



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE – UFS
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA – POSGRAP
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

RODOLFO RAFAEL ANDRADE DE MATOS

**ESTIMATIVA DOS COMPONENTES AZUL E VERDE DA
PEGADA HÍDRICA DA BATATA-DOCE NO AGreste
SERGIPANO**

SÃO CRISTÓVÃO – SE

2015

RODOLFO RAFAEL ANDRADE DE MATOS

**ESTIMATIVA DOS COMPONENTES AZUL E VERDE DA
PEGADA HÍDRICA DA BATATA-DOCE NO AGreste
SERGIPANO**

Dissertação apresentada ao Núcleo de Pós-Graduação em Recursos Hídricos como um dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Inajá Francisco de Sousa

SÃO CRISTÓVÃO – SE

2015

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

M433e Matos, Rodolfo Rafael Andrade de
Estimativa dos componentes azul e verde da pegada hídrica
da batata-doce no agreste sergipano / Rodolfo Rafael Andrade de
Matos ; orientador Inajá Francisco de Sousa. – São Cristóvão,
2015.
53 f. : il.

Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos) – Universidade
Federal de Sergipe, 2015.

1. Recursos hídricos. 2. Plantas – Relações hídricas. 3. Batata-
doce – Necessidades de água. 4. Batata-doce – Cultivo. 5. Pro-
dutividade agrícola. I. Sousa, Inajá Francisco de, orient. II.
Título.

CDU 556.18:633.492

RODOLFO RAFAEL ANDRADE DE MATOS

**ESTIMATIVA DOS COMPONENTES AZUL E VERDE DA
PEGADA HÍDRICA DA BATATA-DOCE NO AGreste
SERGIPANO**

Dissertação apresentada ao Núcleo de
Pós-Graduação em Recursos Hídricos
como um dos requisitos para obtenção
do título de Mestre em Recursos
Hídricos.

APROVADA: 13 de fevereiro de 2015

Inajá Francisco de Sousa
Prof. Dr. Inajá Francisco de Sousa - Orientador
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos – PRORH/UFS

Antenor de Oliveira Aguiar Netto
Prof. Dr. Antenor de Oliveira Aguiar Netto
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos – PRORH/UFS

Josicleda Galvínio
Profª. Drª. Josicleda Domiciano Galvínio
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA/UFPE



SÃO CRISTÓVÃO – SE

2015

*Dedico a meus pais,
Fundamentais a esse estágio da vida.*

*“De cada um, de acordo com suas habilidades,
a cada um, de acordo com suas necessidades”*

Karl Marx

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço a meu pai José Matos e a minha mãe Vera Lúcia Andrade de Matos, pela base oferecida por ambos para a consecução desse estágio de minha vida.

Agradeço a cada um dos professores do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Sergipe, pelas contribuições diversas, mas preciosas à concretização deste trabalho.

De todos os professores, agradecimentos especiais a Inajá Francisco de Sousa pela orientação e a Gregório Guirado Faccioli pelos auxílios prestados na orientação enquanto o Prof. Inajá esteve em viagem de pós-doutorado.

Agradeço a cada um dos meus colegas das turmas 2012/2 e 2013/1 do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Sergipe, pelo apoio e camaradagem prestados de diversas formas em todas as etapas do projeto.

Agradeço a Sônia Loureiro e a Augusto César Barros Rocha da Companhia de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Irrigação de Sergipe (COHIDRO) pelo fornecimento de dados vitais à dissertação.

A todos, muito obrigado!

RESUMO

Entre os diversos métodos de aproveitamento da água adotados pela humanidade, o que mais utiliza recursos hídricos é a agricultura através do procedimento da irrigação, permitindo os cultivos agrícolas em um espaço mais abrangente e sendo capaz de atender a demanda por alimentos tanto para consumo humano como consumo animal. Este trabalho apresenta o conceito de Pegada Hídrica (water footprint) que é a quantidade de água, direta e indiretamente, usada na produção de um produto. A pegada hídrica é dividida em três componentes: Verde, Azul e Cinza. O objetivo deste estudo foi determinar os valores da pegada hídrica dos componentes azul e verde para a produção da batata-doce através do método tradicional utilizando o modelo CROPWAT durante os anos de 2010, 2011 e 2012. O trabalho desenvolveu-se no Perímetro de Irrigação Poção da Ribeira (PIPR) pertencente à Companhia de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Irrigação (COHIDRO), localizado nos municípios de Itabaiana e Campo do Brito, em Sergipe. Os resultados obtidos evidenciaram que a Pegada Hídrica verde em 2010, 2011 e 2012, foi de 494,75 (m^3/ton), 672,13 (m^3/ton) e 402,81 (m^3/ton) respectivamente. Já a Pegada Hídrica azul em 2010, 2011 e 2012 foi de 351,1 (m^3/ton), 448,4 (m^3/ton) e 570,06 (m^3/ton) respectivamente. Os resultados obtidos mostraram que há relação entre os índices médios de produtividade da cultura com um maior consumo de água refletindo em maior Pegada Hídrica, que há influência da precipitação na Pegada Hídrica da batata-doce e que não há relação direta entre os índices de produtividade com as variáveis meteorológicas utilizadas no cálculos da Pegada Hídrica.

Palavras-Chave: Pegada Hídrica, CROPWAT, batata-doce, necessidade hídrica da cultura

ABSTRACT

Among the various water use methods adopted by humanity, which uses more water is agriculture through irrigation procedure, allowing the crops in a larger space and being able to meet the demand for food both for human consumption as animal consumption. This work presents the concept of Water Footprint, which is the amount of water, directly and indirectly used in the production of a product. The water footprint is divided into three components: Green, Blue and Grey. The objective of this study was to determine the values of the water footprint of the blue and green components for the production of sweet potatoes through the traditional method using CROPWAT model during the years 2010, 2011 and 2012. The work developed in the Perimeter Irrigation Poção da Ribeira (PIPR) belongs to the Water Resources and Irrigation Development Company (COHIDRO), located in the municipalities of Itabaiana and Campo do Brito, Sergipe. The results showed that the Water Footprint Green in 2010, 2011 and 2012 was 494.75 (m³ / ton), 672.13 (m³ / ton) and 402.81 (m³ / ton) respectively. Have the Blue Water Footprint in 2010, 2011 and 2012 was 351.1 (m³ / ton), 448.4 (m³ / ton) and 570.06 (m³ / ton) respectively. The results showed no relationship between the average rates of crop yield with a higher consumption of water resulting in a higher Water Footprint, there is influence of precipitation on Water Footprint of sweet potato and that there is no direct relationship between productivity levels with weather variables used in calculations of the Water Footprint.

Keywords: Water Footprint, CROPWAT, sweet potato, crop water requirement

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 12 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 15 |
| 2.1. Pegada Hídrica | 15 |
| 2.2. Precipitação | 19 |
| 2.2.1. Precipitação efetiva | 20 |
| 2.3. Evapotranspiração | 21 |
| 2.3.1. Evapotranspiração de referência | 24 |
| 2.3.2. Evapotranspiração da cultura | 24 |
| 2.4. Coeficiente da cultura | 25 |
| 2.5. Cultura da batata-doce | 26 |
| 2.6. CROPWAT 8.0 | 27 |
| 3. METODOLOGIA | 29 |
| 3.1. Caracterização da área de estudo | 29 |
| 3.2. Dados climáticos | 32 |
| 3.3. Evapotranspiração de referência | 33 |
| 3.4. Precipitação efetiva | 34 |
| 3.5. Evapotranspiração da Cultura | 34 |
| 3.6. Dados sobre a cultura da batata-doce | 34 |
| 3.7. Evapotranspiração azul e verde | 35 |
| 3.8. Demanda hídrica dos componentes azul e verde | 36 |
| 3.9. Componentes da Pegada Hídrica | 37 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 38 |
| 5. CONCLUSÕES | 48 |
| 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 49 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Médias meteorológicas mensais entre 2004 e 2013 do PIPR em Itabaiana-SE..... | 38 |
| Tabela 2. Médias meteorológicas mensais entre 2004 e 2013 do PIJAC I em Itabaiana-SE..... | 39 |
| Tabela 3. Médias meteorológicas anuais entre 2004 e 2013 do PIPR e do PIJAC I em Itabaiana-SE..... | 39 |
| Tabela 4. Médias anuais de 2010, 2011 e 2012 de produtividade da cultura da batata-doce no PIPR em Itabaiana-SE..... | 41 |
| Tabela 5. Comparação entre valores combinados de PH e médias de produtividade da batata-doce de 2010, 2011 e 2012 no PIPR em Itabaiana-SE..... | 43 |
| Tabela 6. Médias meteorológicas mensais de 2010 do PIPR em Itabaiana-SE..... | 44 |
| Tabela 7. Médias meteorológicas mensais de 2011 do PIPR em Itabaiana-SE..... | 44 |
| Tabela 8. Médias meteorológicas mensais de 2012 do PIPR em Itabaiana-SE..... | 45 |
| Tabela 9. Comparação entre médias meteorológicas anuais e médias de produtividade da batata-doce de 2010, 2011 e 2012 no PIPR em Itabaiana-SE..... | 45 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Localização do município de Itabaiana-SE..... | 30 |
| Figura 2. Localização dos perímetros irrigados Poção da Ribeira e Jacarecica I em Itabaiana-SE..... | 31 |
| Figura 3. Estação meteorológica no PIPR em Itabaiana-SE..... | 32 |
| Figura 4. Colheita de batata-doce no PIPR em Itabaiana-SE..... | 35 |
| Figura 5. Valores de evapotranspiração azul e verde da cultura da batata-doce em 2010, 2011 e 2012 no PIPR em Itabaiana-SE..... | 40 |
| Figura 6. Valores de demanda hídrica da cultura azul e verde da cultura da batata-doce em 2010, 2011 e 2012 no PIPR em Itabaiana-SE..... | 41 |
| Figura 7. Valores de Pegada Hídrica azul e verde da cultura da batata-doce em 2010, 2011 e 2012 no PIPR em Itabaiana-SE..... | 42 |

LISTA DE NOMENCLATURAS

COHIDRO – Companhia de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Irrigação de Sergipe

Δ – Declividade da curva de pressão de vapor no ponto de temperatura média

e_a – Pressão atual de vapor média diária

e_s – Pressão da saturação do vapor média diária

ET – Evapotranspiração

ETc – Evapotranspiração da cultura

ETo – Evapotranspiração de referência

G – Fluxo de calor no solo

γ - Coeficiente psicrométrico

Kc – Coeficiente de cultura

PIJAC I – Perímetro irrigado Jacarecica I

PIPR – Perímetro irrigado Poção da Ribeira

PH – Pegada hídrica

PE – Pegada ecológica

Pdc – Período de desenvolvimento da cultura

Peff – Precipitação efetiva

Prtv – Produtividade

Rn – Saldo de radiação

T – Temperatura média diária do ar

U_2 – Velocidade do vento média diária a dois metros de altura

USDA SCS – Serviço de Conservação do Solo do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos

1. INTRODUÇÃO

Entre os diversos modos de aproveitamento da água adotados pela humanidade, o que mais utiliza recursos hídricos é a agricultura através dos procedimentos de irrigação onde se transpõe água superficial e subterrânea para áreas mais distantes permitindo os cultivos agrícolas em um espaço mais abrangente e sendo capaz de atender a demanda por alimentos tanto para consumo humano como para consumo animal. Como as necessidades de consumo expandem-se diante do crescimento demográfico, busca-se aumentar a produtividade agrícola para acompanhar o ritmo atual.

Porém, as reservas de água doce estão dispostas em quantidade limitada onde parcelas relevantes são comprometidas pelo consumo humano e pela poluição, além de que estão mal distribuídas geograficamente, muitas vezes não correspondendo os locais com grandes mananciais com as áreas com grandes concentrações demográficas. E embora seja possível a dessalinização da água salgada, os métodos de conversão existentes inviabilizam seu uso em quantidade apropriada para seu uso nas culturas agrícolas.

Esse cenário impõe à agricultura e à pecuária rever seus modos de manejo da água na produção para seguir com suas metas de acompanhar a oferta com a demanda, mas em simultâneo reduzindo o desperdício, maximizando seu aproveitamento e evitando o risco das atividades agropecuárias sofrerem com a escassez hídrica do ecossistema em função da quantidade de água extraída que não é reposta.

Essa revisão serve como pilar para que muitos esforços desenvolvidos pelo meio científico nas últimas décadas sejam feitos relacionados não só para encontrar fontes de água, mas também para maximizar o aproveitamento hídrico de acordo com a quantidade disponível para determinado espaço sem forçar ao ecossistema local a privação de água para satisfação dos interesses da agricultura e da pecuária.

Nesse contexto, surgiu o conceito de Pegada Hídrica, desenvolvido por Arjen Y. Hoekstra em 2002, que é “um indicador do uso da água que considera não apenas o seu uso direto por um consumidor ou produtor, mas, também, seu uso indireto” (HOEKSTRA et al, 2011). Essa estimativa dependendo do alvo do cálculo pode verificar o uso bruto, basicamente

adotado na agropecuária e no consumo humano ou agregado, baseado na quantidade usada em todas as partes da cadeia produtiva. Isso pode ser feito com base na existência de diversas fórmulas de cálculo onde há variáveis que abrangem todas as partes de um processo a ser pesquisado.

A Pegada Hídrica é separada em três tipos: a azul, a água que é retirada de mananciais superficiais e subterrâneos que podem ser utilizadas para irrigação; a verde, onde representa a água sob a forma líquida que entra nos mananciais; e a cinza, que é a quantidade de água que é comprometida para diluir a poluição.

À agricultura e à pecuária, os componentes azul e verde da pegada hídrica são as metas principais de pesquisa, pois é delas que se avalia a disponibilidade hídrica para a atividade agropecuária, embora a cinza seja relevante para análise em determinadas situações para avaliar o quanto de água é destinado para diluir a poluição que recebe durante a atividade de cultivo ou de criação.

O surgimento do conceito da Pegada Hídrica abriu um potencial vasto de possibilidades de investigação acerca da avaliação sobre a quantidade de água consumida na produção mirando detectar o nível de sustentabilidade hídrica, ou seja, consumindo o necessário para não comprometer a subsistência do ecossistema, mas diante da pegada hídrica ser um conceito relativamente novo, não há muitos estudos onde houve a sua aplicação.

Apesar desse problema, que atrapalha a comparação entre as pesquisas existentes, as equações desenvolvidas a partir do conceito de Pegada Hídrica facilitam as pesquisas acerca do consumo de água num determinado processo. Um trabalho a destacar-se é o de Albuquerque (2013), onde aplicou-se a PH na produção na cultura da cana-de-açúcar na região dos tabuleiros costeiros do Estado da Paraíba. Outro exemplo é o trabalho de Müller (2013), onde calculou-se a PH em todas as etapas de produção do biodiesel da soja.

No caso da agricultura, os cálculos podem ser elaborados para definir os valores de consumo baseados em culturas agrícolas, espaços para pecuária e pesca ou em áreas geográficas como bacias hidrográficas, perímetros irrigados ou territórios cuja delimitação foi política.

Para esta dissertação, a área onde o estudo foi realizado é o Perímetro Irrigado Poção da Ribeira (PIPR), localizado no município de Itabaiana, no Território Agreste Central do Estado de Sergipe. Nele, encontra-se culturas de tubérculos, hortaliças e grãos, com destaque para a batata-doce, cultura que não possui trabalhos relacionados ao estudo da Pegada Hídrica para ela.

O cultivo da batata-doce é muito importante no município de Itabaiana por conta do aproveitamento econômico resultante do comércio de sua produção para atender a demanda interna sergipana e de outros estados brasileiros.

Com base nesse contexto, os objetivos desta dissertação foram os seguintes:

Geral: estimar os valores de Pegada Hídrica dos componentes azul e verde para a produção da batata-doce durante os anos de 2010, 2011 e 2012 respectivamente no PIPR.

Específicos: (i) Comparar os valores estimados dos componentes azul e verde da PH da batata-doce e as médias meteorológicas dos anos de 2010, 2011 e 2012 no PIPR;

(ii) Relacionar os valores dos componentes azul e verde da PH da cultura da batata-doce com os índices médios de produtividade dos anos de 2010, 2011 e 2012 no PIPR.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Pegada Hídrica

A Pegada Hídrica (PH) é caracterizada como uma ferramenta no âmbito da gestão dos recursos hídricos que permite que tanto as iniciativas públicas como as iniciativas privadas, assim como a sociedade, tenham a percepção da quantidade de água necessária na concepção de produtos ao longo de um sistema produtivo. Desta forma, é possível que todas as partes envolvidas possam quantificar a sua apropriação de recursos de água doce e contribuir positivamente através de medidas de redução e mecanismos de compensação nos conflitos de uso de água e degradação ambiental nas bacias hidrográficas em todo o mundo (SEIXAS, 2011).

Em 2002, o neerlandês Arjen Y. Hoekstra desenvolveu o conceito de PH onde considera-se que “A Pegada Hídrica é um indicador do uso da água que considera não apenas o seu uso direto por um consumidor ou produtor, mas, também, seu uso indireto” (HOEKSTRA et al., 2011) e foi introduzida “com o propósito de ilustrar as relações pouco conhecidas entre o consumo humano e o uso da água, tal como também entre o comércio global e a gestão de recursos hídricos” (MARACAJÁ et al., 2013).

A Pegada Hídrica divide-se em três componentes: a verde, a azul e a cinza. Segundo Gerbens-Leenes et al. (2009):

A pegada hídrica verde refere-se à água da chuva que evaporou durante a produção, principalmente durante o crescimento da cultura. A pegada hídrica azul refere-se às águas superficiais e subterrâneas para irrigação evaporadas durante o crescimento da cultura. A pegada hídrica cinza é o volume de água que torna-se poluído durante a produção, definida como a quantidade de água necessária para diluir os poluentes lançados no sistema de águas naturais na medida em que a qualidade da água do ambiente permanece acima dos padrões estabelecidos de qualidade da água.

Relacionado ao conceito de Pegada Hídrica azul, segundo Hoekstra et al. (2011), “a pegada hídrica azul é um indicador do uso consuntivo da chamada *água azul*”. Falkenmark & Rockström (2006) definem a água azul como “água líquida”. As fontes de água azul de acordo com Ercin et al. (2013), são as “águas superficiais e subterrâneas”.

Em relação ao conceito de Pegada Hídrica verde, esta é definida por Hoekstra et al. (2011) como “um indicador do uso da *água verde* por parte do homem”. Segundo Ercin et al. (2013) “a pegada hídrica verde é o volume de água verde consumida, que é particularmente relevante na produção da cultura”. A água verde de acordo com Falkenmark & Rockström (2006) é considerada “a precipitação que naturalmente é infiltrada pelo solo e que está em sua via de retorno à atmosfera”.

A avaliação da Pegada Hídrica de acordo com Hoekstra et al. (2011):

A avaliação da pegada hídrica é uma ferramenta analítica que pode auxiliar na compreensão sobre como atividades e produtos interagem com a escassez e a poluição da água e seus impactos relacionados e o que pode ser feito para assegurar que atividades e produtos não contribuam para o uso não sustentável dos recursos hídricos.

Essa ferramenta é esquematizada em quatro fases segundo Hoekstra et al. (2011): definição de objetos e escopo, contabilização da pegada hídrica, avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica e formulação de respostas à pegada hídrica.

A aplicação desse conceito pode ser feita para diversas finalidades: uma etapa do processo, um produto, um consumidor, um grupo de consumidores, uma área delimitada geograficamente, um negócio, um setor de negócios e a humanidade como um todo (HOEKSTRA et al., 2011).

Em relação à PH de uma plantação ou cultura em desenvolvimento, Hoekstra et al. (2011) consideram que:

Os setores agrícola e florestal são importantes consumidores de água, os produtos que envolvem estes setores em seu sistema de produção geralmente

apresentam uma pegada hídrica significativa. Para estes produtos é importante se observar a pegada hídrica do processo de desenvolvimento das culturas ou das árvores.

Em relação ao cálculo da PH em uma área delimitada geograficamente, parte-se inicialmente do método de avaliação em relação à produção existente em uma nação. Segundo Hoekstra & Mekonnen (2012):

A pegada hídrica da produção nacional é definida como o volume total de água doce consumido ou poluído dentro do território da nação como um resultado das atividades nos diferentes setores da economia. Ela pode ser calculada pela soma de todas as pegadas hídricas de todos os processos de consumo ou poluição da água em curso no país. Geralmente, pode-se distinguir três principais setores de uso da água: o setor agrícola, o setor industrial e o setor de abastecimento de água doméstico.

Em acréscimo a esse conceito, há também a relação entre a PH interna e externa, explicada por Hoekstra & Chapagain (2007):

Uma pegada hídrica de uma nação (m^3/ano) tem dois componentes: a pegada hídrica interna e a externa. A pegada hídrica interna (PH_i) é definida como a utilização de recursos hídricos domésticos para produzir os bens consumidos pelos habitantes do país. É a soma do volume de água total dos recursos hídricos domésticos na economia nacional menos o volume de água virtual exportado para outros países, desde relacionadas com a exportação de produtos produzidos internamente.

O cerne dessa relação está na transferência da água, que conforme Hoekstra & Chapagain (2007):

Quando há uma transferência de um produto de um lugar para outro, há pouca transferência física direta de água (para além do conteúdo em água do produto, o que é bastante insignificante em termos de volume). Existe, contudo, uma transferência significativa de água no sentido virtual.

A redução da Pegada Hídrica é indispensável para garantir a sustentabilidade do recurso hídrico. Isso poderá ser alcançado promovendo-se o aumento da eficiência na utilização de água no setor agrícola, e – sugere-se – no setor agropecuário: aproveitamento da água da chuva e melhorias nos sistemas de irrigação para o cultivo de grãos; emprego da água da chuva para a limpeza das instalações; manutenção constante na instalação hidráulica que propicia a dessedentação. Igualmente importante é sensibilizar consumidores, tendo em vista que a maior parte das pessoas não tem conhecimento da água que está contida nos produtos que consome e como poderia reduzir essa porção (DENIZE, 2012).

Em relação à água no sentido virtual, Chapagain & Orr (2009) consideram que “a água virtual refere-se à quantidade de água que é necessária para produzir um determinado produto. O teor de água virtual pode ser avaliado em campo ou processamento, dependendo do item específico ou âmbito do estudo”.

A aplicabilidade a outras áreas geograficamente delimitadas pode ser explicada a partir da premissa de que “o cálculo da pegada hídrica de um município, estado ou outra unidade administrativa assemelha-se ao cálculo da pegada hídrica de um país ou de uma bacia hidrográfica. O mesmo esquema de cálculo de pegada hídrica pode ser aplicado (HOEKSTRA et al., 2011)”.

A distinção entre a Pegada Hídrica azul e a verde é muito importante em razão dos impactos hidrológicos, ambientais e sociais, tal como os custos e impactos do uso da água superficial e do subsolo. Esta definição difere dos custos e impactos do uso de água de chuva (HOEKSTRA et al., 2011). A Pegada Hídrica cinza indica o grau de poluição de água doce associada ao processo de produção. Hoekstra (2011) define essa componente da Pegada Hídrica como sendo o volume de água doce que é requerido para assimilar a carga de poluentes baseando-se nas concentrações naturais e nos padrões de qualidade de água existentes. Ela é calculada dividindo-se a carga de poluentes pela diferença entre a máxima concentração aceitável para aquele poluente específico e sua concentração natural naquele corpo de água que assimila o poluente (SILVA et al., 2013).

2.2. Precipitação

A precipitação pluvial tem sido bastante estudada em diferentes regiões do mundo, em face de sua importância no ciclo hidrológico e a manutenção dos seres vivos no planeta. No contexto da agricultura de sequeiro, Azevedo & Silva (2007) destacam que a estação de crescimento das culturas depende da época em que as chuvas efetivamente começam.

De acordo com Tucci (2005):

A precipitação é entendida em hidrologia como toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. Neblina, chuva, granizo, saraiva, orvalho, geada e neve são formas diferentes de precipitações. O que diferencia essas formas de precipitações é o estado em que a água se encontra.

Segundo Silva et al. (2007), “a precipitação pluvial é um dos elementos meteorológicos de grande importância, pois está diretamente relacionada aos mais diversos setores da sociedade, de forma que o regime pluviométrico afeta a economia, o meio ambiente e a sociedade, como um todo”. Ainda segundo o autor, na agricultura, o conhecimento da precipitação pluvial e sua variação ao longo de um ciclo de cultivo são bastante significativos à obtenção de rendimentos satisfatórios. Assim como é imprescindível para o dimensionamento de reservatórios de água, na elaboração de projetos de proteção e conservação do solo e em atividades de lazer e/ou esportivas. Por estas e outras razões, é muito importante conhecer a probabilidade de ocorrência de chuva.

2.2.1. Precipitação efetiva

Barreto et al. (2004) define a precipitação efetiva como “a fração da precipitação natural que está disponível para atender a demanda evapotranspirativa da cultura”. Sobre o aproveitamento da precipitação natural como efetiva, Barreto et al. (2004) considera:

Quando ocorrem chuvas fortes e intensas, apenas uma fração da água precipitada infiltra no solo para ficar disponível à cultura. O restante percola e escoa superficialmente. Neste caso diz-se que a efetividade da chuva é baixa. Quando o solo encontra-se com baixo teor de umidade e ocorrem chuvas de baixa intensidade e frequentes, as perdas por percolação e escoamento superficial são pequenas, ou podem não existir, aumentando a efetividade da chuva.

Ainda sobre o conceito de precipitação efetiva, considera-se a existência de definições diferentes sobre ela. Conforme Sampaio et al. (2000), “a precipitação efetiva que, no seu sentido mais plano, significa a precipitação útil ou utilizável; entretanto, este conceito varia bastante, de acordo com a área de interesse”.

Já especificando duas áreas de interesse, Sampaio et al. (2000) considera que “no abastecimento, a água de real interesse é aquela que entra no reservatório e na geração de energia, é interessante a quantidade que escoa superficialmente”. Na área de interesse de produção agrícola, Sampaio et al. (2000) cita Dastane (1974) definindo a precipitação efetiva como algo que “aponta as necessidades de água no preparo do solo e lixiviação de sais sendo, deste modo, a precipitação total menos as perdas por escoamento superficial e percolação profunda e a variação de umidade no solo”.

Outra definição de precipitação efetiva segundo Tucci (2005), “é a parcela do total precipitado que gera o escoamento superficial. Para obter o hietograma correspondente à precipitação efetiva é necessário retirar os volumes evaporados, retidos nas depressões e os infiltrados”.

Sobre como se determina a precipitação efetiva, de acordo com Sampaio et al. (2000):

Vários fatores influem na porção efetiva da precipitação total, os quais podem atuar isoladamente ou interagindo com outros. Qualquer fator que

afete a infiltração, o escoamento superficial ou a evapotranspiração, tem influência no valor da precipitação efetiva”.

2.3. Evapotranspiração

A evapotranspiração compreende a perda combinada de água de uma superfície úmida (solo) e transpiração das plantas. Tanto a evaporação como também a transpiração ocorrem simultaneamente na natureza e não é fácil a distinção entre os dois processos. A evaporação é determinada pela disponibilidade de água na camada superficial do solo e pelo saldo de radiação que chega nessa superfície. No estádio inicial de desenvolvimento de uma determinada cultura, a fração da evaporação é alta, diminuindo durante o estádio de crescimento. À medida que a cultura cobre a superfície do solo, a transpiração passa a ser o principal processo (ALLEN et al., 1998).

Um dos procedimentos utilizados para estimativa das necessidades de água das culturas envolve a determinação de evapotranspiração de referência (ET₀), a qual, mediante a utilização de coeficientes de culturas (K_c) apropriados, permite estimar a evapotranspiração da cultura (ET_c), nos diferentes estágios de seu desenvolvimento vegetativo (DOORENBOS & PRUITT, 1975; WRIGHT, 1982; BURMAN et al., 1983 e SEDIYAMA, 1987).

A irrigação na região semiárida do Nordeste do Brasil é um fator decisivo no processo de desenvolvimento da agricultura regional, sem a qual, tornar-se-ia economicamente inviável o cultivo de fruteiras tropicais. Atualmente, em função da constante preocupação com a gestão dos recursos hídricos, é imperativo o aperfeiçoamento de métodos de manejo de solo e água, bem como o aprimoramento de sistemas de irrigação que garantam a produção desejada com máxima eficiência no consumo de água. O objetivo básico da irrigação é fornecer um determinado volume de água que seja capaz de atender a demanda hídrica necessária ao ótimo desenvolvimento e produção das culturas. Isto deve ser alcançado de maneira eficiente, adotando-se medidas capazes de proporcionar um manejo de irrigação adequado (SOUZA et al., 1997).

O consumo de água de determinada cultura é uma função direta da demanda evapotranspirativa do local, do conteúdo de água presente no solo e da capacidade de

resistência da planta à perda de água através das folhas. Neste sistema solo-planta-atmosfera, a transferência de água ocorre de forma passiva, em resposta às diferenças de potenciais de água estabelecidos entre o gradiente de potencial formado entre o solo e as células das raízes da planta (SILVA, 1996).

O manejo da água em culturas irrigadas tem como ponto chave decidir como, quanto e quando irrigar. A quantidade de água a ser aplicada é normalmente determinada pela necessidade hídrica da cultura, podendo ser estimada através da evapotranspiração ou por meio da tensão da água no solo. Para se determinar o momento da irrigação, além de outros parâmetros mencionados, pode-se utilizar outras medidas de avaliação de água no solo, como turno de irrigação, ou considerar os sintomas de deficiência de água nas plantas (SOUZA et al., 1997).

A evapotranspiração tem sido, há muito tempo, objeto de estudo de muitos pesquisadores. Doorenbos & Kassam (1979) apresentaram a terminologia de evapotranspiração máxima (ETc), como um parâmetro que expressa o consumo hídrico das culturas sob condições de suprimento de água adequado. De acordo com Doorenbos & Kassam (1979), a ETc refere-se à perda de água de uma cultura agronômica, sem restrições de água e em qualquer estágio de desenvolvimento.

A determinação da ETc é imprescindível, não só na agricultura irrigada, como também útil na agricultura de sequeiro, pois permite o ajustamento de época de semeadura dentro da estação de crescimento, em função da disponibilidade hídrica média da região, determinando maior eficiência no aproveitamento das precipitações pluviais (BERLATO & MOLION, 1981), além de possibilitar a identificação da necessidade de utilização de irrigações suplementares. O conhecimento da ETc é de considerável importância não só no aspecto físico e biológico mas também na engenharia aplicada, tendo em vista que numa área irrigada, o dimensionamento dos equipamentos hidráulicos leva em consideração tal parâmetro (PAVANI, 1985).

A Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem (ICID) e a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), consideram o método de Penman-Monteith como o padrão para o cálculo da evapotranspiração de referência, a partir de dados meteorológicos (SMITH, 1991; ALLEN et al., 1998).

Conforme Allen et al. (1994a), a evapotranspiração é um processo governado por trocas de energia de uma superfície vegetada e é limitado pela quantidade de energia disponível. Jesen et al. (1990) relatam que a equação de Penman-Monteith é a mais precisa, quando usada na base horária e somando os valores para obter estimativa diária de ETo. Segundo os autores, exemplos de cálculos mostram claramente que quando se utilizam dados diários, a equação de Penman-Monteith, pode proporcionar estimativa precisa de ETo. Entretanto, deve-se ter prudência no manuseio, como advertem Doorenbos & Pruitt (1977), o uso de dados climáticos médios em equações combinadas pode conduzir a erros significativos.

A FAO através de seus consultores (SMITH, 1991) recomenda que os métodos empíricos de estimativa de ETo sejam calibrados e validados para outras regiões, sendo a equação PM-FAO a referência padrão para esses ajustes. Essa aplicação deve ser feita para locais próximos que tenham medidas climáticas suficientes.

Allen et al. (1998) relatam que estudos realizados nos EUA e na Europa, confirmam a precisão e consistência de Penman-Monteith, para climas úmidos e áridos.

A fórmula de Penman tem sido, até hoje, a base para a maioria dos estudos teóricos e experimentais de evaporação natural. Ela combina o balanço de energia na superfície com um termo aerodinâmico, cuja equação resultante é comumente conhecida como equação combinada (SEDIYAMA, 1996). O autor afirma que tem-se procurado desenvolver trabalhos no sentido de se avaliar a equação de Penman-Monteith para estimativa da ETo, uma vez que tem sido observado que ela tem dados melhores resultados para a estimativa da ETo de uma cultura hipotética e atende mais de perto, a definição original de ETP de Penman e o conceito adotado pela FAO-24 para ETo.

2.3.1. Evapotranspiração de referência

A evapotranspiração de referência (ET₀) segundo Allen et al. (1998) é “a taxa de evapotranspiração de uma superfície de referência, que ocorre sem restrições de água”.

Sobre a aplicação do conceito de evapotranspiração de referência, Allen et al. (1998) define que “foi introduzido para estudar a demanda de evapotranspiração da atmosfera, independentemente do tipo e desenvolvimento do cultivo, e das práticas de manejo”.

2.3.2. Evapotranspiração de cultura

Conforme Allen et al. (1998):

A evapotranspiração do cultivo sob condições padrão se denomina (ET_c), e se refere à evapotranspiração de qualquer cultivo quando se encontra isento de enfermidades, com boa fertilização e que se desenvolve em parcelas amplas, sob ótimas condições de solo e água, e que alcança a máxima produção de acordo com as condições climáticas reinantes”.

A evapotranspiração de cultura (ET_c) segundo Allen et al. (1998) “será diferente que a do cultivo de referência (ET₀) na medida em que suas características de cobertura do solo, propriedades da vegetação e resistência aerodinâmica diferem daquelas para a grama”.

Sobre o cálculo do ET_c, Figueiredo et al. (2009) cita Doorenbos & Pruitt (1977) ao definir que “a evapotranspiração de uma cultura (ET_c) pode ser calculada a partir da evapotranspiração de referência (ET₀) e do coeficiente de cultivo (K_c) em seus diferentes estádios fenológicos”.

2.4. Coeficiente de cultura

Um planejamento da irrigação baseado em valores empíricos do K_c , que não seja do local estabelecido, certamente acarretará sobre-estimativa ou subestimativa das reais necessidades hídricas da cultura que, associado a outros fatores, reflete nos custos de produção, na redução da qualidade do produto e na produtividade agrícola (SILVA et al., 2000).

O coeficiente de cultura (K_c) é uma relação empírica entre a evapotranspiração de uma cultura (ET_c), sob condições de não estresse hídrico, e a evapotranspiração de referência (ET_o). Este coeficiente relata o desenvolvimento fenológico e fisiológico de uma cultura particular em relação à evapotranspiração de referência e também representa o uso de água de uma cultura específica, que é de importância relevante para a estimativa do seu requerimento hídrico, necessário para o dimensionamento de sistema de irrigação quanto para operacionalização de perímetros irrigados (MOHAN & ARUMUGAM, 1994; CLARK et al., 1996).

Diversos valores de K_c são relatados por Doorenbos & Pruitt (1977) e Allen et al. (1988), que apresentaram valores de K_c para um grande número de culturas, usualmente derivados de estudos relativos ao balanço hídrico no solo, sob diferentes condições climáticas. Todavia, Doorenbos & Pruitt (1977) enfatizam que há necessidade de calibração desses coeficientes, para as condições locais.

O coeficiente de cultivo (K_c), definido como uma relação entre a evapotranspiração máxima da cultura (ET_c) e a evapotranspiração de referência (ET_o), é um fator importante no indicativo do consumo de água ideal para a planta durante todo o seu ciclo, constituindo-se, portanto, num elemento imprescindível para um escalonamento mais racional de projeto e manejo de irrigação. O coeficiente de cultura depende do estádio de desenvolvimento da cultura, do sistema de irrigação, da densidade de plantio e das condições atmosféricas dominantes. Segundo Doorenbos & Pruitt (1977), o coeficiente de cultura relaciona a evapotranspiração de uma cultura que cresce sob condições ótimas produzindo rendimentos máximos com a de uma cultura de referência, com a cultura da grama.

Encarnação (1987) comenta que a necessidade de água de cada cultura em suas diferentes fases de desenvolvimentos, é realizada com o emprego de coeficientes culturais, os

quais são obtidos experimentalmente e permitem ajustar diferentes épocas de plantio em culturas de sequeiro e planejar o manejo de água em culturas irrigadas. Segundo Azevedo et al. (1993) em algumas culturas o coeficiente de cultura atinge valores superiores a unidade, particularmente durante o subperíodo de maior consumo hídrico, o que torna o termo "potencial" de significado questionável.

2.5. Cultura da batata-doce

Conforme Silva et al. (2002), “a batata-doce é uma hortaliça tuberosa muito popular e cultivada em todo o território brasileiro. A planta é rústica, de ampla adaptação, alta tolerância à seca e de fácil cultivo”. Segundo Resende et al. (2012):

A batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) é um alimento energético, apresenta cerca de 30% de matéria seca que contém em média 85% de carboidratos, cujo componente principal é o amido. Comparada a outras estruturas vegetais amiláceas, possui maior teor de matéria seca, carboidratos, lipídios, cálcio e fibras que a batata inglesa, mais carboidratos e lipídios que o inhame e mais proteína que a mandioca.

Em relação às possibilidades de consumo da batata-doce, de acordo com Silva et al. (2002):

A batata doce pode ser consumida diretamente, cozida, assada ou frita, ou na forma de doces. Os brotos e as ramas (últimos 10 a 15 cm, empanados) podem também ser utilizados na alimentação humana. Na indústria, a batata-doce é matéria-prima para a produção de doces (marrom-glacê), pães, álcool e um amido de alta qualidade, empregado na fabricação de tecidos, papel, cosméticos, adesivos e glucose. As batatas e as ramas podem, também, ser destinadas à alimentação animal, principalmente de bovinos e suínos, seja *in natura*, ou como silagem (apenas as ramas).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2006), o município de Itabaiana é o maior produtor de batata-doce no Estado de Sergipe. Relacionado a isso, de acordo com Melo et al. (2009):

Os perímetros irrigados Jacarecica e Poção da Ribeira, localizados em Itabaiana, destacam-se pela produção de hortaliças e por se constituírem em áreas de agricultura familiar. Dentre as hortaliças, a batata-doce representa uma boa alternativa de renda, especialmente pelo baixo custo de produção e por apresentar um ciclo de 90 a 120 dias, o qual propicia fluxo regular de capital na produção.

Sobre o comércio da produção de batata-doce em Itabaiana, Carvalho e Costa (2005) define que “a comercialização dessa raíz ocorre tanto nos espaços de produção (sítios) quanto no Mercado de Hortifrutigranjeiro de Itabaiana, ocorrendo a presença de intermediário no local de produção, no mercado de Itabaiana e no momento da exportação”.

Em relação ao alcance do comércio da produção da batata-doce, conforme Carvalho e Costa (2005):

Esse produto tem o maior alcance espacial entre os negociados em Itabaiana e é constante durante todo o ano em nível interno e externo. A comercialização dessa raíz na esfera interna atende demanda do mercado nacional, podendo ser temporária, a depender da sazonalidade, principalmente para estados nordestinos como Piauí, Maranhão, Pernambuco e Ceará, e para região Sul; e permanente quando atende a demanda semanal de municípios de Sergipe, Bahia e Alagoas.

2.6. CROPWAT 8.0

O modelo CROPWAT é o mais utilizado nos estudos pesquisados de Pegada Hídrica, empregado em diversos estudos consultados, que incluem Pina (2010), Muller (2012), Mekonnen e Hoekstra (2010), Salmoral et al. (2010), Velázquez (2007), dentre outros. Este

modelo faz a estimativa da evapotranspiração de culturas agrícolas, com base na equação de Pennman-Monteith.

O software CROPWAT tem como público-alvo agrometeorologistas, agrônomos e engenheiros de irrigação, pois é utilizado como ferramenta de aplicação no desenvolvimento de recomendações para práticas de irrigação e no planejamento de irrigação de acordo com o suprimento de água da região ao longo do ano, levando-se em consideração as chuvas durante o período. Possui versões para Windows e DOS sendo as mais recentes escritas em Pascal (FAO, 2010).

De acordo com Minuzzi et al. (2014), o software CROPWAT 8.0 foi “desenvolvido pela FAO especificamente para dar suporte às decisões quanto ao manejo da irrigação”.

Com relação à obtenção de dados de irrigação através do software, Sampaio et al. (2000) define que “o cálculo das necessidades de irrigação é efetuado pela diferença entre a evaporação máxima da cultura e a precipitação efetiva, com base em dados mensais, utilizando alguns métodos empíricos na determinação da precipitação efetiva”.

3. METODOLOGIA

3.1. Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado no Perímetro Irrigado Poção da Ribeira (PIPR), localizado no município de Itabaiana no Território Agreste Central do Estado de Sergipe. O perímetro (Figura 1) encontra-se a treze quilômetros da sede municipal de Itabaiana, cujas coordenadas geográficas são 10°42"S e 37°24'W, a cinquenta quilômetros de Aracaju, capital sergipana. O espaço é administrado pela Companhia de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Irrigação de Sergipe (COHIDRO).

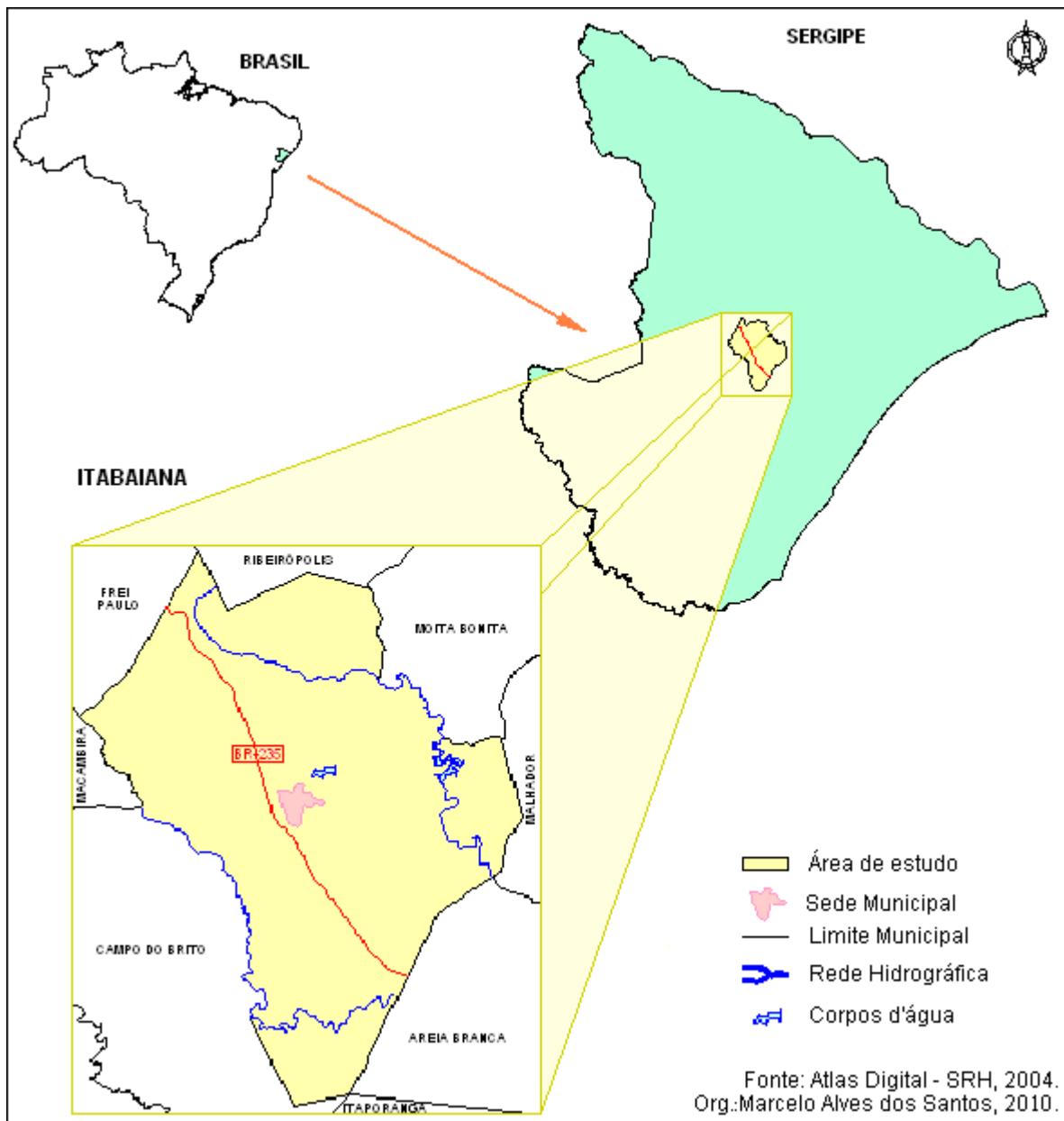
Segundo informações da COHIDRO (2012), o Perímetro Irrigado Poção da Ribeira possui área de 1.970 hectares, sendo 1.100 deles irrigáveis, divididos em 466 lotes irrigados cujas áreas individuais não superam cinco hectares de área. O método predominante de irrigação é a aspersão convencional.

A estrutura física do PIPR conforme a COHIDRO (2012) consiste em uma barragem de terra no rio Traíras com 26 metros de altura, 500 metros de comprimento de crista, formando um reservatório de acumulação normal de 16,5 milhões de metros cúbicos de água e por um sistema de irrigação por aspersão que atinge 1.100 hectares de área irrigável.

Ainda de acordo com a COHIDRO (2012), área do perímetro está localizada dentro da bacia do rio Traíras, afluente pela margem esquerda do rio Vasa Barris, e seus tributários. A área de drenagem existente até a seção do rio Traíras onde há a barragem é de 195 quilômetros quadrados.

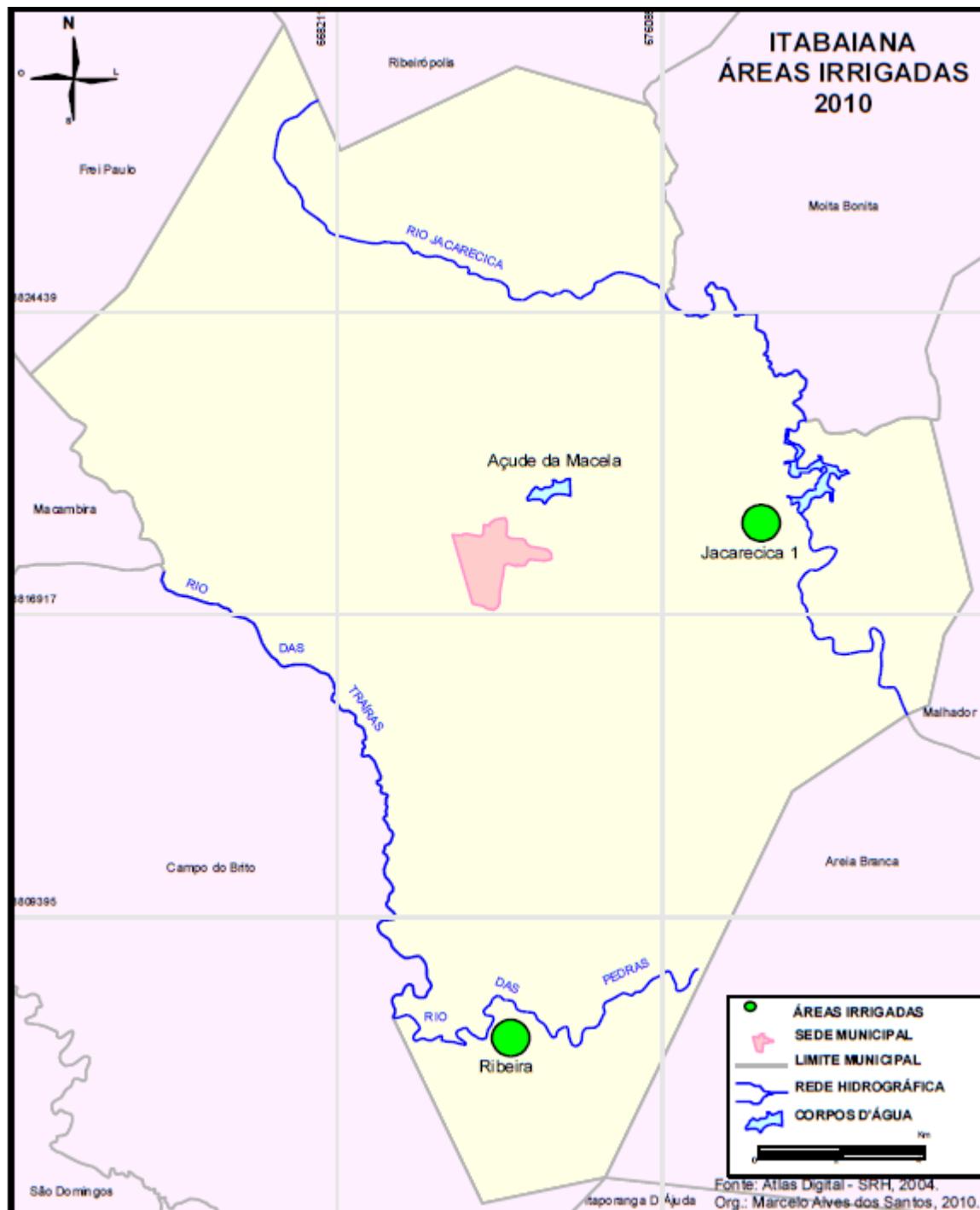
As principais culturas exploradas no PIPR segundo a COHIDRO (2012) são: batata-doce, coentro, cebolinha, pimentão, tomate, couve, amendoim, berinjela, alface e feijão.

Figura 1. Localização do município de Itabaiana-SE.



Fonte: Santos (2013)

Figura 2. Localização dos perímetros irrigados Poção da Ribeira e Jacarecica I em Itabaiana-SE.



Fonte: Santos (2013)

3.2. Dados climáticos

Os valores de pluviosidade (em milímetros), umidade relativa do ar (em porcentagem), velocidade do vento (em metros por segundo), insolação diária (por horas) e temperaturas máximas e mínimas (ambas em graus Celsius), foram fornecidos pela COHIDRO e são valores médios mensais relacionados ao período entre 2004 e 2013 obtidos na estação meteorológica do PIPR (Figura 2), que está localizada na latitude 10°56'S, longitude 37°39'W e a 160 metros acima do nível do mar.

Figura 3. Estação meteorológica no PIPR em Itabaiana-SE



Fonte: Augusto César Barros Rocha/COHIDRO (2015)

A avaliação dos dados meteorológicos do PIPR foi feita a partir dos dados meteorológicos do Perímetro Irrigado Jacarecica I (PIJAC I), localizado no município de Itabaiana e administrada pela COHIDRO. A estação meteorológica do PIJAC I está localizada na latitude 10°44'S, longitude 37°20'W e a 161 metros acima do nível do mar.

Para calcular os componentes azul e verde da Pegada Hídrica de 2010, 2011 e 2012, foram utilizados os dados específicos dos respectivos anos disponibilizados pela estação meteorológica do PIPR.

A partir dos dados meteorológicos obtidos da COHIDRO e utilizando o software CROPWAT 8.0 da FAO, determinou-se os valores de evapotranspiração de referência (ET₀) (Equação 1), precipitação efetiva (P_{eff}) e evapotranspiração da cultura (ET_c) (Equação 2).

3.3. Evapotranspiração de referência

O cálculo da evapotranspiração de referência (ET_c) pelo método Penman-Monteith é definido pela seguinte função:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \left(\frac{900U_2}{T + 237} \right)(e_a - e_s)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad [\text{mm/dia}^{-1}] \quad (1)$$

R_n representa o saldo de radiação (MJ.m⁻² d⁻¹), G refere-se ao fluxo de calor no solo (MJ.m⁻² d⁻¹), T simboliza a temperatura média diária do ar (°C), U₂ representa a velocidade do vento média diária a dois metros de altura (m.s⁻¹), e_a refere-se à pressão atual de vapor média diária (kPa), e_s refere-se à pressão da saturação do vapor média diária (kPa), Δ simboliza a declividade da curva de pressão de vapor no ponto de temperatura média (kPa °C⁻¹), e γ representa o coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹).

3.4. Precipitação efetiva

O cálculo de precipitação efetiva (Peff) através do CROPWAT 8.0 pode ser feito por quatro métodos diferentes de cálculo. O recomendado por Hoekstra et al. (2011) é o método USDA SCS (método do Serviço de Conservação do Solo do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos):

3.5. Evapotranspiração da cultura

O cálculo de evapotranspiração da cultura (ETc) é baseado na multiplicação entre evapotranspiração de referência (ETo) e o coeficiente de cultura (Kc), conforme a seguinte função:

$$ET_c = Kc \square ETo \quad [\text{mm dia}^{-1}] \quad (2)$$

3.6. Dados sobre a cultura da batata-doce

Os dados sobre a cultura da batata-doce referentes ao período de crescimento e coeficiente de cultivo (Kc) são os dados fornecidos por Allen et al. (1998). Os dados sobre produtividade da cultura da batata-doce no perímetro irrigado Poção da Ribeira provém da COHIDRO e referem-se às médias anuais de 2010, 2011 e 2012. Segundo a COHIDRO, o período de cultivo da batata-doce é de 120 dias, o que permite a existência de três safras anuais.

Figura 4. Colheita de batata-doce no PIPR em Itabaiana-SE



Fonte: Felipe Coringa/Ascom COHIDRO (2012)

3.7. Evapotranspiração azul e verde

Os cálculos de evapotranspiração azul e verde basearam-se nas funções apresentadas por Hoekstra et al. (2011) e feitos através do CROPWAT 8.0. A utilizada e citada por Hoekstra et al. (2011) é a opção DHC (demanda hídrica da cultura), onde não são consideradas as limitações hídricas para o crescimento das culturas.

A função da evapotranspiração azul (Equação 3) é calculada através do valor de evapotranspiração total da cultura (ETc) sendo subtraído pelo da precipitação efetiva (Peff). Se ETc for maior que Peff, haverá valor positivo de ETazul, porém se Peff for superior a ETc, aplica-se o fator zero, que faz o valor de ETazul ser igual a zero:

$$ET_{azul} = \min(0, ETc - Peff) \quad [mm/periód] \quad (3)$$

A função da evapotranspiração verde (Equação 4) é calculada pelo mínimo entre a evapotranspiração total da cultura (ETc) e a precipitação efetiva (Peff), ou seja, o valor menor entre ambos:

$$ET_{verde} = \min(ETc, Peff) \quad [mm/periodo] \quad (4)$$

3.8. Demanda hídrica dos componentes azul e verde

As demandas hídricas da cultura azul e verde foram calculadas pelas seguintes equações apresentadas por Hoekstra et al. (2011):

$$DHC_{azul} = 10 \sum_{d=1}^{pdc} ET_{azul} \quad [m^3/ha] \quad (5)$$

$$DHC_{verde} = 10 \sum_{d=1}^{pdc} ET_{verde} \quad [m^3/ha] \quad (6)$$

ETazul e ETverde são respectivamente as evapotranspirações azul e verde, pdc refere-se ao período de desenvolvimento da cultura em dias, d=1 representa o somatório feito ao longo do período entre o dia do plantio e o dia da colheita e o fator 10 visa a conversão da profundidade da água de milímetros para metros cúbicos por hectare.

3.9. Componentes da Pegada Hídrica

Para determinar os valores dos componentes azul e verde da Pegada Hídrica da cultura da batata-doce, foram utilizadas as seguintes equações aplicadas por Hoekstra et al. (2011):

$$PH_{azul} = \frac{DHC_{azul}}{Prtv} \quad [m^3/ton] \quad (7)$$

$$PH_{verde} = \frac{DHC_{verde}}{Prtv} \quad [m^3/ton] \quad (8)$$

DHCazul e DHCverde representam respectivamente as necessidades hídricas azul (Equação 5) e verde (Equação 6) e Prtv é a produtividade da cultura em toneladas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias meteorológicas mensais no período entre 2004 e 2013 referentes ao perímetro irrigado Poção da Ribeira necessárias para a obtenção dos valores determinados da evapotranspiração azul e verde através do software CROPWAT 8.0, estão apresentados na Tabela 1:

Tabela 1: Médias meteorológicas mensais entre 2004 e 2013 do PIPR em Itabaiana-SE

| Mês | Temp. Mín. (°C) | Temp. Máx. (°C) | Umid. (%) | Vel. Vento (m/s) | Insolação (horas) | Prec. (mm) |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------|------------------|-------------------|------------|
| Janeiro | 22,3 | 33 | 49 | 2,4 | 7,3 | 47,7 |
| Fevereiro | 22,8 | 32,2 | 47 | 2,3 | 7,6 | 77,5 |
| Março | 23,5 | 33 | 51 | 2,1 | 8,6 | 93,2 |
| Abril | 23,3 | 31,7 | 53 | 1,7 | 6,7 | 145,4 |
| Maio | 22,3 | 28,9 | 58 | 1,5 | 5,6 | 213,1 |
| Junho | 21,5 | 27,6 | 54 | 1,6 | 4,9 | 187,6 |
| Julho | 20,8 | 27,2 | 54 | 1,7 | 4,6 | 177,4 |
| Agosto | 20,4 | 28,1 | 52 | 1,8 | 5,9 | 137,2 |
| Setembro | 21 | 28,1 | 43 | 2,1 | 6,9 | 94,8 |
| Outubro | 21,8 | 29,1 | 43 | 2,4 | 6,8 | 54,6 |
| Novembro | 22,3 | 30,5 | 47 | 2,7 | 8,9 | 23,5 |
| Dezembro | 22,4 | 31,2 | 46 | 2,6 | 8,5 | 21,1 |

Fonte: COHIDRO (2014)

Com as médias meteorológicas disponíveis, permitiu-se os cálculos, através do CROPWAT 8.0 dos valores anuais de evapotranspiração de referência (ET₀), evapotranspiração da cultura (ET_c) da batata-doce e de precipitação efetiva (P_{eff}) do perímetro irrigado Poção da Ribeira correspondendo à soma dos períodos de três ciclos anuais da cultura, onde cada ciclo dura até 120 dias segundo Melo et al. (2009).

Antes de avançar nos cálculos para encontrar os valores dos componentes azul e verde da Pegada Hídrica da batata-doce, precisou-se avalizar as médias meteorológicas do PIPR obtidas, através da apresentação do mesmo tipo de informações de um local próximo ao perímetro, mais precisamente o Perímetro Irrigado Jacarecica I (PIJAC I), localizado no

município de Itabaiana, e administrado pela COHIDRO e cujas médias meteorológicas também são correspondentes ao período entre 2004 e 2013:

Tabela 2: Médias meteorológicas mensais entre 2004 e 2013 do PIJAC I em Itabaiana-SE

| Mês | Temp. Mín. (°C) | Temp. Máx. (°C) | Umid. (%) | Vel. Vento (m/s) | Insolação (horas) | Prec. (mm) |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------|------------------|-------------------|------------|
| Janeiro | 21,5 | 31,7 | 53 | 1,5 | 8,5 | 55,7 |
| Fevereiro | 21,4 | 31,2 | 57 | 1,4 | 7,4 | 54 |
| Março | 22,1 | 32 | 59 | 1,3 | 7,8 | 59 |
| Abril | 21,2 | 29,7 | 62 | 1,1 | 6,7 | 147,5 |
| Maio | 21,8 | 28,2 | 62 | 0,9 | 5,5 | 211,9 |
| Junho | 21,9 | 28,5 | 67 | 0,9 | 5 | 172,2 |
| Julho | 21,1 | 28,1 | 69 | 0,9 | 4,3 | 184,8 |
| Agosto | 21 | 28,5 | 58 | 1,1 | 5,8 | 128,2 |
| Setembro | 21,5 | 29,2 | 60 | 1,2 | 6,8 | 85 |
| Outubro | 21,8 | 30,1 | 53 | 1,3 | 6,8 | 74,3 |
| Novembro | 22,7 | 31,7 | 50 | 1,6 | 8,4 | 20,6 |
| Dezembro | 22,9 | 33,3 | 53 | 1,6 | 8,6 | 25,6 |

Fonte: COHIDRO (2014)

O passo seguinte na avaliação das médias meteorológicas do PIPR foi comparar as suas médias anuais com as do PIJAC I, ambas apresentadas na Tabela 3:

Tabela 3: Médias meteorológicas anuais entre 2004 e 2013 do PIPR e do PIJAC I em Itabaiana-SE

| Mês | Temp. Mín. (°C) | Temp. Máx. (°C) | Umid. (%) | Vel. Vento (m/s) | Insolação (horas) | Prec. (mm) |
|---------|-----------------|-----------------|-----------|------------------|-------------------|------------|
| PIPR | 22 | 30 | 50 | 2,1 | 6,9 | 106,1 |
| PIJAC I | 21,7 | 30,2 | 59 | 1,2 | 6,8 | 101,6 |

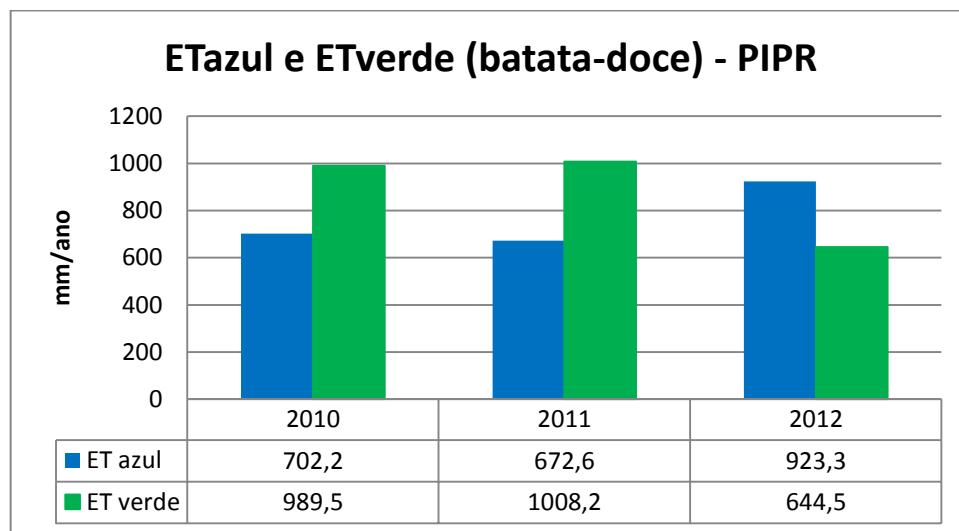
Fonte: COHIDRO (2014)

Com base nas médias apresentadas, verificou-se que a média anual do PIPR em relação ao PIJAC I é aproximadamente 1,4% maior na temperatura mínima, 0,7% menor na temperatura máxima, 18% menor na umidade relativa do ar, 42,9% maior na velocidade do vento, 1,5% maior na insolação e 4,2% maior na precipitação.

Após a comparação entre as médias meteorológicas, pode-se avançar no trabalho dos dados do PIPR para a obtenção dos valores de Pegada Hídrica da cultura da batata-doce.

A partir dos valores obtidos de evapotranspiração da cultura (ETc) e de precipitação efetiva (Peff) de 2010, 2011 e 2012, foram calculados os respectivos valores da evapotranspiração azul (ETazul) e evapotranspiração verde (ETverde) através das Equações 3 e 4 respectivamente, cujos resultados estão apresentados na Figura 5:

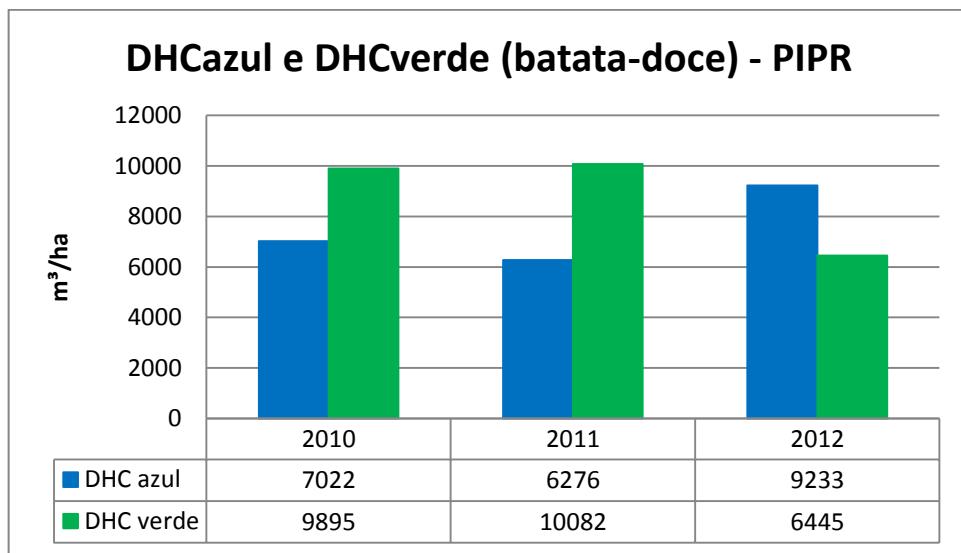
Figura 5: Valores de evapotranspiração azul e verde da cultura da batata-doce em 2010, 2011 e 2012 no PIPR em Itabaiana-SE



A partir dos valores obtidos de ETazul e ETverde, observou-se que os valores de 2010 e 2011 mostram que ETverde é superior que ETazul e que há proximidade nos valores de ambos os componentes em ambos os anos, enquanto notou-se uma inversão em 2012, onde ETazul possui valor superior ao da ETverde.

Obtidos os valores de ETazul e ETverde, foram calculados os componentes azul (DHCazul) e verde (DHCverde) da demanda hídrica da cultura da batata-doce através das Equações 5 e 6 respectivamente, cujos resultados estão apresentados na Figura 6:

Figura 6: Valores de demanda hídrica da cultura azul e verde da cultura da batata-doce em 2010, 2011 e 2012 no PIPR em Itabaiana-SE



Observou-se que os resultados de DHCazul e DHCverde de 2010 e 2011 mostram que DHCverde supera DHCazul em ambos os anos e que houve nos valores de 2012 alteração onde DHCverde é inferior a DHCazul. Tendência diferente da apresentada pelo trabalho de Albuquerque (2013) relacionado à Pegada Hídrica da cultura da cana de açúcar no estado da Paraíba, onde observou-se que em níveis diferentes de irrigação, a DHCverde manteve valores próximos quando se aplicou maior quantidade de água azul no cultivo, mas que houve aumento da DHCazul por essa razão.

Para determinar a Pegada Hídrica azul e verde da cultura da batata-doce nos anos de 2010, 2011 e 2012 foram necessários valores de produtividade médios anuais cujos valores estão apresentados na Tabela 4:

Tabela 4: Médias anuais de 2010, 2011 e 2012 de produtividade da cultura da batata-doce no PIPR em Itabaiana-SE

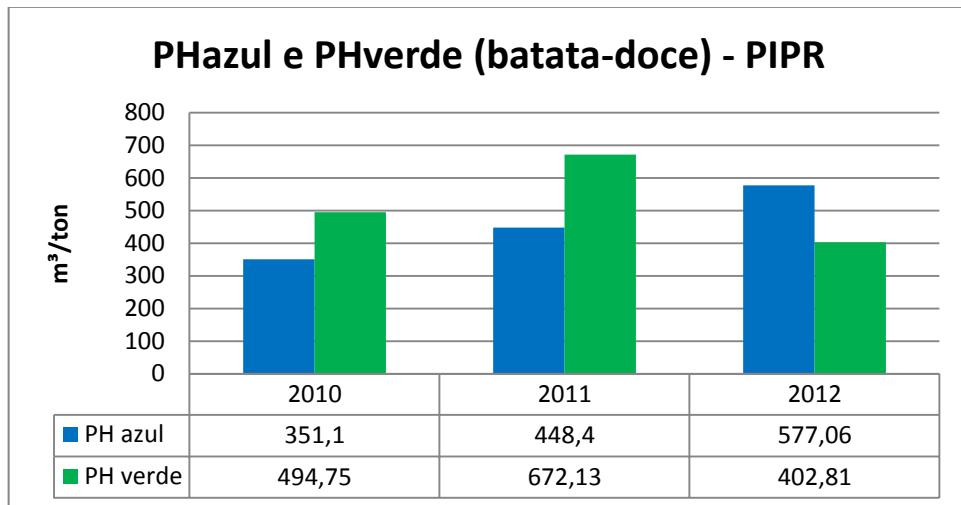
| Ano | 2010 | 2011 | 2012 |
|------------------------|------|------|------|
| Produtividade (ton/ha) | 20 | 15 | 16 |

Fonte: COHIDRO (2014)

Com os DHCazul, DHCverde e as médias anuais de produtividade disponíveis, foram obtidos os valores de 2010, 2011 e 2012 da Pegada Hídrica azul (PHazul) e da Pegada Hídrica

verde (PHverde) através das Equações 7 e 8 respectivamente. Os valores estão apresentados na Figura 7:

Figura 7: Valores de Pegada Hídrica azul e verde da cultura da batata-doce em 2010, 2011 e 2012 no PIPR em Itabaiana-SE



Em 2010 e 2011, os valores de PHverde são maiores que os de PHazul em ambos os anos, enquanto 2012 apresenta a inversão de relevância entre os componentes azul e verde da PH observadas na evapotranspiração e na demanda hídrica da cultura, onde o componente azul possui valor mais alto que o verde.

Fenômeno distinto em comparação ao trabalho de Albuquerque (2013) relacionado à PH da cana-de-açúcar no estado da Paraíba, notou-se que praticamente não houve reduções na PHverde quando se aplicou maior quantidade de água azul na cultura, mas que houve aumento da PHazul por essa razão.

Já em relação ao trabalho de Müller (2012), que calculou a PH da produção do biodiesel de soja em todas as suas etapas, observou-se que na fase agrícola do processo, de produção da matéria-prima, houve a utilização do componente verde para o cultivo da soja e de sementes, enquanto o componente azul teve aplicação limitada à produção de insumos, indicando que o cultivo baseou-se o sistema de sequeiro, diferentemente do que ocorre com a cultura da batata-doce no PIPR.

Em relação à soma dos valores de PH dos componentes verde e azul de 2010, 2011 e 2012, fez-se uma comparação com os índices de produtividade média anual do cultivo da batata-doce respectivos mostrada na Tabela 5:

Tabela 5: Comparação entre valores combinados de PH e médias de produtividade da batata-doce de 2010, 2011 e 2012 no PIPR em Itabaiana-SE

| Ano | PHazul (m ³ /ton) | PHverde (m ³ /ton) | PH combinado (m ³ /ton) | Prod. (ton/ha) |
|------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|----------------|
| 2010 | 351,1 | 494,75 | 845,85 | 20 |
| 2011 | 448,4 | 672,13 | 1120,53 | 15 |
| 2012 | 577,06 | 402,81 | 979,87 | 16 |

A produtividade média da batata-doce de 2010 é 25% superior ao de 2011 e 20% superior ao de 2012. A soma dos componentes azul e verde da PH de 2010 é aproximadamente 24,5% menor que o de 2011 e 13,7% menor que o de 2012. Isso significa que pode-se relacionar um menor índice médio anual de produtividade da batata-doce com maior consumo de água observado através da PH independentemente da relevância que os componentes azul e verde possam ter no valor combinado.

Sobre a existência de diferenças de valores apresentadas nas Figuras 5, 6 e 7, elas podem ser explicadas a partir de diferenças entre as médias meteorológicas mensais de 2010 (Tabela 6), 2011 (Tabela 7) e 2012 (Tabela 8) no PIPR:

Tabela 6: Médias meteorológicas mensais de 2010 do PIPR em Itabaiana-SE

| Mês | Temp. Mín. (°C) | Temp. Máx. (°C) | Umid. (%) | Vel. Vento (m/s) | Insolação (horas) | Prec. (mm) |
|-----------|-----------------------|-----------------------|--------------|------------------------|----------------------|---------------|
| Janeiro | 22,2 | 31,9 | 45 | 2,2 | 8,4 | 35 |
| Fevereiro | 22 | 30,9 | 50 | 2,3 | 7,6 | 78,8 |
| Março | 22,5 | 31,7 | 48 | 2,2 | 7,5 | 92,1 |
| Abril | 20,9 | 28,5 | 46 | 1,6 | 3,9 | 247 |
| Maio | 18,9 | 26,6 | 55 | 1,3 | 6,4 | 147,6 |
| Junho | 19,1 | 24,9 | 46 | 1,7 | 3,2 | 355,2 |
| Julho | 18 | 24,4 | 43 | 1,9 | 5,4 | 184,1 |
| Agosto | 18,5 | 34 | 39 | 1,8 | 5,8 | 119,6 |
| Setembro | 21,4 | 28,5 | 36 | 2,3 | 4,6 | 175,2 |
| Outubro | 20,3 | 30,3 | 34 | 2,5 | 3,5 | 37,6 |
| Novembro | 21,2 | 32 | 70 | 2,9 | 10 | 0 |
| Dezembro | 23,1 | 33 | 47 | 2,6 | 8,2 | 8,2 |

Fonte: COHIDRO (2014)

Tabela 7: Médias meteorológicas mensais de 2011 do PIPR em Itabaiana-SE

| Mês | Temp. Mín. (°C) | Temp. Máx. (°C) | Umid. (%) | Vel. Vento (m/s) | Insolação (horas) | Prec. (mm) |
|-----------|-----------------------|-----------------------|--------------|------------------------|----------------------|---------------|
| Janeiro | 21 | 30,2 | 51 | 2,3 | 5,6 | 67,4 |
| Fevereiro | 20,2 | 27,8 | 41 | 6,3 | 7,1 | 56 |
| Março | 21,9 | 33,2 | 47 | 2 | 8,7 | 116 |
| Abril | 21,8 | 29,4 | 51 | 1,5 | 6,8 | 245,6 |
| Maio | 20,8 | 26 | 58 | 1,5 | 4,1 | 220,4 |
| Junho | 17,6 | 24,2 | 52 | 1,1 | 6 | 138,7 |
| Julho | 18,7 | 26,1 | 52 | 1,6 | 4,6 | 142,8 |
| Agosto | 18,1 | 25,8 | 46 | 1,6 | 7,3 | 94,1 |
| Setembro | 18,3 | 26,4 | 46 | 1,9 | 5,9 | 74,9 |
| Outubro | 20,4 | 29,4 | 47 | 2,5 | 7,5 | 72 |
| Novembro | 23 | 31,4 | 53 | 2,3 | 6,6 | 107 |
| Dezembro | 23,2 | 32,5 | 51 | 2,5 | 6,7 | 1,2 |

Fonte: COHIDRO (2014)

Tabela 8: Médias meteorológicas mensais de 2012 do PIPR em Itabaiana-SE

| Mês | Temp. Mín. (°C) | Temp. Máx. (°C) | Umid. (%) | Vel. Vento (m/s) | Insolação (horas) | Prec. (mm) |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------|------------------|-------------------|------------|
| Janeiro | 23,5 | 32,5 | 55 | 2,5 | 6,7 | 24,8 |
| Fevereiro | 23,6 | 32,7 | 56 | 2 | 6,9 | 93,3 |
| Março | 23 | 32,6 | 56 | 2,4 | 8,9 | 20 |
| Abril | 23 | 33 | 58 | 2,1 | 8,3 | 12,6 |
| Maio | 23,1 | 31,3 | 63 | 2 | 6,6 | 127,5 |
| Junho | 21,6 | 29,2 | 67 | 1,8 | 6,3 | 92,5 |
| Julho | 19,1 | 26 | 80 | 1,9 | 5,2 | 131,2 |
| Agosto | 20,2 | 27,6 | 92 | 2,1 | 6,5 | 157,8 |
| Setembro | 20,2 | 28,2 | 76 | 2,4 | 6,8 | 102,3 |
| Outubro | 19,9 | 27,1 | 76 | 2,3 | 7,1 | 23,9 |
| Novembro | 20,8 | 30,9 | 56 | 2,8 | 8,6 | 0 |
| Dezembro | 21,2 | 31,1 | 65 | 2,8 | 9,3 | 10 |

Fonte: COHIDRO (2014)

A partir destes dados, foi feita uma comparação entre as médias anuais aproximadas de 2010, 2011 e 2012 de cada um dos dados meteorológicos com as respectivas médias anuais de produtividade da cultura da batata-doce no PIPR. A comparação está apresentada na Tabela 9:

Tabela 9: Comparação entre médias meteorológicas anuais e médias de produtividade da batata-doce de 2010, 2011 e 2012 no PIPR em Itabaiana-SE

| Ano | Temp. Mín. (°C) | Temp. Máx. (°C) | Umid. (%) | Vel. Vento (m/s) | Insolação (horas) | Prec. (mm) | Prod. (ton/ha) |
|------|-----------------|-----------------|-----------|------------------|-------------------|------------|----------------|
| 2010 | 20,7 | 29,7 | 47 | 2,1 | 6,2 | 123,4 | 20 |
| 2011 | 20,4 | 28,5 | 50 | 2,3 | 6,4 | 111,3 | 15 |
| 2012 | 21,6 | 30,2 | 67 | 2,3 | 7,3 | 66,7 | 16 |

Fonte: COHIDRO (2014)

Com base nestes dados, observou-se que a média de precipitação em 2012 tem valor aproximadamente 45,1% inferior à de 2010 e 40,1% inferior à de 2011, causando a necessidade de cobrir a deficiência de água verde na cultura da batata-doce com água azul em

2012, refletindo no maior peso da PHazul sobre a PHverde nesse ano, algo inverso ao que foi notado em 2010 e 2011, onde a maior quantidade de precipitação fez a demanda por água proveniente de irrigação ser menor.

Diante disso, diferenças apresentadas nas Figuras 5, 6 e 7 permitem considerar que a oferta de água através da precipitação contribuiu na relação entre os componentes azul e verde da PH. Quanto maior a precipitação, maior será o aproveitamento da água proveniente dela por parte da cultura da batata-doce e menor será a necessidade de se completar a quantidade de água para o desenvolvimento do cultivo e vice versa.

Também foi notado que as variações apresentadas entre as médias de produtividade da batata-doce não podem ser explicadas pelas variáveis meteorológicas utilizadas nos cálculos da Pegada Hídrica, pois a variação das médias de 2010, 2011 e 2012 em cada uma delas não segue a mesma proporção de variação dos índices médios de produtividade da batata-doce correspondentes a período avaliado.

A partir das relações observadas entre a variação na produtividade da batata-doce com o consumo de água, sendo que menor produtividade representa maior consumo de água, ou seja, maior PH, e da influência exercida pela precipitação, por influir diretamente na oferta de água azul e verde utilizada na cultura, pode-se estabelecer parâmetros para otimizar a produtividade da batata-doce.

Como há mais de um ciclo anual de cultivo da batata-doce na Poção da Ribeira, possibilitando grande rotatividade, então é possível, por exemplo, optar por aumentar ou diminuir a área de plantio para o ciclo seguinte caso o anterior tenha rendimento maior ou menor na produtividade, ou mesmo alterando os períodos de plantio para reduzir o consumo de água azul, porém no caso específico do PIPR, faltam informações precisas específicas de cada ciclo, considerando que os produtores de cada lote do perímetro irrigado seguem seus próprios planos de produção agrícola seguindo suas respectivas necessidades econômicas.

Mesmo com essas limitações, os valores estimados dos componentes azul e verde da Pegada Hídrica podem ser adicionados aos estudos sobre a cultura da batata-doce em combinação com outros trabalhos relacionados, como o de Melo et al. (2009), que trata dos custos de produtividade da batata-doce, auxiliando em cálculos sobre os custos financeiros da produção na parte sobre o consumo de água e oferecendo um novo índice para facilitar a

definição com maior exatidão as necessidades hídricas para desenvolver as safras da batata-doce no PIPR de modo a conciliar suas demandas hídricas com a de outras culturas existentes no perímetro.

5. CONCLUSÕES

A partir dos dados estimados apresentados sobre a Pegada Hídrica da produção da batata-doce no perímetro irrigado Poção da Ribeira, permitem as seguintes conclusões:

1. Pode-se relacionar um índice médio anual de produtividade da cultura da batata-doce com um maior consumo de água, o que se reflete em uma maior PH, independentemente da relação entre os componentes azul e verde no valor combinado;
2. A Pegada Hídrica da batata-doce sofreu influência da precipitação, o que resultou em maior relevância ao componente verde quando a média pluviométrica anual é maior (2010 e 2011) e maior relevância ao componente azul quando a média de precipitação é menor, no caso, 2012 em relação a 2010 e 2011;
3. Não foi notada relação direta entre as variações dos índices de produtividade da cultura da batata-doce com as variáveis meteorológicas utilizadas nos cálculos da PH.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, M. F. **Medições e Modelagem da Pegada Hídrica da Cana-de-Açúcar Cultivada no Brasil.** 2013. 40 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2013.
- ALDAYA, M. M.; SANTOS, P. M.; LLAMAS, M. R. Incorporating the Water Footprint and Virtual Water into Policy: Reflections from the Mancha Occidental Region, Spain. **Water Resources Management**, v. 24, p. 941-958, 2010.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements.** FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Roma, 1998. 300p.
- AZEVEDO, P. V. de; RAMANA RAO, T. V.; AMORIM NETO, M. da S. et al. Necessidades hídricas da cultura do algodeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28. n. 7, p. 863-870, 1993.
- AZEVEDO, P. V. de; SILVA, F. D. S. Risco Climático para o Cultivo do Algodoeiro na Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, p.408-416, 2007.
- BARRETO, N. B.; SILVA, A. A. G.; BOLFE, L. E. **Irrigação e Drenagem na empresa agrícola - impacto ambiental versus sustentabilidade.** Aracaju: Embrapa. 2004. 418p.
- BERLATO, M. A.; MOLION, L. C. B. **Evaporação e evapotranspiração.** Porto Alegre: IPAGRO. 1981. 95p. (Boletim Técnico, 7).
- BURMAN, R. D.; LARAMIE, W. Y.; NIXON, P. R.; WRIGHT, J. L. & PRUITT, W. O. Water requirements. In: JENSEN, M. E. (ed.). *Design and operation of farm irrigation systems*. Michigan, **ASAE**, Monograph n. 3. p. 189–255. 1983.
- CARVALHO, D.; COSTA, J. E. da. Distribuição de Hortalícias e Raízes em Itabaiana/SE. **Revista Mercator**, Fortaleza, v. 10, n. 21, p. 103-119, jan./abr. 2011.
- CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y. The Water Footprint of Coffee and Tea Consumption in the Netherlands. **Ecological Economics**, n. 64, p. 109-118, 2007.

CHAPAGAIN, A. K.; ORR, S. An Improved Water Footprint Methodology Linking Global Consumption to Local Water Resources: A Case of Spanish Tomatoes. **Journal of Environmental Management**, n. 90, p. 1219-1228, 2009.

CLARK,; ALBREGTS, E. E.; STANLEY, C. D. et al. Water requirements and crop coefficients of drip-irrigated strawberry plants. **Transaction of ASAE**, St. Joseph, v. 39, n. 3, p. 905-912, 1996.

COMPANHIA DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SERGIPE. **Relatório de Atividades Exercício 2012**. Aracaju: Cohidro, 2012. 63p.

DASTANE, N.G. **Effective Rainfall and Irrigated Water Requirements**. FAO Irrigation and Drainage Paper 25. Roma, 1974. 68p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield Response to Water**. FAO Irrigation and Drainage Paper 33. Roma, 1979. 193p.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Guidelines for predicting crop water requirements. 2.ed. Rome: **FAO**, 1977. 179p. (Irrigation and Drainage Paper, 24)

ENCARNAÇÃO, C. R. F. **Exigências Hídricas e Coeficientes Culturais da Batata (*Solanum Tuberosum L.*)**. 1987. 62 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). USP/Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 1987.

ERCIN, A. E.; MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. Sustainability of National Consumption From A Water Resources Perspective: The Case Study For France. **Ecological Economics**, n. 88, p. 133-147, 2013.

FALKENMARK, M.; ROCKSTRÖM, J. The New Blue and Green Water Paradigm: Breaking New Ground for Water Resources Planning and Management. **Journal of Water Resources, Planning and Management**, v. 132, n.3, p. 129-132, 2006.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **CROPWAT 8.0 model**. Roma: FAO. 2010. Disponível em <http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html>. Acesso em 25 de agosto de 2013.

FIGUERÊDO, V. B.; MEDEIROS, J. F.; ZOCOLER, J. L.; ESPINOLA SOBRINHO, J. Evapotranspiração da cultura da melancia irrigada com água de diferentes salinidades. **Engenharia Agrícola**, v.29, p. 231-240, 2009.

GERBENS-LEENES, W.; HOEKSTRA, A. Y.; VAN DER MEER, T. The Water Footprint of Bioenergy. **Proceeding of National Academy of Sciences**, v. 106, n. 25, p. 10219-10223, 2009.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K. The Water Footprints of Morocco and the Netherlands: Global Water Use as a Result of Domestic Consumption of Agricultural Commodities. **Ecological Economics**, n. 64, p. 143-151, 2007.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M.; MEKONNEN, M. M. **Manual de Avaliação da Pegada Hídrica: Estabelecendo o Padrão Global**. Water Footprint Network, 2011. 191p.

HOEKSTRA, A. Y.; MEKONNEN, M. M. The Water Footprint of Humanity. **Proceeding of National Academy of Sciences**, v. 109, n. 9, p. 3232-3237, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário**. Rio de Janeiro: 2006. Disponível em <http://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Agropecuario_2006/Censo_Agropecuario_2006.zip>. Acesso em 8 de janeiro de 2015.

JENSEN, M.W.; BURMAN, R.D.; ALLEN, R.G. **Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements**. New York: American Society of Civil Engineers. 1990. 329 p. (ASCE. Manual and Reports on Engineering Practices, 70).

MARACAJÁ, K. F. B.; SILVA, V. P. R.; ALEIXO, D. O.; NETO, J. D.; ARAÚJO, L. E. Uma medida de sustentabilidade ambiental: pegada hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 100-105, 2013.

MINUZZI, R. B.; RIBEIRO, A. Jr. Requerimento de Água para Irrigação do Milho em Santa Catarina durante Eventos La Niña. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande , v. 16, n. 12, p. 1330-1337, 2012.

MELO, A. S.; COSTA, B. C.; BRITO, M. E. B.; NETTO, A. O. A.; VIÉGAS, P. R. A. Custo e Rentabilidade na Produção de Batata-Doce nos Perímetros Irrigados de Itabaiana, Sergipe. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 2, p. 119-123, 2009.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A.Y. The Green, Blue and Grey Water Footprint of Crops and Derived Crop Products. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.15, n.5, p.1577-1600, 2011.

MÜLLER, G. T. **Emprego da Pegada Hídrica e da Análise de Ciclo de Vida para a Avaliação do Uso da Água na Cadeia Produtiva do Biodiesel de Soja**. 2012. 188 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2012.

PAVANI, L. C. **Evapotranspiração e produtividade em feijoeiro comum (*Phaseolus Vulgaris* L. cv. Goiano Precoce) sob três níveis de potencial de água no solo**. 1985. 171p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 1985.

PINTO, J. E. S. S.; AGUIAR NETTO, A. O. **Clima, Geografia e Agrometeorologia: Uma Abordagem Interdisciplinar**. Aracaju: UFS. 2008. 221p.

SAMPAIO, S. C.; CORRÊA, M. M.; BÔAS, M. A. V.; OLIVEIRA, L. F. C. Estudo da Precipitação Efetiva para o Município de Lavras, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 4, n. 2, p. 210-213, 2000.

SANTOS, C. O. Questões Socioambientais nos Perímetros Irrigados do Município de Itabaiana/SE. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v.7, n.14, p.139-152, jan./abr. 2013.

SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração: Necessidade de Água para os Cultivos**. Brasília: ABEAS. 1996. 167p. (ABEAS. Curso de Engenharia de Irrigação. Módulo 2).

SEDIYAMA, G. C. **Necessidade de água para os cultivos**. Brasília: ABEAS. 1987. 143p.

SILVA, F. A. S. The ASSISTANT Software: Statistical Assistance. **International Conference on Computers in Agriculture**. Trans. ASAE, 1, 298-298, 1996

SILVA, J. B. C.; LOPES, C. A. **Cultivo da batata-doce (*Ipomoea batatas* L.)**. Brasília: Embrapa-CNPH. 1995. (Instruções técnicas, n.7). 18p.

SILVA, J. C.; HELDWEIN, A. B.; MARTINS, F. B.; TRENTIN, G.; GRIMM, E. L. Análise de Distribuição de Chuva para Santa Maria, RS. In: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v. 11, n. 1, p. 67-72, 2007.

SILVA, V.P.R. **Estimativa das necessidades hídricas da mangueira**. 2000. 126 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2000.

SMITH, M. **CROPWAT – A Computer Program For Irrigation Planning And Management**. *Irrigation and Drainage Paper 46*. Roma: FAO, 1992. 126p.

SMITH, M. **Report on the Expert Consultation on Procedures for Revision of FAO Guidelines for Prediction of Crop Water Requirements**. Roma: FAO, 1991, 54p.

SOUZA, V. F.; AGUIAR NETTO, A. O.; ANDADRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; SOUSA, A. P.; DANTAS NETO, J. **Manejo de irrigação através do balanço de água no solo**. Teresina: Embrapa – CPAMN. 1997. 36p. (Embrapa-CPANM. Documentos, 23).

THORNTHWAITE, C. W. An Approach Toward a Rational Classification of Climate. **Geographical Review**, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: ABRH/UFRGS. 2004. 943p.

WRIGHT, J. L. New Evapotranspiration Crop Coefficients. **Journal of Irrigation and Drainage Division**. ASAE, v. 108, n. IRZ, p. 57-74, 1982.