



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**POTENCIAL DE DESENVOLVIMENTO HIDROAGRÍCOLA  
NO RIACHO DO PONTAL - PE: subsídios para o uso inteligente  
da água**

**Elisabeth Regina Alves Cavalcanti Silva**

Recife,  
2014



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**

**CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS**

**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**POTENCIAL DE DESENVOLVIMENTO HIDROAGRÍCOLA  
NO RIACHO DO PONTAL - PE: subsídios para o uso inteligente  
da água**

**Recife,  
2014**

**Elisabeth Regina Alves Cavalcanti Silva**

**POTENCIAL DE DESENVOLVIMENTO HIDROAGRÍCOLA  
NO RIACHO DO PONTAL - PE: subsídios para o uso inteligente  
da água**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Geografia.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Josiclêda Domiciano Galvêncio

Coorientador: Prof. Dr. Hernani Loebler

**Recife,  
2014**

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Maria do Carmo de Paiva, CRB4-1291

S586p Silva, Elisabeth Regina Alves Cavalcanti.

Potencial de desenvolvimento hidroagrícola no Riacho do Pontal – PE: subsídios para o uso eficiente da água / Elisabeth Regina Alves Cavalcanti Silva. – Recife: O autor, 2014.

140 f. : il. ; 30cm.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Josiclêda Domiciano Galvêncio.

Coorientador: Prof. Dr. Hernani Loebler.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-graduação em Geografia, 2014.

Inclui referências e anexos.

1. Geografia. 2. Recursos naturais. 3. Água – Uso. 4. Irrigação. 5. Produtividade agrícola. 6. Frutas - Cultivo. I. Galvêncio, Josiclêda Domiciano (Orientadora). II. Loebler, Hernani (Coorientador). III. Título.

910 CDD (22.ed.)

UFPE (BCFCH2014-113)



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: POTENCIAL DE DESENVOLVIMENTO HIDROAGRÍCOLA  
NO RIACHO DO PONTAL - PE: subsídios para o uso inteligente da água**

**AUTOR: Elisabeth Regina Alves Cavalcanti Silva**

**Aprovado em 20 / 08 / 2014**

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profª. Dra. Josiclêda Domiciano Galvêncio  
Universidade Federal de Pernambuco

---

1º Examinador Externo: Prof. Dr. Hernande Pereira  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

2º Examinador Externo: Dr. Luiz Guilherme Medeiros Pessoa  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

**Recife,  
2014**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, porque sem ele eu não estaria aqui e nele deposito minha fé, minha confiança e meu amor.

À minha mãe e minha avó agradeço por todo o amor incondicional que tiveram para comigo nos anos em que viveram ao meu lado.

À minha orientadora Prof<sup>a</sup>. Dra. Josiclêda Domiciano Galvêncio, todo o meu respeito, carinho e admiração pela disponibilidade e paciência em me orientar, pelas oportunidades na vida acadêmica, assim como pelo aprendizado que adquiri ao longo desses anos, tendo proporcionado, dessa forma, a realização desta pesquisa. Muito obrigada.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Hernani Loebler, pelo aprendizado e disponibilidade durante o mestrado. Muito obrigada.

Agradeço as pessoas que diretamente me ajudaram no trabalho como Rodrigo de Queiroga Miranda, Ygor Cristiano e Pedro Paulo Lima.

Agradeço aos meus amigos pela amizade que têm me oferecido. Em especial ao meu amigo José Gustavo que sempre me ajudou durante a graduação, muitas vezes fazendo os trabalhos de classe no meu lugar.

Ao laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento SERGEO, por ceder os programas e licenças fundamentais para execução deste trabalho e aos seus integrantes e Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, pela oportunidade de desenvolvimento do projeto e ajuda financeira, contribuindo para meu crescimento profissional e pessoal.

“Quando eu tinha 5 anos, minha mãe sempre me disse que a felicidade era a chave para a vida. Quando eu fui para a escola, me perguntaram o que eu queria ser quando crescesse. Eu escrevi “feliz”. Eles me disseram que eu não entendi a pergunta, e eu lhes disse que eles não entendiam a vida”. (John Lennon).

## RESUMO

A agricultura irrigada no semiárido brasileiro constitui a principal atividade econômica na região, em razão disso, nas últimas décadas tem havido um aumento da competição pelo uso da água disponível para irrigação nessa área, com o objetivo de atender a outros setores da sociedade. Em paralelo, tem havido um incremento das políticas públicas com a finalidade de aumento da oferta de água na região, por meio de investimento direto, ou ainda de parcerias público-privadas. O grande desafio nessas áreas tem sido não apenas produzir, mas sim: como, quando, quanto, para quem e onde comercializar. Nesse sentido, este trabalho procurou fazer um diagnóstico da Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal-PE, quanto à disponibilidade natural de água para irrigação, e avaliar o aumento do potencial hidroagrícola que o incremento de água a ser disponibilizado através da integração com a Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco tende a ocasionar. Foram utilizados dados obtidos através de imagens de satélite para análise espaço-temporal da evapotranspiração na área, mostrando o crescimento do perímetro irrigado na Bacia, e, dados climáticos e hidrológicos para avaliação do estresse hidrológico e quantificação do volume de água a ser utilizado nas áreas irrigadas e em cada cultura a ser implementada na área após a integração da Bacia, procurando com isso a otimização dos recursos hídricos disponíveis bem como a proposição de alternativas com vistas a uma gestão mais racional da água e ao aumento da produtividade agrícola na Bacia do Riacho do Pontal. O estudo conclui que a água disponível para as culturas analisadas poderia ser otimizada se fosse utilizado outro método de irrigação diferente do empregado na área e do proposto pelo Projeto Pontal. Através de uma gestão mais eficiente da água, seria possível diminuir a área plantada em cerca de 3237,27ha, sem prejuízos financeiros ao produtor, ou mesmo, agregar milhares de hectares de cultura, se houver disponibilidade de áreas nas propriedades rurais, sem que haja o aumento do consumo de água para a produção da fruticultura na Bacia. Dessa forma, após o aumento do perímetro irrigado na Sub-Bacia do Riacho do Pontal-PE, será possível utilizar este estudo para delinear proposições acerca dos melhores métodos de irrigação a serem utilizados na região, de forma que o aumento da produtividade agrícola nessas áreas não seja acompanhado de uma gestão ineficiente dos recursos hídricos.

**Palavras-chave:** Estresse hidrológico, fruticultura, otimização dos recursos hídricos, produtividade agrícola.



## ABSTRACT

Irrigated agriculture in the Brazilian semiarid region stands out as its main economic activity. For this reason, in the last decades there has been an increase in the competition for the use of the water available for irrigation in the area, aiming to supply other sectors of society. In parallel, there has been an increment of public policies in order to improve the water supply in the region, through direct investment or public-private partnerships. The major challenge in those areas has not been only to produce, but also how, when, how much, for whom, and where to trade the agricultural goods. Thus, this study sought to make a diagnosis of the Pontal River Basin, located in the state of Pernambuco, Brazil, regarding its natural availability of water for irrigation. The study also aimed to evaluate the increase in the hydro-agricultural potential which might be caused by the increment of water supply to be made available through the integration of the aforementioned basin with the São Francisco River Basin. Data obtained through satellite imagery were used in order to perform a spatio-temporal analysis of the evapotranspiration in the area, showing the growth of the irrigated perimeter in the basin. Climatic and hydrological data were also used aiming to assess the hydrological stress and to quantify the volume of water to be used in the irrigated areas and in every culture in detail, to be implemented after the integration of the basin areas. Through those procedures, the study worked towards the optimization of the available water resources and to propose alternatives with a view to a more rational water use and increasing agricultural productivity in the Pontal River Basin. The study concludes that the available water for various crops could be optimized if another method of irrigation would be used, rather than the actual method applied in the area and also the one proposed by the Pontal Project. Through a more efficient water management, would be possible to reduce the Planted area in about 3237,27ha without financial loss to the producer, or even, add thousands of hectares of crop, if available areas on farms, without increasing water consumption for the production of fruit production in the Basin. Thus, after the increase in irrigated area in the Pontal River Sub-Basin-PE, you can use this study to delineate propositions about the best irrigation methods to be used in the region, so that the increase in agricultural productivity in these areas is not accompanied by an inefficient management of water resources.

**Key-words: hydrological stress, orchards, optimization of the water resources, agricultural productivity.**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal-PE.	47
Figura 2	Parâmetros e subparâmetros que compõem o indicador Estresse Hidrológico – Eh.	51
Figura 3	Variabilidade da série histórica de vazões (1935-1985).	75
Figura 4	Mapa de localização do Perímetro irrigado da Bacia do Riacho do Pontal.	81
Figura 5	Análise espaço-temporal do NDWI dos anos de 1984 a 2011.	82
Figura 6	Análise espaço-temporal do IAF da Bacia do Pontal-PE.	84
Figura 7	Análise espaço-temporal da evapotranspiração na Bacia do Riacho do Pontal-PE.	86

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Parâmetro Razão de Uso dos recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Pontal.	52
Tabela 2	Varição do subparâmetro Variabilidade da Série Histórica de Vazões.	54
Tabela 3	Varição do subparâmetro Não-Estacionariedade da Série Histórica de Vazões.	55
Tabela 4	Combinação dos subparâmetros de Variabilidade e Não-Estacionariedade da Série Histórica de Vazões.	56
Tabela 5	Varição do Nível e Escore para o parâmetro de Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas.	56
Tabela 6	Combinação dos parâmetros de Razão de Uso dos Recursos Hídricos e Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas.	57
Tabela 7	Varição do Nível, Escore e Valor Final para o indicador Estresse Hidrológico – Eh.	57
Tabela 8	Índice de Aridez.	69
Tabela 9	Eficiência de aplicação de água para sistemas de irrigação comumente utilizados em plantios de hortaliças.	72
Tabela 10	Resultado para o parâmetro Razão de Uso dos recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Pontal.	74
Tabela 11	Resultado (hachurado) para o subparâmetro Variabilidade da Série Histórica de Vazões na Bacia Hidrográfica do Pontal-PE.	76
Tabela 12	Valores calculados para o método de SALAS (1993).	76
Tabela 13	Grau de não-estacionariedade.	77
Tabela 14	Resultado (hachurado) para o subparâmetro Não-Estacionariedade da Série Histórica de Vazões Qmed (1935-1985) na Bacia Hidrográfica do Pontal-PE.	77
Tabela 15	Combinação dos subparâmetros de Variabilidade e Não-Estacionariedade da Série Histórica de Vazões.	77
Tabela 16	Resultado (hachurado) para o parâmetro vulnerabilidade às mudanças climáticas no período de 1935-1985.	77
Tabela 17	Resultado da combinação dos parâmetros de Razão de Uso dos Recursos Hídricos e Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas.	78

Tabela 18	Resultado (hachurado) da Variação do Nível, Escore e Valor Final para o indicador Estresse Hidrológico – Eh.	79
Tabela 19	Normais Mensais - Posto Climatológico do Bebedouro.	87
Tabela 20	Evapotranspiração potencial pelo método de Penman-Monteith.	88
Tabela 21	Balço Hídrico de Thornthwaite-Mather para a Região do Perímetro Irrigado Pontal Norte – Evapotranspiração Potencial de Penman-Monteith (FAO)	90
Tabela 22	Valores de ET <sub>pc</sub> (Kc) e ET <sub>pc</sub> (fL) para a cultura do cajueiro na Bacia do Riacho do Pontal-PE.	93
Tabela 23	Lâmina líquida de irrigação do cajueiro na Bacia do Pontal-PE.	94
Tabela 24	Eficiência de aplicação de água para sistemas de irrigação na cultura do cajueiro na Bacia do Pontal-PE.	95
Tabela 25	Áreas cultivadas em hectares na Bacia do Riacho do Pontal-PE	97
Tabela 26	Valores de ET <sub>pc</sub> (Kc) para a cultura da goiabeira na Bacia do Riacho do Pontal-PE.	98
Tabela 27	Valores de ET <sub>pc</sub> (fL) para a cultura da goiabeira na Bacia do Riacho do Pontal-PE.	98
Tabela 28	Lâmina bruta de irrigação para cultura da goiabeira na Bacia do Pontal-PE.	100
Tabela 29	Valores de ET <sub>pc</sub> (Kc) para a cultura da bananeira na Bacia do Riacho do Pontal-PE.	103
Tabela 30	Valores de ET <sub>pc</sub> (fL) para a cultura da bananeira na Bacia do Riacho do Pontal-PE	105
Tabela 31	Lâmina bruta de irrigação para cultura da bananeira na Bacia do Pontal-PE.	106
Tabela 32	Valores de ET <sub>pc</sub> (Kc) e ET <sub>pc</sub> (fL) para a cultura do coqueiro na Bacia do Riacho do Pontal-PE.	108
Tabela 33	Lâmina bruta de irrigação para cultura do coqueiro na Bacia do Pontal-PE.	109
Tabela 34	Valores de ET <sub>pc</sub> (Kc) para a cultura da aceroleira na Bacia do Riacho do Pontal-PE.	111

Tabela 35	Valores de ET <sub>pc</sub> (fL) para a cultura da aceroleira na Bacia do Riacho do Pontal-PE.	111
Tabela 36	Lâmina bruta de irrigação para cultura da aceroleira na Bacia do Pontal-PE.	112
Tabela 37	Valores de ET <sub>pc</sub> (Kc) para a cultura da mangueira na Bacia do Riacho do Pontal-PE.	114
Tabela 38	Valores de ET <sub>pc</sub> (fL) para a cultura da mangueira na Bacia do Riacho do Pontal-PE.	115
Tabela 39	Lâmina bruta de irrigação para cultura da mangueira na Bacia do Pontal-PE.	116
Tabela 40	Valores de ET <sub>pc</sub> (Kc) e ET <sub>pc</sub> (fL) para a cultura da videira na Bacia do Riacho do Pontal-PE.	118
Tabela 41	Lâmina bruta de irrigação para cultura da videira na Bacia do Pontal-PE.	119
Tabela 42	Vazões anuais da Bacia do Pontal-PE de 1935 a 1985.	139

## **LISTA DE SIGLAS/ABREVIATURAS**

ANA – Agência Nacional de Águas  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IPCC – Intergovernmental Painel on Climate Change  
IWMI - International Water Management Institute  
MWSP – Macro Water Sharing Plans  
NDWI – Normalized difference water index  
OMM – Organização Mundial das Nações Unidas  
PNMA – Programa Nacional do Meio Ambiente  
PNRH – Plano Nacional de Recursos Hídricos  
RIMA – Relatório de Impacto Ambiental  
SAVI – Soil Adjusted Vegetation Index  
UFPE – Universidade Federal de Pernambuco

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>22</b>
2.1	MICROBACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE PAISAGEM	22
2.2	PROBLEMÁTICA DA UTILIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO MUNDO	23
<b>2.2.1</b>	<b>Integração de Bacias</b>	<b>23</b>
2.3	PROBLEMÁTICA DA IRRIGAÇÃO NO BRASIL	26
<b>2.3.1</b>	<b>Aspectos Gerais</b>	<b>26</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Histórico da irrigação no Brasil</b>	<b>27</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Programa “MAIS IRRIGAÇÃO” do Governo Federal</b>	<b>29</b>
<b>2.3.4</b>	<b>Programa “MAIS IRRIGAÇÃO” para Pernambuco</b>	<b>30</b>
2.4	PROBLEMÁTICA DA IRRIGAÇÃO NA BACIA DO RIACHO DO PONTAL- PE	30
<b>2.4.1</b>	<b>Aspectos Históricos</b>	<b>30</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Cenário atual e futuro da Bacia do Pontal-PE</b>	<b>32</b>
2.5	MODELAGEM MATEMÁTICA	33
<b>2.5.1</b>	<b>Modelagem hidrológica com a utilização do Macro Water Sharing Plans (MWSP)</b>	<b>34</b>
2.6.	EVAPOTRANSPIRAÇÃO	37
<b>2.6.1</b>	<b>Métodos para determinação da evapotranspiração</b>	<b>38</b>
<b>2.6.2</b>	<b>Determinações da evapotranspiração usando imagens orbitais</b>	<b>39</b>
<b>2.6.3</b>	<b>O algoritmo SEBAL e suas aplicações</b>	<b>41</b>
<b>2.6.4</b>	<b>Utilização da Evapotranspiração de Penman-Monteith-FAO</b>	<b>42</b>
2.7	EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA (ETC)	44
<b>2.7.1</b>	<b>Estimativa da Lâmina d’água</b>	<b>45</b>
<b>2.7.2</b>	<b>Estimativa da demanda de irrigação</b>	<b>46</b>
<b>3</b>	<b>DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b>	<b>47</b>
3.1	LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA	47
3.2	HIDROGRAFIA	48
3.3	PROJETO PONTAL	48
3.4	CLIMA	49
3.5	COBERTURA VEGETAL	49



3.6	SOLOS	49
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>50</b>
4.1	MÉTODO HIPOTÉTICO-DEDUTIVO	50
4.2	ESTIMATIVA DO ESTRESSE HIDROLÓGICO	51
<b>4.2.1</b>	<b>Razão de Uso dos Recursos Hídricos – Etapa 1</b>	<b>51</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Variabilidade Climática – Etapa 2</b>	<b>53</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Não-estacionariedade da série histórica de vazões – Etapa 3</b>	<b>54</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Vulnerabilidade Climática – Etapa 4</b>	<b>55</b>
<b>4.2.5</b>	<b>Estresse hidrológico – Etapa 5</b>	<b>57</b>
4.3	ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL ATRAVÉS DO MÉTODO PROPOSTO PELO SEBAL	58
<b>4.3.1</b>	<b>Análise Espaço Temporal</b>	<b>58</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Processamento da imagem e montagem do layout</b>	<b>58</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Calibração Radiométrica</b>	<b>58</b>
<b>4.3.4</b>	<b>Reflectância</b>	<b>58</b>
<b>4.3.5</b>	<b>Índices de vegetação</b>	<b>59</b>
<i>4.3.5.1</i>	<i>NDVI</i>	<i>59</i>
<i>4.3.5.2</i>	<i>SAVI</i>	<i>59</i>
<b>4.3.6</b>	<b>IAF ou LAI</b>	<b>59</b>
<b>4.3.7</b>	<b>NDWI</b>	<b>60</b>
<b>4.3.8</b>	<b>Albedo Planetário</b>	<b>60</b>
<b>4.3.9</b>	<b>Albedo da Superfície (AS)</b>	<b>60</b>
<b>4.3.10</b>	<b>Emissividade</b>	<b>61</b>
<b>4.3.11</b>	<b>Saldo de radiação na superfície</b>	<b>61</b>
<b>4.3.12</b>	<b>Temperatura da superfície</b>	<b>62</b>
<b>4.3.13</b>	<b>Fluxo de calor no solo</b>	<b>62</b>
<b>4.3.14</b>	<b>Fluxo de calor latente</b>	<b>64</b>
<b>4.3.15</b>	<b>Evapotranspiração Diária (mm.dia<sup>-1</sup>)</b>	<b>64</b>
4.4	EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ETO) PELO MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH	64
4.5	BALANÇO HÍDRICO	69
<b>4.5.1</b>	<b>Índice de aridez (IA)</b>	<b>70</b>
<b>4.5.2</b>	<b>Índice de umidade (IU)</b>	<b>70</b>

<b>4.5.3</b>	<b>Índice hídrico</b>	71
4.6	ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÁXIMA DA CULTURA (ETM) OU EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL DA CULTURA (ETPC)	71
4.7	LÂMINA LÍQUIDA COM BASE NO MÉTODO CLIMÁTICO	72
4.8	LÂMINA BRUTA DE IRRIGAÇÃO	73
4.9	DEMANDA DE IRRIGAÇÃO DAS CULTURAS	74
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	74
5.1	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA MWSP	74
5.2	EVAPOTRANSPIRAÇÃO ATRAVÉS DO MODELO PROPOSTO PELO SEBAL	80
<b>5.2.1</b>	<b>Delimitação dos perímetros irrigados</b>	81
<b>5.2.2</b>	<b>Aplicação do Índice de Umidade (NDWI)</b>	82
<b>5.2.3</b>	<b>Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF)</b>	84
<b>5.2.4</b>	<b>Estimativa da Evapotranspiração Real na Bacia do Pontal-PE</b>	85
5.3	EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL PELO MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH	87
<b>5.3.1</b>	<b>Balço hídrico e rendimento médio anual da Bacia do processo de conversão geral</b>	89
<b>5.3.2</b>	<b>Índices (%)</b>	91
5.3.2.1	<i>Índice de Aridez</i>	91
5.3.2.2	<i>Índice de Umidade</i>	91
5.3.2.3	<i>Índice Hídrico</i>	91
5.4	EVAPOTRANSPIRAÇÃO DAS CULTURAS	92
<b>5.4.1</b>	<b>Cajueiro</b>	93
5.4.1.2	<i>Lâmina Líquida da cultura do caju</i>	94
5.4.1.3	<i>Lâmina Bruta de irrigação da cultura do caju</i>	95
5.4.1.4	<i>Demanda suplementar da cultura do caju</i>	96
5.4.1.5	<i>Demanda suplementar da irrigação do caju</i>	96
<b>5.4.2</b>	<b>Goiabeira</b>	97
5.4.2.1	<i>Lâmina Líquida para cultura da goiabeira</i>	99
5.4.2.2	<i>Lâmina bruta para cultura da goiabeira</i>	99
5.4.2.3	<i>Demanda suplementar da cultura da goiabeira</i>	100

5.4.2.4	<i>Demanda suplementar da irrigação da goiabeira</i>	100
<b>5.4.3</b>	<b>Bananeira</b>	103
5.4.3.1	<i>Lâmina líquida para cultura da bananeira</i>	105
5.4.3.2	<i>Lâmina bruta para cultura da bananeira</i>	105
5.4.3.3	<i>Demanda suplementar da cultura da bananeira</i>	106
5.4.3.4	<i>Demanda suplementar da irrigação da bananeira</i>	106
<b>5.4.4</b>	<b>Coqueiro</b>	107
5.4.4.1	<i>Lâmina líquida para cultura do coqueiro</i>	109
5.4.4.2	<i>Lâmina bruta para cultura do coqueiro</i>	109
5.4.4.3	<i>Demanda suplementar da cultura do coqueiro</i>	109
5.4.4.4	<i>Demanda suplementar da irrigação do coqueiro</i>	110
<b>5.4.5</b>	<b>Aceroleira</b>	111
5.4.5.1	<i>Lâmina líquida para cultura da aceroleira</i>	112
5.4.5.2	<i>Lâmina bruta para cultura da aceroleira</i>	112
5.4.5.3	<i>Demanda suplementar da cultura da aceroleira</i>	113
5.4.4.4	<i>Demanda suplementar da irrigação da aceroleira</i>	113
<b>5.4.6</b>	<b>Mangueira</b>	113
5.4.6.1	<i>Lâmina líquida para cultura da manga</i>	115
5.4.6.2	<i>Lâmina bruta para cultura da manga</i>	115
5.4.6.3	<i>Demanda suplementar da cultura da manga</i>	116
5.4.6.4	<i>Demanda suplementar da irrigação da manga</i>	116
<b>5.4.7</b>	<b>Videira</b>	118
5.4.7.1	<i>Lâmina líquida para cultura da uva</i>	118
5.4.8.2	<i>Lâmina bruta para cultura da uva</i>	118
5.4.7.3	<i>Demanda suplementar da cultura da uva</i>	119
5.4.7.4	<i>Demanda suplementar da irrigação da uva</i>	120
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	123
	<b>REFERÊNCIAS</b>	126
	<b>ANEXOS</b>	139

## 1 INTRODUÇÃO

A segurança alimentar depende cada vez mais da produção de alimentos proveniente da agricultura irrigada, o que a coloca, irrevogavelmente, dependente da segurança hídrica. Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), 80% dos produtos necessários para satisfazer as necessidades da população mundial nos próximos 25 anos, serão providos pelos cultivos irrigados. Nesse sentido, um dos desafios da agricultura irrigada no Brasil consiste em garantir outorgas de água compatíveis com as demandas de solos potencialmente aptos à irrigação de forma a compatibilizar a segurança de oferta de água à vocação do país de provedor de alimentos, à segurança alimentar interna e à demanda externa além de reduzir as perdas de água nos sistemas de irrigação, seja na sua condução e distribuição na infraestrutura hídrica, seja na aplicação da água nos cultivos pelos métodos e manejo das parcelas.

Dessa forma, a existência de instrumentos eficazes de gestão dos recursos hídricos com vistas à agricultura irrigada, inicialmente apresenta-se como uma problemática a ser resolvida, no entanto, a adequada aplicação desses instrumentos pode, desde sinalizar regiões com potencial de desenvolvimento para agricultura irrigada, até aumentar a segurança da disponibilidade de água para essa atividade (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2011). Segundo a EMBRAPA (2004), modificações passíveis de serem induzidas pela introdução da agricultura irrigada têm implicações na própria base econômica local e regional, a depender de sua escala de implementação. Estas implicações podem apresentar aspectos positivos e negativos, de acordo com condicionantes sociais, econômicos e ambientais da área e com as características de desenvolvimento de determinados projetos.

Conforme as projeções elaboradas pelo Instituto Internacional de Gestão das Águas (International Water Management Institute - IWMI), embora o Brasil seja um dos países com maior disponibilidade hídrica média anual por habitante, ele está inserido na categoria de países com escassez econômica de água, pois, dispõe de quantidade suficiente de água para atender às suas necessidades, contudo, possui a região semiárida com má distribuição espacial e temporal de precipitações, o que implica na necessidade de investimentos na construção de reservatórios para armazenamento e regularizações hídricas e em construção de sistemas de condução, como forma de garantir a utilização da água no seu desenvolvimento sustentável (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2008).

Nesse sentido, o conhecimento da razão entre oferta e demanda de água, é imprescindível como subsídio para propor alternativas quanto à melhor utilização para os recursos hídricos visto que, menos de 1,0 milhão de hectares, do total de 88 milhões que compõem o semiárido, se prestam à irrigação, considerando-se apenas os recursos hídricos locais (cerca de 1,1% da área total). Esse potencial de irrigação poderia ser ampliado em cerca de 2,4 milhões de hectares, subindo para 2,7%, se houvesse a transposição de bacias hidrográficas, o que, mesmo assim, significaria uma parcela bastante pequena do semiárido (DUARTE 2002; LEITE et. al. 2004).

A identificação do volume de água das irrigações possibilita avaliar a eficiência do seu uso e constitui elemento imprescindível à gestão sustentável dos recursos hídricos. Diversos estudos, tais como os realizados por Acreman et al. (2004); Plano Nacional de Recursos Hídricos - PNRH (2006); Galvão (2008); Silva e Galvêncio (2011), se utilizam de modelos hidrológicos como o Macro Water Sharing Plans (MWSP) que auxiliam na avaliação do estresse hidrológico, além de estimar o grau de vulnerabilidade climática e a relação entre oferta e demanda de água para irrigação em Bacias Hidrográficas. Uma das ferramentas que podem auxiliar nesse levantamento é o sensoriamento remoto. Através das imagens de satélites, obtém-se uma visão dos conjuntos e dinâmica de extensas áreas da superfície terrestre, logo, pode-se observar a bacia como um todo e as suas transformações, bem como os impactos causados por fenômenos naturais e pela ação humana no uso e na ocupação do espaço. Dessa forma, o sensoriamento remoto é uma opção de baixo custo e com grande cobertura que tem sido utilizada para diversos fins, dentre eles, a estimativa da evapotranspiração da superfície e evapotranspiração real (ET<sub>r</sub>), através de modelos de medição como o Surface Energy Balance Algorithm SEBAL (KUSTAS e NORMAN, 1996; BASTIAANSEN et al., 1998; SOBRINO et al., 2005; PRADO, 2005; SILVA et al, 2012).

Na agricultura, informações quantitativas da evapotranspiração são de grande importância para a avaliação da severidade, distribuição e frequência dos períodos de seca, assim como, elaboração de projetos e manejo de sistemas de irrigação e drenagem. A evapotranspiração, em termos de quantidade de água transportada em bacias, é o segundo componente mais importante do ciclo hidrológico depois da precipitação, possuindo um papel significativo no contexto climático e na resolução de problemas de manejo de recursos hídricos (LI e LYONS, 1999; WARD e TRIMBLE, 2004; BRUTSAERT, 2005). No Brasil, diversos estudos foram realizados verificando que a magnitude da evapotranspiração pode ter

valores superiores a 40% até aproximadamente 65% do balanço hídrico anual de bacias hidrográficas (MELLO et al., 2004; FILL et al., 2005; KOBAYAMA & CHAFFE, 2008; PINEDA, 2008). Dentre os vários tipos de evapotranspiração, destaca-se também a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), de Penman-Monteith, por permitir e facilitar a estimativa da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>). A ETP ou ET<sub>o</sub> é uma variável relevante para o planejamento de irrigação, pois ela leva em consideração principalmente fatores climáticos tais como: temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, etc. Assim, as informações sobre a ET<sub>o</sub>, que levam a estimativas da ET<sub>c</sub>, tornam-se ferramentas importantes no manejo da irrigação (HENRIQUE e DANTAS, 2007; ARAÚJO et al., 2007; SOUSA et al., 2010).

Dados do Banco Mundial (2004) indicam que a agricultura irrigada no semiárido constitui a principal atividade econômica na região, tendo gerado ao longo dos anos uma série de externalidades, como mudanças significativas na ocupação das terras e na estrutura produtiva da região além de benefícios sociais e econômicos. Dessa maneira, a análise do projeto de transposição do Rio São Francisco, como um projeto cuja envergadura causará impactos sobre o crescimento de perímetros irrigados na região do semiárido e modificará os padrões de ocupação das áreas contempladas, servirá para abalizar o estudo de caso na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal, no Estado de Pernambuco. A modernização do padrão produtivo possibilitado pela irrigação vem transformando a economia desta região do semiárido nordestino a partir da implantação dos perímetros públicos e privados na região, no final dos anos 60, e dos investimentos estatais em infraestrutura hídrica e elétrica, desde então, a agricultura irrigada torna-se a principal atividade econômica da região produzindo impactos significativos sobre a renda e emprego, inclusive de atividades não agrícolas (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2008).

Sabe-se que a natureza e magnitude dos desastres causados pelas secas no Nordeste brasileiro são resultantes da combinação entre a ausência, ou irregularidade das chuvas, com a falta de organização da produção agrícola (ANDRADE, 1985; BLAIKIE et al. (1994); SAUVAGE, 1996; OLIVEIRA, 2001). Muitos problemas poderiam ser atenuados com a instalação de sistemas adequados de drenagem, podendo também reduzir este impacto com a adoção de métodos de irrigação de maior controle de água, como, por exemplo, o gotejamento e a aspersão, como visto neste trabalho. Dessa forma, o desperdício de água na irrigação, além de aumentar os custos de produção, acarreta custos ambientais pelo comprometimento da

disponibilidade e da qualidade da água. Essa situação tem levado muitos projetos de irrigação, em todo o mundo, a uma condição de baixa sustentabilidade econômica e socioambiental (CULLEN, 2004; OLIVEIRA et al., 2006; OSTER e WICHELNS, 2003).

Como a agricultura irrigada constitui a principal atividade econômica na região semiárida, partiu-se da hipótese de que a integração da Sub-Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal com a do Rio São Francisco representa uma alternativa viável para a problemática do conflito pelo uso dos recursos hídricos em razão do aumento da disponibilidade de água para irrigação na Bacia, no entanto, a água não tem sido utilizada de maneira eficiente nas culturas agrícolas de modo que os agricultores utilizam mais água e mais terras do que o necessário para a produção agrícola.

Portanto, este trabalho tem por objetivo principal avaliar o potencial hidroagrícola da área correspondente a Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal – PE, buscando traçar melhores alternativas para otimizar os recursos hídricos disponíveis, com vistas a uma gestão mais racional da água. Esse estudo será importante para dar subsídios ao aumento da produtividade agrícola da região sem que tenha que haver aumento das áreas irrigadas em detrimento à diminuição das áreas correspondentes à vegetação de caatinga, contribuindo, dessa maneira, com a mitigação dos impactos ambientais negativos decorrentes do uso inadequado da terra e da má utilização dos recursos hídricos.

Para o cumprimento do objetivo principal realizou-se os seguintes objetivos específicos:

- Diagnóstico da relação entre oferta e demanda de água na Bacia do Pontal – PE através da razão de uso dos recursos hídricos.
- Estimativa do estresse hidrológico da Bacia através da metodologia australiana MWSP.
- Analisar espaço-temporalmente as modificações no perímetro irrigado na Bacia com base em imagens do satélite Landsat dos anos de 1986 a 2011.
- Estimar a evapotranspiração das culturas a serem implementadas na área após a integração da Bacia do Pontal-PE com a do Rio São Francisco.
- Estimar a lâmina líquida (LL) e a lâmina Bruta (LB) de água na irrigação de modo a propiciar a economia de água.
- Estimar a demanda suplementar de irrigação das culturas.



## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 MICROBACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE PAISAGEM

A bacia hidrográfica pode ser definida como unidade física, caracterizada como um volume (a bacia é uma área definida pelos seus divisores, além disso, possui uma distribuição tridimensional que se inicia com os usos da terra, passa pelo perfil de solo e engloba as rochas que sustentam a bacia) drenada por um determinado curso d'água e limitada, perifericamente, pelo chamado divisor de águas. Seu papel hidrológico é o de transformar uma entrada de água, de volume concentrada no tempo (precipitação), em uma única saída de água (escoamento). O estudo em bacias hidrográficas possibilita a integração dos fatores que condicionam a qualidade e a disponibilidade dos recursos hídricos, com os seus reais condicionantes físicos e antrópicos, (VALENTE, 1976; HEIN, 2000; GROSSI, 2003; PRADO, 2005).

Segundo Moldan & Cerny (1994), a microbacia do ponto de vista hidrológico, pode ser considerada como a menor unidade da paisagem capaz de integrar todos os componentes relacionados com qualidade e disponibilidade de água, como: atmosfera, vegetação natural, plantas cultivadas, solos, rochas subjacentes, corpos d'água e paisagem circundante. Ambientalmente, pode-se dizer que a bacia hidrográfica é a unidade ecossistêmica e morfológica que melhor reflete os impactos das interferências antrópicas, tais como a ocupação das terras com as atividades agrícolas (JENKINS et. al.,1994). Lima (1999) comenta que a microbacia constitui a manifestação bem definida de um sistema natural aberto, que pode ser vista como a unidade ecossistêmica da paisagem.

É na bacia hidrográfica onde se manifesta a maioria das consequências ou impactos do uso dos recursos naturais. Essa é uma das razões para que a bacia seja tomada como a unidade fisiográfica de planejamento. Atendendo aos dispositivos legais inerentes à de irrigação, gestão dos recursos hídricos e meio ambiente, qualquer projeto de irrigação e drenagem, seja de âmbito coletivo (comunidade de irrigantes), seja de natureza individual, deverá referir-se à bacia hidrográfica onde se situa, pelo menos para dar cumprimento às condições de outorga e, se for o caso, da respectiva cobrança pelo uso dos recursos hídricos (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2008).

## 2.2 PROBLEMÁTICA DA UTILIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO MUNDO.

A água representa insumo fundamental à vida, configurando elemento insubstituível em diversas atividades humanas, além de manter o equilíbrio do meio ambiente. O acelerado crescimento populacional no mundo tem conduzido ao aumento da demanda de água, o que vem ocasionando, em várias regiões, problemas de escassez desse recurso. Estima-se que, atualmente, mais de 1 bilhão de pessoas vivam em condições insuficientes de disponibilidade de água para consumo e que, em 25 anos, cerca de 5,5 bilhões de pessoas estarão vivendo em áreas com moderada ou séria falta de água (SETTI, et. al., 2001).

O problema da água no mundo tem sido, regra geral, avaliado com base nas estatísticas do modelo malthusiano (1798), segundo o qual a população do mundo teria seu crescimento limitado, antes do final do século XIX, devido à falta de alimentos no Terceiro Mundo. Todavia, Robert Thomas Malthus não previu que graças à Revolução Verde, ao grande desenvolvimento da biotecnologia e à queda progressiva nas taxas de natalidade, sobretudo nos países do Terceiro Mundo, essa perspectiva se tornaria obsoleta (REBOUÇAS, 2002).

### 2.2.1 Integração de Bacias

Uma das saídas para o problema da escassez de água para a agricultura tem sido, desde o século passado, a integração de Bacias. Assim como ocorre a integração do rio São Francisco no Brasil, outros países também adotaram ações semelhantes para enfrentar a falta de oferta de água. Há inúmeras experiências de transposição das águas de Bacias ao redor do mundo, tais como o de Tejo-Segura, na Espanha, concluída em 1978 após um prazo para conclusão de 40 anos (1933 a 1973), com uma estimativa de custo de US\$ 5,3 bilhões em valores atualizados. Onde houve a transferência de água da bacia do Rio Tejo, localizada na vertente do Oceano Atlântico da península ibérica, para a bacia do Rio Segura, região seca situada no sudeste da Espanha. A obra tem 286 km de extensão e vazão média transportada de 33 m<sup>3</sup>/s. Apresentada como um exemplo de transposição bem-sucedida para a irrigação e o abastecimento urbano no EIA-RIMA elaborado pela Jaakko Poyry-Tahal, os críticos afirmam que o projeto não conseguiu atingir o objetivo principal e induziu uma demanda ainda maior de água, necessitando de novos projetos de transposição a serem construídos, e da resolução

de problemas ligados à salinização do solo (ARAGÃO, 2008; MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2014).

Também foi um exemplo de transposição o Sistema Hidrelétrico das Montanhas Snowy, na Austrália que conta com um conjunto de 16 reservatórios, sete usinas, uma estação de bombeamento e, 145 quilômetros de túneis e 80 km de adutoras que coleta e armazena água que normalmente fluiria do leste para o litoral, sendo desviada do Rio Snowy para os rios Murray e Murrumbidgee. Com prazo de conclusão de 25 anos (1949 a 1974) e estimativa de custo de US\$ 820 milhões. O projeto foi iniciado em 1949, conta com 16 barragens, sete estações hidrelétricas, 145 km de túneis e 80 km de aquedutos. O custo inicial da obra, destinada à geração de energia e irrigação, foi orçado em US\$ 630 milhões. O projeto de transposição proporcionou um incremento na oferta de empregos na região, em contrapartida, houve conflitos entre as regiões doadora e receptora, e atualmente a transposição demanda novas soluções para suprimento de água, como poços, reutilização e dessanilização (ARAGÃO, 2008).

Há ainda outros projetos em vários países que também merecem destaque, tais como: o Projeto Colorado-Big Thompson, nos EUA que conta com um conjunto de 12 reservatórios, 56 quilômetros de túneis e 153 Km de canais que transpõe as águas do Rio Colorado a oeste das Montanhas Rochosas para sua vertente leste em direção ao Rio Big Thompson e que teve um prazo de conclusão de 21 anos (1938 a 1959) e uma estimativa de custo de US\$ 1,4 bilhão; O Projeto Hídrico das Montanhas do Lesotho, na fronteira entre o Lesotho e a África do Sul com um conjunto de quatro hidrelétricas, adutoras e túneis e com prazo de conclusão aproximado de 19 anos (1983 a 2002), estimativa de custo de US\$ 4 bilhões (o projeto original previa 4 hidrelétricas e um orçamento total de US\$ 8 bilhões); Também o Projeto de Transferência de Água de Wanjiashai: Conjunto de adutoras na região noroeste da Província de Shanxi, com três eixos distintos com 44 quilômetros, 100 quilômetros e 167 quilômetros, extraíndo água do Rio Amarelo-Huang He com prazo de conclusão de 10 anos (2001 a 2011) e estimativa de custo de US\$ 1,5 bilhão e o Projeto Especial Chavimochic no Peru, com túneis, canais abertos, adutoras enterradas e sifões trazendo água para regiões mais elevadas dos rios localizados nas proximidades da costa norte do Peru, com prazo de conclusão de 10 anos (1986 a 1996) e estimativa de custo de US\$ 2,15 bilhões.

Ainda há projetos em fase de estudos ou de implantação tais como: o Projeto do canal El-Salaam, Egito, a partir da construção de adutora de 150 quilômetros que transportaria água

de sistema de esgotos misturada à água do Rio Nilo do delta do rio para o Sinai possuindo um prazo de conclusão ainda a ser estipulado no projeto e uma estimativa de custo de US\$ 2,8 bilhões. Além do mais conhecido projeto de transposição, que é o do Mar de Aral na Ásia Central situado entre o Uzbequistão e o Cazaquistão, que já foi o quarto maior mar interior da Terra, com 66 mil quilômetros quadrados, ter que passar por novas intervenções. O desvio das águas dos rios Amu Daria e Sir Daria para projetos de irrigação das plantações de algodão, a partir de 1939 pelo governo da extinta União Soviética, consumiu 90% da água que chegava ao Aral, reduzindo-o a um terço do tamanho original. O que era fundo do mar transformou-se em deserto, com sérios impactos sobre a economia da região, especialmente a pesqueira. Uma das alternativas estudadas para recuperar o mar de Aral é a construção de dois canais, um partindo do Rio Volga, 800 quilômetros e estimado em US\$ 8 bilhões, e outro dos rios Ob e Irtysh, 2.500 quilômetros e estimado em US\$ 22 milhões e projetado para ser concluído em 20 anos, com uma estimativa de custo de US\$ 30 bilhões.

No Brasil, o grande desafio há vários anos é a transposição do Rio São Francisco. O Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional é um empreendimento do Governo Federal, sob a responsabilidade do Ministério da Integração Nacional e é destinado a assegurar oferta de água, em 2025, a cerca de 12 milhões de habitantes de 390 municípios do Agreste e do Sertão dos estados de Pernambuco, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte e está orçada em R\$ 8,2 bilhões. Segundo o Ministério da Integração Nacional (2011), o sistema funcionará nos dois eixos da transposição. O Eixo Norte, com 402 quilômetros (km), levará água captada em Cabrobó (PE) para os rios Salgado e Jaguaribe, no Ceará; Piranhas-Açu, na Paraíba e Rio Grande do Norte; e Apodi, também no Rio Grande do Norte. Os volumes excedentes serão armazenados em reservatórios estratégicos existentes nas bacias receptoras: Chapéu e Entre Montes (PE); Engenheiro Ávidos e São Gonçalo (PB); Atalho e Castanhão (CE); Armando Ribeiro Gonçalves, Santa Cruz e Pau dos Ferros (RN).

No Eixo Leste, as águas percorrerão a distância de 220 km, a captação será feita no lago da Barragem de Itaparica (município de Floresta-PE), e será levada até o Rio Paraíba (PB) devendo atingir os reservatórios existentes nas bacias receptoras: Poço da Cruz, em Pernambuco, e Eptácio Pessoa (Boqueirão), na Paraíba. Parte da vazão será transferida antes nas bacias dos rios Pajeú e Moxotó e para a região agreste de Pernambuco, através da existência de um ramal de 70 km que interligará o Eixo Leste à bacia do rio Ipojuca. A vazão

máxima prevista é de 28 m<sup>3</sup> /s, mas a vazão média operacional será de 10 m<sup>3</sup> /s. O excedente de água será transferido para reservatórios de Poço da Cruz (PE) e de Epitácio Pessoa (em Boqueirão, PB).

Todavia, Rebouças (2004) salienta que há diversas maneiras de utilização da água de forma correta e que a abundância no Brasil não autoriza o desperdício e muito menos o descaso, pois o problema não se resume apenas a conseguir mais água, mas sim, de usar da que se dispõe com inteligência. E, portanto, se persistir a tradicional ideia de que a única solução aos problemas de escassez local e ocasional de água é o aumento da sua oferta, mediante a construção de obras extraordinárias, a crise da água no Brasil pode alcançar proporções sem precedentes nos próximos anos. Sendo portanto, necessário o estudo de formas de se aumentar a produtividade com cada vez menos água.

## 2.3 PROBLEMÁTICA DA IRRIGAÇÃO NO BRASIL

### 2.3.1 Aspectos Gerais

Segundo o Ministério da Integração Nacional (2008), a agricultura irrigada representa cerca de  $\frac{3}{4}$  do total de água consumido na maior parte do globo. A área irrigada nas Américas é de 48.384.878 ha, dos quais 57,7% estão nos Estados Unidos, 13,3% no México e 6,5% no Brasil. Embora a produção mundial de alimentos ocorra majoritariamente no sistema de sequeiro, tem sido cada vez mais necessária a produção de alimentos mediante o uso da irrigação, que já representa 70% da água doce consumida no planeta (FERERES & SORIANO, 2007).

Dados do Ministério da Integração Nacional apontam que a América do Norte já utiliza 12% de seus recursos hídricos em irrigação, enquanto América do Sul somente 1%. A área irrigada nas Américas é de 48.384.878 ha, dos quais 57,7% estão nos Estados Unidos, 13,3% no México e 6,5% no Brasil. Constata-se que a agricultura irrigada é, de longe, o maior usuário: cerca de  $\frac{3}{4}$  partes do total consumido são atribuídas à irrigação. Nos Estados Unidos 71% dos recursos hídricos são utilizados para essa atividade enquanto que no México a utilização chega a 64%. Apesar de o Brasil ser detentor de, aproximadamente, 15% das águas doces do planeta, a maior parte desse recurso (70%) está na bacia Amazônica, onde vivem somente 7% da população brasileira. Sendo mais da metade da água consumida no Brasil,

destinada à agricultura irrigada, apesar de que área cultivada irrigada no País é de cerca de 5%.

Segundo o Plano Nacional de Recursos Hídricos (2006), 69% da água consumida no Brasil tem utilização na agricultura irrigada, apesar de o País ter apenas cerca de 5% de área cultivada irrigada, com eficiência média de 64%, ou seja, 36% da água derivada para a irrigação no país constituem-se em perdas por condução e por distribuição nas infraestruturas hidráulicas, provocando um grande desperdício no uso da água na agricultura. A meta é produzir mais alimentos com uso de menor quantidade de água, tarefa que poderá ser bastante dificultada se forem confirmadas as projeções de mudanças climáticas para as próximas décadas (MARENGO et al., 2009). Na agricultura, a FAO estima que cerca de 60% da água que é fornecida aos projetos de irrigação no mundo se perdem por evaporação ou percolação (REBOUÇAS, 2003).

### **2.3.2 Histórico da irrigação no Brasil**

Em comparação com outros países do continente americano, a irrigação foi iniciada de forma tardia no Brasil, o final do século XIX e o início do século XX foram marcados pela criação de um conjunto de instituições voltadas a questões de clima, de disponibilidade hídrica e saneamento e de obras contra intempéries, tendo o primeiro projeto de irrigação começado indiretamente em 1881, no Rio Grande do Sul, por iniciativa privada, com a construção do reservatório Cadro, para permitir o suprimento de água a ser utilizada na lavoura irrigada de arroz, com início efetivo de operação em 1903 (BRASIL, 2008).

A partir da segunda metade dos anos 70 vários projetos públicos de irrigação foram iniciados em vários estados do semiárido, beneficiando a região Nordeste com avanços tecnológicos propiciados por modelos hidrológicos, e incluindo-a nos diversos estágios de desenvolvimento da gestão dos recursos hídricos (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2008). A implantação da agricultura irrigada produziu uma nova realidade no Submédio São Francisco. Houve a transformação de um ambiente hostil, caracterizado pelas irregularidades das chuvas e secas prolongadas, em polo de produção de culturas de elevado valor comercial. Até a década de 70, a paisagem da região semiárida do Nordeste, era constituída de uma agricultura de subsistência, com predominância da vegetação de caatinga. (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO SOCIAL E COMBATE À FOME, 2010).

Até a metade da década de 80, a fruticultura do Nordeste esteve presente no desenvolvimento agroindustrial em outras áreas (litoral) com a produção de sucos dos tipos: caju, laranja, goiaba, acerola etc. Mas no final da década, verificou-se que os preços das frutas tinham maior competitividade no mercado internacional do que os preços de outros produtos da pauta de exportação (commodities), levando o governo a investir mais na atividade frutícola para a exportação. Com a abertura comercial, no início dos anos 90, o Polo de Petrolina/Juazeiro, atravessou conjunturas desfavoráveis desencadeadas pelos planos de estabilização, como também em outros segmentos em todo o país (LACERDA E LACERDA, 2004).

Em 1996, foi instituído, pelo Ministério da Agricultura, o Programa de Apoio ao Desenvolvimento da Fruticultura Irrigada no NE – PADFIN (BRASIL, 1997) e, posteriormente, o Programa de Desenvolvimento da Fruticultura - PROFRUTA, que tem como objetivo elevar os padrões de qualidade e competitividade da fruticultura brasileira ao patamar de excelência requerido pelo mercado internacional (BRASIL, 2002). Hoje em dia, o Brasil destaca-se como um dos principais produtores mundiais de frutas, com uma produção que supera 34 milhões de toneladas; no entanto nossas exportações ainda são consideradas insignificantes, haja vista que o País exporta apenas 1,3% de sua produção, apresentando incipiente participação nesse comércio, com 0,3% do total de US\$ 36,8 bilhões que representa o mercado mundial de frutas frescas e o restante é comercializado no mercado interno, denotando que a fruta representa um importante complemento na dieta alimentar da população brasileira (FERRAZ, 2001; VIEGAS et al, 2004).

A elevação da produtividade pelo uso da irrigação possibilitou o desenvolvimento regional, através do estímulo à difusão de modernas técnicas de produção. Inicialmente, foram selecionados através do Programa de Irrigação para o Nordeste (PIN), os municípios de Petrolina/PE, Juazeiro/BA e circunvizinhos, escolhidos, principalmente, em função das condições naturais favoráveis, como a proximidade do Rio São Francisco. Foram utilizados dois modelos de estrutura para exploração da agricultura: projetos públicos, para os pequenos produtores familiares e projetos privados para empresas agrícolas. A criação dos Projetos de Irrigação foi resultado de uma decisão governamental de priorizar a interiorização do desenvolvimento, através da fixação do homem ao campo (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO SOCIAL E COMBATE À FOME, 2010).



### **2.3.3 Programa “MAIS IRRIGAÇÃO” do Governo Federal**

A experiência da maioria dos perímetros públicos implantados no Brasil mostrou que produzir não é o fator mais difícil a ser vencido, mas sim: como, quando, quanto, para quem e onde comercializar. Segundo o Ministério da Integração Nacional (2005), nos projetos em que coexistiram a instalação e desenvolvimento simultâneo da atividade empresarial com a agricultura irrigada tradicional de pequenos produtores, esses últimos tiveram sucesso, mesmo que de forma lenta, em grande parte devido à presença da primeira como fator de liderança gerencial. Em contrapartida, cada um dos projetos públicos de irrigação existentes que foram construídos sem que a questão do mercado fosse determinante na avaliação da sua viabilidade, conseqüentemente, em sua maioria, não apresentaram condições de sustentabilidade.

Nesse contexto está inserido o programa Mais Irrigação do governo federal, com previsão de investimento de R\$ 10 bilhões, sendo R\$ 3 bilhões em recursos públicos e R\$ 7 bilhões da iniciativa privada. Dos 66 perímetros de irrigação previstos dentro do programa, que juntos somam 538 mil hectares distribuídos em 16 estados, 32 estão sob responsabilidade da empresa pública Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF), vinculada ao Ministério da Integração Nacional e que tem assumido um importante papel na expansão da agricultura irrigada no país. Com o programa, o governo federal pretende aperfeiçoar a ocupação agrícola e a gestão da infraestrutura dos perímetros irrigados do país. O Mais Irrigação tem, entre seus objetivos estratégicos: maximizar a ocupação e aumentar a produtividade das áreas irrigadas; propiciar o uso eficiente e sustentável da água; proporcionar a modicidade da tarifa de água, além de estabelecer parcerias com o setor privado, sempre enfatizando o apoio à agricultura familiar e aos pequenos irrigantes (CODEVASF, 2007a).

O Programa será importante para aumentar a área de agricultura irrigada na Região Nordeste e está dividido em quatro eixos: O eixo 1, que traz um novo modelo de exploração unindo Poder Público e iniciativa privada, engloba 8 projetos e 189 mil hectares entre os estados da Bahia, Pernambuco, Ceará, Piauí e Minas Gerais. O eixo 2 prevê a implantação e revitalização de 13 projetos, os quais somam cerca de 133 mil hectares distribuídos entre oito estados (Roraima, Tocantins, Goiás, Piauí, Ceará, Bahia, Minas Gerais e Rio Grande do Sul), (CODEVASF, 2007a).

O investimento público previsto neste eixo é de quase R\$ 1 bilhão, e cinco desses projetos estão sob responsabilidade da CODEVASF. Os demais estão a cargo do DNOCS e da Secretaria Nacional de Irrigação (SENIR). No eixo 3 estão os projetos da agricultura familiar e dos pequenos irrigantes. São 27 projetos, sendo que 25 na região Nordeste e 11 sob responsabilidade da CODEVASF, totalizando 61 mil hectares. Os investimentos públicos previstos neste eixo também giram em torno de R\$ 1 bi. Esses projetos estão distribuídos pelos estados do Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Sergipe, Alagoas, Piauí, Bahia, Pernambuco, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Maranhão. Já o eixo 4 reúne 18 projetos, nove sob responsabilidade da Codevasf, que somam 155 mil hectares, com previsão de receber R\$ 89 milhões em investimentos públicos para a fase de estudos e projetos (CODEVASF, 2007a).

### **2.3.4 Programa “MAIS IRRIGAÇÃO” para Pernambuco**

A perspectiva é que seja ampliada a área irrigada em Pernambuco de 120 mil hectares para 160 mil nos próximos dois anos contribuindo para a criação de novas fronteiras agrícolas no estado. Entre as áreas de requalificação e implantação, devem receber investimentos cerca de 89,8 mil hectares no estado, com um potencial de investimento de R\$ 1,7 bilhão. Entre os projetos inseridos no eixo 1 está o Pontal. Iniciado em 1996, o Projeto Pontal desenvolve-se numa área de 33,5 mil hectares dos quais 7.717 serão irrigados. Além do Pontal, estão na lista de beneficiados com o “Mais Irrigação” os perímetros irrigados Nilo Coelho (Petrolina), Bebedouro (Petrolina), Boa Vista (entre Salgueiro e Terra Nova), Moxotó (entre Ibimirim e Inajá), Serra Negra, Terra Nova e o Canal do Sertão (etapas do eixo norte da Transposição do Rio São Francisco), (CEASA, 2012).

## **2.4 PROBLEMÁTICA DA IRRIGAÇÃO NA BACIA DO RIACHO DO PONTAL-PE**

### **2.4.1 Aspectos Históricos**

Há muito tempo existe uma preocupação com relação à oferta de água na Bacia do Pontal. Em 1962, foi executado o “Estudo Agrônomo e Esquema de Aproveitamento Hidroagrícola da Zona do Pontal” encomendada pela CVSF, que compreenderam uma área de

5.700 ha, localizada entre a BR-122 e a margem esquerda do rio São Francisco. Posteriormente, o Governo Federal, através do DNOS - Departamento Nacional de Obras de Saneamento, considerando a perenização dos rios da região semiárida, como um antigo desejo nordestino, promoveu estudos sobre a transposição de águas do rio São Francisco para a região, que envolveria os estados de Pernambuco, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte. Nesses estudos, o riacho Pontal seria perenizado por uma derivação do sistema adutor principal, no município de Terra Nova (PE), (CODEVASF, 2007b).

Dos estudos desenvolvidos, o que teve mais ênfase foi aquele sob a responsabilidade do Governo do Estado de Pernambuco, através da CPRH, que ainda chegou a ter obras iniciadas para adução de 44 m<sup>3</sup>/s de água do Lago de Sobradinho para perenizar diversos rios que banham o Sertão de Pernambuco, como Pontal, Garças, São Pedro, Brígida e Terra Nova, usando como principal condutor a calha do riacho Pontal, afluente da margem esquerda do rio São Francisco. Obras como a Barragem-Mãe do Pontal, e alguns trechos do Canal Adutor, foram iniciadas, encontrando-se, entretanto, paralisadas desde 1982 (CODEVASF, 2007b).

A Companhia de Desenvolvimento do Vale São Francisco (CODEVASF), criada em substituição à SUVALE que sucedeu a CVSF, por sua vez, empreendeu estudos mais intensos na área do Pontal, com a realização do “Levantamento Detalhado de Solos” em 1989. O levantamento compreendeu cerca de 97.000 ha, de forma descontínua, e subdividida em “manchas”, identificando 54.000 ha de solos aptos à irrigação. A seguir, houve estudos de Pré-Viabilidade da agricultura irrigada em uma área de 48.000 ha, subdividida em três setores: Sobradinho (37.600 ha), Pontal Sul (5.200 ha) e Pontal Norte (5.200 ha). Como conclusão desses estudos (1991), verificou-se ser mais oportuno o aprofundamento da concepção prevista para os setores Pontal - Área Sul e Pontal - Área Norte, deixando o setor Sobradinho para uma etapa posterior, já que apresentou resultados econômicos/financeiros pouco atraentes (CODEVASF, 2007b).

Em 1992 foram definidas as áreas de irrigação em 4.000 ha para o Pontal – Área Sul e 4.200 ha para o Pontal - Área Norte a partir de uma captação no rio São Francisco prevista para uma vazão de 5,40 m<sup>3</sup>/s, confirmando as estimativas da fase de viabilidade. Os trabalhos foram concluídos ao final de 1993. No começo de 1996, foi dado início ao Projeto Executivo do Projeto Pontal Sul, que envolvia a otimização do sistema concebido no projeto básico e o detalhamento construtivo do mesmo, em nível suficiente, para sua implantação. Entretanto, sua otimização não se resumiu somente a esse detalhamento, mas se estendeu à reformulação

de vários conceitos, critérios e características do projeto básico, ajustando sua concepção à realidade dos novos projetos desenvolvidos e em desenvolvimento pela CODEVASF, na região de Petrolina (CODEVASF, 2007b).

#### **2.4.2 Cenário atual e futuro da Bacia do Pontal-PE**

A Bacia do Riacho do Pontal-PE tem sido alvo de projetos de interesse tanto do poder público quanto do setor privado, pela perspectiva de crescimento de seu perímetro irrigado a partir das obras de integração com a Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Nesse sentido, o projeto de maior importância para o aumento do perímetro irrigado da Bacia em questão é o projeto Pontal. Este projeto se insere na região do vale no submédio São Francisco, na área de influência do Polo Hidroagrícola Petrolina (PE)-Juazeiro (BA), o mais importante centro de produção e de exportação de frutas tropicais irrigadas do Brasil. O desenvolvimento agrícola da região se apoia nas condições climáticas, caracterizando-se pela elevada insolação durante todo o ano, e solos de boa aptidão para a irrigação que ajudam a promover a qualidade da produção irrigada de frutas, se adequando não só às exigências do mercado interno, mas, também, para as exigências dos consumidores da Europa e América do Norte destino das frutas exportadas da região (LACERDA E LACERDA, 2004).

A integração a esse ambiente hidroagrícola já consolidado, com a agregação de novas áreas de produção constitui-se numa das principais justificativas para implantação de projetos de irrigação para o Pontal Norte e Pontal Sul. O projeto Pontal é uma das ações do Programa Mais Irrigação do governo Federal, recebendo aportes financeiros de mais de 160 milhões do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC 2). Ele está localizado na área rural do município de Petrolina, em Pernambuco, na margem esquerda do rio São Francisco. O projeto possui uma área de 27.517 mil hectares, dos quais 7.717 hectares são irrigáveis, sendo 3.588 ha do Pontal Sul e 4.129 ha do Pontal Norte. A Reserva Legal (5.539 hectares) já foi definida e implantada, e a área restante é composta por terras de “sequeiro” (não irrigáveis), áreas de canal, estradas e áreas de uso comum.

O governo brasileiro, através de sua agência CODEVASF, objetiva transferir as áreas do Pontal para o setor privado por meio de uma Parceria Público-Privada (PPP) para o desenvolvimento da região com agricultura irrigada intensiva investindo aproximadamente US\$70 milhões para a construção parcial de infraestrutura de irrigação desde o rio São

Francisco até a área do Pontal. A Parceria Público-Privada (PPP) na irrigação irá proporcionar a exploração agrícola garantindo ao vencedor da licitação a cessão de direito real de uso da terra, permitindo sua utilização e a cobrança de tarifa de irrigação competitiva pelo prazo de 45 anos. As obras do atual projeto de integração pretende concentrar-se primeiramente, em grandes empresas agrícolas para que elas, por sua vez, abram espaço para os pequenos agricultores. A terra será transferida ao vencedor da licitação sem nenhum custo, em contrapartida, o concessionário terá duas principais responsabilidades: ocupar a terra em até 6 anos a contar da assinatura do contrato e garantir que a empresa agrícola irá alocar no mínimo 25% das terras irrigáveis para pequenos agricultores que serão integrados à cadeia produtiva da mesma (CODEVASF, 2013).

Com a conclusão do projeto, a estimativa é a geração de 7.811 empregos diretos e 15.622 indiretos. Na agricultura irrigada, há potencial para cultivo das seguintes culturas: abacaxi, algodão, banana, manga, uva, cenoura, feijão, beterraba, limão, milho, melancia, pimentão, produção de leite, peixe e hortaliças. A produção na área de sequeiro também é economicamente viável, capaz de gerar renda e melhorar as condições de vida da população local. Dentre as atividades possíveis de serem desenvolvidas estão a ovinocaprinocultura (carne, peles, animais vivos e esterco), produção de grãos (milho e feijão), produção de mandioca (farinha), extrativismo (lenha, carvão, umbu) e cultivos de vazante (como o da batata-doce), (CODEVASF, 2007a).

## 2.5 MODELAGEM MATEMÁTICA

Na perspectiva da Geografia Quantitativa, é preciso construir modelos a serem utilizados na análise dos sistemas geográficos; estes modelos, construídos de forma teórica, devem ser verificados e validados com dados de campo a partir de técnicas estatísticas (CHORLEY AND HAGGETT, 1967). Um modelo matemático tem sido definido como uma “reunião de conceitos na forma de equação matemática, que retrata o conhecimento de fenômenos naturais” (CONNOLY, 1998 apud PRADO, 2005).

Sobre essa matematização da Ciência Geográfica defendida pela Geografia Quantitativa, Santos (2002) diz que, “o uso de técnicas estatísticas, se corretamente utilizadas, permite uma maior precisão, pois, os problemas práticos e metodológicos da geografia são de tal natureza que a utilização das técnicas estatísticas é adequada para exercer uma forte

atração”. Nesse contexto, o estudo dos padrões de distribuição espacial dos fenômenos (eventos pontuais, áreas e redes) passa a formar uma base para estudos quantitativos do espaço em que as tecnologias de detecção remota e processamento digital de imagens têm facilitado enormemente as representações da arquitetura da paisagem.

Os estudos utilizando-se de modelagem hidrológica além do uso da estatística, encontram respaldo na Geografia Quantitativa (LEITE E ROSA, 2005). De acordo com Tucci (1987), o modelo de simulação pode ser definido como a representação do comportamento de uma estrutura, esquema ou procedimento, real ou abstrato, que num dado intervalo de tempo interrelaciona-se com uma entrada, causa ou estímulo de energia ou informação, e uma saída, efeito ou resposta de energia ou informação. O objetivo da modelagem é, então, compreender melhor os processos que ocorrem em um sistema como uma bacia hidrográfica (FOHRER et al., 2001).

A utilização de modelos matemáticos do tipo hidrológico é baseada em três condições fundamentais: (i) objetivo do estudo, (ii) dados históricos disponíveis e (iii) metodologia proposta. O objetivo do estudo define o nível de precisão desejado para a representação dos fenômenos que ocorrem na bacia hidrográfica. Em contrapartida, esta precisão depende da quantidade e qualidade dos dados disponíveis para aferir a metodologia, assim o modelo hidrológico é escolhido de acordo com o objetivo do estudo, que definirá o nível de precisão desejado (TUCCI, 1987 apud PRADO, 2005).

### **2.5.1 Modelagem hidrológica com a utilização do Macro Water Sharing Plans (MWSP)**

Na atualidade brasileira é evidente o crescimento dos conflitos entre os diversos usuários dos recursos hídricos. Exemplos em grande escala podem ser observados na bacia do Rio São Francisco, onde as projeções de demanda de água para a irrigação, para a navegação, para o projeto de transposição, para o abastecimento humano e de animais e para a manutenção dos atuais aproveitamentos hidrelétricos mostram-se preocupantes quanto à disponibilidade de água do Rio (SETTI et al., 2001).

E além da preocupação quanto à disponibilidade de água na Bacia, também existe a preocupação com modificações futuras em sua dinâmica natural, acarretadas, por exemplo, por variações nos padrões climáticos. Nesse sentido, o relatório do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) de 2007 afirma que o aumento de temperatura observado desde a

metade do século XX é resultado do aumento das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, provocados por atividades humanas. Nesse relatório estima-se uma probabilidade maior que 90% de que a ação antrópica sobre a natureza seja a principal responsável pelas variações climáticas, que se tornaram cada vez mais intensas nos últimos anos, sendo denominadas atualmente de mudanças climáticas. Para o IPCC, a terminologia mudança climática refere-se a qualquer mudança no clima durante um considerável período de tempo, independentemente se for uma variação natural ou resultado das atividades humanas.

Para Souza Filho (2003), as mudanças climáticas influenciam diretamente no sistema de recursos hídricos e essas alterações do clima terminam por provocar a necessidade da adoção de práticas e instrumentos de gestão desses recursos que se ajustem e se adaptem às novas condições climáticas. E com vistas à mensuração da suscetibilidade das bacias hidrográficas diante de uma provável mudança nos padrões climáticos e da necessidade de se conhecer as diversas maneiras de como estão sendo utilizados os recursos hídricos, vários métodos podem ser utilizados para tal fim, inclusive métodos hidrológicos (GALVÃO, 2008).

Nesse sentido, o entendimento da dinâmica de Bacias torna-se crucial para a gestão dos recursos hídricos, potencializando os resultados benéficos para a população, fazendo uso de métodos hidrológicos para identificação da problemática da área. Os métodos hidrológicos caracterizam-se por estabelecer vazões de restrição usando somente dados de séries históricas de vazão, entendendo que esta vazão é suficiente para a manutenção de certas características do ecossistema. Esses métodos têm a vantagem de serem simples, baratos, de fácil aplicação e necessitar basicamente de dados hidrológicos coletados em estações fluviométricas, que, muitas vezes, são os únicos disponíveis para a região de estudo. Os métodos dessa categoria utilizam ferramentas da hidrologia estatística, como média, mediana e curva de permanência para fornecer as recomendações de vazão mínima garantida (GONÇALVES, 2003; GALVÃO, 2008).

O uso de modelos hidrológicos para embasar as observações da dinâmica das bacias estudadas são extremamente importantes para a quantificação de problemas relacionados a possíveis modificações na dinâmica das Bacias, bem como a disponibilidade de água a ser empregada em diversos setores, como a irrigação, buscando com isso, a forma mais eficiente de utilização dos recursos hídricos. Nesse sentido, o conhecimento sobre a quantidade de água disponível na Bacia bem como a demanda pelos recursos hídricos é imprescindível no que concerne a oferecer subsídios para tomada de decisão por parte do poder público.



Em 2001, a Comissão de Recursos Hídricos do estado americano de Massachusetts desenvolveu um estudo para definir o estresse hidrológico, tendo este sido definido quando uma bacia ou sub-bacia na qual a quantidade de vazão de um rio tenha sido significativamente reduzida, ou sua qualidade degradada (MWRC, 2001). Na Tanzânia, por exemplo, o governo tem adotado em sua política hídrica a prioridade de uso da água. Primeiro para os ecossistemas e depois para os usos humanos. No entanto, o cálculo da vazão ecológica é determinado por intermédio do produto de valores sociais, ecológicos e econômicos da água. Neste país notamos um disciplinamento da competência de determinação da vazão ecológica, que é definida pela sociedade, mas regulamentada pelo Estado (ACREMAN et al., 2004).

A política de recursos hídricos utilizada no oeste da Austrália está baseada no mesmo princípio do modelo empregado na Tanzânia. Naquele país a instituição Waterand River Commission (Agência de Recursos Hídricos) estabelece que vazões para os ecossistemas têm prioridade. De acordo com Postel e Richter (2003) primeiro a água é reservada para dar suporte aos ecossistemas e somente o restante pode ser alocado para outros usos. Postel e Richter (2003) destacam que na Austrália todos os estados assinaram o acordo Water Reform Framework (Quadro de reforma da água) como forma de otimizar o uso sustentável e a proteção dos ecossistemas. Após a assinatura do acordo se iniciou a consideração do balanço entre os aspectos ambientais, sociais e econômicos na determinação das vazões ambientais. Assim foi instituído o Macro Plano para gerenciamento da água (Macro Water Sharing Plan) no país e, através dele, tornou-se possível manejar o impacto cumulativo de extração, facilitar a troca de títulos de água e tornar claros os direitos do meio ambiente, dos usuários e do suprimento de água para as cidades do Estado de New South Wales (NSW, 2006).

Dessa maneira, torna-se interessante a utilização de uma metodologia que possa valer-se de métodos estatísticos para, ao mesmo tempo, relacionar a demanda e oferta de água, com parâmetros físicos como o clima, sendo assim, neste trabalho, foi empregada uma metodologia australiana proposta pelo Macro Water Sharing Plans (MWSP), capaz de trabalhar esses parâmetros e, simultaneamente, se adequar as especificidades da Bacia estudada. Na Austrália o Departamento de Recursos Naturais de New South Wales vem adotando desde 2006, essa metodologia para determinar o grau de estresse hidrológico de determinadas bacias, tomando como parâmetros para se chegar ao resultado final, a vulnerabilidade climática da bacia pesquisada e a razão de uso dos recursos hídricos na área. Segundo o método MWSP utilizado no Brasil pelo Plano Nacional de Recursos Hídricos

(PNRH, 2006), também aplicado por Galvão (2008) na Bacia do Ribeirão Piripau, é possível estimar o estresse hidrológico através da razão entre a demanda de extração e a vazão disponível (chamado de Estresse Hidrológico – Eh).

Esse método será útil por apresentar dados estatísticos sobre a razão de uso dos recursos hídricos nas áreas irrigadas dando ênfase à relação entre oferta e demanda de água na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal, identificando também a vulnerabilidade ambiental da bacia frente às mudanças climáticas e estimando o grau de Estresse Hidrológico a que o corpo hídrico encontra-se submetido. Esse levantamento será importante pois se trata de uma Bacia que receberá água proveniente da transposição do Rio São Francisco.

## 2.6. EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A evapotranspiração é uma das principais componentes do ciclo hidrológico, sendo desta forma um fenômeno de fundamental importância para a vida no planeta. Ela é responsável por quase todo o volume de água transferido dos continentes para a atmosfera, além de desempenhar um papel definitivo na liberação de calor latente, LE, cujo valor integrado no tempo, de acordo com Bastiaanssen *et al.* (1998), é importante para diferentes aplicações em estudos de hidrologia (manejo dos recursos hídricos), agronomia e modelagem atmosférica.

O termo evapotranspiração foi proposto por Thornthwaite (1944) para representar ambos os processos, evaporação e transpiração, que ocorrem de maneira natural e simultânea em uma superfície vegetada (PEREIRA *et al.*, 2002). Ela é fortemente influenciada por fatores da vegetação, de manejo de solo e gestão das condições ambientais e, principalmente, por parâmetros que dizem respeito ao tempo como: radiação solar, temperatura da superfície, temperatura e umidade relativa do ar e a velocidade do vento (ALLEN *et al.*, 1998; PEREIRA *et al.*, 2002; SANTOS, 2009). É um processo dinâmico da água que ocorre no sistema solo-planta-atmosfera, a partir do momento em que a água é aplicada natural (através da chuva) e/ou artificialmente (através da irrigação) sobre um cultivo agrícola. Portanto, toda água que entra pela planta e participa de seus processos metabólicos, incluindo a fotossíntese, faz parte da constituição dos seus tecidos e é transpirada por ela.

Segundo Klocke *et al.* (1996), a evapotranspiração corresponde à água removida da superfície e lançada na atmosfera. Este fenômeno ocorre devido à combinação de dois processos através dos quais a água é perdida pela superfície: por evaporação ou por

transpiração. Como é praticamente impossível se distinguir o vapor d'água proveniente da evaporação da água no solo e da transpiração das plantas, Sentelhas e Angelocci (2009) definem a evapotranspiração como o processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera por evaporação da água do solo e da vegetação úmida e por transpiração das plantas. Dessa forma ela é um processo dinâmico da água que ocorre no sistema solo-planta-atmosfera, a partir do momento em que a água é aplicada natural (através da chuva) e/ou artificialmente (através da irrigação) sobre um cultivo agrícola. Portanto, toda água que entra pela planta e participa de seus processos metabólicos, incluindo a fotossíntese, faz parte da constituição dos seus tecidos e é transpirada por ela.

De acordo com Faria *et al.*, (2000) e Costa (2002), a evapotranspiração, indica o total da perda de água transferida da superfície do solo para a atmosfera na forma de vapor, ou seja, é a soma da água evaporada de superfícies livres, dos solos, da vegetação úmida e a transpiração dos vegetais. A avaliação da evapotranspiração pode ser amplamente aplicada, para o estudo da economia de água em reservatórios expostos, na secagem natural de produtos agrícolas e nos vários campos técnico-científicos que tratam de numerosos problemas do manejo de água. Consiste ainda no principal parâmetro para o dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação, por totalizar a quantidade de água utilizada nos processos de evaporação e transpiração pelas culturas durante um determinado período.

Autores como Allen *et al.* (1998), definem a evaporação como o processo através do qual a água é convertida da fase líquida para a fase de vapor (vaporização), removendo-a de superfícies evaporantes como oceanos, lagos, rios, pavimentos, solos e vegetação úmida (evaporação do orvalho e da chuva interceptada pela copa das árvores). Já a transpiração diz respeito a água transferida ou perdida pela vegetação para a atmosfera, a partir de pequenos orifícios da superfície das folhas, estômatos, ou através de pequenas perdas pelas lenticelas no caso das plantas lenhosas e é decorrente das ações físicas e fisiológicas dos vegetais, através dos estômatos (VILLELA e MATTOS, 1975; PEREIRA *et al.*, 2002; SANTOS, 2009).

### **2.6.1 Métodos para determinação da evapotranspiração**

Existem vários métodos para determinação da evapotranspiração como o *Método do Balanço Hídrico*, que avalia o fluxo de água que entra e que sai da zona de raízes da cultura sobre um determinado período de tempo, utilizando comumente equipamentos como evapotranspirômetros ou lisímetros, que caracterizam-se por tanques cheios com solos, onde a

cultura se desenvolve com sua zona de raiz isolada do seu meio ambiente. Trabalhos utilizando esse método foram realizados por Santos et al. (1994) comparando as medições do lisímetro com resultados de vários métodos para estimativa da evapotranspiração da alfafa e também Radin et al. (2000), em estudo semelhante, para a cultura do milho comparando as medições do lisímetro com o método Penman-Monteith modificado.

Também é possível determinar a evapotranspiração pelo *Método do Balanço de Energia*. Nesse método o balanço de energia das superfícies vegetadas permite dimensionar as trocas de massa e energia no sistema solo-planta-atmosfera, através do estudo da participação do saldo de radiação nos diversos processos de ocorrem na cultura (FONTANA et al., 1991; SANTOS, 2009). Para Fontana et al. (1991), o balanço de energia das superfícies vegetadas permite dimensionar as trocas de massa e energia no sistema solo-planta-atmosfera, através do estudo da participação do saldo de radiação nos diversos processos de ocorrem na cultura. O método do balanço de energia pode ser obtido a partir do fluxo vertical de calor latente usando imagens orbitais. Conseqüentemente, a evapotranspiração pode ser determinada através da diferença dos fluxos, também verticais, de calor no solo, calor sensível e o saldo de radiação. Esse método é utilizado pelos principais algoritmos que utilizam dados gerados a partir de imagens de satélites: SEBAL (BASTIAANSEN, 1998), S-SEBI (ROERINK et al., 1999), SEBS (JIA et al., 2003), dentre outros.

Segundo Santos (2009) ainda é possível determinar a evapotranspiração pela estimativa da *Evapotranspiração de Referência*. De acordo com Allen *et al.* (1998), o conceito de evapotranspiração de referência foi introduzido para o estudo da demanda evaporativa da atmosfera independentemente do tipo, fase de desenvolvimento ou manejo da cultura. Desta forma, os únicos fatores que afetam a evapotranspiração de referência são os elementos atmosféricos. Esta é a razão pela qual a ETo é uma variável atmosférica que, a depender da escala temporal de interesse, pode ser computada a partir de dados climáticos. A estimativa da evapotranspiração de referência foi recentemente padronizada pelo método da FAO Penman-Monteith. Este método foi obtido a partir da equação original de Penman-Monteith e da equação da resistência estomática da superfície.

### **2.6.2 Determinações da evapotranspiração usando imagens orbitais**

De acordo com Allen *et al.* (2002), todos os métodos mencionados anteriormente apresentam muita confiabilidade, pois são capazes de oferecer medidas com boa precisão. No

entanto, os mesmos apresentam limitações quando se pretende fazer estimativas da evapotranspiração para grandes áreas, pois essas estimativas feitas com tais métodos são baseadas em dados medidos em um local específico, e são integradas para a área que envolve o local da medição, levando-se em consideração que a evapotranspiração é uniforme na referida área.

Entretanto, a situação que se encontra na realidade de uma região agrícola dificilmente é homogênea, por essa razão, até mesmo os métodos mais avançados de medição da evapotranspiração não são frequentemente os mais representativos numa escala regional devido a alta variabilidade espacial da evapotranspiração. O mais comum é a existência de áreas contendo diferentes culturas, com alturas diferenciadas, em diferentes fases fenológicas, com diferentes suprimentos hídricos, e todos esses fatores são determinantes na evapotranspiração, não sendo dessa forma aconselhável considerá-la uniforme em escala regional. Estas limitações requerida a incorporação de dados de sensoriamento remoto através de dados radiométricos obtidos a partir de imagens de satélites, devido esta ser a única maneira de se observar, simultaneamente, grandes áreas de superfície do solo. Sendo assim, a obtenção da evapotranspiração em escala regional, mostrando variações da mesma dentro de uma grande área, já é uma realidade (FRENCH et al. 2005; SANTOS, 2009).

No contexto agrícola, o manejo adequado dos recursos hídricos consiste na aplicação da quantidade necessária de água às plantas no momento correto, na definição dos locais e épocas de semeadura (zoneamento agrometeorológico), minimizando o risco e maximizando o aproveitamento dos recursos naturais. Por não adotar um método de controle objetivo da irrigação, o produtor rural pode irrigar em excesso, ou de forma deficiente, o que pode comprometer a produção. Diante desse panorama, estimativas da variação espaço-temporal dos fluxos radiativos e energéticos à superfície e da umidade do solo viabilizam o entendimento dos processos evaporativos, aspecto fundamental em muitas aplicações que enfocam recursos hídricos e modelagem climática (MOHAMED *et al.*, 2004).

Santos (2009) frisa que, em geral, as medições micrometeorológicas relevantes no monitoramento dos recursos hídricos são realizadas apenas durante experimentos que ocorrem em um curto período de tempo e em área de pequena dimensão. Na perspectiva de minimizar os problemas oriundos da baixa disponibilidade de informações de campo, o sensoriamento remoto tem se apresentado como uma ferramenta promissora para avaliações tanto no aspecto hidrológico como meteorológico. Proporciona uma alternativa para quantificação dos fluxos

radiativos e energéticos entre a atmosfera e a superfície terrestre, bem como do grau de umidade no solo e da taxa evaporativa em escala regional. As principais vantagens da obtenção de dados via sensoriamento remoto orbital podem ser resumidas segundo o autor como: 1) possibilidade de coleta de informações detalhadas para uma extensa área em tempo relativamente curto e a baixo custo; e 2) quantificação de parâmetros físicos da superfície terrestre com um fluxo quase contínuo de dados com alta resolução temporal e espacial, possibilitando considerável melhoria nos sistemas de assimilação dos modelos de previsão do tempo e clima.

### **2.6.3 O algoritmo SEBAL e suas aplicações**

Constam na literatura vários métodos a partir dos quais se estima a evapotranspiração tirando-se proveito de técnicas de sensoriamento remoto (CASELLES *et al.*, 1992; BASTIAANSSEN, 1998, ROERINK *et al.*, 1999). O *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL – BASTIAANSSEN, 1998) é um modelo de processamento de imagens concebido para calcular a evapotranspiração a partir de imagens de satélite e dados meteorológicos, utilizando o conceito de balanço de energia na superfície terrestre.

O SEBAL é um algoritmo desenvolvido por Bastiaanssen (1995), que utiliza imagens de satélites e poucas informações de superfície, tais como temperatura do ar e velocidade do vento, que são facilmente obtidas nas estações meteorológicas. Além disso, o autor propõe o emprego de poucas relações e suposições empíricas. Sua principal vantagem é permitir a estimativa da evapotranspiração para extensas áreas, usando como entrada imagens orbitais e poucos dados de estações meteorológicas. A estimativa é feita mapeando-se o balanço de energia no momento da tomada da imagem de satélite. Todos os componentes da evapotranspiração são calculados baseando-se na reflectância da superfície e sua emitância na porção termal do espectro. O fluxo instantâneo da evapotranspiração é então convertido para valores diários a partir da extrapolação da fração evaporativa para 24 horas, em função do saldo de radiação diário (SANTOS, 2009). Segundo Bastiaanssen *et al.* (1998), o SEBAL descreve a variabilidade espacial de muitas variáveis micrometeorológicas através de funções semiempíricas. Além disso, esse algoritmo pode ser utilizado para diversos agrossistemas, e a sua principal vantagem é a baixa demanda por informações de uso e cobertura de solo e dados meteorológicos.

#### 2.6.4 Utilização da Evapotranspiração de Penman-Monteith-FAO

Sentelhas (2001) apresenta como métodos mais empregados, quer pela simplicidade ou pelo grau de confiabilidade, os de Thornthwaite, Camargo, Hargreaves-Samani, Priestley-Taylor e Penman-Monteith. Além desses, muitos outros métodos são apresentados na literatura, mas em virtude de suas condições empíricas ou semiempíricas, não são tão utilizados como a maioria dos que foram citados, exatamente por terem sido desenvolvidos para condições climáticas e agronômicas específicas, não tendo assim, validade para condições distintas.

Allen et al. (1998) comentam que, em maio de 1990, a FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura), reuniu vários pesquisadores da Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem e da Organização Mundial de Meteorologia, a fim de rever as metodologias empregadas na estimativa das necessidades hídricas dos cultivos. Como resultado, os maiores especialistas no assunto recomendaram o método de Penman-Monteith como padrão na estimativa da ETo. Este método, denominado PM-FAO 56, foi selecionado por apresentar resultados que muito se aproximam da evapotranspiração da grama em diferentes localidades, por representar as condições físicas presentes no processo e por incorporar tanto parâmetros fisiológicos como aerodinâmicos. Para estimativas da ETo por este método, são necessários dados de temperatura do ar, umidade relativa, radiação e velocidade do vento, diários, semanais, decendiais ou mensais.

Segundo SENTELHAS e ANGELOCCI (2009) a ETo, é a evapotranspiração de uma extensa superfície vegetada com vegetação rasteira (normalmente gramado), em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo, com altura entre 8 e 15cm, sem restrição hídrica e com ampla área de bordadura para evitar a advecção de calor sensível (H) de áreas adjacentes. Nesse caso a ET depende apenas das variáveis meteorológicas, sendo portanto a ETP uma variável meteorológica, que expressa o potencial de evapotranspiração para as condições meteorológicas vigentes.

Na agricultura, informações quantitativas da evapotranspiração são de grande importância para a avaliação da severidade, distribuição e frequência dos períodos de seca, assim como, elaboração de projetos e manejo de sistemas de irrigação e drenagem. Dentre os vários tipos de evapotranspiração, destaca-se a evapotranspiração de referência (ETo), por permitir e facilitar a estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc), tendo por essa razão,

sido escolhido para a conclusão deste trabalho. A ETP ou ETo é uma variável relevante para o planejamento de irrigação, ela pode ser afetada principalmente pelos fatores climáticos como, temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, etc. Assim, as informações sobre a ETo, que levam a estimativas da ETc, tornam-se ferramentas importantes no manejo da irrigação (HENRIQUE e DANTAS, 2007; ARAÚJO et al., 2007; SOUSA et al., 2010).

Thornthwaite (1948) definiu a evapotranspiração potencial (Etp) como a quantidade de água utilizada por uma extensa área vegetada, em crescimento ativo, sob condições ótimas de umidade do solo. Penman (1956) definiu a evapotranspiração potencial como “a quantidade de água utilizada na unidade de tempo por uma cultura de porte baixo e verde, cobrindo totalmente a superfície, com altura uniforme e sem deficiência hídrica”. Culturas de porte baixo estão implícitas nesta definição; no entanto, Penman (1956) aplicou esse conceito apenas para gramas de porte baixo. A evapotranspiração de culturas irrigadas pode ser de 10 a 30 % maior do que a ocorrida em superfície gramada.

Jensen et al. (1990) afirmaram que na prática a estimativa da evapotranspiração de uma cultura específica (ETc) envolve o cálculo da evapotranspiração de referência (ETo), aplicando-se, posteriormente, coeficientes de cultivo (Kc). O mesmo autor sugere que a ETo pode ser definida como “a taxa com que a água, se disponível, é removida da superfície do solo e das plantas, de uma cultura específica, arbitrariamente chamada de cultura de referência”. A ETo é equivalente a evapotranspiração potencial com uma especificação adicional de que ela representa a evapotranspiração de uma cultura com umidade do solo ideal e cobertura total da área. Para realização do manejo da água via clima é necessário se conhecer o consumo de água pelas culturas (ETc), que representa a lâmina que deve ser aplicada ao solo para manter o crescimento e a produtividade em condições ideais (PEREIRA et al., 1997).

Dessa forma a ETo é utilizada por vários autores como Allen et al. (1998); Araújo et al., (2007); Sentelhas e Angelocci, (2009); Sousa et al. (2010), etc, e também por órgãos como a EMBRAPA, CODEVASF, etc. sendo, portanto, uma importante e confiável estimativa da evapotranspiração e que pode dar subsídios para outras estimativas como a evapotranspiração das culturas pois, a evapotranspiração de referência está associada à estimativa do consumo hídrico da cultura para a obtenção do Kc.



## 2.7 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE CULTURA (ETc)

A ETc é a evapotranspiração de uma cultura em dada fase de seu desenvolvimento, sem restrição hídrica, em condições ótimas de crescimento e com ampla área de bordadura para evitar a advecção de calor sensível (H) de áreas adjacentes. Assim ETc depende das condições meteorológicas, expressas por meio da ETP (ou ETo), do tipo de cultura (maior ou menor resistência à seca) e da área foliar. Como a área foliar da cultura padrão é constante e a da cultura real varia, o valor de Kc também irá variar. Segundo Doorenbos e Kassam (1979), a ETc é o resultado do produto da evapotranspiração de referência (ETo) e coeficiente da cultura (Kc). Portanto, a determinação do consumo de água por uma cultura é dependente do conhecimento da evapotranspiração de referência, que diz respeito às condições climáticas do local da sua implantação, e também das características fisiológicas e morfológicas que lhe são peculiares, representadas através do seu coeficiente de cultivo.

O sucesso da utilização da água para fins de irrigação depende, entre outros requisitos, do conhecimento preciso da demanda hídrica da cultura. Desse modo, torna-se necessário o uso de coeficientes adequados, especificamente de coeficientes de cultura (Kc), determinados em função da evapotranspiração da cultura e da evapotranspiração de referência (ETo), cujas estimativas permitem avaliar quantidades de água a serem dotadas aos cultivos. Todavia, é notória a escassez de dados de pesquisa referentes a esses coeficientes, sobretudo no semiárido, constituindo um fator agravante no tocante à dotação racional de água aos cultivos, que associado aos déficits hídricos anuais, contribui para a redução dos aportes de água, notadamente a subterrânea, a qual é utilizada para prática da pequena agricultura familiar irrigada. Vários trabalhos atestam a influência do controle rigoroso na aplicação de água como fator de aumento na produtividade e melhoria na qualidade dos produtos agrícola, contudo, são escassos os trabalhos que tratam do assunto, muito mais ainda quando sob condições de semiárido (CAIXETA e MIZABUTI, 1988; SEGOVIA et al., 2005).

O valor de pesquisas sobre manejo da irrigação, considerando condições climáticas de semiárido, encontra respaldo na necessidade da otimização da exploração da água, com vistas ao incremento da eficiência de uso deste recurso. No entanto, para o sucesso dessas estratégias, são necessárias informações corretas a respeito das necessidades hídricas das plantas, do manejo de irrigação adequado, da identificação de fases de maior sensibilidade ao estresse hídrico, bem como uso de cultivares adaptadas às condições locais. A FAO, através

dos documentos FAO 24 (DOORENBOS e PRUITT, 1977) e FAO 33 (DOORENBOS & KASSAN, 1979), é categórica em recomendar a realização de estudos locais para a determinação do consumo hídrico e a obtenção de coeficientes de cultura, assim como para a avaliação dos rendimentos em função de diferentes formas de dotação hídrica.

De posse desta informação, pode-se determinar corretamente a quantidade e o momento da aplicação de água pela irrigação, maximizando o uso dos recursos hídricos de uma região. Experimentos com restrição hídrica em apenas parte do ciclo das culturas são importantes para identificação de fases de maior sensibilidade, sendo também utilizados na calibração de modelos de previsão de safras, de zoneamento de riscos climáticos para as culturas e análise de custos de projetos agrícolas (MARQUES e FRIZZONE, 2005; HERNANDEZ et al., 2003; ESPOSTI et al., 2002; SANS et al., 2001).

### **2.7.1 Estimativa da Lâmina d'água**

O dimensionamento hidráulico de projetos de irrigação tem, muitas vezes, como referência, os valores de evapotranspiração médios mensais, que podem variar temporalmente até 50% e, portanto, não representar valores extremos de períodos menores, em especial os diários (DANTAS NETO, 2002). Além disso, segundo Carvalho (1998), a maioria dos projetos envolvendo recursos hídricos, em todo o mundo, não tem alcançado os níveis desejados de produtividade devido, basicamente, às dificuldades operacionais encontradas no campo, não levadas em consideração durante o planejamento.

Para Letey (1985) a manutenção da umidade no solo dentro da faixa ótima, compreendida pelo limite inferior onde começa a ocorrer resistência mecânica ao desenvolvimento radicular e pelo limite superior onde ocorre baixa aeração, proporcionaria maior desenvolvimento radicular. Portanto a lâmina de água aplicada combinada às propriedades físicas do solo influenciam no potencial da água, aeração e a resistência mecânica, os quais tem relação direta com a produção. Em algumas regiões onde a água se constitui no principal fator limitante, o objetivo deve ser a obtenção da máxima produção por unidade de água aplicada, adequando a irrigação aos períodos críticos de déficit de água tais como: germinação, floração e enchimento dos grãos ou formação dos frutos (BERNARDO, 1995).

Do ponto de vista econômico, uma irrigação ótima implica menores lâminas aplicadas em relação à irrigação plena, com consequente redução da produtividade da cultura, mas com algumas vantagens significativas. Seus benefícios potenciais advêm de três fatores: aumento da eficiência da irrigação; redução dos custos da irrigação e redução dos riscos associados aos impactos ambientais adversos da irrigação plena. Muitos pesquisadores, entre eles Stewart et al.(1974), English e Nuss (1982), Frizzone (1986), English (1990), Calheiros et al. (1996), Queiroz et al. (1996), e Frizzone et al. (1997), analisaram os benefícios econômicos da irrigação ótima em circunstâncias específicas e concluíram que a técnica pode aumentar a receita líquida proporcionada pelas culturas irrigadas.

### **2.7.2 Estimativa da demanda de irrigação**

De acordo com Frizzone (2004), a irrigação para atender plenamente a demanda de água da cultura é um problema relativamente simples e claramente definido, com um objetivo único. Entretanto, uma mudança fundamental deverá ocorrer nas práticas da irrigação nos próximos anos, em decorrência das pressões econômicas sobre os agricultores, da crescente competição pelo uso da água e dos impactos ambientais da irrigação. Tais fatores deverão motivar uma mudança de paradigma da irrigação, enfocando-se mais a eficiência econômica do que a demanda de água da cultura.

As fruteiras, a exemplo de outras culturas, possuem necessidades hídricas que variam de acordo com as fases fenológicas das plantas (fase vegetativa, reprodutiva e maturação dos frutos). A duração das fases depende da cultura e das condições de solo e clima. Compatibilizar a quantidade de água a aplicar e a frequência de irrigação com as diferentes fases é parte integrante do manejo da irrigação, evitando-se as aplicações com déficit ou com excessos. Nesse sentido, o conhecimento das demandas de irrigação anual de determinada cultura de uma região possibilitará ser útil para um melhor dimensionamento da rede hidráulica de projetos de irrigação, tais como: canais, tubulações, reservatórios e estações de bombeamento, além da estimativa do volume total de água retirado para suprir suas necessidades hídricas. Tais informações são fundamentais no gerenciamento de recursos hídricos e no planejamento de projetos hidroagrícolas, pois, os estudos da quantificação das necessidades hídricas das culturas, embora pontuais, podem ser estendidos para regiões mais amplas e, dessa forma, serem disponibilizados parâmetros e dados aos profissionais da área, que têm carência de informações regionais (FREITAS et al, 2006; FREITAS et al, 2008).

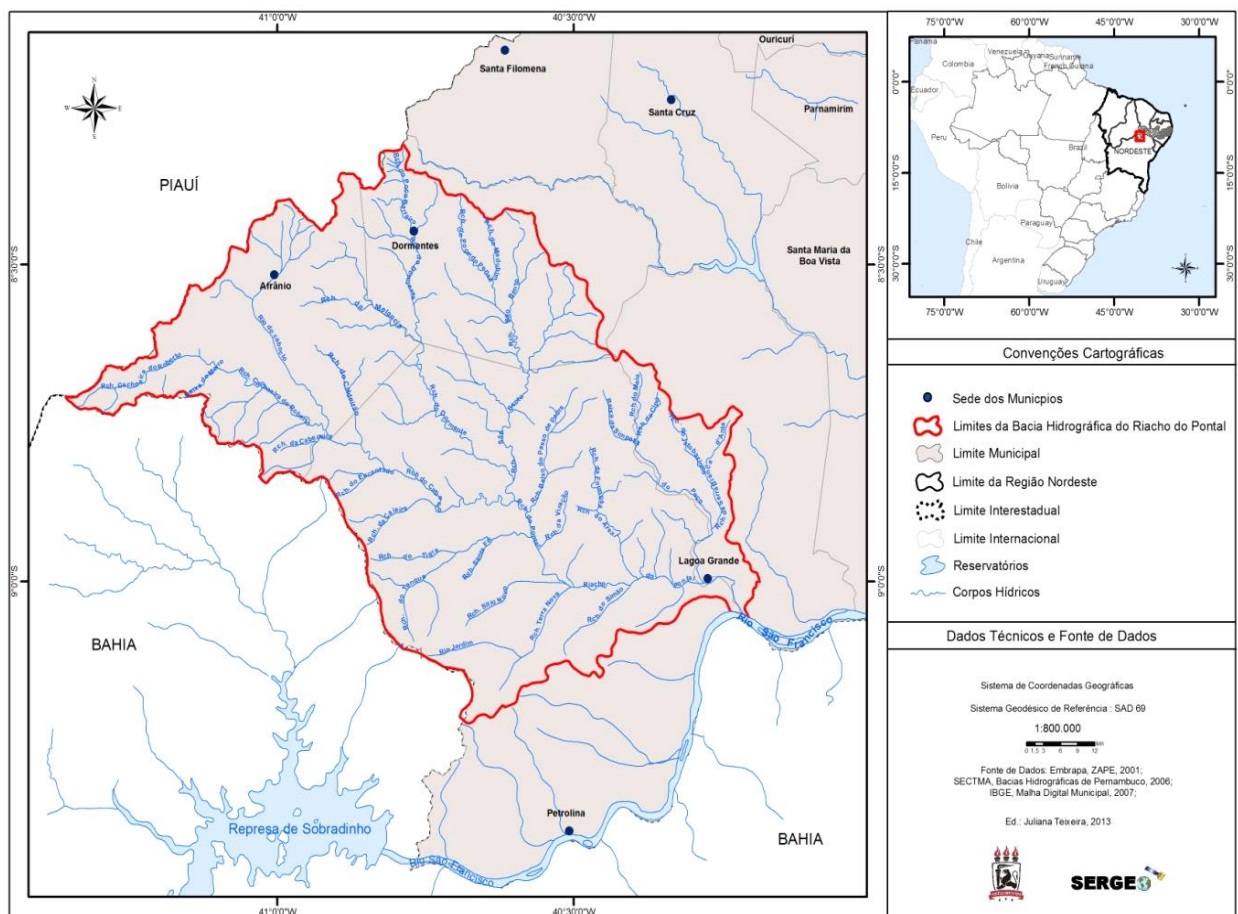
### 3 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

A Unidade de Planejamento Hídrico UP13, que corresponde à bacia hidrográfica do riacho do Pontal, está localizada no extremo oeste do Estado de Pernambuco, entre 08°19'00" e 09°13'24" de latitude sul, e 40°11'42" e 41°20'39" de longitude oeste. O riacho Pontal tem sua nascente no extremo oeste do Estado de Pernambuco, entre os limites dos estados do Piauí e Bahia, no município de Afrânio (BRITO et. al 2005).

A bacia do riacho Pontal tem na sua foz no rio São Francisco uma área de drenagem de 6334 km<sup>2</sup>, desembocando na margem esquerda do rio São Francisco, depois de percorrer uma distância de aproximadamente 200 km, apresentando como direção predominante o sentido noroeste-sudeste (APAC, 2013), (Figura 1).

Figura 1. Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal-PE.



### 3.2 HIDROGRAFIA

A Bacia do Pontal tem como principais cursos d'água, pela margem direita, os riachos Caieira, Sítio Novo, Terra Nova e Simão. Pela margem esquerda, destacam-se os riachos do Caboclo, Caldeirão, do Dormente, Baixo, do Areal e da Serra Branca. A área de drenagem do rio envolve 4 municípios, dos quais apenas o município de Afrânio está totalmente inserido na bacia (APAC, 2013).

O tributário principal é o riacho do Dormente no município de mesmo nome e uma área de drenagem correspondente a 34% da bacia hidrográfica do riacho Pontal. Nesses riachos estão construídos pelo Poder Público diversos empreendimentos hidráulicos (açudes), dos quais se destacam: Cruz de Salinas (4.021.375 m<sup>3</sup>), Vira Beiju (11.800.000 m<sup>3</sup>) e Caititu (3.500.000 m<sup>3</sup>). Os açudes listados que fazem parte do Sistema de Barragens Sucessivas do riacho Pontal (açudes públicos) são: Amargosa, Caldeirão II, Comprida, Gavião, Jatobá, Lajedo, Lagoa da Pedra II, Mandim, Poço da Serra e Poço do Canto (CODEVASF, 2007a).

### 3.3 PROJETO PONTAL

Num primeiro momento, a escolha das culturas que ocupariam a área do projeto baseou-se nos estudos agronômicos do Estudo de Viabilidade do Projeto Pontal. Considerando condições de mercado, rentabilidade das culturas, utilização agroindustrial, vocação da área, adaptação das culturas às condições edafoclimáticas, necessidades alimentares e aspectos socioeconômicos. Foram selecionadas as seguintes culturas pela CODEVASF (2013):

- culturas principais: abóbora, algodão, banana, batata doce, beterraba, limão, melão, milho, cenoura, feijão, goiaba, melancia, abacaxi, mucuna preta, pimentão e uva;
- culturas opcionais: acerola, aspargo, figo e manga.

Porém, observações locais e da ocupação agrícola dos perímetros irrigados Senador Nilo Coelho e Bebedouro, determinaram uma reformulação nas espécies escolhidas. Observou-se uma crescente expansão da fruticultura nestes perímetros irrigados, com destaque para as culturas de banana e manga. Portanto, foi estabelecido que 100% da área irrigável de cada lote será ocupada por espécies permanentes (frutíferas). As culturas selecionadas nesta fase pela CODEVASF (2013) foram:

- culturas permanentes: banana, manga, coco, goiaba e uva.

### 3.4 CLIMA

O clima da região é classificado como Semiárido quente (BSwh'), cuja precipitação pluviométrica média anual é de 557,7 mm (BRASIL, 2004), com chuvas concentradas em 4 meses (de dezembro a março). Com uma evapotranspiração potencial média conforme Hargreaves, para o posto de Petrolina, da ordem de 2.090 mm anuais, o déficit hídrico médio é de 1.689 mm/ano. Abrange uma superfície de 7.540 hectares, sendo 4.029 ha de áreas em estudos ou projetos e 3.511 ha de áreas em produção, distribuídos em duas áreas separadas pelo riacho do Pontal: Área Sul, com 3.511 ha e Área Norte, com 4.029 ha. A ocupação contempla 4.291 ha destinados a 715 lotes para pequenos irrigantes e 3.249 ha a 82 lotes para médias empresas (CODEVASF, 2007a).

### 3.5 COBERTURA VEGETAL

A vegetação da área de influência direta do empreendimento corresponde a um mosaico onde predomina a caatinga arbustiva-arbórea, entremeada a trechos de caatinga arbustiva, geralmente associada, essa última, a alguma ação antrópica anterior. Os municípios de Petrolina e Lagoa Grande apresentam a mesma fitofisionomia, observando-se uma vegetação típica de caatinga com fisionomia predominantemente arbustiva com elementos arbóreos, podendo ser densa ou aberta, com um estrato arbustivo variando 3 a 4 metros de altura (CODEVASF, 2007b).

### 3.6 SOLOS

Segundo a CODEVASF (2007b) há presença na Bacia de classes de solos como; Latossolo Amarelo, Argilossolos Vermelho-Amarelo, Planossolos, Cambissolos, Neossolos Areias Quartzosas e Neossolos Litólicos. Para implantação dos perímetros irrigados na área foram estudados cerca de 97.000 ha, dos quais foram considerados irrigáveis cerca de 54.000 ha. Estas áreas irrigáveis constituem-se em locais alternativos para o desenvolvimento de agricultura irrigada.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 MÉTODO HIPOTÉTICO-DEDUTIVO

Esclarece-se que o método científico utilizado na pesquisa foi o método hipotético-dedutivo, apresentando resultados descritivos e quantitativos da Bacia do Riacho do Pontal - PE, com levantamentos bibliográficos, estatísticos e cartográficos, interpretação e análise das imagens do satélite Landsat 5 dos anos de 08-12-1984, 28-11-1986, 17-09-1989, 02-11-1994, 09-08-1998, 04-10-2001, 12-10-2004, 02-10-2006, 21-09-2008 e 10-06-2011, com o objetivo de se realizar uma análise espaço-temporal das modificações do meio ambiente ao longo dos anos, e compreender de que forma isso foi determinante para despertar o interesse público sobre essas áreas.

Para tal, foram elaborados mapas temáticos que possibilitassem apreender ao máximo as relações entre clima, vegetação, recursos hídricos, etc com o objetivo de uma análise geossistêmica para um diagnóstico mais completo da dinâmica da Bacia que abarcasse o maior número de componentes paisagísticos possível bem como as inter-relações entre eles. Também foi avaliado, através de métodos estatísticos, a possibilidade de otimização dos recursos hídricos provenientes da integração do Riacho do Pontal-PE com o Rio São Francisco.

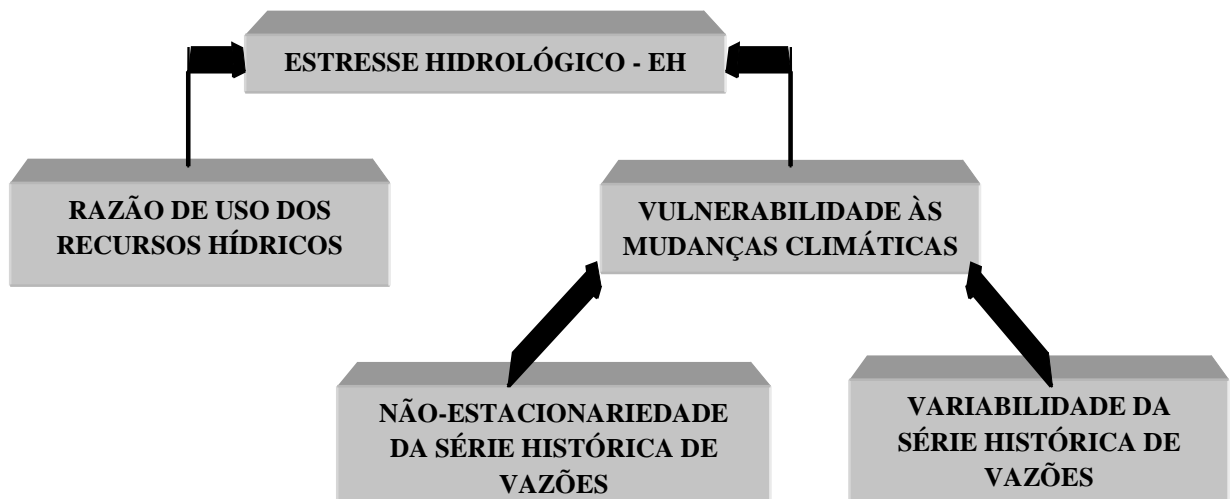
Ao realizar as deduções sobre as hipóteses, foi utilizado o método de pesquisa definido por Libault (1971) apud Brito et al. (2005) com “os quatro níveis da pesquisa geográfica: compilatório, correlatório, semântico e normativo”, elaborado da seguinte forma:

1. O compilatório: o levantamento do material cartográfico e caracterização geral da área de estudo.
2. O correlatório: a elaboração de mapas temáticos.
3. O semântico: o sistema de geoprocessamento ArcGis 10.1 gera o cruzamento de informações dos mapas temáticos e também gera novos mapas.
4. O normativo: faz uma relação com o método hipotético-dedutivo na eliminação do erro, confeccionando tabelas, mostrando mapas sobre a evolução da área ao longo dos anos, quais áreas podem potencialmente serem usadas para irrigação, quais tipos de culturas apresentam mais vantagem em termos de economia de água e maior rentabilidade, etc.

## 4.2 ESTIMATIVA DO ESTRESSE HIDROLÓGICO

Para a elaboração deste trabalho utilizou-se como referência principal o estudo de Galvão (2008). O passo mantido neste estudo corresponde ao cálculo do estresse hidrológico para a Bacia do Pontal localizada no Sertão de Pernambuco. Este indicador é resultado da combinação de dois parâmetros: Razão de Uso dos Recursos Hídricos (Ru) e a Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas (Figura 2).

Figura 2. Parâmetros e subparâmetros que compõem o indicador Estresse Hidrológico – Eh. Fonte: adaptado de Galvão, 2008.



### 4.2.1 Razão de Uso dos Recursos Hídricos – Etapa 1

O parâmetro Razão de Uso dos Recursos Hídricos relaciona a quantidade de água disponível à quantidade de água extraída do curso d'água, critério semelhante é utilizado pelo MWSP e pelo PNRH, (Galvão, 2008). Esse parâmetro leva em consideração a demanda na extração, que neste trabalho será considerada como a demanda de água para irrigação ( $m^3/s$ ) no mês mais crítico da série de vazão estudada, e a vazão disponível como sendo a média de longo prazo das vazões (Equação 1).

(Equação 1)

$$Ru = Qd / Qmed \times 100$$

Em que:



Ru = Razão de Uso dos Recursos Hídricos

Qd = Demanda (m<sup>3</sup>/s) no mês mais crítico

Qméd = Vazão média de longo período (m<sup>3</sup>/s)

A determinação da vazão média é importante em uma bacia, por representar a disponibilidade hídrica máxima. Ela é a maior vazão que pode ser regularizada, permitindo a avaliação dos limites superiores do uso da água de um manancial para as diferentes finalidades (TUCCI, 2002).

Depois de calculada a razão de uso, examinou-se seu valor, se a porcentagem de uso dos recursos hídricos for menor que 20%, sua razão de uso é considerada baixa, se o valor estiver no intervalo entre 20 e 50%, a razão de uso é média e se for acima de 50%, ela é alta, como mostrado a seguir (Tabela 1).

Tabela 1 – Parâmetro Razão de Uso dos recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Pontal.  
Fonte: GALVÃO, 2008.

RAZÃO DE USO	% de uso de Ru
Baixo	RU < 20%
Médio	20 ≤ RU ≤ 50%
Alto	RU > 50%

O segundo parâmetro para mensuração do estresse hidrológico é o parâmetro relativo à Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas, que caracteriza a vulnerabilidade da bacia hidrográfica frente às mudanças climáticas, classificando-a em três níveis: baixo (B), médio (M) e alto (A). Ele é calculado por meio de dois subparâmetros que verificam o coeficiente de variação da série histórica de vazões (variabilidade), e do grau de estacionariedade da série histórica de vazões. Esses subparâmetros são a variabilidade climática e a não-estacionariedade da série histórica de vazões.

#### 4.2.2 Variabilidade Climática – Etapa 2

Neste trabalho, a variabilidade é estimada por meio do coeficiente de variação das vazões no período estudado. Ele é calculado através do desvio padrão (D.P), que é dado pela fórmula abaixo (Equação 2):

##### Equação 2

$$\sigma = \frac{R}{d2}$$

Em que R é a amplitude média do processo e d2 é o fator relacionado ao tamanho dos subgrupos. Uma vez obtida a série histórica de vazões médias anuais para o curso d'água estudado, é calculado o coeficiente de variação (CV), obtido pela Equação 3, onde o desvio padrão é dividido pela média de vazão da bacia nos anos estudados e multiplicado por 100.

##### Equação 3

$$CV = \frac{\text{desvio padrão}}{\text{média}} \cdot 100$$

Em estatística, o *coeficiente de variação* é uma medida da dispersão de uma amostra em relação à sua média. Ele é útil por estender a análise do desvio padrão, fornecendo uma medida relativa e independente da grandeza com a qual se mede os dados da amostra. Ela é usada para, dentre outras formas de utilização, comparar as dispersões relativas de duas amostras, mesmo que suas médias ou grandezas sejam diferentes ou medir o risco de um investimento: quanto menor o coeficiente de variação de seus retornos, menor seu risco. O coeficiente de variação é adimensional, uma vez que o desvio padrão da amostra possui as mesmas dimensões da média.

O valor encontrado deve ser comparado àqueles da Tabela 2, definindo-se assim o nível de variabilidade para a unidade de manejo avaliada. Se o valor encontrado for menor que 15% o valor é baixo, se for entre 15 e 30%, o valor é médio e maior que 30%, alto.

Tabela 2 - Variação do subparâmetro Variabilidade da Série Histórica de Vazões.

VARIABILIDADE	CV
Baixo	< 15%
Médio	15% ≤ CV ≤ 30%
Alto	> 30%

### 4.2.3 Não-estacionariedade da série histórica de vazões – Etapa 3

O segundo subparâmetro a ser avaliado é a estacionariedade da série de vazões, que pode ser estimada utilizando-se o teste de Salas (1993). Segundo este, uma série de vazões é considerada estacionária se for livre de tendências, variações ou periodicidades. Ou seja, uma série estacionária significa que os parâmetros estatísticos das séries, como média e variância, permanecem constantes através do tempo. Desse modo, supõe-se que a sequência de dados hidrológicos, sejam de vazão ou de precipitação, é estacionária estatisticamente no sentido de que os valores da sequência flutuam aleatoriamente em torno de um valor médio que permanece constante no tempo, e que a dispersão dos dados em torno da média também permanece constante. Caso contrário, segundo CLARKE (2003), a série é considerada não-estacionária.

Nesse sentido, o teste de não-estacionariedade de séries de vazões é dado pela Equação 4 derivada de Salas (1993):

#### Equação 4

$$tc = \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}} > t_{1 - \frac{\alpha}{2}, v}$$

Em que: tc (índice de estacionariedade) = valor de t

r = coeficiente de correlação entre q(i) (parâmetro) e n° de anos estudados (i) (tempo). O quadrado do coeficiente de correlação de Pearson é chamado coeficiente de determinação ou simplesmente  $r^2$  e é uma medida da proporção da variabilidade de uma variável que é explicada pela variabilidade de outra. É pouco comum que se tenha uma correlação perfeita

( $r^2 = 1$ ) na prática, porque existem muitos fatores que determinam as relações entre variáveis, na vida real.

$N = n^\circ$  de anos da série

$v = N - 2$  graus de liberdade

$t_{1-\alpha/2, v} = t$  de *Student* a 99% de confiança (valor tabelado da distribuição de Student para um grau de liberdade  $n = N - 2$ ). O valor obtido no teste é avaliado segundo a Tabela 3.

Tabela 3. Variação do subparâmetro Não-Estacionariedade da Série Histórica de Vazões.

NÃO-ESTACIONARIEDADE	
BAIXO	$t_c < 0,9 t$
MÉDIO	$0,9 t \leq t_c \leq 1,1 t$
ALTO	$t_c > 1,1 t$

Onde um  $t_c$  menor que  $0,9t$  ( $0,9 \times t$  de *Student*) representa uma não-estacionariedade baixa, ou seja, ou a série é estacionária ou seu grau de não-estacionariedade é pequeno. Se o  $t_c$  estiver num intervalo entre  $0,9t$  e  $1,1t$ , ela é considerada de média não-estacionariedade e se for acima de  $1,1t$  ( $1,1 \times t$  de *Student*), a série histórica de vazões apresenta um alto grau de não-estacionariedade. É importante salientar que quando o  $t_c$  é menor que  $t$ , a série não apresenta tendência significativa de aumento ou redução, sendo considerada desse modo estacionária (CHAVES *et. al.*, 1997).

#### 4.2.4 Vulnerabilidade Climática – Etapa 4

Após encontrar os valores desses dois subparâmetros haverá sua combinação para realização do parâmetro de vulnerabilidade às mudanças climáticas. Esses valores (Tabela 4) foram criados por meio dos três níveis e seus escores correspondentes para cada indicador (Baixo = 1, Médio = 2 e Alto = 3), parâmetro e subparâmetro. Cada elemento da tabela é o produto dos escores correspondentes aos níveis da linha e coluna (SILVA E GALVÍNIO, 2011).

Tabela 4. Combinação dos subparâmetros de Variabilidade e Não-Estacionariedade da Série Histórica de Vazões.

		NÃO-ESTACIONARIEDADE		
		BAIXO	MÉDIO	ALTO
VARIABILIDADE	BAIXO	1	2	3
	MÉDIO	2	4	6
	ALTO	3	6	9

A integração dos subparâmetros anteriores da Variabilidade e da Não-Estacionariedade (Tabela 4), possibilita o cálculo final para o parâmetro de Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas (Tabela 5).

Tabela 5 - Variação do Nível e Escore para o parâmetro de Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas.

VULNERABILIDADE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	ESCORE
BAIXO	1 - 2
MÉDIO	3 - 4
ALTO	6 - 9

E por meio da combinação dos parâmetros Razão de Uso dos Recursos Hídricos e Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas (Tabela 6), torna-se possível a obtenção do indicador de Estresse Hidrológico.

Tabela 6 - Combinação dos parâmetros de Razão de Uso dos Recursos Hídricos e Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas.

		<b>RAZÃO DE USO DOS RECURSOS HÍDRICOS - Ru</b>		
		<b>BAIXO</b>	<b>MÉDIO</b>	<b>ALTO</b>
Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas	BAIXO	1	2	3
	MÉDIO	2	4	6
	ALTO	3	6	9

#### 4.2.5 Estresse hidrológico – Etapa 5

Tomando por base o trabalho de Galvão (2008), quanto maiores forem a Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas e a Razão de Uso dos Recursos Hídricos, maior será o Estresse Hidrológico – Eh e mais vulnerável a bacia hidrográfica se encontra com relação à oferta e à demanda de água e a susceptibilidade a fenômenos climáticos severos.

A partir dos resultados obtidos na Tabela 6, efetiva-se a relação com o Escore correspondente, dessa forma, é possível avaliar o valor final para o indicador Estresse Hidrológico – Eh (Tabela 7).

Tabela 7. Variação do Nível, Escore e Valor Final para o indicador Estresse Hidrológico – Eh.

<b>NÍVEL Eh</b>	<b>ESCORE</b>	<b>VALOR</b>
BAIXO	1 - 2	1
MÉDIO	3 - 4	2
ALTO	6 - 9	3

Embasados por essa metodologia, e após serem trabalhados os dados fluviométricos do posto Bebedouro, localizado no município de Petrolina, na bacia do Pontal, no sertão do estado de Pernambuco, foi possível realizar o cálculo do estresse hidrológico pelo qual vem passando o curso d'água nessa área de estudo.

### 4.3 ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL ATRAVÉS DO MÉTODO PROPOSTO PELO SEBAL

#### 4.3.1 Análise Espaço Temporal

Inicialmente realizou-se a delimitação da área correspondente aos perímetros irrigados presentes na área. Foram interpretadas e analisadas imagens dos anos de 08-12-1984, 28-11-1986, 17-09-1989, 02-11-1994, 09-08-1998, 04-10-2001, 12-10-2004, 02-10-2006, 21-09-2008 e 10-06-2011, do satélite Landsat 5.

#### 4.3.2 Processamento da imagem e montagem do layout

Inicialmente foi feito o registro de todas as imagens a partir de pontos coletados em campo. Para o processamento das imagens do satélite Landsat-5 foram criados modelos usando a ferramenta *Model Maker* do software ERDAS Imagine 9.3 Licença do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco.

#### 4.3.3 Calibração Radiométrica

O conjunto da radiância ou calibração radiométrica é obtido utilizando-se a equação proposta por Markham e Baker (1987), (Equação 5):

$$L_{\lambda i} = a + \frac{b - a}{255} ND \quad (5)$$

Em que a e b são as radiâncias espectrais mínima e máxima ( $1 \text{ a } 2 \mu\text{m sr Wm}$ ), ND é a intensidade do pixel (número inteiro compreendido entre 0 e 255) e i corresponde às bandas (1, 2, ... e 7) do satélite Landsat 5 e 7. Os coeficientes de calibração utilizados para as imagens TM são os propostos por Chander e Markham (2003) e Oliveira et al, 2010.

#### 4.3.4 Reflectância

A reflectância (Equação 2) de cada banda (i) é definida como a razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície e o fluxo de radiação solar global incidente, obtida através da equação (ALLEN et al., 2002 apud OLIVEIRA et al, 2010), (Equação 6):

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} \cdot \cos Z} \quad (6)$$

Em que  $\lambda_i L$  é a radiância espectral de cada banda,  $\lambda_{ik}$  é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera  $12\mu\text{m}$ ,  $Z$  é o ângulo zenital solar e  $rd$  é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol ( $r_0$ ) e a distância Terra-Sol ( $r$ ) em dado dia do ano (DSA), (OLIVEIRA et al, 2010; SILVA et al, 2013).

### 4.3.5 Índices de vegetação

#### 4.3.5.1 NDVI

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) foi obtido através da razão entre a diferença das refletividades do infravermelho próximo ( $\rho_{IV}$ ) e do vermelho ( $\rho_V$ ) e a soma entre elas (SILVA et al, 2013):

$$(IVP - V) / (IVP + V) \quad (7)$$

#### 4.3.5.2 – SAVI

O SAVI (*Soil-Adjusted Vegetation Index*), (Equação 8), foi desenvolvido por HUETE (1988), sendo uma técnica de transformação para minimizar a influência da reflectância do solo nos índices de vegetação espectrais que envolvem os comprimentos de onda do vermelho e infravermelho próximo e modelar, com mais precisão, a radiância infravermelha próxima nas copas mais abertas (SILVA e GALVÍNCIO, 2011).

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (8)$$

### 4.3.6 IAF ou LAI

O cômputo do índice de área foliar -IAF, que representa a razão entre a área total de todas as folhas contidas em dado pixel, pela área do pixel, foi feito por equação empírica obtida por ALLEN et al.(2002):

$$IAF = -(\ln(0,69 - IVAS/0,59))/0,91) \quad (9)$$



### 4.3.7 NDWI

O Normalized Difference Water Index (NDWI), proposto por Gao (1996) é obtido através das bandas do infravermelho próximo (IV p) e do infravermelho médio (IV m) do satélite Landsat 5 (OLIVEIRA e GALVÍNCIO, et al 2008; OLIVEIRA et al, 2010; SILVA e GALVÍNCIO, 2011), (Equação 10):

$$x = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{MidIR}}{\rho_{NIR} + \rho_{MidIR}}$$

### 4.3.8 Albedo Planetário

A Etapa 4 representa o cômputo do albedo planetário ( $\alpha_{toa}$ ), isto é, o albedo não ajustado à transmissividade atmosférica, que é obtida pela combinação linear das reflectâncias monocromáticas (GALVÍNCIO et al, 2006; SILVA et al, 2013):

$$\alpha_{toa} = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,157\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_7 \quad (10)$$

Em que:  $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5$  e  $\rho_7$  são os albedos planetários das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7.

### 4.3.9 Albedo da Superfície (AS)

Nesta etapa obtém-se o cômputo do AS ou albedo corrigido para os efeitos atmosféricos  $\alpha$ , pela equação:

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}^2} \quad (11)$$

Em que:  $\alpha_{toa}$  é o albedo planetário,  $\alpha_p$  é a reflectância da própria atmosfera, que varia entre 0,025 e 0,04, mas para o modelo SEBAL tem sido recomendado o valor de 0,03, com base em Bastiaanssen (2000) e  $\tau_{sw}$  é a transmissividade atmosférica que para condições de céu claro, pode ser obtida por (ALLEN et al., 2002):

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2 \cdot 10^{-5} z \quad (12)$$

Em que:  $z$  é a altitude de cada pixel (m). No caso deste trabalho, foi utilizado o DEM da área de interesse, sendo possível o cálculo da transmissividade de cada pixel.

#### 4.3.10 Emissividade

Para o cálculo da emissividade da superfície, inicialmente foi necessário calcular o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e o índice de área foliar (LAI), (ALLEN et al., 2002). Aplicando-se a seguinte equação:

$$\epsilon_s = 0,95 + 0,01LAI \quad (13)$$

É importante salientar que a Equação 13, no entanto, só é adequada para os pixels que apresentarem NDVI maior que zero. Para os pixels com NDVI negativo, foi adotada  $\epsilon_s = 0,985$  (ALLEN et al., 2002).

#### 4.3.11 Saldo de radiação na superfície

O saldo de radiação ( $R_n$ ), que indica a radiação disponível em superfície, é derivado a partir do albedo e da emissividade da superfície, assim como de parâmetros orbitais que variam em função da distância Terra-Sol. No seu cômputo, deve ser considerada tanto a radiação de onda longa quanto a radiação de onda curta. A diferença entre o fluxo de energia radiante que incide sobre a superfície terrestre e o fluxo de energia por ela emitida e refletida representa a quantidade de energia disponível para os processos de reciclagem de energia: aquecimento da atmosfera, evapotranspiração, aquecimento do solo e da água (SANTOS, 2009). A Equação 14 foi utilizada para o cálculo do balanço de radiação:

$$R_n = (1 - \alpha_{sup}) R_{c\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \epsilon_s) R_{L\downarrow} \quad (14)$$

Onde:  $R_n$  é o saldo de radiação ( $W.m^{-2}$ ),  $\alpha_{sup}$  é o albedo da superfície (adimensional),  $R_{c\downarrow}$  representa a radiação de onda curta incidente ( $W.m^{-2}$ ),  $R_{L\downarrow}$  é a radiação de onda longa incidente ( $W.m^{-2}$ ).  $R_{L\uparrow}$  é a radiação de onda longa emitida pela superfície ( $W.m^{-2}$ ) e  $\epsilon_s$  é a emissividade da superfície (adimensional), (SANTOS, 2009).

O balanço de radiação à superfície é a contabilização entre ganhos e perdas de energia radiante, ou seja, entre os fluxos descendentes e ascendentes de radiação. A quantidade de

energia que fica retida na superfície e que será utilizada nos fenômenos físicos e biológicos, denomina-se saldo de radiação (LEIVAS, 2008).

#### 4.3.12 Temperatura da superfície

A partir da emissividade, realizou-se o cálculo da radiância no termal, para determinação da temperatura da superfície ( $T_s$ ) são utilizados a radiância espectral da banda termal  $L_{\lambda 6}$  e a emissividade  $\epsilon_{NB}$  obtida na etapa anterior. Dessa forma, obtém-se a temperatura da superfície.

$$T_s = \ln \frac{K_2}{L_{\lambda 6} \frac{(\epsilon_{NB} K_1 + 1)}{K_2}} \quad (15)$$

Uma relação empírica definida por Vandergrind e Owe (1993) determinou uma relação entre a emissividade e o NDVI (equação 16):

$$\epsilon(8-14) = 1,009 + 0,047 \ln(\text{NDVI}) \quad (16)$$

#### 4.3.13 Fluxo de calor no solo

O fluxo de calor no solo ( $G$ ) é estimado por meio da aplicação de uma equação empírica proposta por Bastiaanssen (2000), que leva em conta propriedades da superfície tais como temperatura, albedo e tipo de cobertura (expresso pelo NDVI). Na determinação do fluxo de calor no solo, primeiramente é calculada a radiação global. Para sua determinação, é necessário o cômputo dos seguintes parâmetros e variáveis: albedo, radiação de onda longa incidente, radiação de ondas curtas incidente, emissividade da superfície no infravermelho termal e temperatura da superfície.

A radiação de onda longa incidente, emitida pela atmosfera na direção da superfície -  $RL_{\downarrow}$  ( $W m^{-2}$ ), foi obtida através da equação de Stefan-Boltzmann:

$$RL_{\downarrow} = \epsilon_{atm} \times \sigma \times T^4 \quad (17)$$

Onde:  $\varepsilon_{atm}$  é a emissividade atmosférica,  $\sigma$  é a constante de Boltzmann ( $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$ ) e  $T$  é a temperatura do ar próximo à superfície.

Para o cálculo da radiação de onda curta recebida na superfície, foi calculada a radiação solar instantânea que é função do ângulo solar zenital, constante solar e distância sol-terra. Em seguida, foi determinada a densidade do fluxo de radiação perpendicular ao topo da atmosfera:

$$K_{\downarrow}(x, y) = K_{\downarrow TOA} \times \tau_{sw} \quad (18)$$

Onde:  $K_{\downarrow TOA}$  é a radiação de ondas curtas incidente no topo da atmosfera  $\tau_{sw}$ , é a transmitância atmosférica.

As etapas para execução do algoritmo SEBAL foram realizadas seguindo a metodologia proposta por Allen et al. (2005). Inicialmente, os números digitais da imagem foram convertidos para radiância utilizando-se os parâmetros recomendados por Chander et al. (2007). Correções atmosféricas baseadas no modelo de transferência radiativa 6S (TANRÉ et al., 1990) foram aplicadas nas imagens de radiância com o objetivo de remover os efeitos de absorção, espalhamento e reflexão que a atmosfera exerce sobre a radiação, obtendo, assim, as imagens de reflectância de superfície.

O algoritmo SEBAL utiliza a equação do balanço de energia à superfície (Equação 19) para estimar o fluxo de calor latente. Dessa forma, LE é descrito como um resíduo para o fechamento do balanço de energia através de  $R_n$ ,  $G$  e  $H$ .

$$LE = R_n - G - H \quad (19)$$

em que: LE é expresso em unidades de  $\text{W m}^{-2}$ .

O LE é convertido em evapotranspiração horária, de acordo com a expressão (Equação 20):

$$E_{Th} = 1.000 (LE/\rho\lambda) \Delta t \quad (20)$$

em que:  $E_{Th}$  é a evapotranspiração horária estimada para a hora da passagem do satélite;  $\lambda$  é o calor latente de vaporização da água ( $\lambda = 2,45 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$ );  $\rho$  é a densidade da água ( $\rho = 1.000 \text{ kg m}^{-3}$ );  $\Delta t$  é o intervalo de tempo usado, no caso 3.600s; e o valor 1.000 é a conversão para que a evapotranspiração seja expressa em  $\text{mm dia}^{-1}$ .

#### 4.3.14 Fluxo de calor latente

Com as cartas do saldo de radiação ( $R_n$ ), fluxo de calor no solo ( $G$ ) e fluxo de calor sensível ( $H$ ), calculou-se a carta do fluxo de calor latente ( $\lambda ET$ ), pela seguinte equação:

$$\lambda ET = R_n - G - H \quad (21)$$

#### 4.3.15 Evapotranspiração diária (mm.dia-1)

Para a obtenção da evapotranspiração diária, inicialmente obtém-se a evapotranspiração horária ( $ETH$ ), segundo a equação:

$$ETH = \frac{\lambda ET}{L} \cdot 3600 \quad (22)$$

onde  $\lambda ET$  é o fluxo de calor latente e  $L$  o calor latente de vaporização da água ( $2,45 \times 10^6$  J.Kg-1). Posteriormente, obtém-se a fração da evapotranspiração de referência horária, que é aproximadamente constante durante todo o dia e pode considerar-se que a fração de evapotranspiração de referência horária é igual à fração de evapotranspiração de referência de 24 horas.

### 4.4 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ETO) PELO MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH

O balanço hídrico neste trabalho foi elaborado utilizando-se a evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith, como recomendado pela FAO. Em 1990 a FAO promoveu um novo conceito proposto para a  $ET_p$ , que passou a ser de fato, a  $ET_o$ , tornando-se, este conceito largamente utilizado, desde então, e o método recomendado para sua estimativa foi o desenvolvido por Penman-Monteith, que, após parametrização, passou a denominar-se Penman-Monteith FAO (PM-FAO), (CARVALHO et. al. 2011). A equação de Penman-Monteith-FAO é controlada por variáveis como: Latitude, Dia Juliano, altitude, temperaturas de bulbo seco (mínima, média e máxima), umidade relativa, ou seja,

temperaturas de bulbo úmido (mínima, média e máxima), velocidade do vento e horas de brilho solar real ou insolação.

A nova conceituação de ETo considera a taxa de evapotranspiração (ET) de uma cultura hipotética, com uma altura uniforme de 0,12 m, resistência do dossel da cultura de 70  $\text{sm}^{-1}$  e albedo de 0,23. Esse conceito de ETo assemelha-se, bem de perto, a ET de uma superfície extensa coberta com grama de altura uniforme, em crescimento ativo e cobrindo completamente a superfície do solo e sem restrição de umidade.

Atualmente, a ETo é uma cultura hipotética, semelhante à grama, cujo modelo físico-matemático que a expressa é o de Penman-Monteith, com parâmetros estabelecidos pela FAO (ALLEN et al., 1998).

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (23)$$

Em que:

$Et_o$  - evapotranspiração de referência,  $\text{mm dia}^{-1}$ ;

$R_n$  - radiação líquida na superfície das culturas,  $\text{MJ m}^2 \text{dia}^{-1}$ ;

$G$  - fluxo de calor no solo,  $\text{MJ m}^2 \text{dia}^{-1}$ ;

$T$  - média diária da temperatura do ar a 2 m de altura,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$u_2$  - velocidade do vento a 2 m de altura,  $\text{m s}^{-1}$ ;

$e_s$  - pressão da saturação de vapor, kPa;

$e_a$  - pressão de vapor atual, kPa;

$e_s - e_a$  - déficit de saturação de vapor, kPa;

$\Delta$  - inclinação da curva da pressão de vapor *versus* temperatura,  $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

$\gamma$  - constante psicrométrica,  $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

Os elementos climáticos para estimativa da  $Et_o$  Penman-Monteith FAO ( $Et_o\text{PM}$ ) compõem um conjunto contendo temperatura máxima e mínima, pressão de vapor real ou atual, radiação líquida e velocidade do vento (ROCHA et.al. 2011). Através dessas entradas torna-se possível estimar as demais variáveis, conforme demonstrado nas equações a seguir (equação 22):

$$\gamma = 0,665 \times 10^{-3} P_{atm} \quad (24)$$

Em que,

$P_{atm}$  é a pressão atmosférica, kPa.

$$P_{atm} = 101,3 \left( \frac{293 - 0,0065z}{293} \right)^{5,26} \quad (25)$$

Em que,

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

$$\Delta = \frac{4098 \left[ 0,6108 \exp \frac{17,27T}{T + 237,3} \right]}{(T + 237,3)^2} \quad (26)$$

Em que,

exp - base do logaritmo natural, 2,7183;

$T$  é a média da temperatura do ar, °C;

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

Em que,

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

$T$  - temperatura do ar, °C.

$$e_s = \frac{e^o(T_{máx}) + e^o(T_{mín})}{2} \quad (28)$$

O saldo de Radiação Líquida ( $R_n$ ) Corresponde à diferença entre o saldo de radiação de ondas curtas líquida que chega à superfície terrestre ( $R_{ns}$ ) e o saldo de radiação de ondas longas líquida que sai da superfície terrestre ( $R_{nl}$ ) e também são expressos em  $\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$ .

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (29)$$

Onde, o  $R_{ns}$  é o resultado entre o balanço de radiação que entra e o que é refletido. A fração da radiação solar refletida pela superfície é conhecida como albedo ( $\alpha$ ).

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s \quad (30)$$

O albedo é altamente variável para diferentes superfícies e ângulo de incidência solar ou declividade do terreno. Como referência se utiliza a grama com 0,12m de altura, onde o albedo assume valor igual a 0,23.

A superfície da Terra emite e recebe radiação de ondas longas e a diferença entre elas é chamada saldo de radiação de ondas longas ( $R_{nl}$ ). Normalmente a radiação de ondas longas que é emitida é maior do que a recebida, onde ao final o  $R_{nl}$  representa uma perda de energia. A  $R_{nl}$  é proporcional à temperatura absoluta da superfície elevada à quarta potência. Esta relação expressa quantitativamente a lei de Stefan-Boltzmann. O vapor d'água, as nuvens, o dióxido de carbono e a poeira absorvem e emitem radiação de ondas longas. Os dois fatores mais importantes na correção da lei de Stefan-Boltzmann, quando se estima a radiação de ondas longas são a umidade relativa do ar e a nebulosidade. A equação de  $R_{nl}$  é assim descrita:

$$R_{nl} = \sigma \left[ \frac{T_{máxK^4} + T_{mínK^4}}{2} \right] (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) (1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35) \quad (31)$$

Em que,

$\sigma$  - constante de Stefan-Boltzmann, ( $4,903 \times 10^{-9}$  MJ K<sup>-4</sup> m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>);

$T_{máxK}$  - temperatura máxima absoluta durante período de 24 h, °K (K = °C + 273,16);

$T_{mínK}$  - temperatura mínima absoluta durante período de 24 h, °K (K = °C + 273,16);

$R_s$  - radiação solar medida ou calculada, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>;

$R_{so}$  - radiação de céu claro medida ou calculada, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> (para calculá-la basta fazer  $n=N$  na equação de Angström).

$$R_{so} = (0,75 + 2 \times 10^{-5} z) R_a \quad (32)$$

$e_a$ : pressão real de vapor, (kPa);

onde,

$z$  - altitude da estação em relação ao nível do mar, m;

$R_a$  - radiação extraterrestre, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>.

Os dados de altitude foram aferidos a partir da estação climatológica de Bebedouro. Allen et al. (1998), propuseram modelo de estimativa da  $E_{t,PM}$  com dados limitados. Para sua utilização assume-se, segundo Rocha et. al. (2011), 5 pontos:

1. 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:

$$e_a = e^o(T_{\min}) = 0,611 \exp\left[\frac{17,27T_{\min}}{T_{\min} + 237,3}\right] \quad (33)$$

Em que,

$e_a$  - pressão de vapor real, kPa;

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

$T_{\min}$  - temperatura mínima, °C;

2. 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:

$$R_s = k_{R_s} \sqrt{(T_{\max} - T_{\min})} R_a \quad (34)$$

Em que,

$R_s$  - radiação solar, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>;

$R_a$  é a radiação extraterrestre, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>;

$T_{\max}$  é a temperatura máxima, °C;

$T_{\min}$  é a temperatura mínima, °C;

$k_{R_s}$  é o coeficiente de ajuste, °C<sup>-0.5</sup>.

3. na ausência de dados,  $u_2$  é considerado 2 m s<sup>-1</sup> que é a média de mais de 2.000 estações ao redor do globo;

4. o efeito do fluxo de calor no solo ( $G$ ) é ignorado para cálculos diários, uma vez que sua magnitude é pequena;

5.  $K_R$  varia de 0,16 para o interior, e massas de ar que não sofrem influência de um grande corpo hídrico a 0,19 para locais costeiros onde as massas de ar são influenciadas por um corpo hídrico próximo, segundo Allen et al. (1998), sendo necessária a sua validação local.

#### 4.5 BALANÇO HÍDRICO

O Balanço Hídrico (BH) proposto por Thornthwaite & Mather (1955) auxilia na validação do AS (albedo da superfície) através dos dados de Evapotranspiração Real (ETR), Evapotranspiração Potencial (ETP) e Precipitação (P), pois, indica o fator de umidade do clima realizando uma correlação com o AS, que é influenciado pela presença de lâmina d'água (CAMARGO e CAMARGO, 1993; GIELOW et al, 1999). Com ele é possível estimar os índices de aridez, umidade e o índice hídrico.

##### 4.5.1 Índice de aridez (IA)

O índice de aridez revela a relação entre a deficiência (DEF) e a evapotranspiração potencial (EP) expressa em percentagem. Ele é zero quando não existe deficiência e 100 quando a deficiência hídrica (DEF) é igual a evapotranspiração (EP).

As áreas susceptíveis à desertificação e enquadradas no escopo de aplicação da Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação são aquelas de clima árido, semiárido e subúmido seco. Conforme a definição aceita internacionalmente, o Índice de Aridez, definido como a razão entre a Precipitação e a Evapotranspiração Potencial, estabelece as seguintes classes climáticas (Tabela 8):

Tabela 8 - Índice de Aridez.

<b>Hiper-árido</b>	<b>&lt; 0,03</b>
Árido	0,03 – 0,20
Semi-árido	0,21 – 0,50
Sub-úmido seco	0,51 – 0,65
<b>Sub-úmido úmido</b>	<b>&gt; 0,65</b>

Fonte: Programa de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca na América do Sul

Este índice foi utilizado para o estabelecimento das áreas de risco e para a elaboração do Atlas Mundial da Desertificação, publicado pelo PNUMA e que serve como parâmetro em todo o mundo (SILVA e GALVÍNIO, 2011).

$$Ia = P/ETP \quad (35)$$

Em que:

P = precipitação média anual (mm)

ETP = Evapotranspiração potencial media anual (mm)

#### 4.5.2 Índice de umidade (IU)

O índice de umidade (IU) é o excedente hídrico (EXC) expresso em percentagem da evapotranspiração potencial anual (EP).

$$Iu = ((EXC)_{\text{anual}} / (ETP)_{\text{anual}})100 = 0 \quad (36)$$

#### 4.5.3 Índice hídrico

O índice hídrico é representado pela relação entre o excedente de água (EXC), a deficiência (DEF) e a evapotranspiração (EP), segundo a expressão:

$$IM=100EXC-60DEF/EP. \quad (37)$$

### 4.6 ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÁXIMA DA CULTURA (ETM) OU EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL DA CULTURA (ETPC)

Para estimar a evapotranspiração máxima da cultura (ETm) foram utilizados os conceitos de coeficiente de cultura (kc) e de evapotranspiração de referência (ETo). Os valores de kc estão tabelados para as fases de desenvolvimento da cultura: inicial, desenvolvimento, intermediário e final do ciclo; e também colheita. O método utilizado neste trabalho para calcular ETo foi o de Penman-Monteith, conforme descrito pela FAO (1990).

O valor de ETo foi estimado a partir dos dados climáticos diários de temperatura mínima (Tn), temperatura média (T), temperatura máxima (Tx), umidade relativa (UR), brilho solar (Ins) e velocidade do vento medida a 10 m de altura (U); e das coordenadas geográficas latitude e altitude local. Para o manejo da irrigação, é necessário converter ETo em ETpc.

Para isso, usa-se um fator chamado coeficiente da cultura ( $K_c$ ), (EMBRAPA, 2009). Esta equação é utilizada quando o pomar é irrigado por aspersão ou superfície, pois estes são métodos que em geral, molham 100% da área cultivada:

$$ET_{pc} = K_c \cdot ET_o \quad (38)$$

Por outro lado, quando se utiliza a irrigação por gotejamento ou microaspersão, que molham uma fração da área cultivada, deve-se introduzir na equação um fator de ajuste, denominado fator de localização ( $f_L$ ), como se mostra a seguir:

$$ET_{pc} = f_L \cdot K_c \cdot ET \quad (39)$$

O  $K_c$  é apresentado, na maioria dos casos, como função do tempo, expresso em termos de meses ou anos contados a partir do transplante das mudas para o campo. Neste trabalho, apenas no caso da videira, o  $K_c$  é apresentado em função da fase fenológica da cultura. Os valores de  $k_c$  nesse trabalho estão tabelados para as fases de desenvolvimento da cultura: inicial, desenvolvimento, intermediário e final do ciclo; e também colheita como recomendado pela EMBRAPA (2009). Assim, o  $K_c$  (coeficiente da cultura) varia de acordo com as fases de desenvolvimento da planta.

#### 4.7 LÂMINA LÍQUIDA COM BASE NO MÉTODO CLIMÁTICO

Lâmina líquida de irrigação (LL) é a lâmina de água que representa o consumo real de água pela cultura, essa deverá ser adicionada ao solo para suprir a demanda das plantas num determinado espaço de tempo, o qual pode ser definido pelo turno de irrigação (EMBRAPA, 2009). Neste método, a lâmina líquida de irrigação é dada pelo produto entre a evapotranspiração da cultura e o turno de rega (frequência de irrigação), de acordo com a seguinte equação:

$$LL = ET_{pc} \cdot TR \quad (38)$$

Em que:

LL = lâmina líquida de irrigação (mm);

$ET_{pc}$  = evapotranspiração potencial da cultura (mm/dia);

TR = turno de rega (dia)

Observa-se que:

- (1) O turno de rega a ser utilizado na equação acima, deve seguir o valor definido pelo projetista do sistema de irrigação e refere-se ao tempo que pode ser decorrido entre uma irrigação e outra, ou seja, quanto tempo o solo tolera entre uma irrigação e outra. Quanto maior a capacidade de armazenamento de água do solo, maior será o turno de rega
- (2) Fruteiras irrigadas por gotejamento ou microaspersão são em geral irrigadas diariamente, ou seja, TR = 1 dia.
- (3) Caso ocorra chuva durante o manejo da irrigação com o método climático, a aplicação do mesmo deve ser interrompida, devendo ser retomada 2 dias após a ocorrência da chuva.

#### 4.8 LÂMINA BRUTA DE IRRIGAÇÃO

Lâmina bruta de irrigação (LB) - é a lâmina total que deverá ser aplicada prevendo-se perdas (devido a deriva, vazamentos etc.) e a uniformidade de distribuição, por isso é obtida pela divisão da lâmina líquida (LL) pela eficiência de irrigação (Ea) (EMBRAPA, 2009). A lâmina bruta de irrigação (LB) é calculada a partir da lâmina líquida e da eficiência de aplicação do sistema de irrigação. A lâmina bruta é sempre maior que a líquida, devido as perdas de água durante a irrigação. Ela é calculada da seguinte forma:

$$LB = LL/Ea \quad (39)$$

Onde:

LB = lâmina bruta de irrigação (mm);

Ea = eficiência de aplicação de água pelo sistema de irrigação (decimal).

Tabela 9. Eficiência de aplicação de água para sistemas de irrigação comumente utilizados em plantios de hortaliças.

<b>Método de irrigação</b>	<b>Eficiência de aplicação (decimal)</b>
<b>Superfície</b>	0,6
<b>Aspersão convencional</b>	0,75
<b>Pivô central</b>	0,8
<b>Microaspersão</b>	0,9
<b>Gotejamento</b>	0,95

#### 4.9 DEMANDA DE IRRIGAÇÃO DAS CULTURAS

$$DSC_i = ET_{ci} - PrecE_{feti} , \text{ se } ET_{ci} > PrecE_{feti} \quad (40)$$

$$DSC_i = 0 , \text{ se } ET_{ci} < PrecE_{feti}$$

Em que:

$DSC_i$  – demanda suplementar da cultura no dia  $i$ , mm

$PrecE_{feti}$  – precipitação efetiva no dia  $i$ , mm

A demanda suplementar de irrigação garante que todas as plantas receberão uma lâmina maior ou igual à necessária, para suprir o déficit hídrico (FREITAS et al,2008), sendo calculada utilizando-se a Equação a seguir:

$$DSI = DSC/Ea \times 100 \quad (41)$$

Em que:

$DSI_i$  – demanda suplementar de irrigação no dia  $i$ , mm

$Ea$  – eficiência do sistema de irrigação, %

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA MWSP

Através do cálculo da razão de uso dos recursos hídricos como visualizado na equação 1, em que a Razão de Uso dos Recursos Hídricos é dada pela razão entre a demanda no mês mais crítico, em termos da demanda de água para irrigação e pela vazão média de longo período, salienta-se que não há informações disponíveis sobre a demanda mensal no mês mais crítico, mas fazendo o cálculo da sobre a demanda anual que segundo o PERH/PE (1998) é de  $202,454 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ , a demanda foi dividida por 12 meses =  $16,87 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano} = 5,35 \times 10^7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s} = 0,535 \text{ m}^3/\text{s}$ , então tem-se uma média de consumo mensal de  $0,535 \text{ m}^3/\text{s}$ .

$$Q_{\text{méd}} = \text{Vazão média de longo período (m}^3/\text{s)} = 1,04098 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Ru = Q_d/Q_{\text{med}} \times 100 = 51,394\%$$

Ou seja, mesmo não se tratando do mês mais crítico quanto ao consumo de água, a média ultrapassa a razão de uso tida como alta (acima de 50% do consumo só para a irrigação), (Tabela 10).

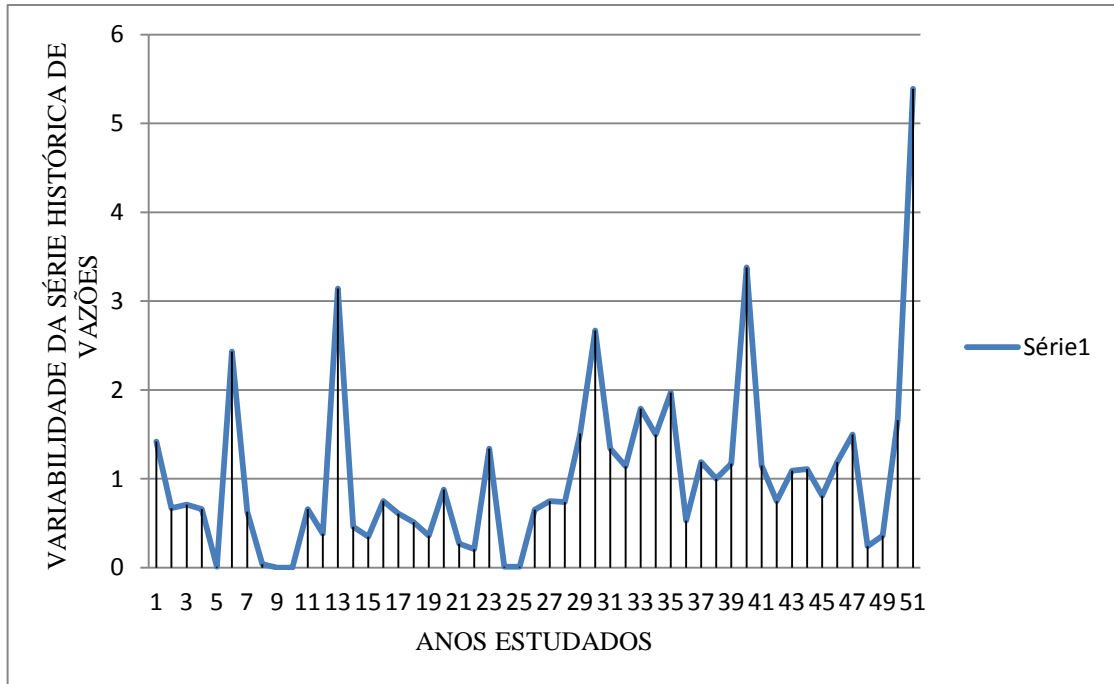
Tabela 10. Resultado para o parâmetro Razão de Uso dos recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Pontal. Fonte: GALVÃO, 2008.

RAZÃO DE USO	% de uso de Ru
Baixo	$RU < 20\%$
Médio	$20 \leq RU \leq 50\%$
Alto	$RU > 50\%$

Dessa forma, vê-se pela utilização do parâmetro razão de uso dos recursos hídricos que há impossibilidade da Bacia ofertar água suficiente para atender seus usuários, focando principalmente o uso de água voltada para as culturas irrigadas.

A partir dos dados de vazão inferidos pela SECTMA dos anos de 1935 a 1985 (ANEXO I), foi calculada a vazão média anual, resultando numa média de 1,04098. Em seguida foi estimada a variabilidade da série histórica de vazões (Figura 3).

Figura 3 - Variabilidade da série histórica de vazões (1935-1985).



Fonte: adaptado do SECTMA.

Em seguida ao cálculo da média dos anos amostrados efetuou-se o cálculo do desvio padrão (D.P) e do coeficiente de variação (C.V.), em que o desvio padrão (D.P.) é dividido pela média de vazão dos anos em estudo e multiplicado por 100, resultando num C.V. em torno de 94,82%. A seguir tem-se o resultado para o subparâmetro acerca da variabilidade da série histórica de vazões na Bacia Hidrográfica do Pontal-PE (Tabela 11).

Tabela 11 - Resultado (hachurado) para o subparâmetro Variabilidade da Série Histórica de Vazões na Bacia Hidrográfica do Pontal-PE.

VARIABILIDADE	CV
<b>Baixo</b>	< 15%
<b>Médio</b>	15% ≤ CV ≤ 30%
<b>Alto</b>	> 30%



Desse modo, a variabilidade é considerada alta na Bacia do Pontal em razão do CV estar acima de 30%. Um resultado de alta variabilidade também foi encontrado por Silva e Galvêncio (2011) na Bacia do Ipojuca-PE no Agreste Pernambucano, mostrando que há semelhanças quanto à variabilidade da série histórica de vazões nessas Bacias que receberão água advinda da transposição do Rio São Francisco. No estudo de Galvão (2009) o coeficiente de variação da série histórica de vazões foi de 34,88%, considerada alta, mas em comparação com seu estudo o resultado deste trabalho indica um coeficiente de variação ainda mais alto, o que resultou numa alta variabilidade da série.

Posteriormente foi feito o teste de não-estacionariedade (para saber se a série é ou não estacionária) calculado pela fórmula da equação 4. Deve-se salientar que nos dados obtidos neste trabalho, há um período de amostragem 50 anos, como o teste acima é baseado no teste *t* de *Student* a 99% de confiança (valor tabelado da distribuição de Student para um grau de liberdade  $n = N-2$ ), o grau de liberdade foi de 0,013, isso quer dizer que a probabilidade de  $-\infty < t < 0,013$  é de 99%. O *r* da fórmula, que é a tendência de crescimento ou de redução, é calculado através dos dados de vazão resultando num valor de 0,3439. Dessa forma o *t<sub>c</sub>* percebido é demonstrado Tabela 12:

Tabela 12 - Valores calculados para o método de SALAS (1993).

MÉDIA	1,041
D.P.	0,987
C.V.	94,82%
<i>t</i>	0,013
<i>r</i>	0,3439
<i>T<sub>c</sub></i>	2,53

Sendo assim, de acordo com os valores de *t<sub>c</sub>* em relação ao 0,9*t* e ao 1,1*t*, o *t<sub>c</sub>* possui valor maior que 0,9*t* e que 1,1*t*, podendo-se concluir que a série histórica apresenta um grau baixo de não-estacionariedade na Bacia (Tabela 13).

Tabela 13. Grau de não-estacionariedade.

<i>t<sub>c</sub></i>	<i>t(Student)</i>	0,9 <i>t</i>	1,1 <i>t</i>	Não - estacionariedade
2,53	0,013	0,0117	0,0143	Alta

A partir do cálculo da tabela 13 foi efetuado o hachuramento do valor correspondente na tabela de não-estacionariedade a seguir (tabela 14).

Tabela 14. Resultado (hachurado) para o subparâmetro Não-Estacionariedade da Série Histórica de Vazões Qmed (1935-1985) na Bacia Hidrográfica do Pontal-PE.

NÃO-ESTACIONARIEDADE	
BAIXO	$tc < 0,9 t$
MÉDIO	$0,9 t \leq tc \leq 1,1 t$
ALTO	$tc > 1,1 t$

No caso da Bacia do Riacho do Pontal, como abordado na anterior, a não-estacionariedade foi considerada alta nos períodos de 1935 a 1985, sendo assim, o valor de  $tc$  (que teve um valor acima de  $1,1t$ ) é considerado alta. O mesmo resultado de não-estacionariedade foi encontrado no trabalho de Silva e Galvêncio (2011) na Bacia do Ipojuca-PE, o que pode significar um indício de tendência nas séries históricas em Bacias da região. Tal resultado difere do encontrado por Galvão na Bacia do Ribeirão Piripau (DF/GO) onde a não-estacionariedade foi considerada baixa, significando que lá as séries históricas apresentaram pouca ou nenhuma tendência dentro de uma variabilidade característica na região, ou seja, não houve mudanças significativas nas estatísticas da série histórica de vazões.

A partir dos dois subparâmetros (de variabilidade e de não-estacionariedade) podemos realizar seu cruzamento (ou integração) e calcular o parâmetro de Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas da Bacia (Tabela 15).

Tabela 15. Combinação dos subparâmetros de Variabilidade e Não-Estacionariedade da Série Histórica de Vazões.

		NÃO-ESTACIONARIEDADE		
		BAIXO	MÉDIO	ALTO
VARIABILIDADE	BAIXO	1	2	3
	MÉDIO	2	4	6
	ALTO	3	6	9

Observa-se que quanto maiores forem os subparâmetros de Variabilidade e Não-Estacionariedade maior será a vulnerabilidade dos ecossistemas, e da sociedade que faz uso desses recursos, a eventos extremos (GALVÃO, 2008). Dessa forma, a variabilidade climática foi considerada alta enquanto a não-estacionariedade foi considerada baixa, sendo representado pelo produto dos dois ( $3 \times 3 = 9$ ) como mostrado na Tabela 16:

Tabela 16. Resultado (hachurado) para o parâmetro vulnerabilidade às mudanças climáticas no período de 1935-1985.

<b>VULNERABILIDADE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS</b>	<b>ESCORE</b>
BAIXO	1 - 2
MÉDIO	3 - 4
<b>ALTO</b>	<b>6 - 9</b>

Portanto, combinando-se a variabilidade com a não-estacionariedade obteve-se Escore alto (9) para a vulnerabilidade às mudanças climáticas (6-9).

A partir da integração dos parâmetros Razão de Uso e Vulnerabilidade às mudanças climáticas (Tabela 17), pode-se avaliar o estresse hidrológico (Eh) da Bacia:

Tabela 17. Resultado da combinação dos parâmetros de Razão de Uso dos Recursos Hídricos e Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas. Fonte: adaptado de Galvão (2008).

		<b>RAZÃO DE USO DOS RECURSOS HÍDRICOS - Ru</b>		
		<b>BAIXO</b>	<b>MÉDIO</b>	<b>ALTO</b>
Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas	BAIXO	1	2	3
	MÉDIO	2	4	6
	<b>ALTO</b>	3	6	<b>9</b>

Como a Ru foi alta (3) e a vulnerabilidade foi alta (3), o produto dessas duas é o número 9, daí se comparar esse número com o nível de Estresse hidrológico, seguindo a tabela apresentada abaixo (Tabela 18):

Tabela 18. Resultado (hachurado) da Variação do Nível, Escore e Valor Final para o indicador Estresse Hidrológico – Eh.

<b>NÍVEL Eh</b>	<b>ESCORE</b>	<b>VALOR</b>
BAIXO	1 - 2	1
MÉDIO	3 - 4	2
ALTO	6 - 9	3

Fonte: adaptado de Galvão (2008).

Portanto, combinando-se a variabilidade com a não-estacionariedade obteve-se Escore alto (9) para vulnerabilidade às mudanças climáticas, e unindo-se a Razão de Uso dos recursos hídricos com a vulnerabilidade, obteve-se o Escore geral alto (9) para o indicador de estresse hidrológico (Eh = 3).

Vale ressaltar que o estresse hidrológico na Bacia do Pontal-PE foi considerado alto, assim como na Bacia do Ipojuca-PE em trabalho realizado por Silva e Galvêncio (2011). Dessa forma, os resultados de estresse hidrológico auferido por métodos holísticos tendem a indicar um alto estresse hidrológico em Bacias do semiárido brasileiro se comparadas às outras regiões do país. Ora, a Bacia do Pontal-PE, como visto ao longo do trabalho, apresenta uma alta variabilidade em termos de vazão interanual e também de vazão intra-anual, como pode ser visualizado no anexo I deste trabalho. Dada a sua intermitência, em alguns meses do ano essa vazão chega a zero, o que prejudica o abastecimento tanto para a agricultura, que é o foco deste trabalho, quanto para os demais usos consultivos.

Se compararmos estes resultados com os resultados obtidos por Galvão (2008) na Bacia do Rio Piripau (DF/GO) o resultado foi semelhante, todavia neste trabalho o indicador foi 9 e no de Galvão 6, porém o Escore foi o mesmo. Estudo semelhante também foi realizado por Silva e Galvêncio (2011) na Bacia do Rio Ipojuca-PE, que também é uma das Bacias que receberão água proveniente da transposição do Rio São Francisco, nela foi verificado que a Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca-PE apresentava-se com uma alta vulnerabilidade às mudanças climáticas, semelhante ao que foi observado na Bacia do Riacho do Pontal-PE até o ano de 1985.

Por essa razão, a integração da Bacia do Riacho do Pontal-PE com a do Rio São Francisco é a alternativa mais eficiente para a problemática da intermitência da Bacia, desse modo, este estudo apresenta resultados complementares aos resultados apresentados nos

EIA/RIMA da Bacia do Pontal-PE, pois pode-se notar que o EIA/RIMA utiliza os dados de vazão da Bacia mas sem metodologia adequada para auferir demais resultados que quantifiquem a real necessidade por água das culturas agrícolas e sem mensurar a susceptibilidade às modificações nos padrões climáticos.

Nesse sentido o trabalho merece atenção por se tratar de uma Bacia que receberá água advinda da transposição do Rio São Francisco incorporando assim, além da suscetibilidade climática natural da Bacia, impactos negativos decorrentes dessa transposição. Diante dessa realidade a transposição do Rio São Francisco se apresenta como uma alternativa viável e benéfica para a agricultura na área de estudo com um aumento da água disponível e diminuição da perda devido aos reservatórios, com potencial aumento da produção agrícola e, conseqüentemente, do dinamismo econômico na área, reduzindo dessa forma, problemas trazidos pela seca, como a escassez de alimentos, baixa produtividade no campo e desemprego rural.

A Bacia do Riacho do Pontal-PE terá a dinâmica natural de sua Bacia afetada pelas obras de transposição do Rio São Francisco e pelo fluxo das águas advindas da implantação desse projeto. Gerando dessa forma, em áreas que não recebiam água ou que recebiam em níveis insuficientes, novas oportunidades de utilização de terras e impactos positivos e/ou negativos sobre a natureza. Portanto, esses estudos vêm dar respaldo tanto à parte metodológica quanto à parte propriamente dos resultados em si, pois diante do exposto, dá-se a entender que essa Bacia tem demonstrado certa fragilidade no que diz respeito à própria dinâmica de vazão e à manutenção das características naturais da vegetação de caatinga, e as mudanças climáticas tendem a acentuar os efeitos sobre a população e a economia das áreas do seu entorno. E para que esse aumento na oferta hídrica não acarrete problemas de ligados a salinidade dos solos e ao de desperdício de água, procurou-se estimar neste trabalho a lâmina ótima necessária para cada cultura agrícola a ser contemplada na Bacia.

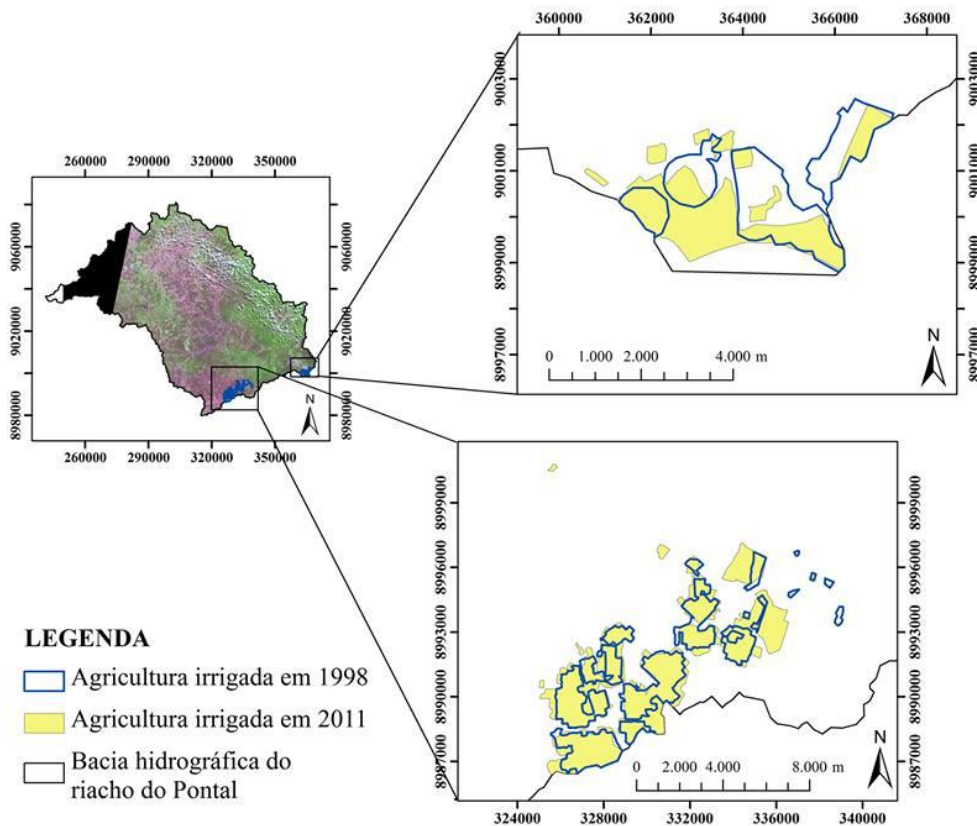
## 5.2 EVAPOTRANSPIRAÇÃO ATRAVÉS DO MODELO PROPOSTO PELO SEBAL

### 5.2.1 Delimitação dos perímetros irrigados

A partir do ano de 1996 houve uma série de investimentos na Bacia do Riacho do Pontal com vistas ao aumento do perímetro irrigado da região, o Pontal Sul apresenta maior área destinada à agricultura irrigada pela maior proximidade com os polos de escoamento da

produção e pela maior disponibilidade hídrica na área. A área agricultada na região se limita atualmente a pequenas roças de subsistência, localizadas em torno das moradias existentes e cujo plantio ocorre sempre no período de chuvas já que não há nenhuma fonte hídrica perene, que garanta o cultivo fora desse período. O emprego de irrigação rudimentar, normalmente por sulcos, se dá apenas junto ao riacho Pontal. Como pode ser visualizado no mapa a seguir, o perímetro irrigado aumentou entre os anos de 1998 e 2011 (Figura 4).

Figura 4 - Mapa de localização do Perímetro irrigado da Bacia do Riacho do Pontal.

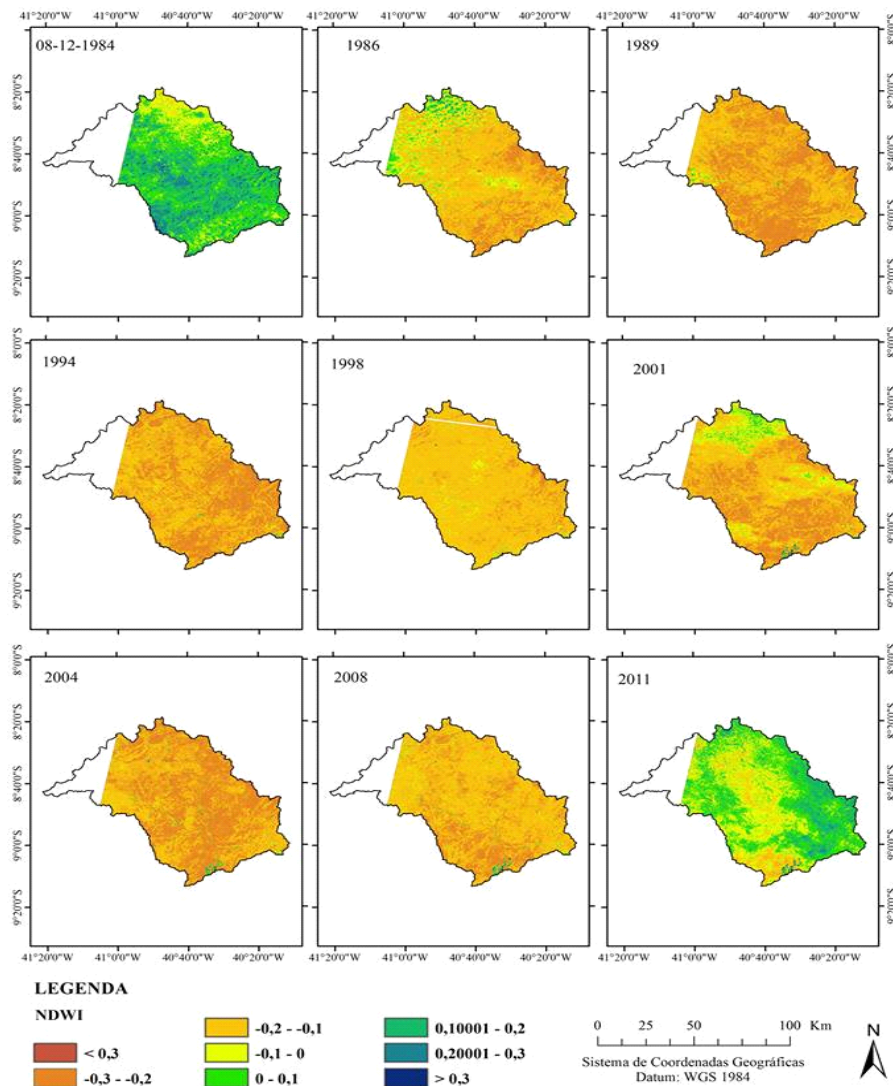


O aumento do perímetro irrigado na Bacia do Pontal-PE, como visualizamos na figura anterior, reflete o incentivo à irrigação por parte do Governo Federal principalmente em meados da década de 90 quando o perímetro foi implantado, inicialmente na parte Sul da Bacia. Porém, poderia ter havido um aumento maior do perímetro caso houvesse um maior volume de água destinada à Bacia. Após a integração com a Bacia do São Francisco prevê-se um crescimento do perímetro irrigado interferindo consideravelmente sobre áreas pertencentes ao Bioma Caatinga visto que, para o Projeto Pontal Norte, o abastecimento é feito através de tomada direta no rio São Francisco, a jusante do Projeto Bebedouro, perímetro irrigado da CODEVASF que encontra-se em operação.

### 5.2.2 Aplicação do Índice de Umidade (NDWI):

Segundo Gao (1996), o NDWI varia quase linearmente com a espessura da lâmina da água. Dessa forma, esse índice tem se destacado no monitoramento do comportamento hídrico. Na figura a seguir observa-se o NDWI ao longo de mais de 20 anos de período amostral (1984 a 2011) na época em que há menos pluviosidade na região, salienta-se que a partir de 2001 podem ser observadas as áreas pertencentes ao perímetro irrigado da Bacia do Pontal-PE (no lado direito e inferior nas imagens processadas) para visualização da umidade da área. O mapa demonstra um resultado de NDWI que indica que a área abarcada pela pesquisa, apresentou uma vegetação entre moderado teor de água e total ausência de umidade (Figura 5):

Figura 5 – Análise espaço-temporal do NDWI dos anos de 1984 a 2011.



Vale ressaltar que todas as imagens são do período mais seco na região, para que os valores não sejam comprometidos por chuvas ocasionais, embora nas imagens de 1984, 1986, 2001 e 2011 haja presença de nuvens e os resultados demonstrem que tenha havido chuvas ocasionais pouco antes do imageamento do satélite. Os valores mais baixos correspondem às áreas onde o solo exposto é predominante, e os valores mais altos correspondem às áreas que possuem predominância de umidade, como áreas agrícolas e corpos hídricos. As áreas de solo exposto apresentaram valores de NDWI inferiores a 0. Deste modo, as áreas de vegetação nativa e áreas agrícolas apresentaram valores de NDWI que variavam entre 0 e 0,3 para a vegetação verde e, em alguns casos, onde a vegetação se apresentava seca, mostrou valores inferiores a 0. Esse resultado encontra respaldo no trabalho de SILVA et al. (2009) pois o autor salienta que na estação seca, a vegetação esparsa da caatinga, constituída principalmente por gramíneas, tende a desaparecer, reaparecendo no início da estação chuvosa.

Para efeito de comparação, Cardoso et al. (2009), analisando áreas de caatinga no período chuvoso e seco, constataram que no período chuvoso, a vegetação da caatinga, apresenta NDWI acima de 0,45, valores semelhantes aos encontrados no presente estudo para as áreas de vegetação de transição. Segundo esses autores, áreas com vegetação de menor densidade que acompanham redes de drenagem (matas ciliares) apresentam NDWI entre 0,30 e 0,35, independentes da estação climática.

Em relação aos valores negativos de NDWI encontrados em áreas com pouca cobertura vegetal e/ou com vegetação seca, Holanda e Guerra (2010), em pesquisa realizada na região do Eixo-Forte no município de Santarém - PA, visualizaram que em zonas com reduzida cobertura vegetal ou vegetação esparsa (savanas, por exemplo), os índices apresentaram variação de valores que oscilaram entre 0,2 e -0,4 (negativos). Para as áreas com pouca ou quase nenhuma cobertura vegetal, o índice de umidade foi de cerca de -1.

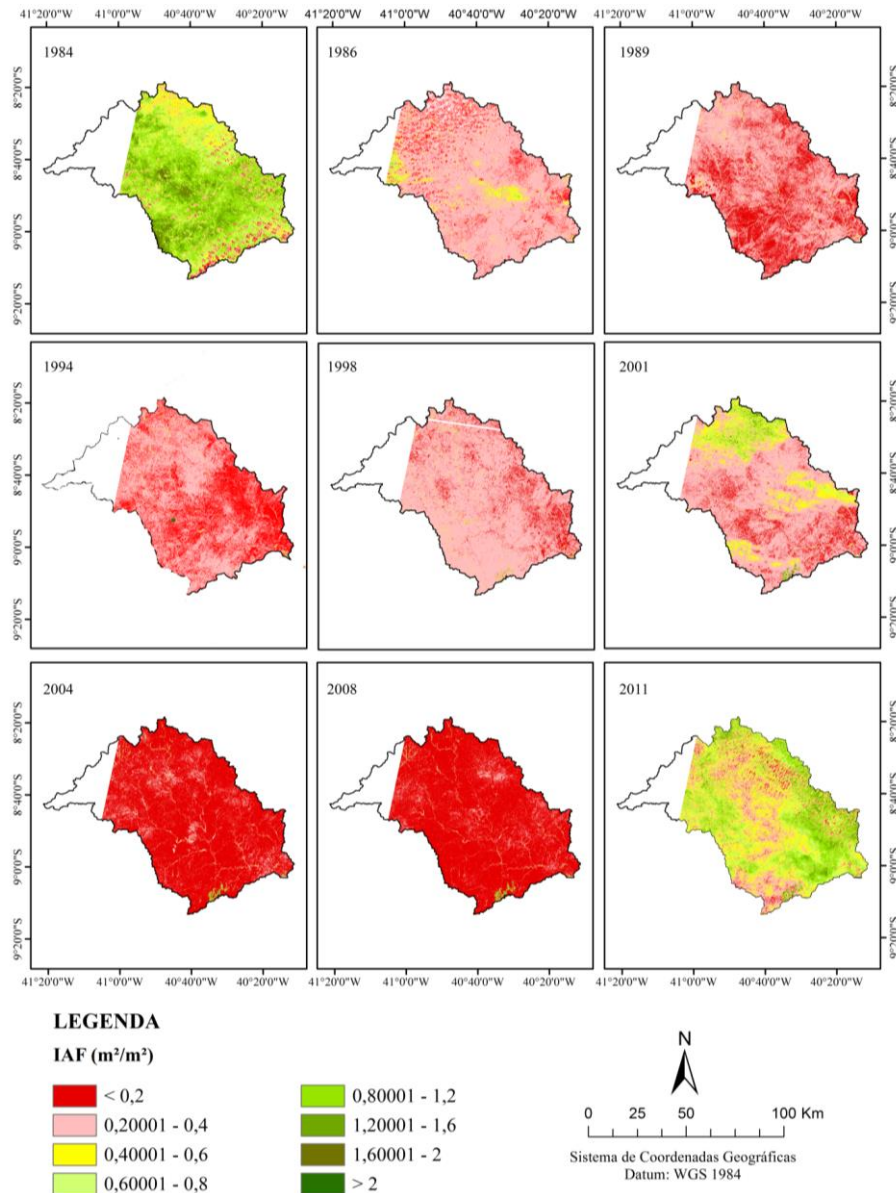
Valores semelhantes também foram encontrados no estudo realizado por Chagas et al (2011) no município de Arcoverde-PE, com vegetação predominante de florestas sub-caducifólia e caducifólia, característica de áreas de agreste e sertão, apresentou um resultado de NDWI de 0,31, indicando que esta fitofisionomia utiliza, principalmente, a água superficial disponível no início do período chuvoso da caatinga para uma produção rápida de biomassa, possibilitando uma eficiente dinâmica da população de gramíneas.



### 5.2.3 Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF)

Foi realizado também o mapeamento do IAF da Bacia do Pontal-PE (Figura 6).

Figura 6 - Análise espaço-temporal do IAF da Bacia do Pontal-PE.



Como pôde ser visualizado, a partir de 2001 o perímetro irrigado da Bacia do Pontal apresentou um IAF moderado na área do perímetro irrigado, destoando muitas vezes de seu entorno, mais seco, pela presença de biomassa. Os valores do IAF nas áreas agrícolas foi predominantemente de 0,6 a 1,2 e chega a 1,6 dependendo da pluviosidade nos dias anteriores, já em áreas não agrícolas os valores mínimos são menores que 0,2 e abaixo de 0,4.

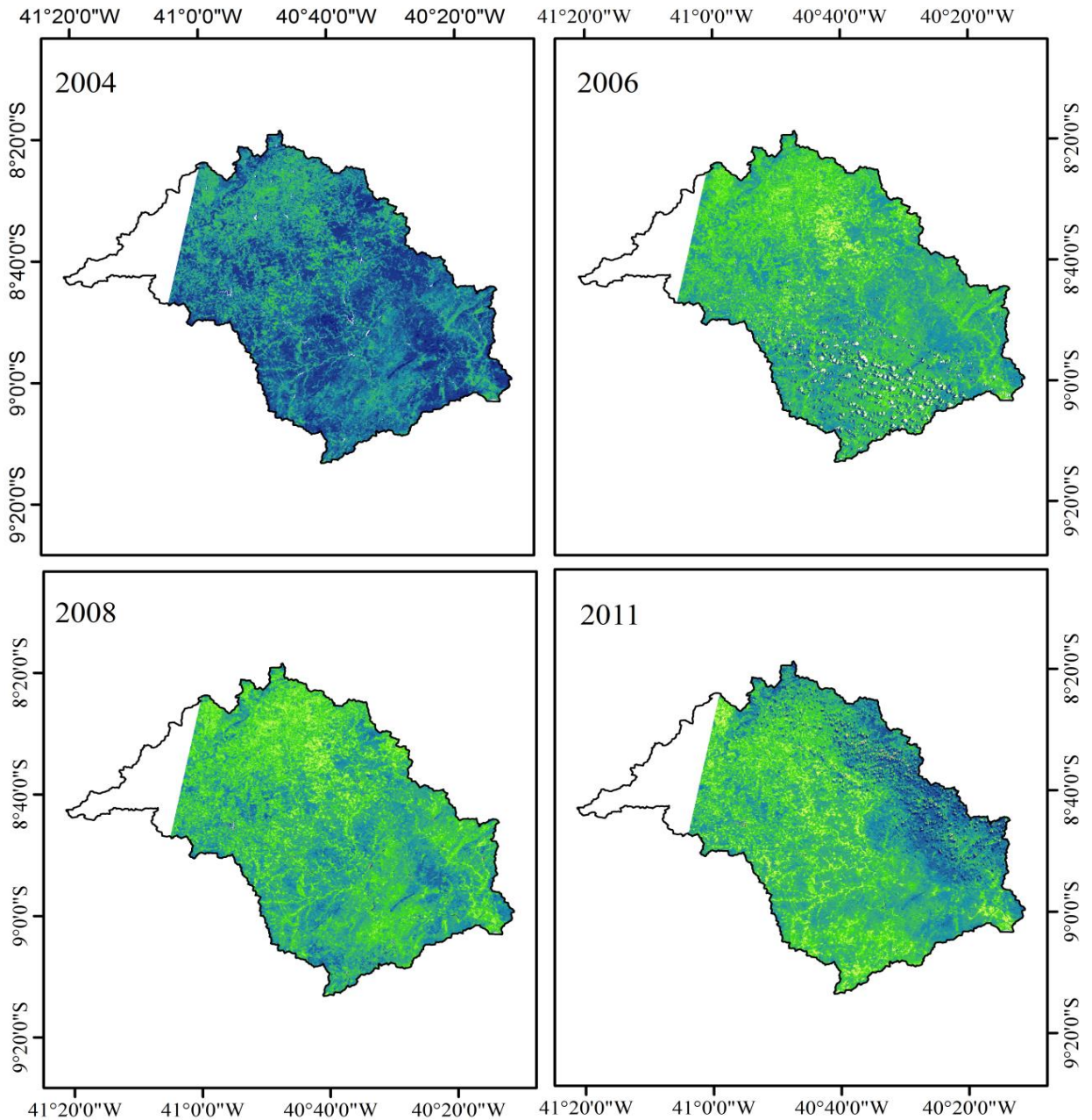
Valores semelhantes podem ser encontrados no trabalho de Oliveira et al (2009) na Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó com índices variando, respectivamente, 0 – 0,244 para áreas sem presença de vegetação e 0,832 – 3,560 para áreas vegetadas. Já Giongo (2007), em áreas de cerrado, encontrou valores mínimos foram obtidos nas de 0,224 e 0,225 e os máximos foram obtidos nas Figuras foram 0,696 e 0,883, além de valores médios entre 0,299 a 0,770.

#### **5.2.4 Estimativa da Evapotranspiração Real na Bacia do Pontal-PE**

Pode-se observar a seguir, através do mapa de evapotranspiração, que, embora haja presença de nuvens, nas áreas de caatinga e na do perímetro irrigado tem-se maior evapotranspiração do que nas demais áreas da Bacia do Riacho do Pontal em razão da presença de vegetação. As áreas pertencentes aos Projetos Pontal Norte e Pontal Sul são as áreas que se assemelham aos valores da vegetação de caatinga e ambas as áreas se destacam em relação aos valores da evapotranspiração em solos expostos. Salienta-se que as imagens são do período mais seco exatamente para visualização desse contraste e mostra a distribuição espacial da evapotranspiração real diária na bacia do Pontal.

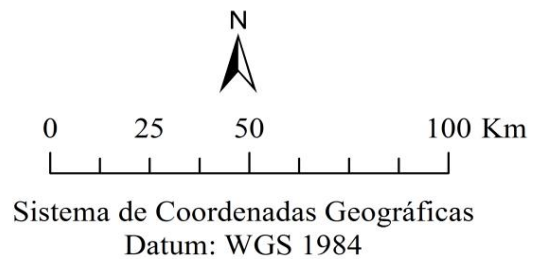
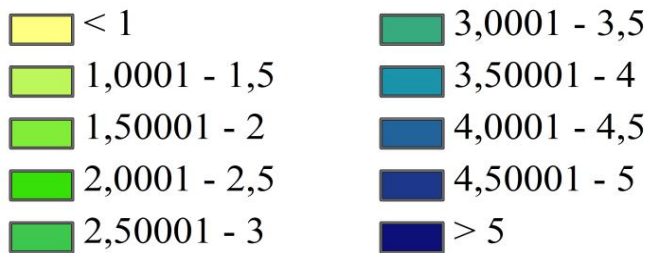
Verifica-se que os menores valores, variando predominantemente de 0,0 a 2,5 mm.dia<sup>-1</sup> concentram-se principalmente nas regiões com maior interferência antrópica, ou seja, nas áreas urbanas dos municípios inseridos na Bacia e áreas de solo exposto (claro). As áreas de pastagem, agricultura e solo exposto escuro apresentaram valores intermediários de evapotranspiração (com média de 2,5 a 3,5 mm.dia<sup>-1</sup>). Os valores mais altos de estão representados por tons de azul, variando predominantemente de 3,5 a  $\geq 5$  mm.dia<sup>-1</sup> englobam, principalmente, áreas de vegetação mais densa e de corpos d'água (Figura 7):

Figura 7 – Análise espaço-temporal da evapotranspiração na Bacia do Riacho do Pontal-PE.



**LEGENDA**

Evapotranspiração (mm.dia)



Neste trabalho, as áreas de caatinga e dos perímetros irrigados apresentam-se com uma evapotranspiração acima de 2,5 mm.dia<sup>-1</sup> a mais de 5 mm.dia<sup>-1</sup>. Esses valores assemelham-se, proporcionalmente, a outras áreas com climas áridos e semiáridos. Para efeito de comparação cita-se o estudo realizado no Novo México, na região de Las Cruces, composta por desertos e áreas de culturas irrigadas, em que Wang *et al.* (2005) aplicaram uma versão do SEBAL adaptada a imagens ASTER e estimaram, para áreas com cultura irrigada, valores de ET na faixa de 4,9 mm.dia<sup>-1</sup> a 5,9 mm.dia<sup>-1</sup>. Autores como Moreira et al (2010) também observaram que áreas com NDVI muito baixo, albedo elevado e baixa evapotranspiração, indicam áreas degradadas, de solo exposto ou pouco vegetadas e secas.

### 5.3 EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL PELO MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH

Neste trabalho foi estimada a evapotranspiração potencial calculada como recomenda a FAO, através do método de Penman-Monteith. Esse método foi escolhido por ser mais recomendado para manejo de água em tempo real, segundo parametrização da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), considerado como padrão internacional. Foi realizado primeiramente, o levantamento dos dados do Posto Climatológico do Bebedouro fornecidos pela EMBRAPA, nele a evaporação possui dados observados na Estação de Bebedouro no período 1963-1984 (Tabela19).

Tabela 19. Normais Mensais - Posto Climatológico do Bebedouro.

PARÂMETROS	MEDIDA	UNIDADE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
<b>Temperatura do ar</b>	Média	°C	27,3	27	26,5	26,3	25,6	25,5	24,6	25,4	27	28,4	28,5	28
	Máx	°C	32,2	31,8	31,4	30,7	30	29,7	29,3	30	31,3	33,4	33,7	33
<b>Umidade relativa do ar</b>	Min	%	46,7	50,3	51,5	54,1	51,7	50,8	45,4	42,3	49,1	37	39,7	43,1
	Média	%	62	66,5	68,5	70	67	65	60	55,5	52	49,8	53,5	57,5
<b>Insolação</b>	Média	h/dia	7,2	6,9	6,9	6,8	6,4	6,4	6,9	8	7,8	8,3	7,9	7,5
<b>Velocidade do Vento</b>	Média	m/s	1,95	1,77	1,65	1,68	2,1	2,43	3	2,92	3,04	2,83	2,28	1,99
<b>Precipitação</b>	Média	mm	65	96,5	140,8	100,4	17,8	9,7	7,6	5,3	7,3	10	50,6	72,4

É necessário o entendimento de que a evapotranspiração é a perda de água do solo por evaporação e a perda de água da planta por transpiração sendo dois processos simultâneos que necessitam ser mensurados da mesma forma. A taxa de evapotranspiração é normalmente expressa em milímetros (mm) por unidade de tempo. Essa taxa representa a quantidade de água perdida de um solo cultivado em unidades de profundidade de água. A unidade de tempo pode ser hora, dia, mês, década ou até mesmo um ciclo inteiro da cultura. Para o cômputo dessa taxa, foi elaborada a Tabela da Evapotranspiração potencial pelo método de Penman-Monteith (Tabela 20).

Tabela 20. Evapotranspiração potencial pelo método de Penman-Monteith.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
<b>Tmax</b>	34.0	33.6	33.5	33.0	32.0	31.5	30.9	31.8	33.4	34.7	34.6	34.0	33.1
<b>Tmin</b>	21.9	31.7	21.8	21.5	20.7	19.8	19.1	19.9	20.8	22.4	22.7	22.2	22.0
<b>RHmédia</b>	62	67	69	70	67	65	60	56	52	50	54	58	60.6
<b>RHmin</b>	41	63	46	47	45	43	40	37	34	33	36	39	41.9
<b>Vento (km/d)</b>	168	153	143	145	181	210	259	252	263	245	197	172	199
<b>Insolação</b>	7.20	6.90	6.90	6.80	6.40	6.40	6.90	8.00	7.80	8.30	7.90	7.50	7.25
<b>Etfao</b>	5.64	5.41	5.22	4.59	4.39	4.40	5.02	5.70	6.48	6.93	6.35	5.85	2008.3
<b>Avg Temp</b>	27.98	32.67	27.63	27.24	26.31	25.64	25.01	25.83	27.09	28.57	28.66	28.07	
<b>n/N</b>	58%	56%	57%	58%	55%	56%	60%	68%	65%	68%	63%	60%	
<b>Vento (m/s)</b>	1.95	1.77	1.65	1.68	2.10	2.43	3.00	2.92	3.04	2.83	2.28	1.99	
<b>Ea(Tmax)</b>	5.33	5.21	5.16	5.02	4.74	4.62	4.47	4.70	5.14	5.53	5.50	5.30	
<b>Ea(Tmin)</b>	2.63	4.67	2.61	2.57	2.44	2.31	2.21	2.32	2.45	2.71	2.76	2.67	
<b>Ea(Tx)-Ea(Tn)</b>	3.98	4.94	3.89	3.79	3.59	3.46	3.34	3.51	3.80	4.12	4.13	3.99	
<b>Edew</b>	2.18	3.28	2.38	2.38	2.16	2.00	1.78	1.72	1.73	1.81	1.97	2.04	
<b>RH(max-min)</b>	62%	67%	69%	70%	67%	65%	60%	56%	52%	50%	54%	58%	
<b>Dlt(ETx-ETn)</b>	0.23	0.28	0.22	0.22	0.21	0.20	0.20	0.20	0.22	0.24	0.24	0.23	
<b>P-atm.</b>	96.6	96.6	96.6	96.6	96.6	96.6	96.6	96.6	96.6	96.6	96.6	96.6	
<b>lambda</b>	2.43	2.42	2.44	2.44	2.44	2.44	2.44	2.44	2.44	2.43	2.43	2.43	
<b>gamma</b>	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	
<b>rc</b>	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	
<b>ra</b>	106	116	125	123	98	85	69	71	68	73	90	104	
<b>gamma*</b>	0.11	0.10	0.10	0.10	0.11	0.12	0.13	0.13	0.13	0.13	0.11	0.11	
<b>dl/dl+gm*</b>	0.68	0.73	0.69	0.68	0.65	0.63	0.60	0.62	0.63	0.65	0.67	0.68	
<b>gm/dl+gm*</b>	0.19	0.17	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.19	0.18	0.18	0.18	0.19	
<b>Aeroterm</b>	2.01	1.48	1.49	1.43	1.83	2.16	2.80	3.04	3.48	3.48	2.71	2.22	
<b>Mês</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
<b>dayno</b>	15	46	76	107	137	168	198	229	259	290	320	351	
<b>soldeclin</b>	-0.370	0.230	0.033	0.179	0.334	0.408	0.372	0.233	0.036	-0.176	0.336	0.408	
<b>xx</b>	0.060	0.038	0.006	0.030	0.054	-0.066	0.060	0.038	0.006	0.029	0.055	0.066	

yy	0.919	0.960	0.986	0.970	0.932	0.905	0.919	0.960	0.985	0.971	0.931	0.905	
omega	1.64	1.61	1.58	1.54	1.51	1.50	1.51	1.53	1.56	1.60	1.63	1.64	
dr	1.03	1.02	1.01	0.99	0.98	0.97	0.97	0.98	0.99	1.01	1.02	1.03	
Ra	39.39	39.24	37.69	34.44	31.12	29.25	30.06	33.05	36.38	38.58	39.19	39.22	
N	12.50	12.30	12.04	11.77	11.55	11.44	11.50	11.69	11.95	12.23	12.45	12.56	
Rns	16.3	16.0	15.6	14.3	12.6	11.9	12.7	15.1	16.1	17.5	17.1	16.6	
f(n/N)	0.62	0.60	0.62	0.62	0.60	0.60	0.64	0.72	0.69	0.71	0.67	0.64	
sigma(Tx_Tn)	40.39	42.87	40.20	39.99	39.49	39.15	38.82	39.25	39.93	40.71	40.75	40.44	
emissividade	0.13	0.09	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.16	0.16	0.15	0.15	0.14	
Rbo	5.42	3.78	5.05	5.01	5.36	5.60	6.00	6.17	6.27	6.21	5.90	5.70	
LWR	3.36	2.29	3.11	3.12	3.21	3.39	3.85	4.43	4.32	4.42	3.97	3.64	
Rn(Rns-RI)	12.96	13.74	12.46	11.17	9.41	8.54	8.88	10.64	11.83	13.08	13.15	12.93	
G	-0.01	0.66	-0.70	-0.06	-0.13	-0.09	-0.09	0.12	0.18	0.21	0.01	-0.08	
Rn-G	12.97	13.08	13.16	11.23	9.54	8.64	8.97	10.53	11.65	12.87	13.14	13.01	
RadTerm	3.62	4.13	3.53	3.14	2.53	2.22	2.19	2.69	3.04	3.50	3.64	3.61	
RadTerm(-G)	3.63	3.93	3.73	3.15	2.56	2.24	2.21	2.66	3.00	3.44	3.64	3.63	
ETcomb	5.64	5.60	5.02	4.57	4.36	4.37	4.99	5.73	6.52	6.98	6.36	5.83	65.97
	-0.1%	3.5%	4.0%	0.3%	0.8%	-0.6%	0.4%	0.5%	0.7%	0.8%	0.1%	0.4%	
ET(-G)	5.64	5.41	5.22	4.59	4.39	4.40	5.02	5.70	6.48	6.93	6.35	5.85	65.96

A evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith Fao para a Bacia do Pontal-PE foi de 2008,3 e apresenta valores aproximados em relação aos calculados por outros métodos tais como: o Cálculo da Evapotranspiração Potencial de Hargreaves e de Blaney-Criddle com Temperaturas Inferidas pela Estação Climatológica de BEBEDOURO e valores anuais de 2096,4 pelo método de Hargreaves e 2032,2 através do método de Blaney-Criddle levantados pela PROJETEC. O cálculo da Evapotranspiração Potencial de Hargreaves e de Blaney-Criddle com Temperaturas Inferidas por Modelo de Regionalização da UFPB resultaram numa evapotranspiração calculada de 2047,2 pelo método de Hargreaves e 1983,8 pelo método Blaney-Criddle. Segundo dados da CODEVASF a evapotranspiração estimada pelo método de Penman na área é de 2.204mm e o calculado pela PROJETEC pelo método de Penman Monteith Fao chegou a um resultado de 2008,14.

### 5.3.1 Balanço hídrico e rendimento médio anual da Bacia do processo de conversão geral chuva x vazão no Riacho Pontal

O uso do balanço hídrico é de suma importância para a gestão e o planejamento hidroagrícola, caracterização climática, delimitador de zonas agroecológicas, e controle dos

recursos hídricos em microbacias, levando em conta as necessidades hídricas, bem como suas demandas e ofertas no espaço e no tempo. Conforme visualizado na Tabela 21, tem-se que para uma precipitação média anual de 583mm e uma temperatura média anual de 26.68°C na Estação de Bebedouro o rendimento médio anual do processo de conversão geral chuva x vazão na bacia é inferior a 1% (Tabela 21).

Tabela 21- Balanço Hídrico de Thornthwaite-Mather para a Região do Perímetro Irrigado Pontal Norte – Evapotranspiração Potencial de Penman-Monteith (FAO)

MESES	T °C	P mm	EVP mm	P-EVP mm	ARM mm	ALT mm	EVR mm	EXC mm	DEF mm
JAN	27,3	65	174,9	-109,9	0	0	65	0	109,9
FEV	27	96,5	152,8	-56,3	0	0	96,5	0	56,3
MAR	26,5	140,8	161,7	-20,9	0	0	140,8	0	20,9
ABR	26,3	100,4	137,7	-37,3	0	0	100,4	0	37,3
MAI	25,6	17,8	136,1	-118,3	0	0	17,8	0	118,3
JUN	25,5	9,7	132	-122,3	0	0	9,7	0	122,3
JUL	24,6	7,6	155,5	-147,9	0	0	7,6	0	147,9
AGO	25,4	5,3	176,7	-171,4	0	0	5,3	0	171,4
SET	27	7,3	194,3	-187	0	0	7,3	0	187
OUT	28,4	10	214,7	-204,7	0	0	10	0	204,7
NOV	28,5	50,6	190,6	-140	0	0	50,6	0	140
DEZ	28	72,4	181,3	-108,9	0	0	72,4	0	108,9
ANO	26,7	583,4	2008,3	-1424,7	0	0	583,4	0	1424,7

LEGENDA:

T = Temperatura média em graus Celsius

P = Precipitação climatológica

EVP = Evapotranspiração Potencial

P-EVP = Precipitação - Evapotranspiração Potencial

ARM = Armazenamento

ALT = Altura

EVR = Evaporação Real

EXC = Excedente

DEF = Deficiência

Como pôde-se identificar na tabela, na Bacia do Riacho do Pontal há uma taxa de evapotranspiração maior do que a precipitação, o que faz com que haja um déficit hídrico na área, sendo imprescindível então, o uso de técnicas de irrigação para que seja possível uma melhor utilização das terras disponíveis bem como o aumento de produtividade. Os resultados estimados apresentaram uma ETo de 2008,3, ou aproximadamente uma ETo média de

5,50mm.dia<sup>-1</sup>. já a evapotranspiração calculada através do modelo proposto pelo SEBAL apresentou valores entre 2 mm.dia<sup>-1</sup> e 4 mm.dia<sup>-1</sup>, por vezes chegando a valores acima de 5,50mm.dia<sup>-1</sup>.

Comportamento semelhante ocorreu no trabalho de LIMA et al. (2009), ao comparar o resultado da ETo, estimada pelo método de Penman-Monteith FAO (PM-FAO), com a evapotranspiração estimada por meio do SEBAL, no pixel em que se encontra a estação meteorológica em áreas irrigadas no triângulo mineiro (latitude 19° 59' 09" Sul e longitude 48° 09' 09" Oeste) encontrando um resultado, de 5,49 mm/dia pelo método de PM-FAO, enquanto que o estimado por meio do SEBAL foi de 4,34 mm/dia.

### **5.3.2 ÍNDICES (%):**

Para o correto diagnóstico da situação da Bacia em relação à sua dinâmica climática, foram calculados os seguintes índices:

#### *5.3.2.1 ÍNDICE DE ARIDEZ:*

Conforme visualizado o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather com informações de temperaturas e de precipitações médias mensais da Estação de Bebedouro e com evapotranspiração potencial calculada como recomenda a FAO, através do método de Penman-Monteith, indicou um déficit anual de 1.424mm e um índice de aridez muito alto: 71%.

#### *5.3.2.2 ÍNDICE DE UMIDADE:*

O índice de umidade anual é considerado baixo:

$$Iu = ((EXC)_{\text{anual}} / (ETP)_{\text{anual}})100 = \mathbf{0}$$

#### *5.3.2.3 ÍNDICE HÍDRICO:*

Segundo a EMBRAPA (2004), em regiões onde ocorre déficits hídricos significativos durante longos períodos do ano, com precipitações abaixo de 800 mm e que as culturas não são irrigadas, a deficiência de água nos solos constitui-se na principal razão dos baixos



rendimentos das lavouras. Para ter o conhecimento do índice hídrico na área foi efetuado o cálculo abaixo:

$$I_h = (\text{EXC anual} - 0,6 \cdot \text{DEF anual}) / \text{ETP anual} = -42,57$$

O balanço hídrico de Thornthwaite e o rendimento médio anual da bacia do riacho Pontal apontam para uma insuficiência de precipitação ao longo de todo o ano para a manutenção de culturas permanentes sem irrigação. Em média, não ocorre excedente hídrico em nenhum mês do ano e o processo de operacionalização do perímetro irrigado do Pontal não pode ser dimensionado para funcionar alternativamente com o aporte de recursos hídricos locais da bacia do riacho Pontal.

Dessa forma, a única alternativa viável para garantir o abastecimento de água para o manejo das culturas agrícolas praticadas na área é o aumento da oferta hídrica para irrigação através da integração de Bacias já que várias propostas foram estudadas por órgãos do poder público tais como a CODEVASF. Uma das alternativas seria a de que o manancial de captação fosse o Reservatório de Sobradinho, proposta essa que se tornaria inviável economicamente pelo problema do custo elevado da construção dos canais de abastecimento até a parte Norte da Bacia do Pontal, e a outra seria usar a própria Bacia do Pontal para abastecimento do perímetro irrigado, aumentando a oferta hídrica para este uso em detrimento a outros usos, todavia, como também foi visto neste trabalho, o estresse hidrológico da Bacia já é alto, o que inviabilizaria uma utilização dessa magnitude de significância num sistema que já se encontra deficitário.

#### 5.4 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DAS CULTURAS

A evapotranspiração das culturas foi estimada conforme a escolha das culturas que ocupariam a área do projeto Pontal tais como: cajueiro, goiabeira, bananeira, coqueiro, aceroleira, mangueira e videira. Para o manejo da irrigação calculou-se a  $ET_{pc}$  considerando-se a  $ET_o$  e os dados de  $K_c$  desenvolvidos pela Embrapa (2009) para as diferentes culturas. Para tal foram utilizados nos cálculos as equações 38 e 39 que resultarão em  $ET_{pc}$ s utilizando-se técnicas distintas de irrigação. Os dois métodos foram analisados para seis culturas diferentes que são preponderantes na área e/ou que recebem mais incentivos para ser

implantada na região da Bacia do Pontal-PE, apresentando valores de  $K_c$  para as fruteiras consideradas.

#### 5.4.1 Cajueiro

Inicialmente o projeto Pontal produzirá o caju, fruto habituado ao clima semiárido, com o plantio de 208 a 550 árvores por hectare. Na cultura do caju, a fase de crescimento vegetativo, antes da primeira colheita, compreende um período mais longo, superior a 24 meses. Findo esse período, as plantas entram em produção com emissão das flores e formação dos frutos. Na cultura do cajueiro considerou-se dois cenários: no primeiro a  $ET_{pc}$  ( $K_c$ ) em que o pomar é irrigado por aspersão ou superfície molhando 100% da área cultivada; e o segundo cenário  $ET_{pc}$  ( $fL$ ) onde o pomar é irrigado por gotejamento ou microaspersão, que molham uma fração da área cultivada (Tabela 22):

Tabela 22. Valores de  $ET_{pc}$  ( $K_c$ ) e  $ET_{pc}$  ( $fL$ ) para a cultura do cajueiro na Bacia do Riacho do Pontal-PE.

$ET_o=2008,3$	Anos após o plantio				
	Até 1	1 a 2	2 a 3	3 a 4	Acima de 4
<b><math>K_c</math></b>	0,5	0,55	0,55	0,6	0,65
<b><math>fL</math></b>	0,66	0,66	0,66	0,85	0,98
<b><math>ET_{pc}</math> (<math>K_c</math>)</b>	1004,15	1104,565	1104,565	1204,98	1305,395
<b><math>ET_{pc}</math> (<math>fL</math>)</b>	662,739	662,739	662,739	1024,233	1279,2871

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pode-se visualizar na tabela que mesmo depois de anos do plantio do cajueiro, a evapotranspiração é menor utilizando-se a técnica de gotejamento ou microaspersão ( $ET_{pc}$  ( $fL$ )) do que na aspersão convencional ( $ET_{pc}$  ( $K_c$ )). Quanto maior a evapotranspiração, maior a perda de água pela cultura. Observa-se que a cultura do caju, dentre as analisadas neste trabalho, é a que apresenta menor  $ET_{pc}$ , sendo portanto aquela que tem menor necessidade por água. O  $K_c$  observado está entre 0,5 e 0,65, semelhante ao valor observado por Silva (2013), que estimaram o  $k_c$  para o cultivo do caju em 0,50 e 0,55 no primeiro e segundo ano, respectivamente em Teresina-Piauí.

#### 5.4.1.2 Lâmina líquida da cultura do caju

Na cultura do cajueiro poucos são os trabalhos realizados buscando-se avaliar o desenvolvimento da cultura em função da quantidade de água aplicada. Por essa razão foi interessante o cálculo da lâmina líquida de irrigação para a cultura do caju por esta representar a quantidade de água que as plantas devem absorver do solo. Inicialmente, a ETpc, que havia sido calculada para o ano, foi dividida por 365 dias, estipulando-se uma média seguindo a equação 38:

Tabela 23. Lâmina líquida de irrigação do cajueiro na Bacia do Pontal-PE.

	<b>Anos após o plantio</b>				
	<b>Até 1</b>	<b>1 a 2</b>	<b>2 a 3</b>	<b>3 a 4</b>	<b>Acima de 4</b>
<b>ETpc (Kc/ano)</b>	1004,15	1104,565	1104,565	1204,98	1305,395
<b>ETpc (fL/ano)</b>	662,739	662,739	662,739	1024,233	1279,2871
<b>ETpc (Kc/dia)</b>	2,751096	3,026205	3,026205	3,301315	3,576425
<b>ETpc (fL/dia)</b>	1,815723	1,815723	1,815723	2,806118	3,504896
<b>LL (kc)</b>	2,751096	3,026205	3,026205	3,301315	3,576425
<b>LL (fL)</b>	1,815723	1,815723	1,815723	2,806118	3,504896

Fonte: Elaborado pelo autor.

Visualizamos na tabela anterior que os valores da ETpc aumentam com o decorrer dos anos e que na cultura do caju a ETpc (fL) será sempre menor que a ETpc (kc). A evapotranspiração do caju gira em torno de  $2,75\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$  a  $3,58\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$ . A lâmina líquida (kc) para atender a necessidade da cultura do cajueiro foi o mesmo valor da ETpc (kc) e a lâmina líquida (fL) também foi a mesma da ETpc (fL). De acordo com Bernardo et al. (2007), nas condições do Nordeste do Brasil, a frequência de irrigação em cultivo de cajueiro anão precoce irrigado por microaspersão pode variar entre um dia, em solos arenosos, e quatro dias em solos argilosos.

#### 5.4.1.3 Lâmina bruta de irrigação da cultura do caju

Para o cálculo da lâmina bruta tem-se que considerar a eficiência de aplicação de água para sistemas de irrigação comumente utilizados. Serão utilizados os dados da Tabela 9 com os valores estipulados da eficiência de aplicação de água para sistemas de irrigação e serão utilizados os cálculos proposto utilizando-se a equação 39 (Tabela 24):

Tabela 24. Eficiência de aplicação de água para sistemas de irrigação na cultura do cajueiro na Bacia do Pontal-PE.

Anos após o plantio		Até 1	1 a 2	2 a 3	3 a 4	Acima de 4
<b>Método de irrigação</b>	LB (mm) (Kc)	2,751096	3,026205	3,026205	3,301315	3,576425
<b>Superfície</b>	0,60	4,58516	5,043676	5,043676	5,502192	5,960708
<b>Aspersão convencional</b>	0,75	3,668128	4,034941	4,034941	4,401753	4,768566
<b>Pivô central</b>	0,80	3,43887	3,782757	3,782757	4,126644	4,470531
<b>Microaspersão</b>	0,90	3,056773	3,362451	3,362451	3,668128	3,973805
<b>Gotejamento</b>	0,95	2,89589	3,185479	3,185479	3,475068	3,764658

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela 24 apresentou resultados acerca da lâmina bruta de irrigação para a cultura do caju. Pode-se visualizar que a lâmina bruta necessária para a cultura apresenta um crescimento ao longo dos anos em todos os métodos de irrigação que podem ser empregados em função da própria dinâmica do crescimento da planta. Na tabela nota-se também a grande diferença entre o método de irrigação de superfície, que chega a despender uma lâmina diária bruta de aproximadamente 5,96 mm dia<sup>-1</sup> ou 2.175,4 mm ano<sup>-1</sup> após 4 anos de cultivo, e o método mais eficiente (gotejamento) que necessita de uma lâmina bruta de 3,76 mm dia<sup>-1</sup> ou 1374, 1 mm ano<sup>-1</sup>.

O método mais comum na Bacia do Pontal-PE é o método da aspersão convencional que pode demandar uma lâmina bruta de aproximadamente 4,77 mm dia<sup>-1</sup> ou 1741 mm ano<sup>-1</sup>, já o método que poderia ser empregado na área mais facilmente, por existir aplicação desse mesmo método em outras culturas nos perímetros agrícolas da região, seria a microaspersão. Conforme visualizado na tabela, na microaspersão a lâmina bruta do cajueiro é de 3,98 mm dia<sup>-1</sup> ou 1452,7 mm ano<sup>-1</sup>.

Pode-se analisar a partir dos resultados da lâmina bruta do cajueiro que o método mais vantajoso a ser aplicado na área da Bacia do Pontal-PE são os métodos de irrigação por gotejamento e microaspersão. Todavia, é importante lembrar que quanto mais eficiente o método, mais caro ele costuma ser, e tendo em vista que os lotes empresariais costumam investir em culturas de retorno seguro como a videira, o cultivo do caju apresenta-se como um desafio, pois possivelmente será praticado por colonos.

#### *5.4.1.4 Demanda suplementar da cultura do caju*

A demanda suplementar da cultura do caju é calculada conforme a equação 40:

$$DSCi = 1305,395 - 583,4 = 721,99 \text{ mm/ano}$$

Dessa forma, a demanda suplementar de irrigação foi no máximo de 721,99 mm ano-1 na bacia.

#### *5.4.1.5 Demanda suplementar da irrigação do caju*

A eficiência considerada neste trabalho é de 75%, uma vez que, segundo levantamentos sobre os cultivos na área, utiliza-se mais o método da aspersão convencional. Dessa forma, a demanda suplementar da irrigação do caju é calculada conforme a equação 41:

$$\text{em que: } DSI = 721,99/75 \times 100 = 962,65 \text{ mm/ano}$$

Para evidenciar a necessidade de aumentar a eficiência dos sistemas de irrigação na bacia considerou-se a demanda suplementar da cultura do caju na Bacia do Pontal/PE igual a 962,65mm/ano. Caso os sistemas e/ou os manejos fossem melhorados e passassem a operar com 90% de eficiência, valor recomendado para sistemas de irrigação por microaspersão, a demanda suplementar de irrigação na Bacia do Riacho do Pontal-PE seria:

$$DSI = 721,99/90 \times 100 = 802,21 \text{ mm/ano}$$

Dessa forma, a demanda suplementar de irrigação utilizando-se microaspersão seria de aproximadamente 802,21mm/ano. A diferença na demanda chega a ser de 160,44mm/ano. Infelizmente, não se poderá fazer a estimativa do quantitativo da economia de água na área pois por ser uma cultura ainda a ser explorada economicamente na área, não se tem dados

acerca do cultivo do cajueiro na Bacia e ainda não se sabe quantos hectares serão destinados a esse cultivo.

Para as demais culturas existem informações sobre as áreas cultivadas no perímetro agrícola do Riacho do Pontal-PE, desse modo, utilizar-se-á a tabela a seguir das áreas cultivadas em hectares (Tabela 25):

Tabela 25 – Áreas cultivadas em hectares na Bacia do Riacho do Pontal-PE.

<b>ÁREAS CULTIVADAS EM HECTARES</b>		
<b>CULTURAS</b>	<b>Colono</b>	<b>Empresa</b>
Banana	3.541,10	266,4
Coco	3.510,90	704,5
Goiaba	2.611,20	494,6
Manga	2.928,80	5135
Uva	1.002,70	1152,4

Fonte: CODEVASF, 2007

A área cultivada não aumentou tanto de 2007 até agora pois, para o crescimento do perímetro irrigado na região faz-se necessário o aumento da água disponível para as culturas irrigadas, o que só ocorrerá quando houver a integração da Bacia do Pontal com a do Rio São Francisco. Deve-se salientar que a maioria dos lotes administrados por empresas já aplicam a técnica de microaspersão, porém, em levantamentos realizados por autores como RAMOS & PRUSKI (2003) e pela própria EMBRAPA (2009), as técnicas e equipamentos utilizados, mesmo nos lotes empresariais, tornaram-se obsoletos e pouco eficientes pois chegam a apresentar uma eficiência comparável à aspersão convencional ou até inferior a esta, chegando a um resultado de apenas 70% de economia de água.

#### **5.4.2 Goiabeira**

Na tabela a seguir foi realizada a estimativa da ET<sub>pc</sub> analisando-se as necessidades hídricas de acordo com as fases fenológicas das plantas (fase vegetativa, reprodutiva e maturação dos frutos), na cultura da goiabeira (Tabela 26):

Tabela 26 - Valores de ETpc(Kc) para a cultura da goiabeira na Bacia do Riacho do Pontal-PE.

Valores de Kc para a cultura da goiabeira			
Ciclo	Fase fenológica	Kc	ETpc (Kc)
1	Vegetativa	0,6	1204,98
	Floração - colheita	0,85	1707,055
	Repouso fisiológico	0,5	1004,15
2	Vegetativa	0,65	1305,395
	Floração - colheita	0,8	1606,64
	Repouso fisiológico	0,5	1004,15
<b>Ciclos subsequentes</b>	Todas as fases, exceto o repouso fisiológico	0,8	1606,64

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nela pode-se analisar que o período em que a ETpc (Kc) é mais alta é no período da floração à colheita. Em geral, a fase de emissão de flores e desenvolvimento dos frutos é a mais sensível à falta de água. O agricultor então deve ficar ainda mais atento ao manejo da água para irrigação nesse período. Também pudemos observar neste trabalho que o Kc na área varia de 0,5 a 0,85 como também é observado por Teixeira et al. (2003) que determinaram o Kc da goiabeira no Vale do São Francisco durante os ciclos de produção e colheita através do método da razão de Bowen. O coeficiente de cultura apresentou valores variando entre 0,61 a 0,84. Moura (2001) também determinou o Kc da goiabeira em Petrolina-PE, para um período de maio de 2000 a novembro de 2000, encontrando um valor médio de 0,78. Como foi visualizado, os valores encontrados por esses autores corroboram com os valores da tabela 26.

A próxima tabela apresenta o ETpc (fL), em comparação com o ETpc (Kc) para a cultura da goiabeira, nota-se que a partir do 3º ano da cultura o gasto é comparável ao período de Floração – colheita, onde há maior gasto (Tabela 27).

Tabela 27 - Valores de ETpc(fL) para a cultura da goiabeira na Bacia do Riacho do Pontal-PE.

Anos após o plantio	Até 2	2 a 3	Acima de 3
fL	0,76	0,85	1
ETpc (fL)	1297,362	1450,997	1707,055

Fonte: Elaborado pelo autor.

E como visto pela tabela acima, mesmo no método por gotejamento a ET<sub>pc</sub> (fL) apresenta uma evapotranspiração que pode chegar até 1707,055mm após 3 anos. Variando de 3,55 mm dia<sup>-1</sup>(até 2 anos) a 4,68 mm dia<sup>-1</sup> (acima de 3 anos). Valores próximos foram encontrados por Teixeira et al. (2003) em Petrolina, PE, em que a evapotranspiração acumulada da goiabeira ‘Paluma’ (ET<sub>pc</sub>) de 2,25 anos de idade e irrigada por microaspersão, foi de 906 mm no período de 200 dias, compreendendo desde a poda de frutificação (junho) até o término da colheita (dezembro), correspondendo a um valor médio de  $4,53 \pm 0,68$  mm dia<sup>-1</sup>. Valores mínimos (2,83 mm dia<sup>-1</sup>) foram constatados entre as fases de crescimento vegetativo até o início do florescimento e o valor máximo (5,51 mm dia<sup>-1</sup>) ocorreu durante a fase de intenso crescimento dos frutos.

Em termos de comparação, em Petrolina, PE, Ferreira (2004) constatou que a goiabeira ‘Paluma’ de 2,5 anos de idade, irrigada por microaspersão, o consumo total de água no mesmo período de 200 dias (entre a poda até a colheita) variou de 679,17 a 691,38 mm, apresentando valores médios de 3,63 a 3,70 mm dia<sup>-1</sup>. Moura (2001) também constatou, em goiabeira ‘Paluma’ de 2,75 anos de idade, valores mínimo e máximo de evapotranspiração (ET<sub>pc</sub>) de 2,9 e 6,3 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente.

#### 5.4.2.1 Lâmina líquida para cultura da goiabeira

Foi calculada a lâmina líquida necessária para a cultura da goiabeira:

$$ET_{pc} = 1707,055/365 = 4,677\text{mm/dia}$$

$$LL = ET_{pc} \cdot TR = 4,677\text{mm} \cdot 1$$

#### 5.4.2.2 Lâmina bruta para cultura da goiabeira

Efetuuou-se o procedimento para o cálculo da lâmina bruta necessária para atender as necessidades hídricas da cultura da goiabeira e a tabulação dos dados conforme a técnica de irrigação empregada:



$$LB = \frac{LL}{Ea} = 4,677/Ea$$

Tabela 28 - Lâmina bruta de irrigação para cultura da goiabeira na Bacia do Pontal-PE.

Método de irrigação	Coefficientes (Ea)	LB (mm)
<b>Superfície</b>	0,6	7,794772
<b>Aspersão convencional</b>	0,75	6,235817
<b>Pivô central</b>	0,8	5,846079
<b>Microaspersão</b>	0,9	5,196514
<b>Gotejamento</b>	0,95	4,923014

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como visualizado na tabela, a lâmina ótima para a cultura da goiabeira pelo método mais eficiente (gotejamento) é de aproximadamente 4,9 mm de água por dia, no método proposto para a área do Pontal (microaspersão) a lâmina bruta chega a ser de 5,19mm por dia ou 1896,7mm por ano, já o método mais usado na cultura é o da aspersão convencional que possui uma lâmina bruta de 7,79 mm ou 2843mm ano. Isso significa uma diferença de aproximadamente 946,6 mm por ano o que influenciará no dimensionamento.

#### 5.4.2.3 Demanda suplementar da cultura da goiabeira

A demanda suplementar da cultura da goiabeira é calculada conforme a equação 40:

$$DSCi = 1707,055 - 583,4 = 1123,65 \text{ mm/ano}$$

Para evidenciar a necessidade de aumentar a eficiência dos sistemas de irrigação na bacia considerou-se a demanda suplementar da cultura da goiaba na Bacia do Pontal/PE igual a 1123,65 mm/ano.

#### 5.4.2.4 Demanda suplementar da irrigação da goiabeira

A demanda suplementar da cultura da goiabeira é calculada conforme a equação 41:

Em que:  $DSI = 1123,65/75 \times 100 = 1498,2$

Caso os sistemas e/ou os manejos fossem melhorados e passassem a operar com 90% de eficiência, valor recomendado para sistemas de irrigação por microaspersão, a demanda suplementar de irrigação na Bacia do Riacho do Pontal-PE seria:

$DSI = 1123,65/90 \times 100 = 1248,5 \text{ mm/ano}$

Dessa forma, a demanda suplementar de irrigação utilizando-se microaspersão seria de aproximadamente 1248,5mm/ano. A diferença na demanda chega a ser de 249,7mm/ano. Infelizmente, não se poderá fazer a estimativa do quantitativo da economia de água na área pois por ser uma cultura ainda a ser explorada economicamente na área, não se tem dados acerca do cultivo do cajueiro na Bacia e ainda não se sabe quantos hectares serão destinados a esse cultivo.

Sendo a área cultivada na Bacia de aproximadamente 3807,5ha de goiaba, haveria uma demanda anual de 4.753.663,75 m<sup>3</sup> de água para suprir as deficiências hídricas da cultura da goiaba:

$3807,5 \text{ ha} \times 1248,5 \text{ mm/ano} = 47.536.637 \text{ m}^3$

Considerando-se a eficiência de 75%, a demanda suplementar de irrigação seria:

$\frac{1248,5}{75} \cdot 100 = 1664,66 \text{ mm/ano}$

O que implicaria em um consumo anual de:

$3807,5 \text{ ha} \times 1664,66 \text{ mm/ano} = 63.381.929 \text{ m}^3$

Ou seja, um acréscimo de 15.845.292 m<sup>3</sup> de água em relação ao sistema funcionando com 100% de eficiência:

$$63.381.929 \text{ m}^3 - 47.536.637 \text{ m}^3 = 15.845.292 \text{ m}^3$$

Caso os sistemas e/ou os manejos fossem melhorados e passassem a operar com 90% de eficiência, valor recomendado para sistemas de irrigação por microaspersão, a demanda suplementar de irrigação na Bacia do Riacho do Pontal-PE seria de aproximadamente:

$$\frac{1248,5}{90} \cdot 100 = 1387 \text{ mm/ano}$$

O que implicaria em um consumo anual de:

$$3807,5 \text{ ha} \times 1387 \text{ mm/ano} = 52.810.025 \text{ m}^3$$

Então, tem-se a diferença entre os dois sistemas:

$$63.381.929 \text{ m}^3 - 52.810.025 \text{ m}^3 = 10.571.904 \text{ m}^3$$

Ou seja, um consumo anual de 52.810.025 m<sup>3</sup> propiciando uma economia de 10.571.904 m<sup>3</sup> de água em relação ao sistema funcionando com 75% de eficiência.

$$X = \frac{10.571.904 \text{ m}^3 \times 3807,5 \text{ ha}}{52.810.025 \text{ m}^3} = 762,21 \text{ ha}$$

Isso permitiria agregar mais 762,21ha de goiaba sem aumentar a demanda de água para irrigação. Salienta-se que ainda não se sabe quantos hectares serão destinados a cultura da goiaba na Bacia do Pontal após a transposição, apenas quanto se cultiva de goiaba nos perímetros irrigados da Bacia.

### 5.4.3 Bananeira

Na cultura da bananeira o primeiro ciclo de produção costuma se diferenciar tanto a partir dos primeiros meses após o plantio, quanto nos demais ciclos de produção (Tabela 29):

Tabela 29 - Valores de ETpc(Kc) para a cultura da bananeira na Bacia do Riacho do Pontal-PE.

Primeiro ciclo de produção (Meses após o plantio)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Kc</b>	0,4	0,4	0,45	0,5	0,6	0,7	0,85	1	1,1	1,1	0,9	0,8
<b>ETpc (Kc)</b>	803,32	803,32	903,735	1004,15	1204,98	1405,81	1707,055	2008,3	2209,13	2209,13	1807,47	1606,64
Demais ciclos de produção (Mês do ano)												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Kc</b>	1,1	1,1	1,1	0,9	0,85	0,8	0,75	0,8	0,85	0,9	1,1	1,1
<b>ETpc (Kc)</b>	2209,13	2209,13	2209,13	1807,47	1707,055	1606,64	1506,225	1606,64	1707,055	1807,47	2209,13	2209,13

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota-se que nos meses de novembro à março a ETpc (Kc) é maior do que nos demais meses, coincidindo com o período em que há menos chuvas na região. Os períodos de desenvolvimento e de produção das fruteiras variam muito entre espécies. Fruteiras como o mamoeiro e a bananeira, por exemplo, apresentam todos os estádios bem definidos, conforme apresentado anteriormente, do plantio até a primeira colheita. A partir daí, há uma sobreposição entre os estádios vegetativos de produção e de maturação, sendo mais seguro, para fins de manejo de água, considerar um valor de Kc equivalente ao do estágio de produção.

Allen et al. (1998) recomendam para a bananeira o uso de valores de Kc de 0,50 e 1,10 para as fases inicial e intermediária durante o primeiro ano de cultivo e 1,00 e 1,20 para as mesmas fases, durante o segundo ano de cultivo. O valor de Kc, obtido durante a fase inicial do presente estudo, mostrou-se um pouco superior ao citado por Allen et al. (1998). Isso pode

estar relacionado à frequência das irrigações e ao clima da região e seus efeitos sobre a fisiologia da planta. Bassoi et al. (2001), que trabalhando com a cultivar Pacovan e utilizando o método do balanço hídrico do solo, na região de Petrolina-PE, encontraram valores médios de 0,70 para a fase vegetativa, 1,10 para a fase de floração / frutificação do 1º ciclo, e 0,90 para a fase de floração / frutificação do 2º ciclo. Silva (2004), trabalhando com a mesma cultivar e o mesmo método de determinação da ETc, na região de Pentecoste-CE, também obteve valores de Kc semelhantes: 1,00 para a fase de floração / frutificação, no primeiro ano de cultivo. Estudos conduzidos por Teixeira et al. (2002), sobre o consumo hídrico da bananeira no Vale do São Francisco conforme as condições edafoclimáticas do Polo Petrolina/Juazeiro, revelaram valores de coeficientes de cultura variando entre 0,6 e 1,3, durante os dois ciclos avaliados (primeiro e segundo ciclos).

Observa-se também que a evapotranspiração média diária da cultura da bananeira, neste trabalho foi de aproximadamente 4,0 mm d<sup>-1</sup> no primeiro ciclo, apresentando valores mínimos de 2,2 mm d<sup>-1</sup> no estágio inicial a 6,05 mm d<sup>-1</sup> comumente nos demais ciclos de produção. É importante salientar que nos demais ciclos tem-se uma média de evapotranspiração de aproximadamente 5,0 mm d<sup>-1</sup>. Para efeito de comparação, na região semiárida do Brasil (Petrolina-PE), Bassoi et al. (2004) observaram valores médios de evapotranspiração da bananeira de 3,9; 4,0 e 3,3 mm d<sup>-1</sup> para o primeiro, segundo e terceiro ciclos, respectivamente.

Já Montenegro et al (2008) identificaram que nas condições edafoclimáticas de Paraipaba-CE, a evapotranspiração média da cultura da bananeira foi de 2,6 mm d<sup>-1</sup> para o estágio inicial, 3,5 mm d<sup>-1</sup> para o estágio de florescimento e desenvolvimento dos frutos do 1º ciclo, 3,9 mm d<sup>-1</sup> e 4,3 mm d<sup>-1</sup> para o crescimento vegetativo e florescimento e desenvolvimento dos frutos do 2º ciclo, respectivamente. Teixeira et al. (2002), também verificaram, nos seus trabalhos conduzidos na microrregião de Petrolina, PE, que a evapotranspiração da cultura da banana, cv. Pacovan, determinada pelo método da razão de Bowen, foi 1.210 mm entre os 120 dias após o plantio (maio, 1999) e a primeira colheita (abril, 2000), com valor médio de  $3,8 \pm 1,1$  mm d<sup>-1</sup>; para o segundo ciclo (término da colheita em novembro de 2000), o consumo foi de 880 mm, com média de  $4,0 \pm 1,2$  mm d<sup>-1</sup>.

Lista-se a seguir os valores de ETpc (fL) para a cultura da bananeira (Tabela 30):

Tabela 30 - Valores de ET<sub>pc</sub> (fL) para a cultura da bananeira na Bacia do Riacho do Pontal-PE.

Meses após o plantio	Até 1	1 a 2	2 a 3	Acima de 3
fL	0,66	0,66	0,85	1
ET <sub>pc</sub> (fL)	1458,0258	1458,03	1877,76	2209,13

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota-se que acima de 3 anos a ET<sub>pc</sub> (fL) assemelha-se aos valores da a ET<sub>pc</sub> (Kc). Sendo assim, acima de 3 anos a técnica de irrigação por gotejamento não é tão vantajosa se comparada à aspersão convencional. Oliveira et al. (1993) utilizando o sistema de irrigação por gotejamento com um turno de rega de dois dias, efetuaram cinco tratamentos de irrigação na bananeira, com coeficientes de cultura de 0,60; 0,80; 1,00 e 1,20 e testemunha sem irrigação. Os resultados indicaram a maior produtividade da bananeira, com coeficiente de cultura de 0,60. Como pudemos visualizar na tabela, a evapotranspiração pelo método de gotejamento revelou que é exatamente nesse intervalo por volta de 0,66 que a evapotranspiração é menor.

#### 5.4.3.1 Lâmina líquida para cultura da bananeira

Posteriormente foi analisada a lâmina líquida necessária para a cultura da bananeira:

$$ET_{pc} = 2209,13/365 = 6,052411 \text{ mm/dia}$$

$$LL = ET_{pc} \cdot TR = 6,052411 \text{ mm} \cdot 1$$

#### 5.4.3.2 Lâmina bruta para cultura da bananeira

Dessa forma foi efetuado o cálculo da lâmina bruta necessária à cultura da bananeira e efetuada, em seguida, a tabulação dos dados (Tabela 31):

$$LB = \frac{LL}{Ea} = 6,052411/Ea$$

Tabela 31 - Lâmina bruta de irrigação para cultura da bananeira na Bacia do Pontal-PE.

Método de irrigação	Coefficientes (Ea)	LB (mm)
<b>Superfície</b>	0,6	10,08735
<b>Aspersão convencional</b>	0,75	8,069881
<b>Pivô central</b>	0,8	7,565514
<b>Microaspersão</b>	0,9	6,724901
<b>Gotejamento</b>	0,95	6,370959

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 5.4.3.3 Demanda suplementar da cultura da bananeira

Posteriormente foi efetuado o cálculo da demanda suplementar da cultura na região:

$$DSCi = 2209,13 - 583,4 = 1625,73$$

Segundo MOREIRA (1997) o tipo de solo e as condições climáticas, o consumo de água pela bananeira pode variar de 3 a 8 mm d<sup>-1</sup>. Para efeito de comparação, pode-se verificar no trabalho de Freitas et al (2008), por exemplo, que, a demanda suplementar máxima da cultura na cidade de Janaúba (MG) e no polo Juazeiro/Petrolina (ambas inseridas na Bacia do Rio São Francisco), que era 7,3 e 8,2 mm d<sup>-1</sup>, passou a 9,5 e 10,6 mm d<sup>-1</sup>, respectivamente, ao se considerar a eficiência do sistema.

#### 5.4.3.4 Demanda suplementar da irrigação da bananeira

Para evidenciar a necessidade de aumentar a eficiência dos sistemas de irrigação na bacia considerou-se a demanda suplementar da cultura da banana no Pontal/PE igual a 1625,73mm/ano. Sendo a área a ser cultivada na Bacia após a transposição de aproximadamente 3.541,10ha de uva, haveria uma demanda anual de 57.568.725 m<sup>3</sup> de água para suprir as deficiências hídricas da cultura da bananeira. Assim temos que calcular a demanda suplementar da irrigação dessa cultura:

$$DSI = 1625,73/75 \times 100 = 2.167,64$$

Considerando-se a eficiência de 75%, a demanda suplementar de irrigação seria 2.167,73 mm anuais o que implicaria em um consumo anual de 76.761.487 m<sup>3</sup> de água ou seja, um acréscimo de 19.192.762m<sup>3</sup> de água em relação ao sistema funcionando com 100% de eficiência.

Caso os sistemas e/ou os manejos fossem melhorados e passassem a operar com 90% de eficiência, valor recomendado para sistemas de irrigação por microaspersão, a demanda suplementar de irrigação na Bacia do Riacho do Pontal-PE seria:

$$DSI= 1625,73/90 \times 100= 1.806,4\text{mm/ano}$$

Dessa forma, a demanda suplementar de irrigação utilizando-se microaspersão seria de aproximadamente 1.806,4mm/ano. A diferença na demanda suplementar da irrigação chega a ser de 361,24 mm/ano. Considerando-se a eficiência de 90%, e, sendo a área a ser cultivada na Bacia após a transposição de aproximadamente 3.541,10ha de banana, haveria um consumo de 64.037.252 m<sup>3</sup> de água para suprir as deficiências hídricas da cultura da bananeira.

Comparando-se as duas técnicas de irrigação tem-se uma economia de 12.724.235 m<sup>3</sup> de água em relação ao sistema funcionando com 75% tem-se que:.

$$X= \frac{\text{econ.de agua x área total}}{\text{consumo de agua anual}} = X = \frac{12.724.235 \times 3.541,10}{64.037.252} = 703,61\text{ha}$$

Dessa maneira, se houvesse a modificação do sistema e ele passasse a operar com 90% ao invés de 75%, haveria um aumento do potencial agrícola na área da ordem de 703 hectares da cultura da bananeira em lotes de colonos, que são os que mais cultivam a bananeira na área, sem q isso represente um aumento no consumo de água por parte dos agricultores..

#### **5.4.4 Coqueiro**

O coco foi acrescentado ao elenco de culturas selecionadas a receber incentivos para implantação no perímetro irrigado do Pontal em função de sua grande ascensão dentre as culturas exploradas no Perímetro Nilo Coelho e por ser uma cultura permanente. No caso da cultura do coqueiro, segundo a EMBRAPA (2009), a fase de crescimento vegetativo inicial



(aquela que antecede a primeira colheita) vai até aproximadamente 28 meses, quando a planta emite o primórdio floral, iniciando a fase de floração.

Tabela 32 - Valores de ET<sub>pc</sub> (Kc) e ET<sub>pc</sub> (fL) para a cultura do coqueiro na Bacia do Riacho do Pontal-PE.

	Meses após o plantio				
	Até 6	6 a 12	12 a 24	24 a 36	Acima de 36
<b>fL</b>	0,66	0,66	0,85	1	1
<b>Kc</b>	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9
<b>ET<sub>pc</sub> (kc)</b>	401,66	803,32	1204,98	1606,64	1807,47
<b>ET<sub>pc</sub> (fL)</b>	265,0956	530,1912	1024,233	1606,64	1807,47

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao analisar a evapotranspiração da cultura através dos dois métodos notamos que após dois anos do plantio a evapotranspiração, tanto em áreas aonde aplica-se a técnica de microaspersão quanto em áreas em que são empregados métodos menos eficientes, a evapotranspiração é a mesma. Inicialmente a ET<sub>pc</sub> (kc) chega a ser o dobro da ET<sub>pc</sub> (fL) até o primeiro ano do cultivo, posteriormente a diferença diminui, e após dois anos as evapotranspirações são semelhantes (1606,64 no período de 24 a 36 meses após o plantio e 1807,47 após 3 anos do cultivo).

Em trabalho realizado Souza (2003), estudou-se o comportamento estacional da evapotranspiração média diária e semanal do coqueiral anão verde irrigado na região dos tabuleiros costeiros em Sergipe, obtida pelo método do balanço de energia na razão de Bowen para o período de novembro/2002 a novembro/2003. O autor obteve a evapotranspiração diária mínima de 1,1 mm ocorrida no dia 27/12/2002 e a máxima de 9,0mm ocorrida em 30/10/2003. No período semanal, a evapotranspiração variou entre 3,2 a 7,3mm. O consumo total de água foi de 1.419,00mm, correspondendo a um consumo médio de 3,8mm.dia-1. Silva et al (2012) observou que no perímetro irrigado de São Gonçalo, nos pomares de coqueiro irrigados, a ETSebal variou de 4,4 a 5,6 mm. Na área de sequeiro, a ETSebal apresentou valor mínimo de 0,6 mm e máximo de 1,7 mm.

#### 5.4.4.1 Lâmina líquida para cultura do coqueiro

Posteriormente foi calculada a ET<sub>pc</sub> para a cultura do coqueiro:

$$ET_{pc} = 1807,47/365 = 4,951973\text{mm/dia}$$

$$LL = ET_{pc} \cdot TR = 4,951973\text{mm} \cdot 1$$

#### 5.4.4.2 Lâmina bruta para cultura do coqueiro

Posteriormente foi calculada a lâmina bruta para a cultura do coqueiro:

$$LB = \frac{LL}{Ea} = 4,951973/Ea$$

Tabela 33 - Lâmina bruta de irrigação para cultura do coqueiro na Bacia do Pontal-PE.

Método de irrigação	Coefficientes (Ea)	LB (mm)
<b>Superfície</b>	0,6	8,253288
<b>Aspersão convencional</b>	0,75	6,60263
<b>Pivô central</b>	0,8	6,189966
<b>Microaspersão</b>	0,9	5,502192
<b>Gotejamento</b>	0,95	5,212603

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme pode-se visualizar na tabela 33, a lâmina bruta a ser aplicada na cultura do coqueiro é de aproximadamente 6,60mm dia<sup>-1</sup> ou 2409 mm por ano se utilizada a aspersão convencional e se utilizada a microaspersão seria de 5,50 mm dia<sup>-1</sup> ou 2007,5 mm por ano. Vale ressaltar que o método mais de irrigação mais adotado para a cultura do coqueiro é a aspersão convencional, pois essa cultura não costuma despertar muito o interesse de empresas, todavia é praticada pelos demais agricultores numa área de aproximadamente 3.510,90 ha na Bacia do Pontal-PE.

#### 5.4.4.3 Demanda suplementar da cultura do coqueiro

Em seguida foi calculada a demanda suplementar da cultura do coqueiro:

$$DSCi = 1807,47 - 583,4 = 1224,07$$

#### 5.4.4.4 Demanda suplementar da irrigação do coqueiro

A demanda suplementar da cultura da coqueiro no Pontal/PE é igual a 1224,07mm/ano. Sendo a área cultivada na Bacia de 3.510,90 ha haveria uma demanda anual de 42.975.874 m<sup>3</sup> de água para suprir as deficiências hídricas da cultura do coqueiro se a eficiência fosse de 100%. Como nenhuma técnica garante uma eficiência de 100% comparou-se a técnica empregada na área (aspersão convencional) com a que poderá ser implantada após a integração da Bacia do Pontal com a do Rio São Francisco. Assim, foi calculada a demanda suplementar de irrigação da cultura do coqueiro:

$$DSI = 1224,07/75 \times 100 = 1632,1 \text{ mm/ano}$$

Para evidenciar a necessidade de aumentar a eficiência dos sistemas de irrigação na bacia considerou-se a demanda suplementar de irrigação de 1632,1mm/ano. Sendo a área cultivada na Bacia de 3.510,90 ha haveria uma demanda anual de 57.301.398 m<sup>3</sup> de água para suprir as deficiências hídricas da cultura do coqueiro.

Caso os sistemas e/ou os manejos fossem melhorados e passassem a operar com 90% de eficiência, valor recomendado para sistemas de irrigação por microaspersão, a demanda suplementar de irrigação na Bacia do Riacho do Pontal-PE seria:

$$DSI = 1224,07/90 \times 100 = 1360,08 \text{ mm/ano}$$

Dessa forma, a demanda suplementar de irrigação utilizando-se microaspersão seria de aproximadamente 1360,08mm/ano. Sendo a área cultivada na Bacia de 3.510,90 ha haveria um consumo de 47.751.048 m<sup>3</sup> de água para suprir as deficiências hídricas da cultura do coqueiro. A economia de água em relação à aspersão convencional chegaria a ser de 9.550.350m<sup>3</sup> na cultura do coqueiro apenas substituindo-se os sistemas. A partir disso, efetua-se o cálculo:

$$X = \frac{9.550.350 \times 3.510,90}{47.751.048} = 702,19 \text{ ha}$$

Isso permitiria agregar mais 702,19ha de coco, sem aumentar a demanda de água para irrigação e sem diminuir a produtividade.

### 5.4.5 Aceroleira

O cultivo da aceroleira na região do Submédio São Francisco pode ser considerada recente, tendo em vista que os pomares foram implantados, aproximadamente a 20 anos. Segundo a EMBRAPA (2004), na acerola, a irrigação apresenta-se como um componente indispensável no manejo, sobretudo em regiões de caatinga e cerrado. Para fruteiras como a aceroleira, a fase de crescimento vegetativo, antes da primeira colheita, compreende um período mais longo, superior a 24 meses. Findo esse período, as plantas entram em produção com emissão das flores e formação dos frutos.

Tabela 34 - Valores de ET<sub>pc</sub> (Kc) para a cultura da aceroleira na Bacia do Riacho do Pontal-PE.

<b>Idade da planta</b>	<b>Fase fenológica</b>	<b>Kc</b>	<b>ET<sub>pc</sub></b>
<b>Até 1 ano</b>	Crescimento vegetativo	0,5	1004,15
<b>De 1 ano em diante</b>	Vegetativa	0,5	1004,15
	Floração à colheita	0,6	1204,98

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na tabela anterior pôde-se visualizar que os valores da ET<sub>pc</sub> (Kc) na cultura da aceroleira varia principalmente na época de floração à colheita, chegando a uma diferença de aproximadamente 200mm.ano.

A tabela a seguir mostrará os Valores de ET<sub>pc</sub> (fL) para a cultura da aceroleira (Tabela 35):

Tabela 35 - Valores de ET<sub>pc</sub> (fL) para a cultura da aceroleira na Bacia do Riacho do Pontal-PE.

<b>Meses após o plantio</b>	<b>Até 1</b>	<b>1 a 2</b>	<b>2 a 3</b>	<b>Acima de 3</b>
<b>fL</b>	0,66	0,68	0,85	1
<b>ET<sub>pc</sub> (fL)</b>	662,739	819,3864	1024,233	1204,98

#### 5.4.5.1 Lâmina líquida para cultura da aceroleira

A seguir, foi calculada a lâmina líquida para a cultura da aceroleira na Bacia do Riacho do Pontal-PE:

$$ET_{pc} = 1204,98/365 = 3,301\text{mm/dia}$$

$$LL = ET_{pc} \cdot TR = 3,301\text{mm} \cdot 1$$

A lâmina líquida para a cultura analisada revelam a quantidade de água ótima para que a cultura da acerola não passe por estresse hídrico.

#### 5.4.5.2 Lâmina bruta para cultura da aceroleira

Posteriormente analisou-se a quantidade de água necessária para que o sistema de irrigação garanta a quantidade de água necessária para a cultura da aceroleira na Bacia do Riacho do Pontal-PE.

$$LB = \frac{LL}{Ea} = 3,301/Ea$$

Dessa forma, foi realizada a tabulação da lâmina bruta necessária para atender a demanda da cultura por água da Bacia em relação a cada método de irrigação (TABELA 36):

Tabela 36. Lâmina bruta de irrigação para cultura da aceroleira na Bacia do Pontal-PE.

Método de irrigação	Coefficientes (Ea)	LB (mm)
Superfície	0,6	5,502192
Aspersão convencional	0,75	4,401753
Pivô central	0,8	4,126644
Microaspersão	0,9	3,668128
Gotejamento	0,95	3,475068

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 5.4.5.3 Demanda suplementar da cultura da aceroleira

Posteriormente foi calculada a demanda suplementar da cultura da aceroleira na Bacia do Pontal:

$$DSCi = 1204,98 - 583,4 = 621,58$$

#### 5.4.4.4 Demanda suplementar da irrigação da aceroleira

A seguir foi calculada a demanda suplementar da cultura da aceroleira:

$$DSI = 621,58/75 \times 100 = 828,77 \text{ mm/ano}$$

Caso os sistemas e/ou os manejos fossem melhorados e passassem a operar com 90% de eficiência, valor recomendado para sistemas de irrigação por microaspersão, a demanda suplementar de irrigação na Bacia do Riacho do Pontal-PE seria:

$$DSI = 621,58/90 \times 100 = 690,64 \text{ mm/ano}$$

Dessa forma, a demanda suplementar de irrigação utilizando-se microaspersão seria de aproximadamente 690,64mm/ano. A diferença na demanda em relação à aspersão chega a ser de 138,13 mm/ano na cultura da aceroleira.

Não foram encontrados dados acerca da área total da cultura da goiabeira na Bacia do Pontal-PE. Por essa razão, não foi possível delimitar quanto de área poderia ser aproveitada se houvesse uma economia maior de água na cultura da aceroleira.

### 5.4.6 Mangueira

No caso da mangueira, o coeficiente de cultura varia durante o ciclo produtivo. A época de maior demanda hídrica ocorre no início da floração até a colheita, principalmente entre a quarta e a sexta semana após o pegamento do frutos. Por essa razão, neste trabalho foram utilizados diferentes coeficientes de cultura propostos pela EMBRAPA para a cultura

da manga. Assim, foram tabulados os resultados referentes ao ET<sub>pc</sub> da Bacia do Pontal-PE (Tabela 37).

Tabela 37. Valores de ET<sub>pc</sub> (K<sub>c</sub>) para a cultura da mangueira na Bacia do Riacho do Pontal-PE.

	Até 1	1 a 2	2 a 3	Acima de 3				
				Dias a partir do início da floração				
K <sub>c</sub>	0,4	0,45	0,5	Fase vegetativa	Até 30	30 a 60	60 a 90	Acima de 90
				0,65	0,80	0,85	0,95	0,80
<b>ET<sub>pc</sub></b>	803,32	903,735	1004,15	1305,395	1606,64	1707,055	1907,885	1606,64

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como visto o K<sub>c</sub> utilizado para estimar a ET<sub>pc</sub> variou de 0,4 (até 1 ano) a 0,95 (de 30 a 60 dias a partir do início da floração). Os valores de K<sub>c</sub> podem ser comparados aos do trabalho de Silva (2000), o qual determinou o K<sub>c</sub> da mangueira irrigada nas condições climáticas da região do Submédio São Francisco, encontrando valor médio de K<sub>c</sub> de 0,71. Bassoi et al. (2004) encontrou valores de K<sub>c</sub> de 0,44 para a floração, 0,65 para a queda de frutos, 0,83 para a formação do fruto e 0,84 para a maturação do fruto em Petrolina.

Pôde-se observar também que até 1 ano pode haver uma ET<sub>pc</sub> (K<sub>c</sub>) na cultura da manga de aproximadamente 803 mm por ano, de 1 a 2 anos tem-se 904mm/ano e de 2 a 3 anos de pouco mais de 1000mm/ano de água. Na fase vegetativa da cultura da mangueira haverá uma evapotranspiração de 1305,4 mm/ano. A partir dos 3 anos tem-se que até 30 dias a partir do início da floração tem-se uma ET<sub>pc</sub> (K<sub>c</sub>) de 1606mm/ano, de 30 a 60 dias de 1707mm/ano, de 60 a 90 dias tem-se a maior ET<sub>pc</sub> (K<sub>c</sub>) e acima de 90 dias a partir do início da floração, decai para aproximadamente 1,7mm/ano.

A tabela a seguir mostra os valores de ET<sub>pc</sub> (fL) para a cultura da mangueira (TABELA 38).

Tabela 38. Valores de ET<sub>pc</sub> (fL) para a cultura da mangueira na Bacia do Riacho do Pontal-PE.

Anos após o plantio	Até 2	2 a 3	3 a 4	4 a 5	Acima de 5
fL	0,66	0,68	0,85	0,95	1
ET <sub>pc</sub> (fL)	596,4651	682,822	1450,997	1812,5	1907,885

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota-se que acima de 5 anos o ET<sub>pc</sub> (fL) é de aproximadamente 1,91mm/ano de água, e que também a evapotranspiração da cultura não varia na cultura da mangueira em relação ao método de irrigação empregado, revelando que após esse período a mangueira passa a ter, mesmo utilizando-se uma técnica mais vantajosa em termos de economia de água inicialmente, uma evapotranspiração semelhante a técnicas de menor economia de água após esse período.

#### 5.4.6.1 Lâmina líquida para cultura da manga

Posteriormente foi calculada a lâmina líquida para a cultura da mangueira resultando numa lâmina líquida diária em torno de 4,40mm:

$$LL = ET_{pc} \cdot TR = 4,401753\text{mm} \cdot 1$$

#### 5.4.6.2 Lâmina bruta para cultura da manga

Desse modo aferiu-se a eficiência dos valores encontrados pelo sistema para a evapotranspiração da cultura (E<sub>tc</sub>) e lâmina de reposição hídrica no respectivo período (TABELA 39).

$$LB = \frac{LL}{E_a} = 4,401753\text{mm}/E_a$$



Tabela 39. Lâmina bruta de irrigação para cultura da mangueira na Bacia do Pontal-PE.

Método de irrigação	Coefficientes (Ea)	LB (mm)
Superfície	0,6	7,336256
Aspersão convencional	0,75	5,869005
Pivô central	0,8	5,502192
Microaspersão	0,9	4,890837
Gotejamento	0,95	4,633425

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os sistemas de irrigação mais adequados são a microaspersão e o gotejamento na cultura da videira, sendo que o mais usado é o de microaspersão e é o que será utilizado também após o aumento do perímetro irrigado na Bacia do Riacho do Pontal-PE pois a diferença da água a ser aplicada nas culturas irrigadas chega a 2,7 mm.d<sup>-1</sup>. Bernardo (1995) fala que em algumas regiões onde a água se constitui no principal fator limitante, o objetivo deve ser a obtenção da máxima produção por unidade de água aplicada, adequando a irrigação aos períodos críticos de déficit de água tais como: germinação, floração e enchimento dos grãos ou formação dos frutos. Dessa forma, a razão entre a água evapotranspirada pela cultura e a aplicada pela irrigação deve aproximar-se de 1,0, para que se tenha máxima eficiência de uso e aplicação de água.

#### 5.4.6.3 Demanda suplementar da cultura da manga

Posteriormente foi realizado o cálculo da demanda suplementar da cultura da manga:

$$DSC_i = 1907,885 - 583,4 = 1324,5$$

#### 5.4.6.4 Demanda suplementar da irrigação da manga

Para evidenciar a necessidade de aumentar a eficiência dos sistemas de irrigação na bacia em relação a cultura da manga considerou-se a demanda suplementar da cultura no Pontal/PE igual a 1324,5mm/ano. Sendo a área a ser cultivada na Bacia após a transposição de

aproximadamente 2.928,80ha de manga nos lotes de colonos, haveria uma demanda anual de 38.791.956 m<sup>3</sup> de água para suprir as deficiências hídricas da cultura da uva.

Posteriormente foi calculada a demanda suplementar da irrigação da manga para dois métodos diferentes, o mais praticado na área e o ideal:

$$\text{DSI} = 1324,5/75 \times 100 = 1766 \text{ mm/ano}$$

Considerando-se a eficiência de 75%, a demanda suplementar de irrigação seria 1.766 mm anuais o que implicaria em um consumo anual de 51.722.608m<sup>3</sup> de água ou seja, um acréscimo de 12.930.652 m<sup>3</sup> de água em relação ao sistema funcionando com 100% de eficiência.

Caso os sistemas e/ou os manejos fossem melhorados e passassem a operar com 90% de eficiência, valor recomendado para sistemas de irrigação por microaspersão, a demanda suplementar de irrigação na Bacia do Riacho do Pontal-PE para a cultura da manga seria:

$$\text{DSI} = 1324,5/90 \times 100 = 1471,67 \text{ mm/ano}$$

Caso os sistemas e/ou os manejos fossem melhorados e passassem a operar com 90% de eficiência, valor recomendado para sistemas de irrigação por microaspersão, a demanda suplementar de irrigação na Bacia do Riacho do Pontal-PE seria de aproximadamente 1471,67mm/ano e um consumo anual de 43.102.271 m<sup>3</sup> de água propiciando uma economia de 8.620.337 m<sup>3</sup> de água em relação ao sistema funcionando com 75%.

$$X = \frac{8.620.337 \times 2.928,80}{43.102.271} = 585,75 \text{ ha}$$

Dessa forma, calculou-se que se a eficiência da irrigação na cultura da mangueira fosse maior seria possível agregar mais de 585,75 ha de cultura, apenas utilizando a água de modo mais eficiente.

### 5.4.7 Videira

Na tabela abaixo podemos visualizar as evapotranspirações da cultura para os métodos de irrigação distintos citados neste trabalho (Tabela 40):

Tabela 40. Valores de ET<sub>pc</sub> (Kc) e ET<sub>pc</sub> (fL) para a cultura da videira na Bacia do Riacho do Pontal-PE.

Fase fenológica	fL	Kc	ET <sub>pc</sub> (kc)	ET <sub>pc</sub> (fL)
<b>Vegetativa</b>	0,66	0,5	1004,15	662,739
<b>Floração a colheita</b>	0,85	0,85	1707,055	1450,997

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na tabela foi possível observar que há uma grande diferença em termos de evapotranspiração da cultura da videira por diferentes métodos. Dessa maneira a evapotranspiração da uva irrigada da técnica de microaspersão chega a ser quase metade da evapotranspiração estimada utilizando-se o método convencional na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal. Como visto pela tabela anterior, no método por gotejamento a ET<sub>pc</sub> (fL) apresenta um perda de água pela cultura de até 1450 mm o que ainda é vantajoso se comparado à ET<sub>pc</sub> (Kc).

#### 5.4.7.1 Lâmina líquida para cultura da uva

Posteriormente foi calculada a lâmina líquida da cultura da videira:

$$ET_{pc} = 1707,055/365 = 4,677\text{mm/dia}$$

$$LL = ET_{pc} \cdot TR = 4,677\text{mm} \cdot 1$$

#### 5.4.8.2 Lâmina bruta para cultura da uva

Em seguida determinou-se a lâmina bruta necessária à cultura da videira e em seguida foi feita a tabulação dos resultados (Tabela 41):

$$LB = \frac{LL}{Ea} = 4,676863014/Ea$$

Tabela 41. Lâmina bruta de irrigação para cultura da videira na Bacia do Pontal-PE.

Método de irrigação	Coefficientes (Ea)	LB (mm)
<b>Superfície</b>	0,6	7,794772
<b>Aspersão convencional</b>	0,75	6,235817
<b>Pivô central</b>	0,8	5,846079
<b>Microaspersão</b>	0,9	5,196514
<b>Gotejamento</b>	0,95	4,923014

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se através da tabela que a eficiência hídrica aumenta consideravelmente nos métodos de microaspersão e gotejamento, que já são utilizados nos lotes de empresas, porém não com uma eficiência satisfatória já que, segundo dados da literatura, essa eficiência da técnica de microaspersão na cultura da videira chega a ser comparada à aspersão convencional.

#### 5.4.7.3 Demanda suplementar da cultura da uva

Na água a ser utilizada para atender a demanda evapotranspirométrica das culturas, parte vem da irrigação e parte vem da precipitação efetiva, ou seja, a irrigação suplementará a precipitação efetiva no atendimento da demanda evapotranspirométrica da cultura. Dessa forma, foi calculada a demanda suplementar da cultura da uva.

$$DSCi = 1707,055 - 48,62 = 1123,655$$

Dessa forma, a demanda suplementar de cultura foi no máximo de 1123,655 mm ano<sup>-1</sup> na bacia.

Comparando-se o resultado com o trabalho realizado por Freitas et al (2006), especificamente sobre a demanda de irrigação da cultura da uva na Bacia do Rio São Francisco, o autor encontrou resultados de que, em média, a demanda suplementar da cultura na bacia foi 839,5 mm ano<sup>-1</sup>, 103,5 mm inferior à ETC, sendo esta redução mais evidenciada na porção sul da bacia.

#### 5.4.7.4 Demanda suplementar da irrigação da uva

Para evidenciar a necessidade de aumentar a eficiência dos sistemas de irrigação na bacia considerou-se a demanda suplementar da cultura da uva no Pontal/PE igual a 1123,655mm/ano. Sendo a área a ser cultivada na Bacia após a transposição de aproximadamente 1000ha de uva, haveria uma demanda anual de 11.236.550 m<sup>3</sup> de água para suprir as deficiências hídricas da cultura da uva.

Salienta-se que a eficiência considerada neste trabalho para a cultura da videira é igual a 70%, uma vez que avaliações de sistemas de irrigação da cultura da uva feitas na bacia do Rio São Francisco mostraram que, em média, a eficiência dos sistemas de irrigação por microaspersão na cultura da uva é 70% (RAMOS & PRUSKI, 2003). Então dessa forma ao invés de trabalhar com os 75% de eficiência trabalharemos com 70% especificamente para a videira:

$$DSI = 1123/70 \times 100 = 1604,3\text{mm/ano}$$

Considerando-se a eficiência de 70%, a demanda suplementar de irrigação seria 1.604,3 mm anuais o que implicaria em um consumo anual de 16.043.000 m<sup>3</sup> de água ou seja, um acréscimo de 4.806.450 m<sup>3</sup> de água em relação ao sistema funcionando com 100% de eficiência.

$$DSI = 1123/90 \times 100 = 1247,8\text{mm/ano}$$

Caso os sistemas e/ou os manejos fossem melhorados e passassem a operar com 90% de eficiência, valor recomendado para sistemas de irrigação por microaspersão, a demanda suplementar de irrigação na Bacia do Riacho do Pontal-PE seria de aproximadamente 1247,8 mm/ano e um consumo anual de 12.478.000m<sup>3</sup> de água propiciando uma economia de 3.565.000 m<sup>3</sup> de água em relação ao sistema funcionando com 70%.

$$X = \frac{3.565.000 \times 1000}{12.478.000} = 285,70\text{ha}$$

Isso permitiria agregar mais 285,70ha de uva, sem aumentar a demanda de água para irrigação.

Quando o valor é adicionado à atual área do plantio que é de 2155,1ha, tem-se uma demanda anual de 24.215.889 m<sup>3</sup> de água para suprir as deficiências hídricas da cultura da uva. Considerando-se a eficiência de 70%, a demanda suplementar de irrigação seria 1.604,3 mm anuais o que implicaria em um consumo anual de 34.574.269 m<sup>3</sup> de água ou seja, um acréscimo de 10.358.380 m<sup>3</sup> de água em relação ao sistema funcionando com 100% de eficiência.

Caso os sistemas e/ou os manejos fossem melhorados e passassem a operar com 90% de eficiência, valor recomendado para sistemas de irrigação por microaspersão, a demanda suplementar de irrigação na Bacia do Riacho do Pontal-PE seria de aproximadamente 1247,8 mm/ano e um consumo anual de 26.891.338m<sup>3</sup> de água propiciando uma economia de 7.682.931m<sup>3</sup> de água em relação ao sistema funcionando com 70%.

$$X = \frac{7.682.931 \times 2155,1}{26.891.338} = 615,72\text{ha}$$

Isso permitiria agregar mais 615,72ha de uva, nas áreas que já cultivam essa fruta, sem aumentar a demanda de água para irrigação. Somando-se com os 285,70ha de uva a serem cultivados, a área agregada poderia ser de 921,42ha. Dessa forma, por irrigar de forma localizada, sem molhar toda a superfície do solo, os sistemas de gotejamento e microaspersão minimizam as perdas de água por evaporação, que podem, segundo Mantovani et al. (2006), diminuir em até 80%, durante o estágio inicial da cultura. No caso de fruteiras jovens, a redução pode ser ainda maior. Para algumas culturas, segundo Lamont Junior et al. (2007), a conversão de sistemas por aspersão para gotejamento pode reduzir o uso global de água em até 50%.

Portanto, ao longo do trabalho, foi possível observar as inter-relações entre os modelos aplicados. A modelagem hidrológica revelou a impossibilidade da Bacia ofertar água suficiente para aumentar a disponibilidade para a irrigação em detrimento aos demais usos consultivos, em razão do alto estresse hidrológico da Bacia do Pontal-PE e da alta vulnerabilidade às mudanças climáticas.

A integração dessa Bacia com a Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco apresenta assim, um leque de novas oportunidades de crescimento econômico para a região através do aumento do perímetro irrigado na área, alterando profundamente, as formas de uso e ocupação dessas áreas. No entanto, esse aumento não deve ser incentivado sem que todo o potencial da

área seja explorado da forma mais sustentável possível. O estudo encontrou resultados importantes acerca da utilização dos recursos hídricos de forma sustentável e com ganhos financeiros e de produtividade ao produtor mediante a utilização ótima da água bem como das terras disponíveis para as culturas agrícolas. O resultado constatou que mais de 3237,27ha de terras poderiam ser agregados para utilização agrícola sem que isso significasse aumento de custos na utilização dos recursos hídricos além de minimizar problemas ligados aos custos de produção e de salinização dos solos.

No entanto, deve ser lembrado que muitas vezes o aumento do perímetro irrigado implica no beneficiamento de áreas pertencentes à iniciativa privada (empresas privadas) em detrimento às áreas as quais, historicamente, eram voltadas para uma agricultura de subsistência, estabelecendo assim uma nova dinâmica regional em função do aumento das fronteiras agrícolas nas Bacias pernambucanas que receberiam essa água. Dessa forma, quaisquer impactos resultantes da transposição do Rio São Francisco, deverão ser refletidos futuramente pelos indicadores sociais e econômicos nos municípios com projetos de irrigação, como no caso da Bacia do Rio Pontal.

## 6 CONCLUSÕES

- Há impossibilidade da Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal-PE ofertar água suficiente para atender as demandas, de forma que a sua integração com a Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco é a alternativa mais viável para a realidade da região.
- Verificou-se que a área estudada possui uma alta variabilidade climática, o que indica a ocorrência de eventos extremos mais severos que em regiões de menor variabilidade, sinalizando que os sistemas de abastecimento de água de pequenas comunidades e regiões metropolitanas estejam atuando, ou prestes a atuar, no limite da capacidade.
- Na avaliação estatística dos dados de vazão obteve-se um resultado de não-estacionariedade alta denotando uma alta tendência de aumento ou redução da vazão durante a série de anos estudada.
- Constatou-se uma alta vulnerabilidade às mudanças climáticas na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal-PE. Esse resultado demonstra que há necessidade de tentar encontrar formas de mitigação dos possíveis impactos ambientais provenientes desse processo na Bacia.
- O NDWI indica que a vegetação presente na região está sobre constante estresse hídrico no período mais seco, entretanto, as áreas pertencentes aos perímetros irrigados apresentam uma vegetação em níveis ótimos de umidade nesse período.
- A utilização do IAF sinalizou o aumento da biomassa na área do perímetro irrigado em relação às demais áreas. O resultado também demonstra que desde a implantação do perímetro, a quantidade de biomassa tem aumentado, bem como sua diferenciação em relação às áreas do restante da Bacia.
- A evapotranspiração real evidenciou a diferença entre as áreas pertencentes aos perímetros irrigados e as áreas adjacentes, esses dados, que denotam uma alta



evapotranspiração, indicam que as áreas vegetadas necessitam de água em grande quantidade para que as plantas consigam realizar seus processos metabólicos sem prejuízo para seu desenvolvimento.

- A evapotranspiração potencial das culturas demonstrou a alta demanda por água das culturas na área da Bacia do perímetro irrigado do Pontal e cada cultura respondendo de forma diferenciada à evapotranspiração.
- É possível uma gestão mais eficiente da água, de forma menos onerosa e sem diminuição da produtividade, se forem aplicadas técnicas de irrigação como microaspersão e gotejamento, e naquelas em que já existe microaspersão, os mecanismos devem se tornar mais eficientes, pois, mesmo nas áreas em que é empregada a microaspersão, a literatura mostra que há apenas 70% de eficiência no sistema.
- O estudo constatou que se fossem adotadas melhores estratégias de manejo e o sistema passasse a operar com eficiência de 90% em vez de 70%, como comumente acontece na região, haveria uma economia de água em várias das culturas analisadas, de forma tal, que permitiria agregar milhares de hectares de culturas sem que para isso houvesse um aumento na demanda de água para irrigação.
- Mais de 3237,27ha poderiam ser agregados para o aumento das culturas na Bacia ou diminuição da área plantada, sem que, para isso, haja um aumento no consumo de água e/ou diminuição da produtividade. Isso evitaria um aumento desnecessário dos custos na utilização dos recursos hídricos além de minimizar problemas ligados aos custos de produção e de salinização dos solos.
- Tendo em vista que o futuro crescimento dos perímetros irrigados na Bacia do Riacho do Pontal-PE será uma realidade, a partir da integração dessa Bacia com a do Rio São Francisco, haverá assim a valorização dessas áreas, bem como, a modificação da estrutura produtiva na região, acarretando uma nova série de problemáticas com relação à gestão dos recursos hídricos que precisarão ser

estudadas, com o objetivo de propor soluções quanto às questões da disponibilidade hídrica, demanda por água das agriculturas irrigadas, a vulnerabilidade às mudanças nos padrões climáticos e a susceptibilidade a desastres naturais das bacias contempladas pelo eixo I do projeto.

## REFERÊNCIAS

- ACREMAN, M.; KING, J.; HIRJI, R.; SARUNDAY, W. e MUTAYOBA, W. **Capacity building to undertake environmental flow assessments in Tanzania**. 2004, 11p. Disponível: [http://www.iwmi.cgiar.org/research\\_impacts/Research\\_Themes/BasinWaterManagement/RIPARWIN/PDFs/Mike%20Acreman%20EF%20cap%20build%20Tanzania%20paper.pdf](http://www.iwmi.cgiar.org/research_impacts/Research_Themes/BasinWaterManagement/RIPARWIN/PDFs/Mike%20Acreman%20EF%20cap%20build%20Tanzania%20paper.pdf).
- ALLEN, R. G. A Penman for all seasons. **J. Irriga. and Drain. Eng.** v. 112, n. 4, p. 348-368, 1986.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, K.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration** (guielins for computing crop water requirements). Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; SEBAL – **Advanced Training and User's Manual** – Idaho Implementation, version 1.0, 2002.
- ALLEN, R. G.; CLEMMENS, A. J.; BURT, C. M.; SOLOMON, K.; O'HALLORAN, T. Prediction accuracy for projectwide evapotranspiration using crop coefficients and reference evapotranspiration. **Journal of Irrigation Drainage Engineering**, v.131, p.24-36, 2005. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2005\)131:1\(24\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2005)131:1(24)).
- ANDRADE, M. C. **A seca: realidade e mito**. Pernambuco, Editora ASA. 84p. 1985.
- ARAGÃO, T. G. **Transposição das águas do rio São Francisco para a bacia do Rio Paraíba: uma avaliação da sinergia e sustentabilidade hídrica utilizando o modelo de rede de fluxo Acquanet**. Dissertação apresentada ao curso de pós- graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Campina Grande-PB. Abril de 2008.
- ARAÚJO, A. F. **Aplicação de metaheurísticas para a solução do problema de programação de horários de irrigação**. Dissertação Universidade Federal de Viçosa. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação. 2010.
- ARAÚJO, W. F.; COSTA, S. A. A.; SANTOS, A. E. **Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) para Boa Vista, RR**. Caatinga, Mossoró, v.20, n.4, p.84-88, 2007
- AZEVEDO, P. V.; LEITÃO, M. M. V. B. R.; SOUZA, I. F.; MACIEL, G. F. Balanço de radiação sobre culturas irrigadas no semi-árido do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.403-410, 1990.
- AZEVEDO, P. V. de; RAMANA RAO, T.V.; AMORIM NETO, M. da S. **Necessidades hídricas da cultura do algodoeiro**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 28. n.7, p.863-870, 1993.

BANCO MUNDIAL. Autores: VALDES, Alberto; WAGNER, Elmar; MARZALL, Ivo; SIMAS, José; MORELLI, Juan; PEREIRA, Lilian Pena e AZEVEDO, Luiz Gabriel T. **Impactos e Externalidades Sociais da Irrigação no Semi-árido Brasileiro** – 1ª edição – Brasília – 2004 132p. ISBN: 85-88192-11-x I.

BASSOI, L. H. et al. **Consumo de água e coeficiente de cultura em bananeira irrigada por microaspersão**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2001. 4 p. (Embrapa Semi Árido Comunicado Técnico, 108).

BASSOI, L. H. et al. Guidelines for irrigation scheduling of banana crop in the São Francisco Valley, Brazil. I - Root distribution and activity. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 03, p. 464-467, dez. 2004.

BASTIAANSEN, W. G. M. **Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain** – a remote sensing approach under clear skies in Mediterranean climates. Ph. D. Thesis. Wageningen Agricultural University, Wageningen, Netherlands. 273p, 1995.

BASTIAANSEN, W.G.M.; MENENTI, M.; FEDDES, R.A.; HOLTSLAG, A.A.M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) I. Formulation. **Journal of Hydrology**, v.212, p.198-212, 1998.

BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL - Based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, v.229, p.87-100, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(99\)00202-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(99)00202-4)

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 6ed. Viçosa:UFV, Imprensa Universitária. p.593-613,1995.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. A. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2007. 596p.

BLAIKIE, P. et al. At risk: **Natural hazards, people's vulnerability and disasters**. London, Routledge. s/d

BRASIL. IBGE. **Produção Agrícola Municipal, 2005**.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. **Programa de apoio e desenvolvimento da fruticultura irrigada do nordeste (PADFIN)**. Brasília: SPI, 1997. 148 p. (Documento Básico).

BRASIL. Projeto Pontal – Área Norte – Projeto Executivo – **Serviços Pedológicos para fins de Drenabilidade das Manchas 20 e 23** Volume 4.3. 1998.

BRASIL. Projeto Pontal Sul - Projeto Executivo - **Relatório de Serviço Pedológico e de Drenabilidade** – Vol. 4.3, 1998.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Inventário de Projetos da Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco - CODEVASF** - Terceira Edição. Brasília. 1999. Pág.90.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL; CODEVASF; CONSÓRCIO NORONHA – TAMS. **Projeto Pontal – Área Norte localizado no município de Petrolina, estado de Pernambuco. Projeto Executivo. Relatório Final de Projeto**. V.5.2 (Relatórios Específicos – Estudos Ambientais. Tomo I – EIA e Tomo II – RIMA), dez./2000.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL; COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA – CODEVASF; CONSÓRCIO NORONHA – TAMS. **Projeto Pontal – Área Norte localizado no município de Petrolina, estado de Pernambuco**. Projeto Executivo. Relatório Final de Projeto. Vol. 5.2 (Relatórios Específicos – Estudos Ambientais. Tomo I – EIA e Tomo II – RIMA), dez./2000.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL - Secretaria de Infraestrutura Hídrica - **Estudos e Obras de Infraestrutura Hídrica**. Brasília, Junho, 2001. Pág.234.

BRASIL. ANA/GEF/PNUMA/OEA. **Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na Bacia do São Francisco**. Subprojeto 4.5C– Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco-PBHSF (2004-2013). 2004.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Nova Delimitação do Semi-Árido Brasileiro**. In: Redelimitação do Semi-Árido Nordeste. Ministério da Integração Nacional, Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional, Brasília, 2005.

BRASIL. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Brasília, Produção de Informação, 2006. 306p.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL / CODEVASF - **Mais Irrigação é lançado por presidenta Dilma com previsão de investimento de R\$ 10 bi em 538 mil hectares e 16 estados**. In: <http://www.codevasf.gov.br/noticias/2007/mais-irrigacao-e-lancado-com-previsao-de-investimento-de-r-10-bi-em-538-mil-hectares-e-16-estados>. Brasil, 2007a.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL / CODEVASF - **Estudo de Impacto Ambiental – Projeto Pontal Norte**. Projotec. Volume 1, estudos preliminares, Brasil, 2007b.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL / CODEVASF - **Estudo de Impacto Ambiental – Projeto Pontal Norte**. Projotec. Volume 2, estudos preliminares, Brasil, 2007c.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **A irrigação no Brasil Situação e Diretrizes**. BRASÍLIA, 2008.

BRASIL. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Organizadora: Ana Alexandrina Gama da Silva. SILVA, A. A. G. ; AMORIM, J. R .A.; FACCIOLI, G. G. ; SOUSA, I. F.; MILET, W. B. ; ROCHA, J. C. S. ; ROCHA, A. F.; **Material didático para o curso prático de “Agrometeorologia aplicado à otimização do uso da água na irrigação”**. ISSN 1678-1953. Dezembro, 2009.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO SOCIAL E COMBATE À FOME. **Oportunidades e possibilidades de desenvolvimento da agricultura familiar e urbana no contexto local**. Org. Ana Ruth Silva. Petrolina, Setembro de 2010.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL / CODEVASF – **A Irrigação no Mundo – Precedentes de Outros Países** – (Fonte: FAO), 2013.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL / CODEVASF – **A Lei de Concessão & Parceria Público Privada – PPP no Setor da Irrigação**, 2013.

BRITO A. S.; LIBARDI, P. L.; MOTA, J. C. A.; MORAES, S. O. Estimativa da capacidade de campo pela curva de retenção e pela densidade de fluxo da água. **Rev. Bras. Ciências do Solo**. Vol.35 no.6 Viçosa Nov./Dec. 2011.

BRUTSAERT, W.H. **Hydrology: An Introduction**. New York: Cambrigde University Press, 2005. 605p.

CAIXETA, T.J.; MIZABUTI, A. **Efeito de diferentes lâminas de água em algumas cultivares de batata** (*Solanum tuberosum* L.). In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8., 1988, Florianópolis. Anais. Florianópolis: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 1988, p.65-87

CALHEIROS, C.B.M.; QUEIROZ, J.E.; FRIZZONE, J.A.; PESSOA, P.C.S. **Estratégias ótimas de irrigação do feijoeiro: água como fator limitante da produção**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.31, n.7, p.509-515, 1996.

CARDOSO, F.S.; PEREIRA, G.; SILVA, G.B.S; SILVA; F.B.; SHIMABUKURO, Y.E.; MORAES, E.C. **Discriminação de áreas alagadas no Pantanal sul-matogrossense a partir de imagens orbitais**. Anais 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá, 7-11 novembro 2009, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.99-106.

CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L. M. CASTRO NETO, P. **Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa**. Pesq. Agropec. Trop., Goiânia, v. 41, n. 3, p. 456-465, jul./set. 2011 e-ISSN 1983-4063 - [www.agro.ufg.br/pat](http://www.agro.ufg.br/pat).

CASELLES, V.; DELEGIDO, J.; SOBRINO, J. A.; HURTADO, E.; Evaluation of the maximum evapotranspiration over the La Mancha region, Spain, using NOAA/AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, Volume 13, Issue 5, p. 939 – 946. 2002.

CHAGAS, M. G. S.; SILVA, M. D.; CORRÊA, P. G.; GALVÍNCIO, J. D.; R. PIMENTEL, M. M.. **Conteúdo de água na vegetação em uma paisagem do semi-árido pernambucano**

**utilizando o índice de água por diferença normalizada (IADN).** Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.7667

CHAVES, H. M. L.; ROSA, J. W. C.; SANTOS, V. M. 1997. Evaluation of the trapping efficiency of Gallery Forests through sedimentation modeling. In: Imaña-Encinas, J. & Christoph Kleinn (orgs.). **Proceedings: the international symposium on assessment and monitoring of forests in tropical dry regions with special reference to gallery forests.** Brasília: University of Brasília. 378p. : il.

CHORLEY, R. J. and P. HAGGETT (ed.). **Models in Geography.** London, Methuen, 1967.

CLARKE, R. T. 2003. Análise de frequência de eventos hidrológicos e o uso de modelos de longa memória. In: Tucci, C.E.M. e Braga, B. (orgs). **Clima e recursos hídricos no Brasil.** ABRH, Porto Alegre, RS, pp. 243-264.

COSTA, M. C. **Estimativa da evapotranspiração regional considerações teóricas.** Primeira versão. Ano 1, nº 122, Porto Velho: UFRO, set 2002.

CULLEN, P. **The journey to sustainable irrigation.** In: IRRIGATION ASSOCIATION OF AUSTRALIA ANNUAL CONFERENCE, 2004, Adelaide. Proceedings... Sydney: Irrigation Association of Australia, 2004. Disponível em: <[www.thinkers.sa.gov.au/lib/pdf/Cullen\\_Irrigation\\_Conf.pdf](http://www.thinkers.sa.gov.au/lib/pdf/Cullen_Irrigation_Conf.pdf)>.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements.** Rome, IT: FAO, 1977. 144 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).

DOOREMBOS, J; KASSAM, A. H. **Yield response to water.** (Irrigation and Drainage, peper 33), Rome, FAO; p. 193, 1979.

ENGLISH, M. J.; NUSS, G. S. Designing for deficit irrigation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.108, n.2, p.91-106, 1982.

ENGLISH, M. J. Deficit irrigation. 1: Analytical Framework. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.116, n.3, p.399-412, 1990

FAO (1990). '**Annex V. FAO Penman – Monteith formula**'. Expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. FAO, Rome, 28 – 31 May 1990, 23 pp.

FARIA, R. A.; CARVALHO, D. F.; RIBEIRO, A.; OLIVEIRA, M. A. A. **Influência do método de estimativa da evapotranspiração de referência na demanda de irrigação suplementar para o milho (Zea mays L.), na bacia do Rio Verde Grande (MG).** Ciências Agrotecnológicas, Lavras, v.24 (Edição Especial), p.187-196, dez., 2000.

FERRAZ, M. de S. Estrutura profissional: os consórcios de exportação permitem aos produtores promover suas frutas e consolidar canais permanentes de negociação. **Revista Agroanalysis**, Rio de Janeiro, v.21, n.8, p.41- 42, ago., 2001.

FERREIRA, M. de N. L. **Distribuição radicular e consumo de água de goiabeira (*Psidium guajava* L.) irrigada por microaspersão em Petrolina.** Piracicaba: ESALQ/USP, 2004. 106p. Tese Doutorado.

FILL, H. D.; SANTOS, I. dos; FERNANDES, C.; TOCZECK, A.; OLIVEIRA, M. F. de. **Balço Hídrico da Bacia do Rio Barigüi,** PR. R. RA E GA. Editora UFPR. Curitiba, n. 9, p. 59-67, 2005.

FOHRER, N.; HAVERKAMP, S.; ECKHARDT, K. & FREDE, G. **Hydrologic response to land use changes on the catchment scale.** Phys. Chem. Earth, 26:577-682, 2001.

FOLHES, M.T.; RENNÓ, C.D.; SOARES, J.V. Remote sensing for irrigation water management in the semiarid Northeast of Brazil. **Agricultural Water Management**, v.96, p.13981408, 2009.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H.; **Balço de energia em soja irrigada e não irrigada.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.26, n.3, p.403-410, 1991.

FREITAS, W. S.; RAMOS, M. M.; COSTA S. L. Demanda de irrigação da cultura da uva na Bacia do Rio São Francisco. **Rev. bras. eng. agríc. ambient. vol.10 no.3 Campina Grande July/Sept. 2006.**

FREITAS, W. S.; RAMOS, M. M.; COSTA S. L. Demanda de irrigação da cultura da banana na Bacia do Rio São Francisco. **Rev. bras. eng. agríc. ambient. vol.12 no.4 Campina Grande July/Aug. 2008.**

FRENCH, A. N.; JACOB, F.; ANDERSON, M. C.; KUSTAS, W. P.; TIMMERMANS, W.; GIESKE, A.; SU, Z.; McCABE, M. F.; LI, F.; PRUEGER, N.; BRUNSELL, N. Surface energy fluxes with the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer (ASTER) at the Iowa 2002 SMACEX site (USA). **Remote Sensing of Environment**, v. 99, p. 55-65, 2005.

FRIZZONE, J. A. **Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L) ao uso de nitrogênio e lâmina de irrigação.** 1986. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.

FRIZZONE, J.A.; COELHO, R.D; DOURADO NETO, D.; SOLIANI, R. Linear programming model to optimize the water resource use in irrigation projects: na application to the Senador Nilo Coelho Project. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.54, p.136-148, 1997.

FRIZZONE, J. A. **Otimização do uso da água na agricultura irrigada: perspectivas e desafios.** Engenharia Rural, v.15, único, p.37-56, 2004.

GALVÃO, D. M. O. 2008. **Subsídios à determinação de vazões ambientais em cursos d'água não regulados: o caso do Ribeirão Piripau (DF/GO).** Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, Publicação PPGEFL. DM – 096/08, Brasília, DF.



GALVÍNIO, J. D.; CORREA, A. C. B.; BEZERRA, M. S. Determinação do albedo no município de Belém do São Francisco, com base em imagens Landsat 7. **Revista de Geografia**, Recife, v. 23, n. 3, p. 103-118, 2006.

GAO, B.C. 1996. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, p. 257-266.

GIONGO, P. R. et al. **Índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF estimados com Imagens Landsat 5 – TM**. In: JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 7., 2007, Recife, Anais... Recife: ED UFRPE, 2007c, 1 Cd ROM.

GONÇALVES, M. V. C. 2003. **Metodologia para determinação de vazões Mínimas garantidas em cursos d'água**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Publicação MTARH-DM – 061/03, Brasília, DF, 129p.

HENRIQUE, F. A. N.; DANTAS, R. T. Estimativa da evapotranspiração de referência em Campina Grande, Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.6, p.594-599, 2007

HOLANDA, A. S. S.; GUERRA, C. E. **Monitoramento da vegetação da região do eixo-forte no município de Santarem-PA utilizando imagens dos índices de vegetação NDVI e NDWI**. Anais. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. P.1-5.2010.

HUETE, A. R. Adjusting vegetation indices for soil influences. **International Agrophysics**, v.4, n.4, p.367-376, 1988.

HUFFAKER, R.; WHITTLESEY, N.; MICHELSEN, A.; TAYLOR, R.; MCGUCKIN, T. Evaluating the effectiveness of conservation waterpricing programs. **Journal of Agricultural and Resource Economics**, v.23, p.1219, 1998.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático de Produção Agrícola**. Rio de Janeiro, v. 17, n. 12, dez. 2005. Disponível <<http://www.ibge.gov.br>>.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Novos Cenários Climáticos**. Relatório do IPCC/ONU. 2007.

JENSEN, M. E. **Sustainable and productive irrigated agriculture**. In: HOFFMAN, G. J.; EVANS, R. G.; JENSEN, M. E.; MARTIN, D. L.; ELLIOTT, R. L. (Ed.). **Design and operation of farm irrigation systems**. 2nd ed. Saint Joseph: ASABE, 2007. p. 33-56.

KLOCKE, N. L.; HUBBARD, K. G.; KRANZ, W. L.; WATTS, D. G. **Evapotranspiration (ET) or Crop Water Use**. 1996. Disponível em: <http://www.p2pays.org/ref/20/19769.htm>.

KOBIYAMA, M.; CHAFFE, P.L.B. Water balance in Cubatão-Sul river catchment, Santa Catarina, Brazil. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 3, p. 5-17, 2008.

LACERDA, M. A. D.; LACERDA, R. D. O Cluster da fruticultura no Polo Petrolina/Juazeiro. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. ISSN 1519-5228. Volume 4 - Número 1- 1º Semestre 2004.

LAMONT JUNIOR, W. J.; ORZOLEK, M. D.; HARPER, J. K.; JARRETT, A. R.; GREASER, G. L. **Drip irrigation for vegetable production**. Disponível em: <<http://agalternatives.aers.psu.edu/Publications/DripIrrigation.pdf>>.

LEITE, M. E.; ROSA, R. Geografia e Geotecnologias no Estudo Urbano. **Revista Caminhos de Geografia** - <http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>. ISSN 1678-6343. 2005.

LEIVAS, J.; GUSSO, A.; FONTANA, D. C. **Estimativa do balanço de radiação na superfície a partir de imagens ASTER**, In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Abr. 2007, p. 255-262. Monteith, J.L.; Unsworth, M. H. Principles of environmental physics. 2.ed. London: Edward Arnold, 291 p. 1990.

LETEY, J. **Relationship between soil physical properties and crop production**. In: Advances in soil science. California: Springer-Verlag New York, v.1.p.277-293,1985.

LI, F.; LYONS, T.J. Estimation of Regional Evapotranspiration through Remote Sensing. **Journal of Applied Meteorology**, v. 38, p. 1644-1654, nov 1999.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. O uso da irrigação no Brasil. In: FREITAS, M. A. V. (Ed.). **O estado das águas no Brasil - 1999**: perspectivas de gestão e informação de recursos hídricos. Brasília, DF: Aneel: OMM: SRH-MMA, 1999. p. 73-82.

LIMA, E. P.; SEDIYAMA, G. C.; ANDRADE, R. G.; DELGADO, R. C.; SOARES, V. P.; GLERIANI, J. M. **Estimativa da evapotranspiração em áreas irrigadas utilizando imagem do Landsat 5 – TM**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 25 de abril a 30 de abril de 2009, INPE p.247-254

MANTOVANI E. C.; ZINATO C. E.; SIMÃO F. R. **Manejo de irrigação e fertirrigação na cultura da goiabeira**. Livro Goiaba. Viçosa: MG. 60 p. 2006.

MARKHAM, B.L.; BARKER, L.L. 1987. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, v.8, n.3, p.517-523.

MELLO, C.R. de; LIMA, J.M. de; SILVA, A.M. da. Evapotranspiração em microbacia hidrográfica de fluxo efêmero associada à umidade do solo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 12, n. 1, p. 95-102, 2004.

MONTEITH, J. L. **Evaporation and Environment**. In: SYMPOSIA OF THE SOCIETY FOR EXPERIMENTAL BIOLOGY, 19., 1965, Swansea. Proceeding. Cambridge: University Press, 1965. p. 235-239.

MONTENEGRO, A. A. T.; GOMES, A. R. M.; MIRANDA F. R. E CRISÓSTOMO, L. A. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo da bananeira para a região litorânea do Ceará,

**Revista de Ciências Agrônômicas**, Fortaleza, v. 39, n. 02, p. 203-208, Abr.- Jun., 2008. Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará [www.ccarevista.ufc.br](http://www.ccarevista.ufc.br) ISSN 1806-6690.

MORAES, A. C. R. **Geografia: pequena história crítica**. São Paulo: Hucitec, 1987.

MOREIRA, L. C. J.; DURAND, B. J.; TEIXEIRA, A. S.; ANDRADE, E. M. **Variabilidade local e regional da evapotranspiração estimada pelo algoritmo SEBAL** Eng.Agríc. vol.30 no.6 Jaboticabal. Dec. 2010.<http://dx.doi.org/10.1590/S010069162010000600015>. Print version ISSN 0100-6916.

MOREIRA, R. S. **Banana: teoria e prática de cultivo**. Campinas: Fundação Cargill, 1997. 335 p.

MOURA, M. S. B. **Fenologia e consumo hídrico da goiabeira (*Psidium guajava* L.) irrigada**, 2001. 124f. Dissertação (Mestrado Meteorologia), Universidade Federal a Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia.

NEW SOUTH WALES. **Macro Water Sharing Plans: the approach for unregulated rivers**. Australia: Department of Natural Resources – NSW. 56p. 2006.

OLIVEIRA, A. S.; COELHO, E. F.; FACCIOLI, G. G. **Manejo básico da irrigação na produção de fruteiras**. Brasília, DF: LK, 2006. 136 p.

OLIVEIRA, H. M. C. **Organização das mulheres e estratégia de sobrevivência no semiárido**. UFPE, Recife, PE, Brasil. 2001. Tese de Mestrado. 130p.

OLIVEIRA, S. L.; ALVES, E. J.; CALDAS, R. C. Coeficiente de cultura para irrigação da bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 15, n. 3, p.15-20, 1993.

OLIVEIRA, S. L.; BORGES, A. L.; COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; SILVA, J. T. A. **Uso da irrigação e da fertirrigação na produção integrada de banana no norte de Minas Gerais**. Cruz das Almas, BA. Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2005. 7p. Circular Técnica, 77.

OLIVEIRA, T. H.; GALVÍNCIO, J. D. Caracterização ambiental da bacia hidrográfica do Rio Moxotó-PE usando sensoriamento remoto termal. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 1, n. 2, p. 30-49, 2008.

OLIVEIRA, T. H. **Avaliação da Cobertura Vegetal e do Albedo da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó com Imagens do Satélite Landsat 5**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril de 2009, INPE, p. 2865-2872

OLIVEIRA, T. H.; SILVA, J. S.; MACHADO C. C. C.; GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. M.; SILVA, B. B. Índice de umidade (NDWI) e análise espaço-temporal do albedo da superfície da bacia hidrográfica do rio Moxotó-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**. V.03, p.55 - 69, 2010. Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe).

OSTER, J. D.; WICHELNS, D. **Economic and agronomic strategies to achieve sustainable irrigation.** Irrigation Science, New York, v. 22, p. 107-120, 2003.

PENMAM, M. L. Evaporation: an introductory survey. **Neth. Journal Of Agric. Science**, v. 4, p. 9-29. 1948.

PEREIRA, A. R.; MACHADO, E. C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais.** Instituto Agronômico de Campinas. Boletim técnico, n.114, 1987. 33p.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração.** Piracicaba, SP: FEALQ, 1997. 183 p.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas.** Guaíba-RS: Livraria e Editora Agropecuária Ltda, 2002.

PERNAMBUCO. Centro de Abastecimento Alimentar de Pernambuco – CEASA. **"Mais Irrigação" para Pernambuco.** 2012. In: <http://www.ceasape.org.br/verNoticia.php?id=1570>.

PERNAMBUCO. Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco – PERH/PE. **A política estadual de recursos hídricos.** Governo de Pernambuco, volume 8, 1998.

PINEDA, L. A. C. **Estudo Observacional e de Modelagem Hidrológica de uma Micro-Bacia em Floresta Não Perturbada na Amazônia Central.** 241f. Tese (Doutorado em Meteorologia). INPE. São José dos Campos, 2008.

POSTEL, S.; RICHTER, B. **Rivers for life: Managing water for people and nature.** USA: Island Press. 2003, 253p.

PRADO, T. B. G.. **Evolução do uso das terras e produção de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá-Mirim.** Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação, em Agricultura Tropical e Subtropical do Instituto Agronômico. Campinas, 2005.

RAMOS, M. M.; PRUSKI, F. F. **Quantificação e análise da eficiência do uso da água pelo setor agrícola na Bacia do São Francisco.** In: Relatório do Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na Bacia do São Francisco, 2003. <<http://www.ana.gov.br/gefsf/arquivos/ResumoExecutivo43.pdf>>.

REBOUÇAS, A. C. Água Doce no Mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. BRAGA, B. TUNDISI, J.G. (Org). **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação.** São Paulo: Escrituras, 2º Ed. Revisada e Ampliada, 2002.

REBOUÇAS, A. C. **Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez.** BAHIA ANÁLISE & DADOS Salvador, v. 13, n. ESPECIAL, p. 341-345, 2003.

REBOUÇAS, A. C. **Uso Inteligente da Água.** São Paulo: Escrituras, 2004.

ROERINK, G. J.; SU, Z.; MENENTI, M. S-SEBI: **A simple remote sensing algorithm to estimate the surface energy balance**. Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere. Volume 25, Issue 2, p 147-157, 2000.

SALAS, J.D. 1993. **Analysis and modeling of hydrologic time series**. In: Maidment, D.R. (ed.) Handbook of hydrology. MacGraw-Hill, United States of America, pp. 19.1-20.1.

SANTOS, M. **Por uma Geografia nova: da crítica da geografia a uma geografia crítica**. São Paulo, HUCITEC, 2002.

SANTOS, T. V. **Fluxos de calor na superfície e evapotranspiração diária em áreas agrícolas e de vegetação nativa na Bacia do Jacuí por meio de imagens orbitais**. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SAUVAGE, P. **Réconcilier l'économie et la société: vers une économie plurielle**. Paris. Cahiers TDS-OCDE, 1996. (in Oliveira, 2001).

SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração: necessidade de água para os cultivos**. Brasília: ABAES, 1996. 167p

SEGOVIA, J. F. O.; LOPES FILHO, R. P. **Irrigação de Hortaliças no Estado do Amapá**. Macapá: Embrapa Amapá, 2004. 13 p. (Embrapa Amapá. Circular técnica 33).

SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. In: MIRANDA, J. H., PIRES, R. C. M. Irrigação. Piracicaba: FUNEP, v.1, p.63-120, 2001.

SENTELHAS, P. C.; ANGELOCCI, P. R. **Balanço Hídrico Climatológico Normal e Sequencial, de Cultura e para Manejo da Irrigação**. Aula nº 9. disciplina LCE 306 – Meteorologia Agrícola. ESALQ/USP – 2009.

SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. de M.; PEREIRA, I. de C. (2001). **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 2. ed. – Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de estudos e informações hidrológicas.

SILVA, B. B.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C.; OLIVEIRA, L. M. M.; GALVÍNCIO, J. D.; MONTENEGRO, S. M. G. L. **Evapotranspiração e estimativa da água consumida em perímetro irrigado do Semiárido brasileiro por sensoriamento remoto**. Pesquisa agropecuária brasileira vol.47 no.9 Brasília Sept. 2012.

SILVA, B. B.; GALVÍNCIO, J. D.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MACHADO C. C. C. OLIVEIRA, L. M. M.; MOURA, M. S. B. Determinação por sensoriamento remoto da produtividade primária bruta do perímetro irrigado São Gonçalo – PB. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.1, 57 - 64, 2013.

SILVA, E. N da. **Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da bananeira pelo método do balanço hídrico no vale do Curu, Ceará**. 2004. 68 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

SILVA, E. R. A. C.; GALVÍNCIO, J. D. 2011. A Metodologia de Escopo Global MWSP Aplicada no Âmbito Local para Análise do Estresse Hidrológico no Médio Trecho da Bacia do Ipojuca- PE: uma Contribuição à Temática da Transposição do Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Vol 4 n° 03 (2011) 602-628.

SILVA, E. R. A. C; MELO, J. G. da S. BRANDÃO NETO, J. L. S.; OLIVEIRA, P. F. P. de; GALVÍNCIO, J. D. **Análise da dinâmica da degradação ambiental no uso das terras entre os anos de 1989 a 2007, nas áreas entorno do Complexo Industrial e Portuário de Suape**. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

SILVA, M. T.; da SILVA, V. P. R.; SOUSA, E. P.; OLIVEIRA, S. D. 2012. Análise de Risco de Degradação na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal – PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Vol. 5 n°03 (2012) 646-660.

SILVA, N. S. **Crescimento inicial do cajueiro sob diferentes regimes hídricos e desempenho de um sistema de irrigação Bubbler**. Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Piauí – UFPI. 2013.

SOARES, J. M; COSTA, F. F. Irrigação. In: Embrapa/CPATSA. **Informações técnicas sobre a cultura da manga no semi-árido brasileiro**. Brasília: EMBRAPA - SPI, 1995. p.41-80.

SOUSA, I. F.; SILVA, V. P. R.; SABINO, F. G.; NETTO, A. O.; SILVA, B. K. N.; AZEVEDO, P. V. Evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.6, p.633-644. 2010.

SOUZA FILHO, F. A. **Variabilidade e Mudança Climática nos Semi-Áridos Brasileiros**. In: Carlos E. M. Tucci; Benedito Braga. (Org.). **Clima e recursos Hídricos no Brasil**. Porto Alegre: ABRH, 2003, v. , p.

TANRÉ, D.; DEROO, C.; DUHAUT, P.; HERMAN, M.; MORCRETTE, J. J.; PERBOS, J.; DESCHAMPS, P.Y. Description of a computer code to simulate the satellite signal in the solar spectrum: the 5S code. **International Journal of Remote Sensing**, v.11, p.659-668, 1990. <http://dx.doi.org/10.1080/01431169008955048>.

TEIXEIRA, A. H. C; BASSOI, L. H.; COSTA, W. P. L. B.; SILVA, J. A. M.; SILVA, E. E. G. Consumo hídrico da bananeira no Vale do São Francisco estimado pelo método da razão de Bowen. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 10, n. 01, p. 45-50, 2002.

TEIXEIRA, A. H. C., BASSOI, L. H., REIS, V. C. S., SILVA, T. G. F., FERREIRA, M. N. L., MAIA, J. L. T. Estimativa do consumo hídrico da goiabeira, utilizando estações agrometeorológicas automática e convencional. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, 25 (3):457-460. (2003).

THORTHWAITE, C. W.; MATTER, J. R. **The water balance**. Publications in Climatology, New Jersey, Drexel Institute of Thecnology, 104p. 1955.

- TUCCI, C. E. M. 1998. **Modelos Hidrológicos**. Editora Universitária UFRGS, Porto Alegre.
- VAN DER GRIEND, A. A.; OWE, M. Determination of microwave vegetation optical depth and single scattering albedo from large scale moisture and Nimbus/SMMR satellite observations. **International Journal of Remote Sensing**, Londres, v. 14, n. 10, p. 1975-1996.
- VASCONCELOS SOBRINHO, J. (1982). **Processos de desertificação ocorrentes no Nordeste do Brasil**: Sua gênese e sua contenção. Recife, SEMA/SUDENE, 101p.
- VEIGA, J. E. **Meio Ambiente no século 21**. Campinas-SP. Armazém do Ipê (Autores Associados), 2005, p 206.
- VIÉGAS, P. R. A., NETTO, A. O. A.; MELO, A. S.; MAGALHÃES, L. T. S. **Necessidades Hídricas da Cultura do Abacaxizeiro (ananas comosus (L.) Merrill) para o Estado de Sergipe**. Anais, Fundação de Apoio à Pesquisa e à Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe. 2004.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.
- WANG, Q.; ADIKU, S.; TENHUNEN, J.; GRANIER, A. On the relationship of NDVI with leaf area index in a deciduous forest site. **Remote Sensing of Environment**, v. 94, n.2, p.244-255, Jan. 2005.
- WARD, A.D.; TRIMBLE, S.W. **Environmental Hydrology**. 2nd Ed. USA: Lewis Publishers, 2004. 475 p.
- ZONNEVELD, I. S. The Land Unit: A fundamental concept in landscape ecology, and its applications. **Landscape Ecology**, v.3, p.67-86, 1989.

## ANEXOS

## ANEXO I

Tabela 42 - Vazões anuais da Bacia do Pontal-PE de 1935 a 1985.

<b>ANO</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>	<b>Média anual</b>
<b>1935</b>	1,25	5,57	4,05	0,4	0,36	0,35	0,31	0,29	0,28	0,25	0,24	3,69	1,42
<b>1936</b>	0,2	6,53	0,17	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,1	0,1	0,09	0,67
<b>1937</b>	0,89	4,55	0,07	0,07	2,63	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,71
<b>1938</b>	0,03	0,03	7,68	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,66
<b>1939</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
<b>1947</b>	0	2,18	16,17	5,68	0,09	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	13,1	0,06	3,14
<b>1948</b>	0,05	1,99	3,13	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,46
<b>1949</b>	0,02	0,02	0,02	2,42	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	1,62	0,01	0,35
<b>1950</b>	0,01	0,01	3,41	0,89	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	4,66	0	0,75
<b>1957</b>	0	0	14,98	0	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,87	1,34
<b>1958</b>	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
<b>1974</b>	1,91	9,61	11,67	16,22	0	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,71	0,2	3,38
<b>1975</b>	2,12	2,94	8,56	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	1,15
<b>1976</b>	0,02	6,77	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	1,24	0,94	0,01	0,75
<b>1981</b>	0	0	17,03	0	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,1	0,09	1,5
<b>1982</b>	0,09	0,09	0,36	1,94	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,24
<b>1983</b>	0,84	3,21	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,36
<b>1984</b>	0,01	0,01	12,55	6,62	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,7	0,01	1,66
<b>1985</b>	25,08	0,01	13,9	11,8	1,37	1,32	1,19	1,1	1,06	0,95	0,91	5,95	5,39



