	1,36030	5,4	169	69,60	99	167
1	-5,5	-37,5	34,3	22,1	28,2	38,008	77	0,222477	0,22248	0,06676	1,37086	5,5	169	58,50	111	179
1	-5,0	-38,5	33,5	22,2	27,8	38,008	118	0,218012	0,21801	0,06644	1,24546	5,2	161	58,80	102	167
1	-5,0	-38,0	33,5	22,5	28,0	38,008	23	0,220525	0,22053	0,06718	1,22436	5,1	159	50,10	109	173
1	-5,0	-37,5	32,8	23,0	27,9	38,008	60	0,21936	0,21936	0,06689	1,08526	4,8	149	50,10	99	159
1	-4,5	-38,5	32,3	22,3	27,3	38,008	97	0,212037	0,21204	0,06661	1,06895	4,8	149	54,60	94	154
1	-4,5	-38,0	31,7	23,2	27,4	38,008	45	0,213993	0,21399	0,06701	0,90795	4,4	136	67,50	68	123
1	-4,5	-37,5	28,8	25,4	27,1	38,008	0	0,210079	0,21008	0,06736	0,35932	2,7	83	77,40	6	39
2	-6,0	-38,5	30,9	21,2	26,0	38,533	410	0,199075	0,19907	0,06420	0,97074	4,6	130	166,5	0	16
2	-5,5	-38,5	32,3	21,8	27,0	38,533	114	0,209524	0,20952	0,06647	1,11179	5,0	139	106,2	129	89
2	-5,5	-38,0	32,3	21,7	27,0	38,533	122	0,209479	0,20948	0,06641	1,11822	5,0	139	106,8	132	89
2	-5,5	-37,5	32,7	22,0	27,3	38,533	77	0,212472	0,21247	0,06676	1,14925	5,0	141	94,2	158	104
2	-5,0	-38,5	31,7	21,8	26,7	38,533	118	0,206381	0,20638	0,06644	1,03172	4,8	133	98,4	137	89
2	-5,0	-38,0	31,9	22,2	27,1	38,533	23	0,209799	0,20980	0,06718	1,02202	4,7	132	91,2	151	95
2	-5,0	-37,5	31,5	22,8	27,1	38,533	60	0,210693	0,21069	0,06689	0,92404	4,5	126	92,1	133	84
2	-4,5	-38,5	30,8	21,9	26,4	38,533	97	0,20237	0,20237	0,06661	0,90502	4,4	124	98,4	120	76
2	-4,5	-38,0	30,4	22,8	26,6	38,533	45	0,205305	0,20531	0,06701	0,78313	4,1	115	115,2	68	46
2	-4,5	-37,5	28,5	25,3	26,9	38,533	0	0,207927	0,20793	0,06736	0,33954	2,6	74	113,7	0	-10
3	-6,0	-38,5	28,7	21,3	25,0	38,000	410	0,18862	0,18862	0,06420	0,69695	3,9	120	243,6	162	-54
3	-5,5	-38,5	29,8	21,7	25,8	38,000	114	0,196491	0,19649	0,06647	0,80091	4,1	128	174,9	164	28
3	-5,5	-38,0	29,9	21,8	25,9	38,000	122	0,197174	0,19717	0,06641	0,79963	4,1	128	186,9	205	15
3	-5,5	-37,5	30,4	22,0	26,2	38,000	77	0,200824	0,20082	0,06676	0,84233	4,2	131	180	173	28
3	-5,0	-38,5	29,5	21,8	25,7	38,000	118	0,19533	0,19533	0,06644	0,75679	4,0	124	176,1	192	20
3	-5,0	-38,0	29,8	22,3	26,0	38,000	23	0,198911	0,19891	0,06718	0,74857	4,0	123	169,2	166	26
3	-5,0	-37,5	29,8	22,8	26,3	38,000	60	0,201531	0,20153	0,06689	0,70532	3,8	119	183,3	146	5
3	-4,5	-38,5	29,2	22,0	25,6	38,000	97	0,194809	0,19481	0,06661	0,70096	3,8	119	163,8	68	25
3	-4,5	-38,0	29,2	22,9	26,0	38,000	45	0,19882	0,19882	0,06701	0,62738	3,6	112	192,3	0	-15
3	-4,5	-37,5	28,2	25,2	26,7	38,000	0	0,205874	0,20587	0,06736	0,30168	2,5	76	143,4	38	-22
4	-6,0	-38,5	27,8	21,3	24,5	35,767	410	0,184228	0,18423	0,06420	0,60311	3,4	102	201,9	117	-44
4	-5,5	-38,5	28,6	21,7	25,2	35,767	114	0,190453	0,19045	0,06647	0,66249	3,5	106	146,1	146	18
4	-5,5	-38,0	28,6	21,8	25,2	35,767	122	0,191051	0,19105	0,06641	0,65137	3,5	105	165	123	-2

4	-5,5	-37,5	29,0	22,1	25,5	35,767	77	0,194092	0,19409	0,06676	0,67156	3,6	107	160,5	140	5
4	-5,0	-38,5	28,3	21,8	25,1	35,767	118	0,189312	0,18931	0,06644	0,61254	3,4	102	162	120	-5
4	-5,0	-38,0	28,6	22,4	25,5	35,767	23	0,193741	0,19374	0,06718	0,60922	3,4	101	151,2	82	5
4	-5,0	-37,5	28,8	22,9	25,9	35,767	60	0,197392	0,19739	0,06689	0,58044	3,3	98	171	23	-18
4	-4,5	-38,5	28,3	22,2	25,2	35,767	97	0,190965	0,19097	0,06661	0,58197	3,3	99	139,5	0	14
4	-4,5	-38,0	28,5	23,1	25,8	35,767	45	0,19683	0,19683	0,06701	0,53443	3,1	94	171	0	-25
4	-4,5	-37,5	28,0	25,3	26,7	35,767	0	0,205739	0,20574	0,06736	0,27822	2,2	67	170,4	17	-66
5	-6,0	-38,5	28,9	21,0	24,9	32,992	410	0,188042	0,18804	0,06420	0,75039	3,5	110	124,8	105	29
5	-5,5	-38,5	29,7	21,6	25,6	32,992	114	0,195051	0,19505	0,06647	0,79581	3,6	112	102	63	56
5	-5,5	-38,0	29,7	21,5	25,6	32,992	122	0,195053	0,19505	0,06641	0,80320	3,6	113	106,2	86	52
5	-5,5	-37,5	30,3	21,8	26,1	32,992	77	0,199307	0,19931	0,06676	0,85556	3,8	117	94,8	59	69
5	-5,0	-38,5	29,0	21,7	25,3	32,992	118	0,191923	0,19192	0,06644	0,70030	3,4	105	121,5	32	26
5	-5,0	-38,0	29,4	22,2	25,8	32,992	23	0,196688	0,19669	0,06718	0,71865	3,4	106	104,1	0	45
5	-5,0	-37,5	29,7	22,8	26,3	32,992	60	0,201382	0,20138	0,06689	0,70582	3,4	105	110,7	0	37
5	-4,5	-38,5	28,8	22,2	25,5	32,992	97	0,193601	0,19360	0,06661	0,64868	3,2	101	97,5	0	44
5	-4,5	-38,0	29,1	23,1	26,1	32,992	45	0,199968	0,19997	0,06701	0,60133	3,1	96	114	-86	21
5	-4,5	-37,5	28,4	25,3	26,9	32,992	0	0,207608	0,20761	0,06736	0,32577	2,3	70	137,4	90	-39
6	-6,0	-38,5	30,2	20,6	25,4	31,276	410	0,192425	0,19243	0,06420	0,92995	3,8	113	55,2	74	104
6	-5,5	-38,5	31,3	21,4	26,4	31,276	114	0,2025	0,20250	0,06647	1,01644	3,9	118	44,1	92	122
6	-5,5	-38,0	31,5	21,3	26,4	31,276	122	0,202666	0,20267	0,06641	1,03644	4,0	120	38,1	81	130
6	-5,5	-37,5	32,0	21,6	26,8	31,276	77	0,207081	0,20708	0,06676	1,09361	4,1	123	32,4	15	140
6	-5,0	-38,5	30,4	21,5	25,9	31,276	118	0,197812	0,19781	0,06644	0,88765	3,7	110	43,8	0	111
6	-5,0	-38,0	31,1	21,9	26,5	31,276	23	0,203985	0,20398	0,06718	0,93833	3,8	113	35,7	0	123
6	-5,0	-37,5	31,0	22,5	26,8	31,276	60	0,206687	0,20669	0,06689	0,89030	3,7	110	39,3	0	115
6	-4,5	-38,5	30,2	22,1	26,1	31,276	97	0,200195	0,20019	0,06661	0,82270	3,5	105	39	0	109
6	-4,5	-38,0	30,2	23,0	26,6	31,276	45	0,204666	0,20467	0,06701	0,74083	3,3	99	47,4	23	92
6	-4,5	-37,5	28,7	25,0	26,9	31,276	0	0,207576	0,20758	0,06736	0,37937	2,3	70	35,4	132	62
7	-6,0	-38,5	32,8	20,9	26,9	31,834	410	0,207597	0,20760	0,06420	1,25772	4,5	140	22,8	167	198
7	-5,5	-38,5	34,1	21,8	28,0	31,834	114	0,219993	0,21999	0,06647	1,36974	4,7	146	18,3	163	212
7	-5,5	-38,0	34,1	21,5	27,8	31,834	122	0,218014	0,21801	0,06641	1,39105	4,7	147	15,3	106	217
7	-5,5	-37,5	34,1	21,5	27,8	31,834	77	0,21789	0,21789	0,06676	1,39485	4,8	147	13,2	66	220
7	-5,0	-38,5	33,2	21,9	27,5	31,834	118	0,214695	0,21469	0,06644	1,22947	4,4	138	12,6	0	205
7	-5,0	-38,0	33,5	22,1	27,8	31,834	23	0,217454	0,21745	0,06718	1,25485	4,5	139	11,4	0	208
7	-5,0	-37,5	32,7	22,3	27,5	31,834	60	0,214576	0,21458	0,06689	1,12990	4,2	131	11,1	0	196
7	-4,5	-38,5	32,4	22,3	27,3	31,834	97	0,212784	0,21278	0,06661	1,09181	4,2	129	10,2	75	193
7	-4,5	-38,0	31,7	22,9	27,3	31,834	45	0,212241	0,21224	0,06701	0,94407	3,8	119	11,7	166	176
7	-4,5	-37,5	28,9	24,7	26,8	31,834	0	0,206543	0,20654	0,06736	0,43429	2,5	78	7,2	284	117
8	-6,0	-38,5	35,2	21,6	28,4	34,251	410	0,224575	0,22457	0,06420	1,54668	5,3	166	5,1	290	253

8	-5,5	-38,5	36,0	22,5	29,3	34,251	114	0,234536	0,23454	0,06647	1,60744	5,4	169	3	238	259
8	-5,5	-38,0	35,9	22,0	28,9	34,251	122	0,230653	0,23065	0,06641	1,62649	5,5	170	2,7	200	261
8	-5,5	-37,5	35,7	21,8	28,7	34,251	77	0,22829	0,22829	0,06676	1,61181	5,5	169	1,8	125	261
8	-5,0	-38,5	35,3	22,4	28,9	34,251	118	0,230034	0,23003	0,06644	1,50101	5,2	163	1,2	127	252
8	-5,0	-38,0	35,2	22,5	28,8	34,251	23	0,229458	0,22946	0,06718	1,48143	5,2	161	1,2	120	250
8	-5,0	-37,5	34,2	22,5	28,4	34,251	60	0,224189	0,22419	0,06689	1,32891	4,9	152	1,8	193	235
8	-4,5	-38,5	34,2	22,6	28,4	34,251	97	0,225018	0,22502	0,06661	1,32191	4,9	152	0,9	274	235
8	-4,5	-38,0	33,2	23,1	28,1	34,251	45	0,221484	0,22148	0,06701	1,12542	4,5	139	1,2	355	215
8	-4,5	-37,5	29,1	24,7	26,9	34,251	0	0,207824	0,20782	0,06736	0,45985	2,8	86	2,7	451	131
9	-6,0	-38,5	36,4	22,1	29,3	36,884	410	0,234485	0,23449	0,06420	1,71079	6,0	180	9,3	403	259
9	-5,5	-38,5	37,0	22,8	29,9	36,884	114	0,2422	0,24220	0,06647	1,74441	6,0	181	4,5	367	266
9	-5,5	-38,0	36,8	22,4	29,6	36,884	122	0,238383	0,23838	0,06641	1,74375	6,0	181	3,6	292	267
9	-5,5	-37,5	36,5	22,2	29,4	36,884	77	0,235914	0,23591	0,06676	1,71374	6,0	180	2,7	289	265
9	-5,0	-38,5	36,1	22,7	29,4	36,884	118	0,236437	0,23644	0,06644	1,61123	5,8	174	1,8	280	257
9	-5,0	-38,0	35,9	22,8	29,4	36,884	23	0,23566	0,23566	0,06718	1,56199	5,7	171	0,9	344	254
9	-5,0	-37,5	35,0	23,0	29,0	36,884	60	0,231092	0,23109	0,06689	1,40726	5,4	162	1,2	424	240
9	-4,5	-38,5	34,9	22,9	28,9	36,884	97	0,230256	0,23026	0,06661	1,40036	5,4	161	0,6	493	240
9	-4,5	-38,0	33,8	23,4	28,6	36,884	45	0,227325	0,22733	0,06701	1,19314	4,9	148	0,6	534	220
9	-4,5	-37,5	29,2	25,0	27,1	36,884	0	0,209852	0,20985	0,06736	0,44381	2,9	87	3	574	128
10	-6,0	-38,5	37,1	22,6	29,8	38,117	410	0,241065	0,24107	0,06420	1,78186	6,3	195	9,6	544	260
10	-5,5	-38,5	37,5	23,2	30,4	38,117	114	0,248092	0,24809	0,06647	1,80493	6,3	196	4,5	470	266
10	-5,5	-38,0	37,3	22,9	30,1	38,117	122	0,244258	0,24426	0,06641	1,78702	6,3	195	3,9	466	265
10	-5,5	-37,5	37,0	22,8	29,9	38,117	77	0,241946	0,24195	0,06676	1,74786	6,2	193	2,7	452	263
10	-5,0	-38,5	36,6	23,1	29,8	38,117	118	0,241469	0,24147	0,06644	1,65723	6,0	187	1,2	514	257
10	-5,0	-38,0	36,3	23,3	29,8	38,117	23	0,240704	0,24070	0,06718	1,59127	5,9	183	0,9	585	252
10	-5,0	-37,5	35,4	23,5	29,4	38,117	60	0,236344	0,23634	0,06689	1,42545	5,6	173	0,9	654	238
10	-4,5	-38,5	35,3	23,2	29,3	38,117	97	0,234736	0,23474	0,06661	1,43955	5,6	174	0,6	682	239
10	-4,5	-38,0	34,3	23,9	29,1	38,117	45	0,232364	0,23236	0,06701	1,22384	5,1	159	0,6	658	219
10	-4,5	-37,5	29,4	25,3	27,4	38,117	0	0,213465	0,21346	0,06736	0,43829	3,0	92	2,1	729	126
11	-6,0	-38,5	36,8	22,8	29,8	37,950	410	0,241339	0,24134	0,06420	1,71929	6,1	184	35,4	661	232
11	-5,5	-38,5	37,4	23,6	30,5	37,950	114	0,249361	0,24936	0,06647	1,75189	6,2	185	18	657	251
11	-5,5	-38,0	37,2	23,2	30,2	37,950	122	0,245866	0,24587	0,06641	1,74171	6,2	185	15,3	642	253
11	-5,5	-37,5	36,9	23,1	30,0	37,950	77	0,243859	0,24386	0,06676	1,70994	6,1	183	11,7	700	254
11	-5,0	-38,5	36,5	23,4	30,0	37,950	118	0,243005	0,24300	0,06644	1,62185	5,9	178	9	767	250
11	-5,0	-38,0	36,3	23,6	29,9	37,950	23	0,242405	0,24241	0,06718	1,56123	5,8	175	6,6	825	247
11	-5,0	-37,5	35,3	23,8	29,5	37,950	60	0,237856	0,23786	0,06689	1,38869	5,5	164	5,4	855	233
11	-4,5	-38,5	35,3	23,4	29,4	37,950	97	0,236007	0,23601	0,06661	1,42118	5,5	166	6	817	235
11	-4,5	-38,0	34,3	24,1	29,2	37,950	45	0,233978	0,23398	0,06701	1,20428	5,1	152	4,8	820	216

11	-4,5	-37,5	29,6	25,6	27,6	37,950	0	0,215742	0,21574	0,06736	0,42942	2,9	88	5,4	810	122
12	-6,0	-38,5	35,1	22,2	28,7	37,666	410	0,227669	0,22767	0,06420	1,49370	5,7	176	65,1	824	177
12	-5,5	-38,5	36,0	23,0	29,5	37,666	114	0,237686	0,23769	0,06647	1,56554	5,8	180	34,5	812	212
12	-5,5	-38,0	35,9	22,8	29,3	37,666	122	0,235383	0,23538	0,06641	1,57152	5,8	180	32,4	871	215
12	-5,5	-37,5	35,8	22,8	29,3	37,666	77	0,23475	0,23475	0,06676	1,55390	5,8	179	26,7	936	219
12	-5,0	-38,5	35,3	23,0	29,1	37,666	118	0,233147	0,23315	0,06644	1,45304	5,6	173	23,7	993	214
12	-5,0	-38,0	35,2	23,2	29,2	37,666	23	0,233784	0,23378	0,06718	1,41391	5,5	170	19,2	1014	215
12	-5,0	-37,5	34,3	23,5	28,9	37,666	60	0,230407	0,23041	0,06689	1,25150	5,1	160	15,6	977	204
12	-4,5	-38,5	34,1	23,1	28,6	37,666	97	0,226768	0,22677	0,06661	1,26494	5,2	161	21,3	967	199
12	-4,5	-38,0	33,3	23,9	28,6	37,666	45	0,226518	0,22652	0,06701	1,07504	4,7	147	20,7	893	181
12	-4,5	-37,5	29,3	25,6	27,4	37,666	0	0,213975	0,21397	0,06736	0,40191	2,8	87	23,1	935	97

APÊNDICE D

Parâmetros especializados da equação de Penman-Monteith FAO, ETo, precipitação, PSMD e NHB (mm) – 2040 A2

Mês	LAT	LONG	Tmáx (°C)	Tmín (°C)	Tméd (°C)	Ra MJm ² d ⁻¹	Altitude (m)	Δ (kPa °C ⁻¹)	γ (kPa °C ⁻¹)	es-ea (kPa)	Rn MJm ² d ⁻¹	EToDia (mm)	ETomês (mm)	Prec. (mm)	PSMD (mm)	NHB
1	-6,0	-38,5	36,5	23,6	29,0	38,008	410	0,2320	0,0642	1,5895	14,7520	5,9	183	142	41	115
1	-5,5	-38,5	37,3	24,5	29,9	38,008	114	0,2420	0,0665	1,6610	14,8843	6,0	186	97	89	164
1	-5,5	-38,0	37,2	24,1	29,7	38,008	122	0,2392	0,0664	1,6640	14,9093	6,0	187	104	83	158
1	-5,5	-37,5	37,3	24,1	29,7	38,008	77	0,2399	0,0668	1,6791	14,9460	6,0	188	84	104	179
1	-5,0	-38,5	36,6	24,3	29,4	38,008	118	0,2364	0,0664	1,5462	14,5511	5,8	179	95	84	157
1	-5,0	-38,0	36,5	24,5	29,5	38,008	23	0,2378	0,0672	1,5221	14,4524	5,7	178	84	94	165
1	-5,0	-37,5	36,2	24,8	29,5	38,008	60	0,2369	0,0669	1,4319	14,1508	5,5	172	66	106	175
1	-4,5	-38,5	35,4	24,1	28,8	38,008	97	0,2290	0,0666	1,3729	13,9958	5,4	169	72	97	164
1	-4,5	-38,0	35,0	24,9	29,0	38,008	45	0,2310	0,0670	1,2421	13,4733	5,1	159	77	82	147
1	-4,5	-37,5	33,3	26,1	28,7	38,008	0	0,2278	0,0674	0,8601	11,7090	4,2	130	74	56	109
2	-6,0	-38,5	36,1	24,0	26,0	38,533	410	0,1991	0,0642	1,4978	14,6856	5,8	162	136	66	91
2	-5,5	-38,5	37,0	24,7	27,0	38,533	114	0,2095	0,0665	1,5774	14,8626	5,9	166	86	169	146
2	-5,5	-38,0	36,8	24,5	27,0	38,533	122	0,2095	0,0664	1,5700	14,8563	5,9	165	90	158	142
2	-5,5	-37,5	36,9	24,5	27,3	38,533	77	0,2125	0,0668	1,5803	14,8822	5,9	166	80	189	153
2	-5,0	-38,5	36,2	24,4	26,7	38,533	118	0,2064	0,0664	1,4750	14,5537	5,7	160	83	161	141
2	-5,0	-38,0	36,2	24,7	27,1	38,533	23	0,2098	0,0672	1,4382	14,4028	5,6	157	84	167	137
2	-5,0	-37,5	35,8	25,0	27,1	38,533	60	0,2107	0,0669	1,3468	14,0700	5,4	152	73	185	140
2	-4,5	-38,5	35,0	24,3	26,4	38,533	97	0,2024	0,0666	1,3014	13,9642	5,3	149	87	159	122
2	-4,5	-38,0	34,7	25,0	26,6	38,533	45	0,2053	0,0670	1,1759	13,4235	5,0	141	95	128	102
2	-4,5	-37,5	33,2	26,4	26,9	38,533	0	0,2079	0,0674	0,8276	11,6972	4,1	116	83	0	79
3	-6,0	-38,5	32,9	23,8	25,0	38,000	410	0,1886	0,0642	1,0289	12,7349	4,7	144	180	249	49
3	-5,5	-38,5	34,1	24,5	25,8	38,000	114	0,1965	0,0665	1,1351	13,0950	4,9	151	129	233	111
3	-5,5	-38,0	34,2	24,4	25,9	38,000	122	0,1972	0,0664	1,1590	13,1993	4,9	153	145	275	98
3	-5,5	-37,5	34,7	24,5	26,2	38,000	77	0,2008	0,0668	1,2274	13,4473	5,1	158	133	238	117
3	-5,0	-38,5	33,4	24,3	25,7	38,000	118	0,1953	0,0664	1,0643	12,8216	4,7	146	133	240	99
3	-5,0	-38,0	33,7	24,6	26,0	38,000	23	0,1989	0,0672	1,0745	12,8275	4,7	147	124	263	109
3	-5,0	-37,5	34,1	25,0	26,3	38,000	60	0,2015	0,0669	1,0868	12,8488	4,8	148	121	221	113

3	-4,5	-38,5	32,6	24,1	25,6	38,000	97	0,1948	0,0666	0,9523	12,3418	4,4	138	118	174	101
3	-4,5	-38,0	32,6	24,8	26,0	38,000	45	0,1988	0,0670	0,9017	12,0369	4,3	133	133	0	79
3	-4,5	-37,5	32,1	26,3	26,7	38,000	0	0,2059	0,0674	0,6814	10,7030	3,7	114	108	213	73
4	-6,0	-38,5	32,2	24,0	24,5	35,767	410	0,1842	0,0642	0,9180	11,3842	4,2	125	142	256	51
4	-5,5	-38,5	33,7	24,8	25,2	35,767	114	0,1905	0,0665	1,0450	11,8228	4,4	133	98	283	108
4	-5,5	-38,0	33,8	24,8	25,2	35,767	122	0,1911	0,0664	1,0653	11,9062	4,5	134	109	263	99
4	-5,5	-37,5	34,3	24,9	25,5	35,767	77	0,1941	0,0668	1,1312	12,1434	4,6	139	103	254	112
4	-5,0	-38,5	33,3	24,8	25,1	35,767	118	0,1893	0,0664	0,9969	11,6325	4,3	129	133	286	68
4	-5,0	-38,0	33,8	25,2	25,5	35,767	23	0,1937	0,0672	1,0212	11,6911	4,4	131	99	247	104
4	-5,0	-37,5	34,1	25,6	25,9	35,767	60	0,1974	0,0669	1,0275	11,6934	4,4	131	95	194	108
4	-4,5	-38,5	32,9	24,7	25,2	35,767	97	0,1910	0,0666	0,9394	11,3893	4,2	125	120	0	74
4	-4,5	-38,0	33,3	25,6	25,8	35,767	45	0,1968	0,0670	0,9135	11,2120	4,1	123	124	0	67
4	-4,5	-37,5	32,7	26,9	26,7	35,767	0	0,2057	0,0674	0,7009	10,0552	3,5	106	115	238	49
5	-6,0	-38,5	32,7	23,6	24,9	32,992	410	0,1880	0,0642	1,0180	10,7315	4,1	128	64	318	115
5	-5,5	-38,5	33,9	24,4	25,6	32,992	114	0,1951	0,0665	1,1172	11,0057	4,3	134	50	288	138
5	-5,5	-38,0	33,9	24,2	25,6	32,992	122	0,1951	0,0664	1,1313	11,0626	4,3	135	54	289	135
5	-5,5	-37,5	34,3	24,3	26,1	32,992	77	0,1993	0,0668	1,1786	11,2069	4,4	138	50	282	143
5	-5,0	-38,5	33,3	24,4	25,3	32,992	118	0,1919	0,0664	1,0356	10,7261	4,1	128	61	279	119
5	-5,0	-38,0	33,6	24,8	25,8	32,992	23	0,1967	0,0672	1,0458	10,7377	4,2	129	51	0	130
5	-5,0	-37,5	33,9	25,1	26,3	32,992	60	0,2014	0,0669	1,0466	10,7279	4,2	129	50	0	131
5	-4,5	-38,5	32,9	24,7	25,5	32,992	97	0,1936	0,0666	0,9453	10,3769	3,9	122	53	0	118
5	-4,5	-38,0	33,2	25,5	26,1	32,992	45	0,2000	0,0670	0,9154	10,2172	3,8	119	54	229	113
5	-4,5	-37,5	32,6	26,6	26,9	32,992	0	0,2076	0,0674	0,7135	9,2570	3,3	104	57	382	88
6	-6,0	-38,5	34,4	23,9	25,4	31,276	410	0,1924	0,0642	1,2277	10,6818	4,4	131	26	372	158
6	-5,5	-38,5	35,6	25,0	26,4	31,276	114	0,2025	0,0665	1,3303	10,9183	4,6	137	22	370	170
6	-5,5	-38,0	35,7	24,6	26,4	31,276	122	0,2027	0,0664	1,3646	11,0136	4,6	139	18	370	177
6	-5,5	-37,5	36,0	24,6	26,8	31,276	77	0,2071	0,0668	1,4184	11,1477	4,7	142	14	346	185
6	-5,0	-38,5	35,1	24,9	25,9	31,276	118	0,1978	0,0664	1,2479	10,6917	4,4	132	20	0	165
6	-5,0	-38,0	35,4	25,1	26,5	31,276	23	0,2040	0,0672	1,2851	10,7840	4,5	134	15	0	173
6	-5,0	-37,5	35,4	25,3	26,8	31,276	60	0,2067	0,0669	1,2703	10,7434	4,4	133	16	0	171
6	-4,5	-38,5	34,6	25,0	26,1	31,276	97	0,2002	0,0666	1,1636	10,4402	4,2	127	16	0	162
6	-4,5	-38,0	34,7	25,6	26,6	31,276	45	0,2047	0,0670	1,1234	10,2969	4,1	124	19	428	155

6	-4,5	-37,5	33,6	26,6	26,9	31,276	0	0,2076	0,0674	0,8631	9,3439	3,6	107	16	477	134
7	-6,0	-38,5	35,6	23,8	26,9	31,834	410	0,2076	0,0642	1,4339	11,4791	4,8	150	10	485	227
7	-5,5	-38,5	36,7	24,8	28,0	31,834	114	0,2200	0,0665	1,5316	11,6820	5,0	155	8	491	237
7	-5,5	-38,0	36,7	24,3	27,8	31,834	122	0,2180	0,0664	1,5672	11,7690	5,1	157	7	474	241
7	-5,5	-37,5	36,8	24,1	27,8	31,834	77	0,2179	0,0668	1,5936	11,8251	5,1	159	6	112	245
7	-5,0	-38,5	36,2	24,7	27,5	31,834	118	0,2147	0,0664	1,4468	11,4712	4,8	150	6	0	231
7	-5,0	-38,0	36,3	24,7	27,8	31,834	23	0,2175	0,0672	1,4692	11,5175	4,9	151	5	0	234
7	-5,0	-37,5	36,0	24,7	27,5	31,834	60	0,2146	0,0669	1,4123	11,3751	4,8	148	5	0	229
7	-4,5	-38,5	35,5	24,7	27,3	31,834	97	0,2128	0,0666	1,3299	11,1582	4,6	143	4	534	222
7	-4,5	-38,0	35,1	25,1	27,3	31,834	45	0,2122	0,0670	1,2374	10,8814	4,4	137	5	568	212
7	-4,5	-37,5	33,5	26,0	26,8	31,834	0	0,2065	0,0674	0,9082	9,7421	3,7	115	4	625	178
8	-6,0	-38,5	36,7	23,9	28,4	34,251	410	0,2246	0,0642	1,6022	13,0155	5,4	168	2	638	260
8	-5,5	-38,5	37,5	24,8	29,3	34,251	114	0,2345	0,0665	1,6555	13,1007	5,5	171	1	624	265
8	-5,5	-38,0	37,4	24,2	28,9	34,251	122	0,2307	0,0664	1,6988	13,2180	5,6	174	1	265	269
8	-5,5	-37,5	37,4	23,9	28,7	34,251	77	0,2283	0,0668	1,7184	13,2632	5,6	175	1	144	271
8	-5,0	-38,5	37,0	24,5	28,9	34,251	118	0,2300	0,0664	1,5925	12,9440	5,4	167	0	146	261
8	-5,0	-38,0	36,9	24,4	28,8	34,251	23	0,2295	0,0672	1,5956	12,9427	5,4	168	0	143	261
8	-5,0	-37,5	36,5	24,4	28,4	34,251	60	0,2242	0,0669	1,5254	12,7621	5,3	164	1	673	254
8	-4,5	-38,5	36,1	24,4	28,4	34,251	97	0,2250	0,0666	1,4628	12,5946	5,2	160	0	700	249
8	-4,5	-38,0	35,6	24,8	28,1	34,251	45	0,2215	0,0670	1,3395	12,2174	4,9	152	0	736	237
8	-4,5	-37,5	33,4	25,6	26,9	34,251	0	0,2078	0,0674	0,9365	10,7521	4,0	125	1	805	193
9	-6,0	-38,5	38,1	24,0	29,3	36,884	410	0,2345	0,0642	1,8261	14,8439	6,2	186	4	794	273
9	-5,5	-38,5	38,6	24,7	29,9	36,884	114	0,2422	0,0665	1,8599	14,8751	6,2	187	2	437	277
9	-5,5	-38,0	38,4	24,2	29,6	36,884	122	0,2384	0,0664	1,8634	14,8969	6,2	187	1	318	278
9	-5,5	-37,5	38,2	24,1	29,4	36,884	77	0,2359	0,0668	1,8491	14,8603	6,2	187	1	314	277
9	-5,0	-38,5	37,7	24,4	29,4	36,884	118	0,2364	0,0664	1,7277	14,5419	6,0	180	1	311	267
9	-5,0	-38,0	37,5	24,5	29,4	36,884	23	0,2357	0,0672	1,6854	14,4122	5,9	177	0	835	265
9	-5,0	-37,5	37,0	24,6	29,0	36,884	60	0,2311	0,0669	1,5878	14,1382	5,7	172	0	860	256
9	-4,5	-38,5	36,4	24,3	28,9	36,884	97	0,2303	0,0666	1,5196	13,9538	5,6	168	0	888	250
9	-4,5	-38,0	35,7	24,8	28,6	36,884	45	0,2273	0,0670	1,3606	13,4197	5,3	158	0	928	236
9	-4,5	-37,5	33,3	25,7	27,1	36,884	0	0,2099	0,0674	0,9118	11,5976	4,2	126	1	976	188
10	-6,0	-38,5	38,7	24,1	29,8	38,117	410	0,2411	0,0642	1,9362	15,7306	6,6	203	4	622	276

10	-5,5	-38,5	39,0	24,7	30,4	38,117	114	0,2481	0,0665	1,9480	15,7050	6,6	203	2	504	279
10	-5,5	-38,0	38,7	24,2	30,1	38,117	122	0,2443	0,0664	1,9236	15,6586	6,5	202	2	499	277
10	-5,5	-37,5	38,4	24,1	29,9	38,117	77	0,2419	0,0668	1,8880	15,5671	6,5	200	1	489	275
10	-5,0	-38,5	38,0	24,3	29,8	38,117	118	0,2415	0,0664	1,7989	15,3291	6,3	195	0	1013	269
10	-5,0	-38,0	37,7	24,4	29,8	38,117	23	0,2407	0,0672	1,7257	15,1101	6,1	191	0	1032	263
10	-5,0	-37,5	37,1	24,6	29,4	38,117	60	0,2363	0,0669	1,6022	14,7487	5,9	183	0	1056	253
10	-4,5	-38,5	36,8	24,2	29,3	38,117	97	0,2347	0,0666	1,5865	14,7250	5,9	182	0	1086	252
10	-4,5	-38,0	36,0	24,8	29,1	38,117	45	0,2324	0,0670	1,4048	14,1053	5,5	171	0	1101	236
10	-4,5	-37,5	33,4	25,7	27,4	38,117	0	0,2135	0,0674	0,9192	12,0759	4,4	135	1	821	185
11	-6,0	-38,5	38,8	24,8	29,8	37,950	410	0,2413	0,0642	1,8886	15,5031	6,4	193	14	705	266
11	-5,5	-38,5	39,2	25,3	30,5	37,950	114	0,2494	0,0665	1,9122	15,5116	6,5	194	7	699	274
11	-5,5	-38,0	38,8	24,9	30,2	37,950	122	0,2459	0,0664	1,8861	15,4574	6,4	193	6	689	274
11	-5,5	-37,5	38,6	24,8	30,0	37,950	77	0,2439	0,0668	1,8576	15,3816	6,4	191	5	1208	272
11	-5,0	-38,5	38,2	24,9	30,0	37,950	118	0,2430	0,0664	1,7773	15,1652	6,2	187	4	1222	267
11	-5,0	-38,0	37,9	25,1	29,9	37,950	23	0,2424	0,0672	1,7087	14,9562	6,1	183	3	1239	262
11	-5,0	-37,5	37,3	25,2	29,5	37,950	60	0,2379	0,0669	1,5873	14,5962	5,8	175	2	1269	253
11	-4,5	-38,5	37,0	24,7	29,4	37,950	97	0,2360	0,0666	1,5851	14,6164	5,9	176	2	1272	253
11	-4,5	-38,0	36,3	25,3	29,2	37,950	45	0,2340	0,0670	1,4125	14,0263	5,5	165	2	955	237
11	-4,5	-37,5	33,8	26,2	27,6	37,950	0	0,2157	0,0674	0,9271	12,0107	4,4	131	2	885	187
12	-6,0	-38,5	38,0	24,0	28,7	37,666	410	0,2277	0,0642	1,8150	15,1989	6,3	195	26	886	241
12	-5,5	-38,5	38,5	24,6	29,5	37,666	114	0,2377	0,0665	1,8544	15,2476	6,3	196	14	875	256
12	-5,5	-38,0	38,2	24,2	29,3	37,666	122	0,2354	0,0664	1,8396	15,2230	6,3	196	13	1394	256
12	-5,5	-37,5	38,0	24,1	29,3	37,666	77	0,2347	0,0668	1,8204	15,1702	6,3	195	11	1405	256
12	-5,0	-38,5	37,5	24,1	29,1	37,666	118	0,2331	0,0664	1,7257	14,9191	6,1	189	9	1419	251
12	-5,0	-38,0	37,3	24,4	29,2	37,666	23	0,2338	0,0672	1,6588	14,7114	6,0	185	8	1442	246
12	-5,0	-37,5	36,7	24,6	28,9	37,666	60	0,2304	0,0669	1,5373	14,3464	5,7	177	6	1446	238
12	-4,5	-38,5	36,3	24,0	28,6	37,666	97	0,2268	0,0666	1,5369	14,3786	5,7	178	8	1118	236
12	-4,5	-38,0	35,7	24,7	28,6	37,666	45	0,2265	0,0670	1,3670	13,7861	5,4	166	8	1013	221
12	-4,5	-37,5	33,4	25,8	27,4	37,666	0	0,2140	0,0674	0,9095	11,8572	4,3	133	9	1055	173

APÊNDICE E

Parâmetros especializados da equação de Penman-Monteith FAO, ETo, precipitação, PSMD e NHB (mm) – 2040 B2

Mês	LAT	LONG	Tmáx (°C)	Tmín (°C)	Tméd (°C)	Ra MJm ² d ⁻¹	Altitude (m)	Δ (kPa °C ⁻¹)	γ (kPa °C ⁻¹)	es-ea (kPa)	Rn MJm ² d ⁻¹	EToDia (mm)	ETomês (mm)	Prec. (mm)	PSMD (mm)	NHB
1	-6,0	-38,5	36,1	23,6	28,9	38,008	410	0,2301	0,0642	1,5372	14,5947	5,8	180	68,6	111	183
1	-5,5	-38,5	36,8	24,3	29,6	38,008	114	0,2381	0,0665	1,5881	14,6767	5,9	182	38,1	144	217
1	-5,5	-38,0	36,6	24,0	29,3	38,008	122	0,2352	0,0664	1,5864	14,6885	5,9	182	39,5	143	216
1	-5,5	-37,5	36,6	24,0	29,3	38,008	77	0,2348	0,0668	1,5838	14,6770	5,9	182	32,8	149	222
1	-5,0	-38,5	35,8	24,0	28,9	38,008	118	0,2303	0,0664	1,4374	14,2204	5,6	173	29,3	143	213
1	-5,0	-38,0	35,8	24,3	29,1	38,008	23	0,2321	0,0672	1,4178	14,1285	5,5	171	25,3	146	215
1	-5,0	-37,5	35,5	24,6	29,0	38,008	60	0,2318	0,0669	1,3428	13,8605	5,4	166	24,6	142	209
1	-4,5	-38,5	34,5	23,9	28,2	38,008	97	0,2221	0,0666	1,2542	13,5970	5,2	161	27,8	133	198
1	-4,5	-38,0	34,2	24,6	28,4	38,008	45	0,2248	0,0670	1,1428	13,1089	4,9	152	37,0	116	177
1	-4,5	-37,5	32,6	25,9	28,3	38,008	0	0,2230	0,0674	0,7887	11,3534	4,0	125	37,4	87	137
2	-6,0	-38,5	35,8	23,9	29,0	38,533	410	0,2315	0,0642	1,4600	14,5743	5,7	160	90,2	180	134
2	-5,5	-38,5	36,6	24,5	30,0	38,533	114	0,2434	0,0665	1,5366	14,7497	5,8	163	56,7	251	173
2	-5,5	-38,0	36,5	24,2	29,0	38,533	122	0,2315	0,0664	1,5412	14,7819	5,8	164	56,8	250	173
2	-5,5	-37,5	36,6	24,2	29,0	38,533	77	0,2315	0,0668	1,5705	14,8695	5,9	165	54,6	260	177
2	-5,0	-38,5	35,7	24,2	29,0	38,533	118	0,2315	0,0664	1,4108	14,3587	5,6	156	60,9	239	158
2	-5,0	-38,0	35,7	24,5	29,0	38,533	23	0,2315	0,0672	1,3862	14,2426	5,5	155	56,9	244	160
2	-5,0	-37,5	35,5	24,8	29,0	38,533	60	0,2315	0,0669	1,3290	14,0249	5,4	151	55,1	238	157
2	-4,5	-38,5	34,5	24,0	28,0	38,533	97	0,2201	0,0666	1,2401	13,7614	5,2	146	52,7	226	152
2	-4,5	-38,0	34,3	24,8	29,0	38,533	45	0,2315	0,0670	1,1437	13,3154	5,0	140	59,9	195	136
2	-4,5	-37,5	33,0	26,1	29,0	38,533	0	0,2315	0,0674	0,8188	11,6752	4,2	116	71,6	0	92
3	-6,0	-38,5	32,4	23,3	27,0	38,000	410	0,2092	0,0642	1,0031	12,6707	4,6	144	223,5	357	4
3	-5,5	-38,5	33,3	23,9	28,0	38,000	114	0,2201	0,0665	1,0722	12,8820	4,8	148	158,8	356	76
3	-5,5	-38,0	33,4	23,8	28,0	38,000	122	0,2201	0,0664	1,0904	12,9668	4,8	149	168,0	371	69
3	-5,5	-37,5	33,9	24,0	28,0	38,000	77	0,2201	0,0668	1,1509	13,1890	4,9	153	151,8	334	91
3	-5,0	-38,5	32,5	23,8	27,0	38,000	118	0,2092	0,0664	0,9777	12,4859	4,5	141	164,8	341	58
3	-5,0	-38,0	33,1	24,2	28,0	38,000	23	0,2201	0,0672	1,0104	12,5824	4,6	143	149,2	333	78
3	-5,0	-37,5	33,4	24,7	28,0	38,000	60	0,2201	0,0669	1,0134	12,5587	4,6	143	129,7	319	97

3	-4,5	-38,5	31,9	23,8	27,0	38,000	97	0,2092	0,0666	0,8977	12,1150	4,3	134	138,1	275	75
3	-4,5	-38,0	32,1	24,6	27,0	38,000	45	0,2092	0,0670	0,8483	11,7932	4,2	130	158,5	0	47
3	-4,5	-37,5	31,6	26,1	28,0	38,000	0	0,2201	0,0674	0,6393	10,4639	3,6	111	146,1	277	30
4	-6,0	-38,5	30,6	22,9	26,0	35,767	410	0,1987	0,0642	0,7981	10,9229	3,9	117	133,7	346	47
4	-5,5	-38,5	31,4	23,5	26,0	35,767	114	0,1987	0,0665	0,8546	11,1127	4,0	120	89,4	352	97
4	-5,5	-38,0	31,6	23,4	27,0	35,767	122	0,2092	0,0664	0,8765	11,2134	4,1	122	112,4	336	77
4	-5,5	-37,5	32,5	23,7	27,0	35,767	77	0,2092	0,0668	0,9712	11,5936	4,3	129	104,6	317	95
4	-5,0	-38,5	30,9	23,5	26,0	35,767	118	0,1987	0,0664	0,7896	10,8077	3,8	115	110,8	327	68
4	-5,0	-38,0	31,5	24,0	27,0	35,767	23	0,2092	0,0672	0,8285	10,9444	3,9	118	106,1	333	77
4	-5,0	-37,5	32,2	24,5	27,0	35,767	60	0,2092	0,0669	0,8688	11,0904	4,0	121	101,6	271	86
4	-4,5	-38,5	30,8	23,8	26,0	35,767	97	0,1987	0,0666	0,7459	10,5636	3,7	112	91,5	0	81
4	-4,5	-38,0	31,1	24,6	27,0	35,767	45	0,2092	0,0670	0,7117	10,3119	3,6	109	107,3	0	61
4	-4,5	-37,5	31,3	26,1	28,0	35,767	0	0,2201	0,0674	0,5939	9,5064	3,3	98	100,7	329	52
5	-6,0	-38,5	33,0	23,5	27,0	32,992	410	0,2092	0,0642	1,0680	10,9084	4,2	131	65,8	383	118
5	-5,5	-38,5	34,1	24,4	28,0	32,992	114	0,2201	0,0665	1,1493	11,1121	4,4	136	51,4	346	139
5	-5,5	-38,0	34,2	24,3	28,0	32,992	122	0,2201	0,0664	1,1738	11,1974	4,4	138	55,7	341	137
5	-5,5	-37,5	34,7	24,4	29,0	32,992	77	0,2315	0,0668	1,2441	11,4072	4,6	142	50,6	332	148
5	-5,0	-38,5	33,4	24,3	28,0	32,992	118	0,2201	0,0664	1,0476	10,7733	4,2	129	57,2	345	124
5	-5,0	-38,0	33,9	24,7	28,0	32,992	23	0,2201	0,0672	1,0911	10,8976	4,3	132	53,1	0	132
5	-5,0	-37,5	34,3	25,1	29,0	32,992	60	0,2315	0,0669	1,1097	10,9504	4,3	133	53,0	0	134
5	-4,5	-38,5	32,9	24,4	28,0	32,992	97	0,2201	0,0666	0,9756	10,5086	4,0	124	48,2	0	126
5	-4,5	-38,0	33,3	25,2	28,0	32,992	45	0,2201	0,0670	0,9537	10,3808	4,0	122	53,9	326	118
5	-4,5	-37,5	32,8	26,4	29,0	32,992	0	0,2315	0,0674	0,7590	9,4869	3,5	108	65,6	448	86
6	-6,0	-38,5	34,0	23,3	28,0	31,276	410	0,2201	0,0642	1,2349	10,7159	4,4	131	23,3	430	161
6	-5,5	-38,5	35,1	24,3	29,0	31,276	114	0,2315	0,0665	1,3109	10,8741	4,5	135	18,0	423	172
6	-5,5	-38,0	35,2	24,0	29,0	31,276	122	0,2315	0,0664	1,3474	10,9750	4,6	137	15,5	423	177
6	-5,5	-37,5	35,5	24,0	29,0	31,276	77	0,2315	0,0668	1,4065	11,1209	4,7	141	12,9	417	184
6	-5,0	-38,5	34,4	24,3	28,0	31,276	118	0,2201	0,0664	1,2083	10,5896	4,3	129	17,4	0	164
6	-5,0	-38,0	34,9	24,5	29,0	31,276	23	0,2315	0,0672	1,2571	10,7144	4,4	132	14,0	0	171
6	-5,0	-37,5	35,0	24,7	29,0	31,276	60	0,2315	0,0669	1,2556	10,7102	4,4	132	15,5	0	170
6	-4,5	-38,5	34,0	24,5	28,0	31,276	97	0,2201	0,0666	1,1297	10,3491	4,2	125	15,3	0	160
6	-4,5	-38,0	34,1	25,1	29,0	31,276	45	0,2315	0,0670	1,0865	10,1936	4,1	122	18,7	491	152

6	-4,5	-37,5	33,1	26,1	29,0	31,276	0	0,2315	0,0674	0,8401	9,2743	3,5	106	14,1	538	134
7	-6,0	-38,5	35,2	23,0	28,0	31,834	410	0,2201	0,0642	1,4344	11,4897	4,8	150	10,2	540	226
7	-5,5	-38,5	36,3	24,1	29,0	31,834	114	0,2315	0,0665	1,5202	11,6562	5,0	154	8,3	545	235
7	-5,5	-38,0	36,3	23,6	29,0	31,834	122	0,2315	0,0664	1,5551	11,7409	5,0	156	6,8	544	240
7	-5,5	-37,5	36,3	23,4	29,0	31,834	77	0,2315	0,0668	1,5766	11,7853	5,1	157	5,9	112	242
7	-5,0	-38,5	35,7	24,1	29,0	31,834	118	0,2315	0,0664	1,4265	11,4243	4,8	149	5,8	0	229
7	-5,0	-38,0	35,9	24,1	29,0	31,834	23	0,2315	0,0672	1,4524	11,4791	4,8	150	5,1	0	232
7	-5,0	-37,5	35,6	24,1	29,0	31,834	60	0,2315	0,0669	1,3988	11,3463	4,7	147	5,0	0	227
7	-4,5	-38,5	35,0	24,2	29,0	31,834	97	0,2315	0,0666	1,3106	11,1138	4,6	142	4,4	594	220
7	-4,5	-38,0	34,7	24,6	29,0	31,834	45	0,2315	0,0670	1,2221	10,8481	4,4	136	5,4	630	210
7	-4,5	-37,5	33,1	25,4	28,0	31,834	0	0,2201	0,0674	0,9086	9,7674	3,7	116	3,7	679	179
8	-6,0	-38,5	36,5	23,3	29,0	34,251	410	0,2315	0,0642	1,6179	13,0689	5,5	169	2,4	690	261
8	-5,5	-38,5	37,3	24,1	30,0	34,251	114	0,2434	0,0665	1,6810	13,1737	5,6	172	1,2	693	267
8	-5,5	-38,0	37,2	23,7	29,0	34,251	122	0,2315	0,0664	1,7070	13,2440	5,6	174	1,1	263	270
8	-5,5	-37,5	37,2	23,5	29,0	34,251	77	0,2315	0,0668	1,7184	13,2674	5,6	175	0,7	143	271
8	-5,0	-38,5	36,7	24,0	29,0	34,251	118	0,2315	0,0664	1,5936	12,9568	5,4	168	0,5	145	260
8	-5,0	-38,0	36,7	24,1	29,0	34,251	23	0,2315	0,0672	1,5804	12,9102	5,4	167	0,5	142	259
8	-5,0	-37,5	36,2	24,1	29,0	34,251	60	0,2315	0,0669	1,5008	12,7019	5,2	162	0,7	731	251
8	-4,5	-38,5	35,8	24,1	29,0	34,251	97	0,2315	0,0666	1,4333	12,5213	5,1	158	0,4	761	246
8	-4,5	-38,0	35,2	24,5	29,0	34,251	45	0,2315	0,0670	1,3041	12,1185	4,8	150	0,5	791	233
8	-4,5	-37,5	33,1	25,3	28,0	34,251	0	0,2201	0,0674	0,9095	10,6549	4,0	123	1,1	857	190
9	-6,0	-38,5	37,7	23,5	30,0	36,884	410	0,2434	0,0642	1,8041	14,8056	6,1	184	3,8	864	271
9	-5,5	-38,5	38,1	24,1	30,0	36,884	114	0,2434	0,0665	1,8280	14,8118	6,2	185	1,8	436	275
9	-5,5	-38,0	37,8	23,7	30,0	36,884	122	0,2434	0,0664	1,8170	14,7965	6,2	185	1,5	317	274
9	-5,5	-37,5	37,6	23,5	30,0	36,884	77	0,2434	0,0668	1,7966	14,7434	6,1	184	1,1	312	273
9	-5,0	-38,5	37,2	23,7	29,0	36,884	118	0,2315	0,0664	1,6960	14,4789	5,9	178	0,7	308	265
9	-5,0	-38,0	36,9	23,9	29,0	36,884	23	0,2315	0,0672	1,6431	14,3179	5,8	175	0,4	892	261
9	-5,0	-37,5	36,4	24,0	29,0	36,884	60	0,2315	0,0669	1,5379	14,0173	5,6	169	0,5	918	252
9	-4,5	-38,5	35,9	23,7	29,0	36,884	97	0,2315	0,0666	1,4933	13,9023	5,6	167	0,3	941	248
9	-4,5	-38,0	35,2	24,2	29,0	36,884	45	0,2315	0,0670	1,3341	13,3624	5,2	157	0,2	979	233
9	-4,5	-37,5	32,8	25,2	28,0	36,884	0	0,2201	0,0674	0,8873	11,5244	4,2	125	1,2	1045	186
10	-6,0	-38,5	38,5	23,9	30,0	38,117	410	0,2434	0,0642	1,9193	15,6964	6,5	202	3,8	620	275

10	-5,5	-38,5	38,9	24,5	31,0	38,117	114	0,2558	0,0665	1,9465	15,7083	6,5	203	1,8	500	278
10	-5,5	-38,0	38,6	24,0	30,0	38,117	122	0,2434	0,0664	1,9298	15,6822	6,5	202	1,6	495	278
10	-5,5	-37,5	38,4	23,8	30,0	38,117	77	0,2434	0,0668	1,9015	15,6099	6,5	201	1,1	486	276
10	-5,0	-38,5	38,0	24,1	30,0	38,117	118	0,2434	0,0664	1,8057	15,3565	6,3	195	0,5	1067	269
10	-5,0	-38,0	37,7	24,2	30,0	38,117	23	0,2434	0,0672	1,7426	15,1686	6,2	192	0,4	1087	264
10	-5,0	-37,5	37,0	24,3	30,0	38,117	60	0,2434	0,0669	1,6270	14,8371	6,0	185	0,4	1107	255
10	-4,5	-38,5	36,7	24,0	29,0	38,117	97	0,2315	0,0666	1,5956	14,7654	5,9	183	0,2	1135	253
10	-4,5	-38,0	36,0	24,5	29,0	38,117	45	0,2315	0,0670	1,4279	14,2010	5,6	172	0,2	1169	238
10	-4,5	-37,5	33,4	25,4	28,0	38,117	0	0,2201	0,0674	0,9491	12,2463	4,4	138	0,8	818	190
11	-6,0	-38,5	38,4	24,1	30,0	37,950	410	0,2434	0,0642	1,8711	15,4804	6,4	192	17,5	701	262
11	-5,5	-38,5	38,8	24,8	31,0	37,950	114	0,2558	0,0665	1,8933	15,4798	6,4	193	8,1	696	272
11	-5,5	-38,0	38,5	24,3	30,0	37,950	122	0,2434	0,0664	1,8839	15,4709	6,4	193	7,2	686	272
11	-5,5	-37,5	38,3	24,2	30,0	37,950	77	0,2434	0,0668	1,8628	15,4158	6,4	192	5,6	1262	272
11	-5,0	-38,5	37,8	24,4	30,0	37,950	118	0,2434	0,0664	1,7543	15,1230	6,2	185	3,7	1278	265
11	-5,0	-38,0	37,6	24,5	30,0	37,950	23	0,2434	0,0672	1,6984	14,9502	6,1	182	2,6	1292	262
11	-5,0	-37,5	37,0	24,6	30,0	37,950	60	0,2434	0,0669	1,5865	14,6217	5,9	176	2,1	1318	253
11	-4,5	-38,5	36,6	24,2	29,0	37,950	97	0,2315	0,0666	1,5542	14,5483	5,8	174	2,4	1341	250
11	-4,5	-38,0	35,9	24,8	29,0	37,950	45	0,2315	0,0670	1,3920	13,9880	5,5	164	1,9	955	236
11	-4,5	-37,5	33,4	25,7	29,0	37,950	0	0,2315	0,0674	0,9231	12,0332	4,4	131	2,1	876	188
12	-6,0	-38,5	37,5	23,9	30,0	37,666	410	0,2434	0,0642	1,7418	15,0096	6,1	190	26,8	880	234
12	-5,5	-38,5	38,0	24,4	30,0	37,666	114	0,2434	0,0665	1,7905	15,0836	6,2	193	14,0	871	250
12	-5,5	-38,0	37,8	24,0	30,0	37,666	122	0,2434	0,0664	1,7780	15,0651	6,2	192	13,1	1448	250
12	-5,5	-37,5	37,6	23,9	30,0	37,666	77	0,2434	0,0668	1,7620	15,0203	6,2	191	11,0	1460	251
12	-5,0	-38,5	37,1	24,0	30,0	37,666	118	0,2434	0,0664	1,6673	14,7619	6,0	185	9,6	1471	245
12	-5,0	-38,0	36,9	24,2	30,0	37,666	23	0,2434	0,0672	1,6072	14,5689	5,9	182	7,7	1492	242
12	-5,0	-37,5	36,3	24,4	29,0	37,666	60	0,2315	0,0669	1,4943	14,2201	5,6	175	6,2	1513	234
12	-4,5	-38,5	35,9	23,9	29,0	37,666	97	0,2315	0,0666	1,4753	14,1945	5,6	174	8,9	1117	230
12	-4,5	-38,0	35,3	24,6	29,0	37,666	45	0,2315	0,0670	1,3142	13,6113	5,3	163	8,9	1005	215
12	-4,5	-37,5	33,1	25,7	28,0	37,666	0	0,2201	0,0674	0,8811	11,7328	4,2	131	11,6	1044	168

APÊNDICE F

Programa para Cálculo dos Parâmetros Especializados da ET_o PM

```

/#####Parâmetros da  $ET_o$ PM especializados #####*/
/* Importação dos dados */
proc import out=d1
    datafile="e:\TmaxMinMedBase.xls"
    dbms=Excel replace;
    getnames=yes;
/* Impressão dos dados */
proc print data=d1;
var m      LAT  LONG Tmax Tmin Tmed  Ra  Altitude;
run;
/* Calculo da  $Eto$  - média diária e total mensal */
data d2;
set d1;
G=0; /*suposição do modelo simplificado*/
Expoente=(Tmed*17.27)/(Tmed+237.3);
Num=4098*(0.6108*exp(Expoente));
Den=(Tmed+237.3)**2;
SlopeP=Num/Den;
PA=101.3*((293-0.0065*Altitude)/293)**5.26;
CPSIC=0.000665*PA;
ea=0.6108*exp((17.27*Tmin)/(Tmin+237.3));
etmax=0.6108*exp((17.27*Tmax)/(Tmax+237.3));
es=mean(ea, etmax);
es_ea=es-ea;
Rs=0.17*((tmax-tmin)**0.5)*Ra;
Rso=(0.75+2*(Altitude)/100000)*Ra;
RazaoR=Rs/Rso;
Rns=(1-0.23)*Rs;
Termotmax=(tmax+273.16)**4;
Termotmin=(tmin+273.16)**4;
Termo1Rn1=4.903*(10**(-9))*(Termotmax+Termotmin)/2;
Termo2Rn1=0.34-0.14*(ea**0.5);
Termo3Rn1=1.35*RazaoR-0.35;
Rn1=Termo1Rn1*Termo2Rn1*Termo3Rn1;
Rn=Rns-Rn1;
Termo1ETo=0.408*SlopeP*(Rn-G);
Termo2ETo=CPSIC*(900/(Tmed+273))*2*(es_ea);
EToDia=(Termo1ETo+Termo2ETo)/(SlopeP+CPSIC*(1+0.34*2));
run;

```

```

proc print data=d2;
by m;
var lat long m ETodia;
run;
/*Inclusão da variável no. de dias em cada mês para calculo
da ETo mensal */
data d3;
set d2;
if m in(4,6,9,11) then ndias=30;
if m in(2) then ndias=28;
if m in(1,3,5,7,8,10,12) then ndias=31;
ETomes=ETodia*ndias;
keep lat long m altitude Ra Rn CPSIC tmax tmin tmed es_ea
slopep ETodia ETomes;
run;
proc print data=d3;
by m;
var lat long m altitude Ra Rn CPSIC tmax tmin tmed es_ea
slopep ETodia ETomes;
run;
/* Exportação dos dados para um arquivo Excel */
proc export data=d3
outfile="C:\Rubens\EToPMLD\EToBasePixel.xls"
dbms=Excel replace;
run;
/* Exportação dos dados para um arquivo DBF */
proc export data=d3
outfile="C:\Rubens\EToPMLD\EToBasePixel.dbf"
dbms=DBF replace;
run;
* Janeiro;
data d3jan;
set d3;
where m=1;
proc export data=d3
outfile="C:\Rubens\EToPMLD\EToBasePixeljan.dbf"
dbms=DBF replace;
run;
* Fev;
data d3fev;
set d3;
where m=2;

```

```
proc export data=d3
outfile="C:\Rubens\EToPMLD\EToBasePixelfev.dbf"
dbms=DBF replace;
run;
* Mar;
data d3mar;
set d3;
where m=3;
proc export data=d3
outfile="C:\Rubens\EToPMLD\EToBasePixelmar.dbf"
dbms=DBF replace;
run;
* Abr;
data d3abr;
set d3;
where m=4;
proc export data=d3
outfile="C:\Rubens\EToPMLD\EToBasePixelabr.dbf"
dbms=DBF replace;
run;
* mai;
data d3mai;
set d3;
where m=5;
proc export data=d3
outfile="C:\Rubens\EToPMLD\EToBasePixelmai.dbf"
dbms=DBF replace;
run;
* jun;
data d3jun;
set d3;
where m=6;
proc export data=d3
outfile="C:\Rubens\EToPMLD\EToBasePixeljun.dbf"
dbms=DBF replace;
run;
* jul;
data d3jul;
set d3;
where m=7;
proc export data=d3
outfile="C:\Rubens\EToPMLD\EToBasePixeljul.dbf"
```

```
dbms=DBF replace;
run;
*ago;
data d3ago;
set d3;
where m=8;
proc export data=d3
outfile="C:\Rubens\EToPMLD\EToBasePixelago.dbf"
dbms=DBF replace;
run;
*set;
data d3set;
set d3;
where m=9;
proc export data=d3
outfile="C:\Rubens\EToPMLD\EToBasePixelset.dbf"
dbms=DBF replace;
run;
*out;
data d3out;
set d3;
where m=10;
proc export data=d3
outfile="C:\Rubens\EToPMLD\EToBasePixelout.dbf"
dbms=DBF replace;
run;
*nov;
data d3nov;
set d3;
where m=11;
proc export data=d3
outfile="C:\Rubens\EToPMLD\EToBasePixelnov.dbf"
dbms=DBF replace;
run;
*dez;
data d3dez;
set d3;
where m=12;
proc export data=d3
outfile="C:\Rubens\EToPMLD\EToBasePixeldez.dbf"
dbms=DBF replace;
run;
```

APÊNDICE G
Programa para análise de sensibilidade algébrica
NHB - eficiência de aplicação

```

/* Descrição das variáveis
NHL: necessidade hídrica líquida
NHB: necessidade hídrica bruta
ETo: evapotranspiração de referência
Kc: coeficiente de cultura
Ef: eficiência de irrigação
PPT
ETo=((e*0,134*f)+(g*h))/(c+0,11)
NHL=ETo*Kc*fc-PPT
NHB=NHL/Ef
*/
/* Importação do arquivo com as informações sobre Ra temperatura max e min e precipitação médias mensais - climatologia e cenários A1 e B2*/
proc import out=d1
datafile="f:\AnáliseSensibilidadeEToPM\info mensais - temperaturamax min e chuva.xls"
    dbms=excel replace;
    getnames=yes;
run;
proc print data=d1;
run;

/* Importação do arquivo com as informações sobre área plantada com cada cultura, sistema de irrigação e coeficiente de cultura em cada mês */
proc import out=info
datafile=
"f:\AnáliseSensibilidadeEToPM\dadosparacalculonhbpm.xls"
    dbms=excel replace;
    getnames=yes;
run;
proc print data=info;
run;
data d2;
merge d1 info;
by mes;
if area=. then kc=.;

```

```
drop eto;
run;
proc print data=d2;
run;

/* Calculo da area da area irrigada por mes (todas as cultu-
ras, independente do sistema)
para uso no calculo do Kc de cada cultura,ponderado pela
fração da área ocupada pela
cultura em cada mes */
proc sort data=d2;
by mes;
proc means data=d2 noprint;
by mes;
var area;
output out=area sum=areatotal;
proc print data=area;
run;
proc sort data=d2;
by mes cultura;
proc means data=d2 noprint;
by mes cultura;
var area kc;
output out=mescult mean= areamean kc sum=areacult kcsun;
proc print data=mescult;
var mes cultura areacult kc;
run;

/* Calculo do Kc ponderado pela area de cada cultura em cada
mes */
proc sort data=mescult;by mes;
proc sort data=area;by mes;
data d3;
merge mescult area;
by mes;
fator=areacult/areatotal;
KcPond=Kc*fator;
keep mes cultura areacult areatotal kc fator kcpond;
proc print data=d3;
```

```

*where mes=3;
run;
proc means data=d3 noprint;
by mes;
var kcpond;
output out=d4 sum= kcpond;
data kcpond;
set d4;
keep mes kcpond;
run;
proc print data=kcpond;
run;

#####Calculo da eficiencia ponderada #####;
/* Calculo da area irrigada por mes, para cada sistema de
irrigação
para uso no calculo da eficiencia de aplicação (ea) pondera-
da para cada mes */
proc sort data=d2;
by mes sistema;
run;
proc print data=d2;
by mes sistema;
run;

proc means data=d2 noprint;
by mes sistema;
var area ea ppt ra tmax tmin;
output out=sistema mean=areamean ea ppt ra tmax tmin
sum=areasist easum pptsum rasum tmaxsum tminsum;
run;
data sistema1;
set sistema;
keep mes sistema areasist ea ppt ra tmax tmin;
run;
proc print data=sistema1;
var mes sistema areasist ea ppt ra tmax tmin;
run;

```

```

proc sort data=sistema;by mes;
proc sort data=area; by mes;

data d5;
merge sistema area;
by mes;
ef=ea/100;
efpond=ef*(areasist/areatotal);
keep mes sistema ea tmin tmax ra ppt efpond kcpond;
proc print data=d5;
run;

proc means data=d5 noprint;
by mes;
var ppt efpond ra tmin tmax;
output out=efpond mean=ppt efpondmean ra tmin tmax sum=
pptsum efpond rasum tminsum tmaxsum;
run;
proc print data=efpond;
var mes ppt efpond ra tmin tmax;
run;

data d6;
merge kcpond efpond;
by mes;
keep mes ppt ra tmin tmax kcpond efpond;
run;
proc print data=d6;
run;

* Sensibilidade algebrica - temperatura max;

data d7;
set d6;
tmed=(tmax+tmin)/2;
b=(tmed*17.27)/(tmed+237.3);
i=4098*(0.6108*exp(b));
j=(tmed+237.2)**2;
Altitude=30;
Rs=0.17*((tmax-tmin)**0.5)*Ra;
Rso=(0.75+2*(Altitude)/100000)*Ra;
RazaoR=Rs/Rso;

```

```

Rns=(1-0.23)*Rs;
ea=0.6108*exp((17.27*Tmin)/(Tmin+237.3));
Termotmax=(tmax+273.16)**4;
Termotmin=(tmin+273.16)**4;
Termo1Rn1=4.903*(10**(-9))*(Termotmax+Termotmin)/2;
Termo2Rn1=0.34-0.14*(ea**0.5);
Termo3Rn1=1.35*RazaoR-0.35;
Rn1=Termo1Rn1*Termo2Rn1*Termo3Rn1;
Rn=Rns-Rn1;
f=Rn;
g=900/(tmed+273);
etmax=0.6108*exp((17.27*tmax)/(tmax+237.3));
es=mean(ea, etmax);
h=es-ea;
c= i/j;
e=0.408*c;
Termo1ETo=e*f;
Termo2ETo=0.134*g*h;
Termo3ETo=c+0.11;
EToPM=(Termo1ETo+Termo2ETo)/Termo3ETo*30;
nhb=((1/efpond)*EToPM*kcpond)-ppt;
keep mes ppt ra tmin tmax kcpond efpond EToPM nhb;
run;
proc print data=d7;
title 'Sensibilidade algebrica - temperatura max';
run;
proc means data=d7 min max;
var tmax;
run;
data d8;
set d7;
do tmaxsim=28.5 to 37.6 by 0.5;
tminsim=23;
tmedsim=(tmaxsim+tminsim)/2;
Altitude=30;
bsim=(tmedsim*17.27)/(tmedsim+237.3);
isim=4098*(0.6108*exp(bsim));
jsim=(tmedsim+237.2)**2;
Rssim=0.17*((tmaxsim-tminsim)**0.5)*Ra;
Rso=(0.75+2*(Altitude)/100000)*Ra;
RazaoRsim=Rssim/Rso;
Rns=(1-0.23)*Rssim;

```

```

easim=0.6108*exp((17.27*Tminsim)/(Tminsim+237.3));
Termotmaxsim=(tmaxsim+273.16)**4;
Termotminsim=(tminsim+273.16)**4;
Termo1Rnlsim=4.903*(10**(-9))*(Termotmaxsim+Termotminsim)/2;
Termo2Rnlsim=0.34-0.14*(easim**0.5);
Termo3Rnlsim=1.35*RazaoRsim-0.35;
Rnlsim=Termo1Rnlsim*Termo2Rnlsim*Termo3Rnlsim;
Rnsim=Rns-Rnlsim;
fsim=Rnsim;
gsim=900/(tmedsim+273);
etmaxsim=0.6108*exp((17.27*tmaxsim)/(tmaxsim+237.3));
essim=mean(easim, etmaxsim);
hsim=essim-easim;
csim= isim/jsim;
esim=0.408*csim;
Termo1ETosim=esim*fsim;
Termo2ETosim=0.134*gsim*hsim;
Termo3ETosim=csim+0.11;
EToPmsim=(Termo1ETosim+Termo2ETosim)/Termo3ETosim*30;
nhbsim=((1/efpond)*EToPmsim*kcpond)-ppt;
keep mes EToPmsim tmaxsim nhbsim;
output;
end;

proc print data=d8;
run;
proc plot data=d8 hpercent=70 vpercent=70;
plot nhbsim*tmaxsim='*';
by mes;
run;
proc means data=d8 min max;
var tmaxsim nhbsim;
run;

* calculo do coeficientes de sensibilidade;
proc reg data=d8;
by mes;
model nhbsim=tmaxsim;
ods output ParameterEstimates=coef;
run;

```

```

proc print data=coef;
run;
data coef2;
set coef;
coefsens=estimate;
where Variable='tmaxsim';
keep mes coefsens;
run;
proc print data=coef2;
run;
proc export data=coef2
outfile="f:\AnaliseSensibilidadeEToPM\coefsensTMAX.xls"
dbms=excel;
run;

```

* Gráfico de NHB em função da temperatura;

```

data d9;
set d8;
label nhbsim='Necessidade hídrica bruta (mm)';
label tmaxsim= 'Tmax (oC)';
goptions reset=global gunit=pct
          ftext='Tahoma' htext=4;
symbol interpol=lr cv=red width=3 value=none height=1.5;
axis1 label=(angle=90 ) minor=none offset=(2,2) order=-50
to 300 by 50 length=70;
axis2 order=28.5 to 37.5 by 1 minor=none length=60;

proc gplot data=d9;
by mes;
plot nhbsim*tmaxsim/haxis=axis2 vaxis=axis1;
run;

```

APÊNDICE H

Programa para análise de sensibilidade algébrica NHB - $T_{MÁX}$.

```

/* Descrição das variáveis
NHL: necessidade hídrica líquida
NHB: necessidade hídrica bruta
ETo: evapotranspiração de referência
Kc: coeficiente de cultura
Ef: eficiência de irrigação
PPT
ETo=((e*0,134*f)+(g*h))/(c+0,11)
NHL=ETo*Kc*fc-PPT
NHB=NHL/Ef*/

/* Importação do arquivo com as informações sobre Ra tempe-
ratura max e min e precipitação médias mensais
- climatologia e cenários A1 e B2*/
proc import out=d1
datafile="f:\AnaliseSensibilidadeEToPM\info mensais - tem-
peraturamax min e chuva.xls"
    dbms=excel replace;
    getnames=yes;
run;
proc print data=d1;
run;

/* Importação do arquivo com as informações sobre área plan-
tada com cada cultura, sistema de irrigação e
coeficiente de cultura em cada mês */
proc import out=info
datafile=
"f:\AnaliseSensibilidadeEToPM\dadosparacalculonhbpm.xls"
    dbms=excel replace;
    getnames=yes;
run;
proc print data=info;
run;
data d2;
merge d1 info;
by mes;
if area=. then kc=.;

```

```

drop eto;
run;
proc print data=d2;
run;

/* Calculo da area da area irrigada por mes (todas as cultu-
ras, independente do sistema)
para uso no calculo do Kc de cada cultura,ponderado pela
fração da área ocupada pela
cultura em cada mes */
proc sort data=d2;
by mes;
proc means data=d2 noprint;
by mes;
var area;
output out=area sum=areatotal;
proc print data=area;
run;
proc sort data=d2;
by mes cultura;
proc means data=d2 noprint;
by mes cultura;
var area kc;
output out=mescult mean= areamean kc sum=areacult kcsun;
proc print data=mescult;
var mes cultura areacult kc;
run;

/* Calculo do Kc ponderado pela area de cada cultura em cada
mes */
proc sort data=mescult;by mes;
proc sort data=area;by mes;
data d3;
merge mescult area;
by mes;
fator=areacult/areatotal;
KcPond=Kc*fator;
keep mes cultura areacult areatotal kc fator kcpond;
proc print data=d3;

*where mes=3;

```

```

run;

proc means data=d3 noprint;
by mes;
var kcpond;
output out=d4 sum= kcpond;
data kcpond;
set d4;
keep mes kcpond;
run;
proc print data=kcpond;
run;

#####Calculo da eficiencia ponderada #####;

/* Calculo da area irrigada por mes, para cada sistema de
irrigação
para uso no calculo da eficiencia de aplicação (ea) pondera-
da para cada mes */
proc sort data=d2;
by mes sistema;
run;
proc print data=d2;
by mes sistema;
run;

proc means data=d2 noprint;
by mes sistema;
var area ea ppt ra tmax tmin;
output out=sistema mean=areamean ea ppt ra tmax tmin
sum=areasist easum pptsum rasum tmaxsum tminsum;
run;

data sistema1;
set sistema;
keep mes sistema areasist ea ppt ra tmax tmin;
run;
proc print data=sistema1;
var mes sistema areasist ea ppt ra tmax tmin;
run;
proc sort data=sistema;by mes;

```

```

proc sort data=area; by mes;
data d5;
merge sistema area;
by mes;
ef=ea/100;
efpond=ef*(areasist/areatotal);
keep mes sistema ea tmin tmax ra ppt efpond kcpond;
proc print data=d5;
run;
proc means data=d5 noprint;
by mes;
var ppt efpond ra tmin tmax;
output out=efpond mean=ppt efpondmean ra tmin tmax sum=
pptsum efpond rasum tminsum tmaxsum;
run;
proc print data=efpond;
var mes ppt efpond ra tmin tmax;
run;
data d6;
merge kcpond efpond;
by mes;
keep mes ppt ra tmin tmax kcpond efpond;
run;
proc print data=d6;
run;

* Sensibilidade algebrica - temperatura max;
data d7;
set d6;
tmed=(tmax+tmin)/2;
b=(tmed*17.27)/(tmed+237.3);
i=4098*(0.6108*exp(b));
j=(tmed+237.2)**2;
Altitude=30;
Rs=0.17*((tmax-tmin)**0.5)*Ra;
Rso=(0.75+2*(Altitude)/100000)*Ra;
RazaoR=Rs/Rso;
Rns=(1-0.23)*Rs;

```

```

ea=0.6108*exp((17.27*Tmin)/(Tmin+237.3));
Termotmax=(tmax+273.16)**4;
Termotmin=(tmin+273.16)**4;
Termo1Rn1=4.903*(10**(-9))*(Termotmax+Termotmin)/2;
Termo2Rn1=0.34-0.14*(ea**0.5);
Termo3Rn1=1.35*RazaoR-0.35;
Rn1=Termo1Rn1*Termo2Rn1*Termo3Rn1;
Rn=Rns-Rn1;
f=Rn;
g=900/(tmed+273);
etmax=0.6108*exp((17.27*tmax)/(tmax+237.3));
es=mean(ea, etmax);
h=es-ea;
c= i/j;
e=0.408*c;
Termo1ETo=e*f;
Termo2ETo=0.134*g*h;
Termo3ETo=c+0.11;
EToPM=(Termo1ETo+Termo2ETo)/Termo3ETo*30;
nhb=((1/efpond)*EToPM*kcpond)-ppt;
keep mes ppt ra tmin tmax kcpond efpond EToPM nhb;
run;
proc print data=d7;
title 'Sensibilidade algebraica - temperatura max';
run;
proc means data=d7 min max;
var tmax;
run;
data d8;
set d7;
do tmaxsim=28.5 to 37.6 by 0.5;
tminsim=23;
tmedsim=(tmaxsim+tminsim)/2;
Altitude=30;
bsim=(tmedsim*17.27)/(tmedsim+237.3);
isim=4098*(0.6108*exp(bsim));
jsim=(tmedsim+237.2)**2;
Rssim=0.17*((tmaxsim-tminsim)**0.5)*Ra;
Rso=(0.75+2*(Altitude)/100000)*Ra;

RazaoRsim=Rssim/Rso;

```

```

Rns=(1-0.23)*Rssim;
easim=0.6108*exp((17.27*Tminsim)/(Tminsim+237.3));
Termotmaxsim=(tmaxsim+273.16)**4;
Termotminsim=(tminsim+273.16)**4;
Termo1Rnlsim=4.903*(10**(-9))*(Termotmaxsim+Termotminsim)/2;
Termo2Rnlsim=0.34-0.14*(easim**0.5);
Termo3Rnlsim=1.35*RazaoRsim-0.35;
Rnlsim=Termo1Rnlsim*Termo2Rnlsim*Termo3Rnlsim;
Rnsim=Rns-Rnlsim;
fsim=Rnsim;
gsim=900/(tmedsim+273);
etmaxsim=0.6108*exp((17.27*tmaxsim)/(tmaxsim+237.3));
essim=mean(easim, etmaxsim);
hsim=essim-easim;
csim= isim/jsim;
esim=0.408*csim;
Termo1ETosim=esim*fsim;
Termo2ETosim=0.134*gsim*hsim;
Termo3ETosim=csim+0.11;
EToPsim=(Termo1ETosim+Termo2ETosim)/Termo3ETosim*30;
nhbsim=((1/efpond)*EToPsim*kcpond)-ppt;
keep mes EToPsim tmaxsim nhbsim;
output;
end;
proc print data=d8;
run;
proc plot data=d8 hpercent=70 vpercent=70;
plot nhbsim*tmaxsim='*';
by mes;
run;
proc means data=d8 min max;
var tmaxsim nhbsim;
run;
* calculo do coeficientes de sensibilidade;
proc reg data=d8;
by mes;
model nhbsim=tmaxsim;
ods output ParameterEstimates=coef;
run;
proc print data=coef;
run;
data coef2;

```

```
set coef;
coefsens=estimate;
where Variable='tmaxsim';
keep mes coefsens;
run;
proc print data=coef2;
run;
proc export data=coef2
outfile="f:\AnaliseSensibilidadeEToPM\coefsensTMAX.xls"
dbms=excel;
run;

* Gráfico de NHB em função da temperatura;
data d9;
set d8;
label nhbsim='Necessidade hídrica bruta (mm)';
label tmaxsim= 'Tmax (oC)';
goptions reset=global gunit=pct
          ftext='Tahoma' htext=4;
symbol interpol=lr cv=red width=3 value=none height=1.5;

axis1 label=(angle=90 ) minor=none offset=(2,2) order=-50
to 300 by 50 length=70;
axis2 order=28.5 to 37.5 by 1 minor=none length=60;

proc gplot data=d9;
by mes;
plot nhbsim*tmaxsim/haxis=axis2 vaxis=axis1;
run;
```

APÊNDICE I

Programa para análise de sensibilidade algébrica NHB – T_{mín}

```

/* Descrição das variáveis
NHL: necessidade hídrica líquida
NHB: necessidade hídrica bruta
ETo: evapotranspiração de referência
Kc: coeficiente de cultura
Ef: eficiência de irrigação
PPT
ETo=((e*0,134*f)+(g*h))/(c+0,11)
NHL=ETo*Kc*fc-PPT
NHB=NHL/Ef/*

```

Importação do arquivo com as informações sobre Ra temperatura max e min e precipitação médias mensais - climatologia e cenários A1 e B2*/

```

proc import out=d1
datafile= "c:\Rubens020409\AnaSens\info mensais - temperatura max min e chuva.xls"
      dbms=excel replace;
      getnames=yes;
run;
proc print data=d1;
run;

```

/* Importação do arquivo com as informações sobre área plantada com cada cultura, sistema de irrigação e coeficiente de cultura em cada mês */

```

proc import out=info
datafile=
"c:\Rubens020409\AnaSens\dadosparacalculonhbp.xls"
      dbms=excel replace;
      getnames=yes;
run;
proc print data=info;
run;

```

```

data d2;
merge d1 info;
by mes;

```

```

if area=. then kc=.;
drop eto;
run;
proc print data=d2;
run;

```

```

/* Calculo da area da area irrigada por mes (todas as cultu-
ras, independente do sistema)
para uso no calculo do Kc de cada cultura,ponderado pela
fração da área ocupada pela
cultura em cada mes */

```

```

proc sort data=d2;
by mes;
proc means data=d2 noprint;
by mes;
var area;
output out=area sum=areatotal;
proc print data=area;
run;
proc sort data=d2;
by mes cultura;
proc means data=d2 noprint;
by mes cultura;
var area kc;
output out=mescult mean= areamean kc sum=areacult kcsum;
proc print data=mescult;
var mes cultura areacult kc;
run;

```

```

/* Calculo do Kc ponderado pela area de cada cultura em cada
mes */

```

```

proc sort data=mescult;by mes;
proc sort data=area;by mes;
data d3;
merge mescult area;
by mes;
fator=areacult/areatotal;
KcPond=Kc*fator;
keep mes cultura areacult areatotal kc fator kcpond;

```

```

proc print data=d3;
*where mes=3;
run;
proc means data=d3 noprint;
by mes;
var kcpond;
output out=d4 sum= kcpond;
data kcpond;
set d4;
keep mes kcpond;
run;
proc print data=kcpond;
run;

#####Calculo da eficiencia ponderada ##### ;
/* Calculo da area irrigada por mes, para cada sistema de
irrigação
para uso no calculo da eficiencia de aplicação (ea) pondera-
da para cada mes */
proc sort data=d2;
by mes sistema;
run;
proc print data=d2;
by mes sistema;
run;
proc means data=d2 noprint;
by mes sistema;
var area ea ppt ra tmax tmin;
output out=sistema mean=areamean ea etoPM ppt ra tmax tmin
sum=areasist easum pptsum rasum tmaxsum tminsum;
run;
data sistema1;
set sistema;
keep mes sistema areasist ea ppt ra tmax tmin;
run;

```

```

proc print data=sistema1;
var mes sistema areasist ea ppt ra tmax tmin;
run;
proc sort data=sistema;by mes;
proc sort data=area; by mes;
data d5;
merge sistema area;
by mes;
ef=ea/100;
efpond=ef*(areasist/areatotal);
keep mes sistema ea tmin tmax ra ppt efpond kcpond;
proc print data=d5;
run;
proc means data=d5 noprint;
by mes;
var ppt efpond ra tmin tmax;
output out=efpond mean=ppt efpondmean ra tmin tmax sum=
pptsum efpond rasum tminsum tmaxsum;
run;
proc print data=efpond;
var mes ppt efpond ra tmin tmax;
run;
data d6;
merge kcpond efpond;
by mes;
keep mes ppt ra tmin tmax kcpond efpond;
run;
proc print data=d6;
run;

* Sensibilidad algebraica - temperatura max;
data d7;
set d6;
tmed=(tmax+tmin)/2;
b=(tmed*17.27)/(tmed+237.3);
i=4098*(0.6108*exp(b));
j=(tmed+237.2)**2;
Altitude=30;
Rs=0.17*((tmax-tmin)**0.5)*Ra;

```

```

Rso=(0.75+2*(Altitude)/100000)*Ra;
RazaoR=Rs/Rso;
Rns=(1-0.23)*Rs;
ea=0.6108*exp((17.27*Tmin)/(Tmin+237.3));
Termotmax=(tmax+273.16)**4;
Termotmin=(tmin+273.16)**4;
Termo1Rnl=4.903*(10**(-9))*(Termotmax+Termotmin)/2;
Termo2Rnl=0.34-0.14*(ea**0.5);
Termo3Rnl=1.35*RazaoR-0.35;
Rnl=Termo1Rnl*Termo2Rnl*Termo3Rnl;
Rn=Rns-Rnl;
f=Rn;
g=900/(tmed+273);
etmax=0.6108*exp((17.27*tmax)/(tmax+237.3));
es=mean(ea, etmax);
h=es-ea;
c= i/j;
e=0.408*c;
Termo1ETo=e*f;
Termo2ETo=0.134*g*h;
Termo3ETo=c+0.11;
EToPM=(Termo1ETo+Termo2ETo)/Termo3ETo*30;
nhb=((1/efpond)*EToPM*kcpond)-ppt;
keep mes ppt ra tmin tmax kcpond efpond EToPM nhb;
run;
proc print data=d7;
title 'Sensibilidade algebrica - temperatura max';
run;
proc means data=d7 min max;
var tmax;
run;
data d8;
set d7;
do tminsim=22.2 to 25.8 by 0.5;
tmaxsim=33.5;
tmedsim=(tmaxsim+tminsim)/2;
Altitude=30;
bsim=(tmedsim*17.27)/(tmedsim+237.3);
isim=4098*(0.6108*exp(bsim));

```

```

jsim=(tmedsim+237.2)**2;
Rssim=0.17*((tmaxsim-tminsim)**0.5)*Ra;
Rso=(0.75+2*(Altitude)/100000)*Ra;
RazaoRsim=Rssim/Rso;
Rns=(1-0.23)*Rssim;
easim=0.6108*exp((17.27*Tminsim)/(Tminsim+237.3));
Termotmaxsim=(tmaxsim+273.16)**4;
Termotminsim=(tminsim+273.16)**4;
Termo1Rnlsim=4.903*(10**(-9))*(Termotmaxsim+Termotminsim)/2;
Termo2Rnlsim=0.34-0.14*(easim**0.5);
Termo3Rnlsim=1.35*RazaoRsim-0.35;
Rnlsim=Termo1Rnlsim*Termo2Rnlsim*Termo3Rnlsim;
Rnsim=Rns-Rnlsim;
fsim=Rnsim;
gsim=900/(tmedsim+273);
etmaxsim=0.6108*exp((17.27*tmaxsim)/(tmaxsim+237.3));
essim=mean(easim, etmaxsim);
hsim=essim-easim;
csim= isim/jsim;
esim=0.408*csim;
Termo1ETosim=esim*fsim;
Termo2ETosim=0.134*gsim*hsim;
Termo3ETosim=csim+0.11;
EToPMsim=(Termo1ETosim+Termo2ETosim)/Termo3ETosim*30;
nhbsim=((1/efpond)*EToPMsim*kcpond)-ppt;
keep mes EToPMsim tminsim nhbsim;
output;
end;

proc print data=d8;
run;
proc plot data=d8 hpercent=70 vpercent=70;
plot nhbsim*tminsim='*';
by mes;
run;
proc means data=d8 min max;
var tminsim nhbsim;
run;
* calculo do coeficientes de sensibilidade;
proc reg data=d8;
by mes;
model nhbsim=tminsim;

```

```
ods output ParameterEstimates=coef;
run;
data coef2;
set coef;
coefsens=estimate;
where Variable='tminsim';
keep mes coefsens;
run;
proc print data=coef2;
run;
proc export data=coef2
outfile="c:\Rubens020409\AnaSens\coefsensTMIN.xls"
dbms=excel;
run;
```

* Gráfico de NHB em função da temperatura;

```
data d9;
set d8;
label nhbsim='Necessidade hídrica bruta (mm)';
label tminsim= 'Tmin (oC)';
goptions reset=global gunit=pct
          ftext='Tahoma' htext=4;
symbol interpol=lr cv=red width=3 value=none height=1.5;

axis1 label=(angle=90 ) minor=none offset=(2,2) order=-50
to 300 by 50 length=70;
axis2 order=22.2 to 25.8 by 1 minor=none length=60;

proc gplot data=d9;
by mes;
plot nhbsim*tminsim/haxis=axis2 vaxis=axis1;
run;
```

APÊNDICE J

Programa para análise de sensibilidade algébrica NHB – ET_oPM

```

/* Descrição das variáveis
NHL: necessidade hídrica líquida
NHB: necessidade hídrica bruta
EToPM: evapotranspiração de referência Penman-Monteith
Kc: coeficiente de cultura
Eapond: eficiência de irrigação ponderada
PPT média
ETo=EToPM
NHL=ETo*Kc-PPTmédia
NHB=NHL/Eapond
*/
/* Importação do arquivo com as informações sobre porcenta-
gem de horas diurnas em cada mes
em relação ao total de horas diurnas do ano
(ppd), temperatura e precipitação médias mensais
- climatologia e cenários A1 e B2*/
proc import out=d1
datafile= "f:\AnaliseSensibilidadeEToPM\infoPM2.xls"
      dbms=excel replace;
      getnames=yes;
run;
proc print data=d1;
run;

data d2;
set d1;
do EToPMsim=70 to 200 by 10;
  keep mes kcpond eapond ppt EToPMsim;
  output;
end;
proc print data=d2;
run;

/* --Calculo da NHL e da NHB */
data d3;
set d2;
  NHLsim=(EToPMsim*Kcpond);
  NHBsim=(NHLsim/Eapond)-ppt;

```

```

run;
proc print data=d3;
run;
proc means data=d3 min max;
var nhbsim etopmsim;
run;

* Calculo coeficientes de sensibilidade;

proc reg data=d3;
by mes;
model nhbsim=etopmsim;
ods output ParameterEstimates=coef;
run;
proc print data=coef;
run;
data coef2;
set coef;
coefsens=Estimate;
where Variable='EToPmsim';
keep mes coefsens;
run;
proc print data=coef2;
run;
proc export data=coef2
outfile="f:\AnaliseSensibilidadeEToPM\coefsensEToPM.xls"
dbms=excel;
run;

* Gráfico de NHB em função da precipitação;
data d4;
set d3;
label nhbsim='Necessidade hídrica bruta (mm)';
label EToPmsim= 'EToPM mensal (mm)';
goptions reset=global gunit=pct
          ftext='Tahoma' htext=4;
symbol interpol=lr cv=red width=1 value=none height=1.5;

axis1 label=(angle=90 ) minor=none offset=(2,2) length=70
order=-100 to 350 by 50;
axis2 order=70 to 210 by 30 minor=none length=50;

```

```
proc gplot data=d4;  
by mes;  
plot nhbsim*EToPsim/haxis=axis2 vaxis=axis1;  
run;
```

APÊNDICE L

Programa para análise de sensibilidade algébrica NHB – precipitação

```

/* Descrição das variáveis
NHL: necessidade hídrica líquida
NHB: necessidade hídrica bruta
EToPM: evapotranspiração de referência Penman-Monteith
Kc: coeficiente de cultura
Eapond: eficiência de irrigação ponderada
PPT média
ETo=EToPM
NHL=ETo*Kc-PPTmédia
NHB=NHL/Eapond
*/
/* Importação do arquivo com as informações sobre porcenta-
gem de horas diurnas em cada mes
em relação ao total de horas diurnas do ano
(ppd), temperatura e precipitação médias mensais
- climatologia e cenários A1 e B2*/
proc import out=d1
datafile= "f:\AnaliseSensibilidadeEToPM\infoPM2.xls"
      dbms=excel replace;
      getnames=yes;
run;
proc print data=d1;
run;

proc means data=d1 min max;
var ppt ppta2 pptb2;
run;

data d2;
set d1;
do pptsim=0 to 200 by 20;
  NHL=(EToPM*Kcpond);
  NHBsim=(NHL/Eapond) - pptsim;
  output;
end;
run;
proc print data=d2;
run;

```

```
* calculo do coeficientes de sensibilidade;
proc reg data=d2;
by mes;
model nhbsim=pptsim;
ods output ParameterEstimates=coef;
run;
data coef2;
set coef;
coefsens=estimate;
where Variable='pptsim';
keep mes coefsens;
run;
proc print data=coef2;
run;
proc export data=coef2
outfile="f:\AnaliseSensibilidadeEToPM\coefsensTMIN.xls"
dbms=excel;
run;

* Gráfico de NHB em função da precipitação;
data d3;
set d2;
label nhbsim='Necessidade hídrica bruta (mm)';
label pptsim= 'Precipitacao mensal (mm)';
goptions reset=global gunit=pct
          ftext='Tahoma' htext=4;
symbol interpol=lr cv=red width=1 value=none height=1.5;

axis1 label=(angle=90 ) minor=none offset=(2,2) length=70
order=-200 to 300 by 100;
axis2 order=0 to 200 by 40 minor=none length=50;

proc gplot data=d3;
by mes;
plot nhbsim*pptsim/haxis=axis2 vaxis=axis1;
run;
```

APÊNDICE M

Programa para análise de sensibilidade algébrica

NHB – Composição de Culturas

```

/* Descrição das variáveis
NHL: necessidade hídrica líquida
NHB: necessidade hídrica bruta
ETo: evapotranspiração de referência
Kc: coeficiente de cultura
Ef: eficiência de irrigação

*/
/* Importação do arquivo com as informações sobre Ra temperatura max e min e precipitação médias mensais - climatologia e cenários A1 e B2*/
proc import out=d0
datafile="f:\AnaliseSensibilidadeEToPM\info mensais - temperaturamax min e chuva.xls"
    dbms=excel replace;
    getnames=yes;
run;
proc print data=d0;
run;
data d1;
set d0;

/* Importação do arquivo com as informações sobre área plantada com cada cultura, sistema de irrigação e coeficiente de cultura em cada mês */
proc import out=info
datafile= "f:\Aline CNPAT\Rubens\analise sensibilidade\dados\dados para calculo nhb.xls"
    dbms=excel replace;
    getnames=yes;
run;
data d2;
set info;
where cultura='Arroz' or cultura='Banana';
run;
proc print data=d2;
run;

```

```
/* Calculo da area da area irrigada por mes (todas as cultu-
ras, independente do sistema)
para uso no calculo do Kc de cada cultura,ponderado pela
fração da área ocupada pela
cultura em cada mes */
```

```
proc sort data=d2;
by mes;
proc means data=d2 noprint;
by mes;
var area;
output out=area sum=areatotal;
proc print data=area;
run;
```

```
proc sort data=d2;
by mes cultura;
proc means data=d2 noprint;
by mes cultura;
var area kc;
output out=mescult mean= areamean kc sum=areacult kcsum;
proc print data=mescult;
var mes cultura areacult kc;
run;
```

```
/* Calculo do Kc ponderado pela area de cada cultura em cada
mes */
```

```
proc sort data=mescult;by mes;
proc sort data=area;by mes;
run;
```

```
data d3;
merge mescult area;
by mes;
keep mes cultura kc areatotal;
proc print data=d3;
run;
```

```
data d3b;
set d3;
do fator=0.15 to 0.80 by 0.05;
```

```

    if cultura='Arroz' and mes in (1,2,3,4,5,6,12) then
KcPond=0;
    if cultura='Banana' and mes in (1,2,3,4,5,6,12) then
KcPond=kc;

    if cultura='Arroz' and 6<mes<12 then KcPond=Kc*fator;
    if cultura='Banana' and 6<mes<12 then KcPond=Kc*(1-fator);
    output;
    end;
run;
proc sort data=d3b;
by mes fator;
proc means data=d3b noprint;
by mes fator;
var kcpond;
output out=d4 sum= kcpond;
data kcpond;
set d4;
keep mes fator kcpond;
run;
proc print data=kcpond;
run;

```

```

*#####Calculo da eficiencia ponderada #####;

```

```

/* Calculo da area irrigada por mes, para cada sistema de
irrigação
para uso no calculo da eficiencia de aplicação (ea) pondera-
da para cada mes */
proc sort data=d2;
by mes sistema;
proc means data=d2 noprint;
by mes sistema;
var area ppt tempmin tepmax ;
output out=sistema mean=areamean ea phd ppt temp
sum=areasist easum phdsum pptsum tempsum;
proc print data=sistema;
var mes sistema ea phd ppt temp areasist;
run;

```

```

proc sort data=sistema;by mes;
proc sort data=area; by mes;

data d5;
merge sistema area;
by mes;
ef=ea/100;
efpond=ef*(areasist/areatotal);
keep mes sistema ea phd ppt temp efpond;
proc print data=d5;
run;
proc means data=d5 noprint;
by mes;
var phd ppt temp efpond;
output out=efpond mean=phd ppt temp efpondmean sum=phdsum
pptsum tempsum efpond;
run;
proc print data=efpond;
var phd ppt temp efpond;
run;

data d6;
merge kcpond efpond;
by mes;
keep mes fator phd ppt temp kcpond efpond;
run;
proc print data=d6;
run;

* Sensibilidade algebraica - temperatura max;

data d7;
set d6;
tmed=(tmax+tmin)/2;
b=(tmed*17.27)/(tmed+237.3);
i=4098*(0.6108*exp(b));
j=(tmed+237.2)**2;
Altitude=30;
Rs=0.17*((tmax-tmin)**0.5)*Ra;
Rso=(0.75+2*(Altitude)/100000)*Ra;
RazaoR=Rs/Rso;
Rns=(1-0.23)*Rs;

```

```

ea=0.6108*exp((17.27*Tmin)/(Tmin+237.3));
Termotmax=(tmax+273.16)**4;
Termotmin=(tmin+273.16)**4;
Termo1Rn1=4.903*(10**(-9))*(Termotmax+Termotmin)/2;
Termo2Rn1=0.34-0.14*(ea**0.5);
Termo3Rn1=1.35*RazaoR-0.35;
Rn1=Termo1Rn1*Termo2Rn1*Termo3Rn1;
Rn=Rns-Rn1;
f=Rn;
g=900/(tmed+273);
etmax=0.6108*exp((17.27*tmax)/(tmax+237.3));
es=mean(ea, etmax);
h=es-ea;
c= i/j;
e=0.408*c;
Termo1ETo=e*f;
Termo2ETo=0.134*g*h;
Termo3ETo=c+0.11;
EToPM=(Termo1ETo+Termo2ETo)/Termo3ETo*30;
nhb=((1/efpond)*EToPM*kcpond)-ppt;
keep mes ppt ra tmin tmax kcpond efpond EToPM nhb;
run;
proc print data=d7;
title 'Sensibilidade algebraica - temperatura max';
run;
proc means data=d7 min max;
var tmax;
run;

data d8;
set d7;
do tmaxsim=28.5 to 37.6 by 0.5;
tminsim=23;
tmedsim=(tmaxsim+tminsim)/2;
Altitude=30;
bsim=(tmedsim*17.27)/(tmedsim+237.3);
isim=4098*(0.6108*exp(bsim));
jsim=(tmedsim+237.2)**2;
Rssim=0.17*((tmaxsim-tminsim)**0.5)*Ra;
Rso=(0.75+2*(Altitude)/100000)*Ra;
RazaoRsim=Rssim/Rso;
Rns=(1-0.23)*Rssim;

```

```

easim=0.6108*exp((17.27*Tminsim)/(Tminsim+237.3));
Termotmaxsim=(tmaxsim+273.16)**4;
Termotminsim=(tminsim+273.16)**4;
Termo1Rnlsim=4.903*(10**(-9))*(Termotmaxsim+Termotminsim)/2;
Termo2Rnlsim=0.34-0.14*(easim**0.5);
Termo3Rnlsim=1.35*RazaoRsim-0.35;
Rnlsim=Termo1Rnlsim*Termo2Rnlsim*Termo3Rnlsim;
Rnsim=Rns-Rnlsim;
fsim=Rnsim;
gsim=900/(tmedsim+273);
etmaxsim=0.6108*exp((17.27*tmaxsim)/(tmaxsim+237.3));
essim=mean(easim, etmaxsim);
hsim=essim-easim;
csim= isim/jsim;
esim=0.408*csim;
Termo1ETosim=esim*fsim;
Termo2ETosim=0.134*gsim*hsim;
Termo3ETosim=csim+0.11;
EToPmsim=(Termo1ETosim+Termo2ETosim)/Termo3ETosim*30;
nhbsim=((1/efpond)*EToPmsim*kcpond)-ppt;
keep mes EToPmsim tmaxsim nhbsim;
output;
end;
proc print data=d8;
run;
proc means data=d8 min max;
var tmaxsim nhbsim;
run;

```

* Gráfico de NHB em função da temperatura;

```

data d9;
set d8;
label nhbsim='Necessidade hídrica bruta (mm)';
label tmaxsim= 'Tmax (oC)';
goptions reset=global gunit=pct
          ftext='Tahoma' htext=4;
symbol interpol=lr cv=red width=3 value=none height=1.5;
axis1 label=(angle=90 ) minor=none offset=(2,2) order=-50
to 300 by 50 length=70;
axis2 order=28.5 to 37.5 by 1 minor=none length=60;
proc gplot data=d9;

```

```
by mes;  
plot nhbsim*tmaxsim/haxis=axis2 vaxis=axis1;  
run;
```