



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

VANDEMBERK ROCHA DE OLIVEIRA

**PEGADA HÍDRICA DA BANANA NAS PRINCIPAIS REGIÕES PRODUTORAS DO
CEARÁ**

FORTALEZA

2018

VANDEMBERK ROCHA DE OLIVEIRA

PEGADA HÍDRICA DA BANANA NAS PRINCIPAIS REGIÕES PRODUTORAS DO
CEARÁ

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de Concentração: Manejo de Irrigação.

Orientador: Prof. Raimundo Nonato Távora Costa

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

O52p Oliveira, Vandemberk Rocha de.
Pegada hídrica da banana nas principais regiões produtoras do Ceará / Vandemberk Rocha de Oliveira. –
2018.
93 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2018.
Orientação: Prof. Raimundo Nonato Távora Costa.

1. Manejo de irrigação. 2. Uso eficiente da água. 3. Escassez hídrica. I. Título.

CDD 630

VANDEMBERK ROCHA DE OLIVEIRA

PEGADA HÍDRICA DA BANANA NAS PRINCIPAIS REGIÕES PRODUTORAS DO
CEARÁ

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de Concentração: Manejo de Irrigação.

Aprovada em: 28 / 03 / 2018

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Ebenézer de Oliveira Silva (Examinador)
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)

Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra (Examinador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Renato Sílvio da Frota Ribeiro (Examinador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Silvio Carlos Ribeiro Vieira Lima
Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará S.A. (Adece)

*Aos meus pais, João Batista Eufrásio de Oliveira
(in memoriam) e Vanda Rocha de Oliveira, por estarem sempre presentes em todos os momentos da minha vida. À minha esposa, Viviane da Silva Barros, por ser minha maior incentivadora e meu alicerce.*

AGRADECIMENTOS

À Deus por me mostrar o caminho correto, que muitas vezes não é o mais fácil.

À Universidade Federal do Ceará e ao Departamento de Engenharia Agrícola (DENA) pela infraestrutura e oportunidade que possibilitou a realização deste trabalho.

Ao professor Raimundo Nonato Távora Costa, por sua orientação, apoio, paciência, sabedoria ao longo deste processo.

À Viviane da Silva Barros que por sua força e determinação foi essencial durante este trabalho, me ajudando e trazendo novas ideias e questionamentos.

Ao meu irmão, Walberk, por sua eterna amizade.

A minha irmã, Isabelle, por seu exemplo de superação.

Aos membros da banca: Ebenézer de Oliveira Silva, Francisco Marcus Lima Bezerra, Renato Sílvio da Frota Ribeiro e Silvio Carlos Ribeiro Vieira Lima, por terem aceitado prontamente o meu convite, e terem disponibilizado tempo para contribuir no enriquecimento desta Tese.

Ao Prof. Claudivan Feitosa de Lacerda, por sua dedicação ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.

Aos amigos Haroldo César e Roberto Bastos Cadengue por seus ensinamentos e incentivos.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola (Dena) por todo o apoio e serviços prestados, além da agradável convivência durante o curso.

A todos os demais Mestrandos e Doutorandos em Engenharia Agrícola UFC, pelo convívio saudável, pelos momentos de aprendizado, descontração e amizade.

A todos que conviveram comigo e contribuíram direta ou indiretamente para minha formação, expresso meus sinceros agradecimentos.

"Não se constrói a paz em estômagos vazios."
Norman Bourlaug
Prêmio Nobel da Paz em 1970

RESUMO

Os recursos hídricos serão suficientes para produzir o alimento requerido até 2050, entretanto muitas regiões irão enfrentar substancial escassez hídrica. Os países que apresentam regiões com escassez hídrica precisam planejar estratégias de gestão que garantam a segurança alimentar da população. A utilização de mecanismos inovadores e mais eficientes de gestão dos recursos hídricos será necessária para garantir a alocação e uso eficiente de água, garantir o acesso hídrico para uso doméstico e a produção agrícola, e proteger os recursos básicos naturais. A banana é uma das frutas mais consumidas no mundo. A produção mundial da banana chegou a 113,9 milhões de toneladas. É importante destacar que a bananicultura tem grande importância no agronegócio brasileiro, sendo que a região Nordeste contribui com a maior produção, aproximadamente 32% da produção nacional. A pesquisa tem por objetivo determinar a pegada hídrica da cultura da bananeira nos perímetros irrigados Jaguaribe Apodi e Tabuleiros de Russas, além de uma área produtora no município de Missão Velha, seguindo a metodologia descrita pelo Manual Avaliação da Pegada Hídrica, a qual se compõe de quatro fases: definição de objetivos e escopo; contabilidade da pegada hídrica; análise de sustentabilidade da pegada hídrica e formulação de respostas estratégicas. A avaliação da pegada hídrica pode contribuir com a tomada de decisão de governantes e produtores quanto ao real valor da água bruta, elevando assim as discussões relacionadas à cobrança de água bruta no setor agrícola, implantação e manejo das culturas nas diferentes bacias hidrográficas. As médias de pegada hídrica agrícola para Jaguaribe Apodi, Tabuleiros de Russas e Missão Velha foram de 998,3; 1.048 e 1.107 $\text{m}^3 \text{t}^{-1}$, respectivamente. Para Missão Velha em razão das condições climáticas que demandam menor evapotranspiração de água azul, obtiveram-se resultados para a água azul de 780,9 $\text{m}^3 \text{t}^{-1}$. Já para Jaguaribe Apodi e Russas estes valores foram respectivamente de 830,6 e 862,7 $\text{m}^3 \text{t}^{-1}$. A região de Missão Velha por apresentar uma pegada hídrica azul inferior em até 47% à pegada hídrica azul das regiões da Chapada do Apodi e Russas sinaliza como uma região com potencial para atrair o cultivo irrigado desta cultura, não obstante a dependência da fonte de água subterrânea. A pegada hídrica total para a cultura da bananeira nas regiões de Limoeiro do Norte, Russas e Missão Velha foram superiores a pegada hídrica mundial em 26%, 33% e 40%, respectivamente.

Palavras-chave: Manejo de irrigação. Uso eficiente da água. Escassez hídrica.

ABSTRACT

Water resources will be sufficient to produce the required food by 2050, though many regions will face substantial water shortages. Countries with regions with water scarcity need to plan management strategies that ensure food security for the population. The use of innovative and more efficient water resource management mechanisms will be necessary to ensure efficient allocation and use of water, guarantee access to water for domestic use and agricultural production, and to protect basic natural resources. Banana is one of the most consumed fruits in the world. World banana production reached 113.9 million tonnes. It is important to highlight that banana farming is of great importance in Brazilian agribusiness, with the Northeast contributing the highest production, approximately 32% of the national production. The research aims to determine the water footprint of the banana crop in the irrigated perimeters Jaguaribe Apodi and Tabuleiros de Russas, as well as a production area in the municipality of Missão Velha, following the methodology described by the Water Footprint Assessment Manual, which is composed of four phases: goal setting and scope; water footprint accounting; sustainability analysis of the water footprint and formulation of strategic responses. The evaluation of the water footprint can contribute to the decision-making of government and producers regarding the real value of raw water, thus raising the discussions related to the collection of raw water in the agricultural sector, implantation and crop management in the different river basins. The agricultural water footprint averages for Jaguaribe Apodi, Tabuleiros de Russas and Missão Velha were 998.3; 1,048 and 1,107 m³ t⁻¹, respectively. For Old Mission because of the climatic conditions that require less evapotranspiration of blue water, results were obtained for blue water of 780.9 m³ t⁻¹. For Jaguaribe Apodi and Russas these values were respectively 830.6 and 862.7 m³ t⁻¹. The region of Missão Velha, because it presents a blue water footprint of up to 47% to the blue water footprint of the Apodi and Russas Plateau regions, indicates a region with potential to attract the irrigated crop of this crop, notwithstanding the dependence of the water source underground. The total water footprint for banana plantations in the regions of Limoeiro do Norte, Russas and Missão Velha were superior to the global water footprint in 26%, 33% and 40%, respectively.

Keywords: Irrigation management. Efficient water use. Water scarcity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Produção da banana por região brasileira (IBGE-2017)	17
Figura 2 -	Mapa de Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará.	29
Figura 3 -	Mapa do Percentual de Volume Armazenado Bacias Hidrográficas do Ceará dezembro/2016 (Cogerh, 2016)	30
Figura 4 -	Mapa de localização da Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe, 2013.	31
Figura 5 -	Localização dos poços e fontes dos sistemas aquíferos na Sub-bacia do Salgado	33
Figura 6 -	Fases de execução da Pegada Hídrica.	35
Figura 7 -	Fatores de Caracterização (FC) médios nas Unidades Hidrográficas Estaduais (UHE) das Regiões Hidrográficas no Atlântico Nordeste Oriental.....	41
Figura 8 -	Fluxograma da Fronteira do Sistema Agrícola.....	57
Figura 9 -	Evapotranspiração de referência, em mm mês ⁻¹ , estimada pela metodologia de Penman-Monteith (1991) para o município de Morada Nova no período de 1937 – 2016.	62
Figura 10 -	Evapotranspiração de referência, em mm mês ⁻¹ , estimada pela metodologia de Penman-Monteith (1991) para o município de Barbalha no período de 1973 – 2016.....	64
Figura 11 -	Disposição do espaçamento da cultura e das linhas laterais de irrigação.	66
Figura 12 -	Cavalete de setorização no Perímetro Irrigado Tabuleiros de Russas, CE.....	67
Figura 13 -	Rendimento (t ha ⁻¹ ano ⁻¹) obtido pelas amostras dos produtores em: a) Limoeiro do Norte (LN), b) Missão velha (MV) e c) Russas (R) para o ano de 2015.	68
Figura 14 -	Valores de evapotranspiração do cultivo de banana para as amostras do Jaguaribe Apodi (LN) e Tabuleiros de Russas (R).....	70
Figura 15 -	Valores de evapotranspiração do cultivo de banana para as amostras de Missão Velha.	71

Figura 16 - Pegada hídrica agrícola da banana em $\text{m}^3 \text{t}^{-1}$ para as amostras de Limoeiro do Norte e Russas	73
Figura 17 - Pegada hídrica agrícola da banana em $\text{m}^3 \text{t}^{-1}$ para as amostras Missão Velha.	74
Figura 18 - Pegada hídrica agrícola da banana em $\text{m}^3 \text{t}^{-1}$ para as amostras dos produtores de Limoeiro do Norte (LN), Russas (R) e Missão Velha (MV).	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Área colhida, quantidade produzida e valor da produção da lavoura Banana no Brasil, região Nordeste, Estado do Ceará-2017.....	19
Tabela 2 -	Regiões Climáticas Semelhantes no Estado do Ceará aos municípios que possuem dados climáticos completos para o cálculo da EToPM.....	25
Tabela 3 -	Coefficiente de cultura recomendados por Doorenbos e Kassan (2000) para a bananeira no primeiro ciclo de produção.....	27
Tabela 4 -	Coefficiente de cultura (Kc) recomendado por Allen et al. (2006) para dois ciclos de produção da bananeira.	27
Tabela 5 -	Principais métodos de avaliação de escassez hídrica.....	39
Tabela 6 -	Informações das amostras dos produtores selecionados - 2015.....	53
Tabela 7 -	Atributos físicos de amostra de solo na Chapada do Apodi – CE, 2012.....	54
Tabela 8 -	Atributos físicos do solo em amostra do Tabuleiros de Russas.....	55
Tabela 9 -	Dados de Evapotranspiração de Referência (ETo) e Precipitação Efetiva (Pe) para Estação Meteorológica de Morada Nova (1962-2016).....	61
Tabela 10 -	Dados de Evapotranspiração de Referência (ETo) e Precipitação Efetiva (Pe) para Estação Meteorológica de Barbalha (1973-2016)	63
Tabela 11 -	Padrões de irrigação descrito pelos produtores analisados ...	65
Tabela 12 -	Demanda Hídrica da banana fase agrícola ($m^3 kg^{-1}ano^{-1}$) – média para as amostras no Jaguaribe Apodi (Limoeiro do Norte), Tabuleiros de Russas (Examinador) (Russas)e Missão Nova (Missão Velha).....	72
Tabela 13 -	A pegada hídrica das fases agrícolas para as amostras do Apodi, Russas e Missão Velha. ($m^3 t^{-1}$).	75

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
3	AVALIAÇÃO DA PEGADA HÍDRICA DO PROCESSO DE CULTIVO DA CULTURA DA BANANA SOB IRRIGAÇÃO, EM FASE DE PRODUÇÃO DE CAMPO.....	49
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
	REFERÊNCIAS	81
	ANEXO A – INVENTÁRIO MUNICÍPIO DE RUSSAS	88
	ANEXO B – INVENTÁRIO MUNICÍPIO DE MISSÃO VELHA	91

1 INTRODUÇÃO GERAL

A escassez hídrica irá resultar no aumento da concorrência por água que irá restringir a produção agrícola e afetar negativamente oportunidades de rendimento e sustento de muitos residentes de áreas rurais e urbanas.

Como agravante a escassez hídrica estima-se que em 2050 serão necessários um incremento de 60% de disponibilidade de alimentos para suprir a demanda alimentar do mundo e a agricultura vai manter-se como o maior sector consumidor de água a nível mundial.

O relatório conjunto da FAO e do CMA relata que a agricultura, mesmo com o crescimento da urbanização, sofrerá uma redução de disponibilidade de água devido a uma maior competição por parte das cidades e indústria.

Um grande desafio para os agricultores, especialmente os pequenos agricultores, será de encontrar maneiras de aumentar a sua produção com uma disponibilidade limitada de terra e água, através da tecnologia e de práticas de gestão.

Na América Latina, a disponibilidade de água está sendo ameaçada por vários fatores, dentre eles, o crescimento populacional, a urbanização rápida, a contaminação da água e o aumento da demanda de água. Como consequência do crescimento demográfico e do desenvolvimento econômico, há um maior desequilíbrio entre a demanda e a oferta dos recursos hídricos mundiais. A utilização de terras e água para a produção de biocombustíveis também acarreta competição com a produção de alimentos, e esta tendência poderá reduzir os recursos hídricos e a disponibilidade de alimentos (Huang et al., 2015). Assim, é essencial uma abordagem sustentável da gestão dos recursos hídricos na agricultura.

A adoção de práticas agrícolas que utilize um conjunto de equipamentos e técnicas para suprir a deficiência total ou parcial de água para as plantas tem se tornado primordial na produção de alimento em regiões semiáridas (ANA, 2017).

Embora apresente excelentes resultados de forma isolada, a irrigação é usualmente implementada em meio a outras melhorias no chamado “pacote tecnológico” do produtor rural, isto é, tende a ser acompanhada ou antecedida por aperfeiçoamentos em outros insumos, serviços, máquinas e implementos – melhorias que em conjunto resultam em diversos benefícios. Como dito anteriormente a irrigação é imprescindível em regiões áridas e semiáridas, a exemplo do Semiárido brasileiro, onde a segurança produtiva é bastante afetada pela escassez contínua de água, minimizada apenas no período mais úmido, entre os meses de dezembro e março, onde algumas culturas de sequeiro ainda podem se desenvolver. Entretanto em regiões afetadas pela escassez de água em períodos específicos do ano, como na região

Sudeste e, principalmente, Centro-Oeste, algumas culturas e safras só se viabilizam com a aplicação suplementar de água nestes períodos escassos, embora a produção possa ser realizada com menores riscos no período chuvoso.

Nos últimos anos, a pegada hídrica tem sido empregada para tornar transparentes os impactos sobre os recursos hídricos. Em seus primeiros estágios da pesquisa, a pegada hídrica de um produto representava o somatório do uso direto e indireto da água nas várias fases da produção, sem que o impacto desse uso fosse considerado (HOEKSTRA et al., 2011).

Além do método de pegada hídrica proposto pelo Manual de Avaliação da Pegada Hídrica, proposto por Hoekstra et al. (2011), uma grande variedade de métodos foi desenvolvida para determinação da pegada hídrica de produtos, entre eles o proposto pela norma ISO 14044, que estabelece normas e princípios, requisitos e orientações para calcular e relatar a pegada hídrica de produtos tendo por base a avaliação de impacto dos estudos do ciclo da vida (ACV).

A banana requer um fornecimento frequente de água, sendo que o déficit hídrico no solo, nos diferentes estágios de desenvolvimento da planta, pode influenciar diretamente seu potencial produtivo que depende de uma considerável taxa de transpiração e uma boa uniformidade de distribuição da umidade no solo durante todo o ano (MIRANDA et al., 2012).

A disponibilidade regular de água para a cultura da banana, nas regiões áridas e semiáridas do nordeste brasileiro, durante a fase de crescimento produz plantas mais altas, com maior área foliar resultando em plantas mais precoces e com maiores rendimentos.

A área colhida no Estado do Ceará correspondeu a 49.225 hectares no ano de 2015, ou seja, 9,3% da área nacional, com uma produção de 375.533 t, correspondendo a 5,6% da produção total do país. Os dados oficiais sobre o número de empregos efetivamente criados pela bananicultura são ainda inexistentes. Acredita-se, entretanto, que um emprego direto é criado a cada dois hectares de plantação, enquanto outros dois são gerados indiretamente para essa mesma área plantada. Nessa perspectiva, ter-se-ia em torno de 24.612 empregos diretos e mais 49.234 empregos indiretos. Entretanto, é uma proporção, na relação emprego por hectare, menor que a da fruticultura em geral, em virtude da baixa complexidade no cultivo e colheita da fruta (ADECE, 2013).

Com o intuito de medir o volume de água requerido por todos os bens consumidos pelas pessoas de um país, Hoekstra em (2003) introduziu o termo "pegada hídrica" (PH). Para quantificar o volume de água relativo a um produto, esse termo evoluiu ao longo dos anos, incorporando os conceitos de água verde, azul e cinza.

Hoekstra et al. (2011) definem água verde como aquela proveniente das chuvas armazenada no solo, disponível para o desenvolvimento das plantas. A água azul é aquela

estocada em reservatórios superficiais e subterrâneos e utilizada em processos de produção e a água cinza é aquela necessária para diluir a carga poluente oriunda dos processos de produção.

Sikirica (2011) comparou a pegada hídrica do cultivo de banana (pegada hídrica azul e verde) da fazenda “Dole” em Honduras (Guanacaste) com uma fazenda de um produtor independente. Os resultados mostraram que a pegada hídrica das bananas produzidas em uma fazenda independente é 9 % inferior às bananas produzidas na fazenda “Dole”. Isso, segundo o autor, é causado pelo fato de que os rendimentos do produtor independente, analisado, são maiores do que os obtidos na fazenda “Dole”.

Rocha (2014) mensurou o saldo da balança comercial de água virtual, de 1997 a 2012, do estado do Ceará. Para esse fim, o autor selecionou os principais produtos básicos agrícolas das pautas de exportação e importação de commodities, bem como utilizou a metodologia da pegada hídrica desenvolvida por Hoekstra et al. (2011), que contempla os consumos diretos e indiretos de água, em todos os locais em que ocorrem as cadeias produtivas dos bens e serviços. O autor selecionou os tipos de lavouras e as necessidades hídricas de cada cultura exportada, dentre elas a banana, observando os municípios que se destacam como maiores produtores. Ao comparar os termos proporcionais, os tipos de pegada hídrica dos produtos exportáveis, a banana apresentou a menor pegada hídrica verde, onde 33,7% do consumo de água dessa cultura provém dessa pegada.

O valor percentual de cada componente da pegada hídrica (verde, azul ou cinza) depende do tipo de cultura, do sistema de gestão de águas, do local de produção, do solo e do clima local (ROCHA, 2014). Neste contexto, é importante avaliar a pegada hídrica na banana produzida nos principais polos de fruticultura do Estado do Ceará, com ênfase nos perímetros irrigados do Jaguaribe Apodi, Tabuleiros de Russas e Missão Velha - um novo polo de fruticultura que despontou após 2013.

Nesse estudo realiza-se uma avaliação da pegada hídrica pela abordagem de Hoekstra et al. (2011). A pesquisa pressupõe que a pegada hídrica oferece um novo olhar para a avaliação do uso dos recursos hídricos, pois tem em conta que a água é um recurso que se caracteriza por fortes variações espaço temporais, por isso é um indicador que deverá melhorar efetivamente o uso de água.

A pesquisa teve como objetivo geral contabilizar a pegada hídrica verde (PH_{verde}), azul (PH_{azul}) e cinza (PH_{cinza}) para produtores de banana nos Perímetros Irrigados Jaguaribe Apodi (Limoeiro do Norte), Tabuleiros de Russas (Russas), além de áreas de produção no município de Missão Velha, considerando-se exclusivamente o processo agrícola.

Especificamente, a tese objetivou:

- Inventariar a produção de banana nos pólos de produção do Baixo Jaguaribe e do Salgado;
- Avaliar a pegada hídrica da banana nestes dois pólos;
- Discutir as limitações e benefícios dessa abordagem.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Produção de banana: aspectos socioeconômicos

A banana é uma das frutas mais consumidas no mundo. Dados da FAO (2017b) mostram que a produção mundial chegou a 113,9 milhões de toneladas no ano de 2015, um aumento de 10,4% em relação ao ano de 2012. O Brasil foi o segundo maior produtor mundial de banana, com 6,3 milhões de toneladas, atrás apenas da Índia (18,4 milhões de toneladas). A produtividade média brasileira, segundo a FAO (2017b), é baixa, apenas 14,2 t ha⁻¹, quando comparada com o desempenho dos outros países que lideram o mercado global, como a Costa Rica, cuja produtividade é de 50,7 t ha⁻¹. Segundo dados da FAO (2017b), a cultura ocupa 485 mil hectares do território brasileiro, enquanto a Costa Rica, com seus 42,8 mil hectares, tem mais que o triplo da nossa produtividade e uma produção três vezes menor que a nossa.

Segundo o IBGE (2017), o Brasil no decênio (2008-2017) apresentou um decréscimo de área cultivada com banana em 18%, sendo que no mesmo período a área colhida sofreu queda de 9,8%. No ano de 2017 a área plantada no Brasil foi de 469.492 ha, 3% menor quando comparado com 2016 (474.944 ha) e a área colhida foi de 465.434 ha. A produção agrícola e a produtividade para o decênio (2008-2017) variaram positivamente 3% e 5%, respectivamente. A produção no ano de 2017 da bananicultura brasileira foi de 6,67 milhões de toneladas, com um rendimento médio de 14,34 t ha⁻¹.

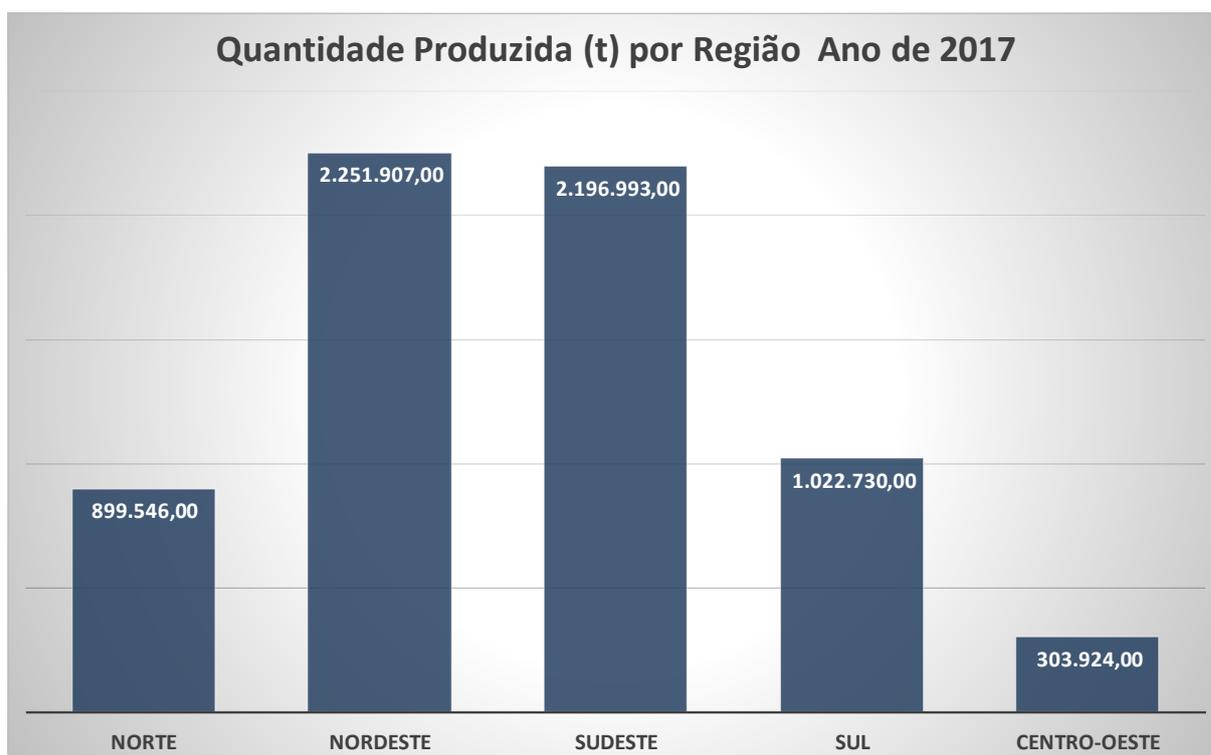
Para Andrigueto et al. (2009), a produção de banana, no Brasil, exhibe grandes variações nos padrões técnicos de cultivo e, conseqüentemente, na produtividade. Observa-se que, em alguns estados, a atividade da bananicultura é tipicamente de subsistência, apresentando até mesmo características de extrativismo, sendo possível em muitos casos o bananicultor adotar basicamente o plantio e a colheita, sem empregar nenhum trato cultural, principalmente entre os pequenos produtores.

O Ministério da Indústria e Comércio (MDIC) estima que o Brasil contribuiu no ano de 2015, com a exportação de banana de 80,3 mil toneladas, aproximadamente 0,5% das exportações mundiais. O mercado mundial de exportação brasileira com a cultura da banana no ano de 2015 foi na ordem de 24,9 milhões de dólares, e tendo como principal destino da banana brasileira a Argentina e o Uruguai (MDIC, 2017).

Banicultura no Nordeste

É importante destacar que a banicultura tem grande importância no agronegócio brasileiro, sendo que a região Nordeste contribui com a maior produção (Figura 1), correspondente a aproximadamente 34% da produção nacional, ou seja; 2,25 milhões de toneladas de frutos (IBGE, 2017).

Figura 1 - Produção da banana por região brasileira (IBGE-2017)



Fonte: IBGE (2017).

Segundo o Ministério da Agricultura, o valor bruto da produção (VBP) para a cultura da bananeira no ano de 2017 foi de 10,9 bilhões de reais. A região Nordeste tem o maior VBP do país com 3,0 bilhões de reais. O estado do Ceará é o segundo maior VBP do Nordeste com 0,48 bilhões de reais - sendo superado pelo estado da Bahia - e o sexto VBP nacional (AGRICULTURA, 2017).

Banicultura no Ceará

Na Tabela 1 são apresentadas área colhida, quantidade produzida e valores de produção da banana no Ceará. Observa-se que o estado representa aproximadamente 9,3% da

área colhida e 5,6% da quantidade e produzida no país. Por sua extensão e por seus diversos polos de produção, o Estado do Ceará, utiliza-se das mais variadas técnicas na produção da banana, desde produtores que utilizam tecnologias modernas de produção, como micropropagação de bananeira e tecnologias mais modernas de irrigação, até produtores que pouco ou nada usam de adubação. Destacam-se no Estado do Ceará os municípios de Missão Velha, Limoeiro do Norte e Quixeré com as maiores quantidades produzidas e respectivamente os maiores valores da produção para a cultura. Esses municípios que apresentam maior produtividade utilizam tecnologias modernas de produção, como micro propagação de bananeira, e tecnologias mais eficientes de irrigação. Tais tecnologias, que vão da produção propriamente dita quanto no processamento, resultam em produtividades elevadas e na melhor qualidade dos frutos ofertados ao mercado consumidor.

Tabela 1 - Área colhida, quantidade produzida e valor da produção da lavoura Banana no Brasil, região Nordeste, Estado do Ceará- 2017

Unidades Territoriais	Área destinada à colheita (Hectares)	Área colhida (Hectares)	Quantidade produzida (Toneladas)	Rendimento médio da produção (Quilogramas por Hectare)	Valor da produção (Mil Reais)
Brasil	469.492,00	465.434,00	6.675.100,00	14.341,67	8.050.362,00
Nordeste	188.676,00	188.041,00	2.251.907,00	11.975,62	2.576.860,00
Ceará	40.033,00	40.029,00	393.738,00	9.836,32	638.697,00
Missão Velha (CE)	1.725,00	1.725,00	26.100,00	15.130,43	90.438,00
Russas (CE)	1.185,00	1.185,00	15.150,00	12.784,81	49.474,00
Limoeiro do Norte (CE)	1.730,00	1.730,00	43.000,00	24.855,49	47.948,00
Quixeré (CE)	1.193,00	1.193,00	21.114,00	17.698,24	35.539,00
Varjota (CE)	803,00	803,00	20.412,00	25.419,68	23.039,00
Itapipoca (CE)	2.752,00	2.752,00	16.694,00	6.066,13	22.351,00
Iguatu (CE)	360,00	360,00	10.800,00	30.000,00	18.816,00
Reriutaba (CE)	396,00	396,00	1.657,00	4.184,34	7.489,00
Acaraú (CE)	121,00	121,00	1.442,00	11.917,36	4.832,00
Pentecoste (CE)	15,00	15,00	21,00	1.400,00	109,00

Fonte: IBGE/SIDRA – Produção Agrícola Municipal (<http://www.sidra.ibge.gov.br/>)

O Sistema de cultivo da bananicultura de alta tecnologia

Para Santos (2011) o sistema de produção da bananeira necessita de um bom planejamento, visando garantir a exequibilidade das atividades previstas. É importante observar os aspectos edafoclimáticos do local de implantação do pomar, bem como a qualidade da muda, que deve ser isenta de pragas e/ou doenças. A variedade de banana, a eficiência dos sistemas de irrigação e a drenagem da área também são aspectos importantes.

Aspectos botânicos

Segundo Dantas et al. (1997) a bananeira é uma planta herbácea, que se caracteriza pela exuberância de suas formas e dimensões das folhas. Apresenta tronco curto e subterrâneo, denominado de rizoma, servindo de órgão de reserva, onde estão inseridas as raízes adventícias e fibrosas. Resultante da união das bainhas foliares, o pseudocaule, termina com uma copa de folhas longas e largas, com nervura central desenvolvida. A inflorescência se caracteriza por emergir do centro da copa, com brácteas ovaladas de coloração normalmente roxo-avermelhada, onde em suas axilas nascem as flores. Grupo de flores reunidas forma o que se denomina de penca (mão) com um número variável de frutos (dedos), originados por partenocarpia. A princípio verdes, os frutos, tornam-se amarelos com a maturação. No decorrer de seu desenvolvimento há formação de rebentos (filhos), que surgem na base da planta, possibilitando a constante renovação dos bananais.

Aspectos edafoclimáticos

A temperatura ótima para o desenvolvimento da bananeira é em torno de 28 °C, enquanto temperaturas menores que 15 °C e maiores que 35 °C são os limites extremos para exploração da cultura. Dessa forma, se uma região apresenta valores de temperatura dentro desses limites e adequado suprimento de água e nutrientes, é possível o cultivo da bananeira nessa área. Plantas submetidas a temperaturas abaixo de 15 °C paralisam suas atividades de crescimento. Contudo, quando a temperatura é superior a 35 °C, há inibições no desenvolvimento da planta, devido, principalmente, à desidratação dos tecidos, em especial os foliares. Isto faz com que as folhas se tornem rígidas e sujeitas ao fendilhamento (SANTOS, 2011 apud BORGES E SOUZA, 2004).

Em locais com elevada insolação, o período para que o cacho atinja ponto de corte oscila entre 80 e 90 dias, sob pouca insolação, esse período pode variar entre 85 e 112 dias (LIMA et al., 2012).

O vento é considerado um elemento climático importante, pois pode causar danos significantes e até a destruição do bananal. Ventos com velocidades inferiores a 30 km h⁻¹, frequentemente, não prejudicam a planta, porém velocidade entre 40 e 55 km h⁻¹ já produzem danos moderados como, por exemplo, a quebra do pseudocaule. No entanto, quando os ventos atingem velocidade superior a 55 km h⁻¹, a destruição pode ser total. Contudo, cultivares de porte baixo podem suportar ventos de até 70 km h⁻¹ (CORDEIRO et al., 2000).

Na maioria dos solos agricultáveis encontrados no Brasil, a cultura da bananeira se desenvolve sem restrições. No entanto, faz-se necessário o cuidado de corrigir eventuais limitações físicas e químicas. O sistema radicular da bananeira, em sua grande maioria, concentra-se nos primeiros 0,40 m de profundidade do solo. A bananeira exige solos bem arejados, portanto, solos que apresentem tendência ao alagamento ou encharcamento devem ser implantadas técnicas de drenagem (BORGES et al. 2009).

O cultivo da bananeira demanda grandes quantidades de nutrientes para manter um desenvolvimento adequado da planta e, portanto, uma elevada produtividade, sendo o potássio e o nitrogênio, os nutrientes mais exigidos. Esses nutrientes podem ser supridos pelo próprio solo e pelos resíduos das colheitas. No entanto, para produtividades economicamente rentáveis, na maioria das vezes, é necessário aplicar fertilizantes químicos ou orgânicos (COELHO et al., 2008). O potássio e o nitrogênio são os nutrientes mais absorvidos e necessários para o crescimento da bananeira, seguidos pelo magnésio e pelo cálcio. Os nutrientes, enxofre e fósforo, encontram-se em sequência e em menor grau de absorção. Os micronutrientes mais absorvidos, em ordem crescente, são: cloro, manganês, ferro, zinco, boro e cobre.

Sistema de cultivo

O sistema de cultivo refere-se às práticas comuns de manejo associadas a determinada espécie vegetal, visando à sua produção a partir da combinação lógica e ordenada de um conjunto de atividades e operações (BARROS, 2015; HIRAKURI et al., 2012).

A limpeza da área e do preparo do solo para plantio, requer prática conservacionistas, como a implementação de controle de erosão, com a mínima utilização de

operações mecanizadas para reduzir a compactação e a degradação do solo, revolvimento do solo o mínimo possível, e proporcionar a conservação da biomassa vegetal sobre o solo.

Após a limpeza da área, o preparo do solo para plantio pode ser feito manualmente ou com o uso de máquinas. Devido à escassez de mão de obra muitos produtores hoje fazem sulcos em substituição ao coveamento para o plantio das mudas, mesmo o coveamento, causando menor perturbação no sistema possibilita a manutenção da matéria orgânica do solo, distribuída de maneira uniforme. A experiência tem mostrado que o excessivo uso de equipamentos de cultivo pode induzir ao aparecimento de camadas endurecidas, compactadas e de baixa permeabilidade. A inserção de práticas conservacionistas nos plantios de bananeiras objetiva preservar e melhorar a capacidade produtiva das terras (SILVA JUNIOR et al., 2010).

Para Silva Junior et al. (2010), dentre as práticas conservacionistas que podem ser usadas em plantios de bananeira na Zona da Mata Pernambucana citam-se: plantio e cultivo em curvas de nível; renques de vegetação permanente; terraceamento; adubação verde e uso de cobertura morta.

A propagação da muda pode ser obtida pelo método da propagação vegetativa convencional, a mais utilizada por produtores menos tecnicizados e com baixos recursos financeiros, ou por micropropagação. Para o método da propagação vegetativa convencional é realizada a retirada de parte ou de todo o rizoma ou caule subterrâneo da planta contendo uma ou mais gemas desenvolvidas (BORGES et al., 2006). Esta prática é mais barata, entretanto as plantas que fornecerão as mudas a serem propagadas devem atender aos atributos que caracterizam uma muda de qualidade, o que quase sempre não ocorre, principalmente no que concerne a questão fitossanitária das mudas e uniformidade do plantio. O método de micropropagação é mais tecnicizado e tem vantagem de grande rendimento de serviços, rápido desenvolvimento da bandeja e unificação do pomar. É muito usado entre produtores que desejam uniformidade e melhor produtividade de seus pomares.

A época de plantio para áreas não irrigadas deve ser realizada no início do período chuvoso, preferencialmente em dias nublados e com a terra chuvosa. Porém, quando o cultivo é irrigado, pode-se plantar em qualquer época do ano. É comum entre os produtores cearenses realizar o plantio das mudas prevendo a sua primeira colheita quando dos melhores preços do produto. Para o cultivo da banana os espaçamentos utilizados estão relacionados com: o clima; o porte da cultivar; as condições de luminosidade, a fertilidade do solo; a topografia do terreno; e, o nível tecnológico dos cultivos (CORDEIRO et al., 2000).

Para Silva Junior et al. (2010), a distância entre as plantas depende do porte da variedade. Normalmente, recomenda-se, para fileira simples, os espaçamentos 3,0 m x 3,0 m

(1.111 plantas ha⁻¹) para plantas de porte alto, 3,0 m x 2,5 m (1.333) ou 3,0 m x 2,0 m (1.666) para plantas de porte médio. Para fileira dupla, pode-se usar os espaçamentos 4,0 m x 2,0 m x 2,0 m (1.666 plantas ha⁻¹), 4,0 m x 2,0 m x 2,5 m (1.333) para plantas de porte médio ou 4,0 m x 2,0 m x 3,0 m (1.111) para plantas de porte alto. O arranjo em fileira dupla é recomendável para melhor aproveitamento da área e, principalmente, para plantios irrigados. É importante salientar que a densidade do bananal é inversamente proporcional a sua vida útil.

Para Cordeiro et al. (2000), a realização da colheita deve-se levar em consideração a distância entre o local de colheita e o ponto de venda ao consumidor. Por se tratar de frutos climatérios, ou seja, cujo processo de maturação continua após a colheita, os mesmos devem ser colhidos ainda verdes e o tempo pós-colheita deve ser observado.

Sistemas de Irrigação e Necessidade Hídrica da Cultura

Para Coelho et al. (2009), a irrigação existe como alternativa para a suplementação de água que falta durante períodos de déficit hídrico no solo e não funciona isoladamente, mas conjugada com outras práticas agrícolas, de forma a beneficiar a cultura. É indispensável nas regiões onde a chuva não atende às necessidades das plantas durante todo o seu ciclo de vida ou em parte dele.

O semiárido brasileiro tem alto potencial para produção de banana; entretanto, a escassez e as irregularidades das chuvas limitam a produção, o que torna a irrigação necessária. Logo, a atenção com o uso eficiente da água exige dos irrigantes, sobretudo na região semiárida, uma maior precisão no manejo da irrigação (SANTOS ET AL., 2016).

Para a bananeira, como a maioria das plantas, não se tem qualquer restrição a este ou aquele método de irrigação. A escolha de um ou outro método está mais em função da quantidade e da qualidade da água a ser utilizada, do solo, do clima, do custo dos equipamentos, da manutenção e da operação do sistema, bem como, a sua eficiência de aplicação e de distribuição da água na área a ser irrigada (SILVA et al., 2012).

Nos perímetros públicos de irrigação do Nordeste, o sistema de irrigação por superfície, tipo sulcos, tem sido ainda o mais utilizado. Este sistema opera com baixa eficiência e vem sendo gradualmente substituído por sistemas de irrigação pressurizados, como aspersão e principalmente microaspersão ou gotejamento. Os sistemas de irrigação localizada (microaspersão e gotejamento) são os mais recomendados, pois quando bem manejados proporcionam maior eficiência e menor consumo de água e energia, principalmente em regiões onde o fator água é limitante.

Evapotranspiração de referência (ET_o)

A evapotranspiração de referência (ET_o) é a taxa de evapotranspiração de uma hipotética cultura de referência. A equação de Penman-Monteith (FAO, 2006) é utilizada para o cálculo diário de ET_o (mm dia⁻¹), utilizando dados médios diários (Equação 1):

$$ET_o = \frac{0,0408(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

Em que,

ET_o - evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹);

R_n - saldo de radiação (MJ m⁻² dia⁻¹);

G - densidade do fluxo de calor do solo (MJ m⁻² dia⁻¹);

T - temperatura do ar a 2m de altura (°C);

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

e_s - pressão de saturação de vapor (kPa);

e_a - pressão de vapor atual (kPa);

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

Δ - curva de saturação de vapor (kPa °C⁻¹); e

γ - constante psicrométrica (kPa °C⁻¹).

Cabral (2000) obteve equações por regressão linear, que permitiram corrigir os valores de ET_o de Hargreaves (1974), em municípios que não possuem dados climáticos completos dentro de uma mesma região climática semelhante. Foram utilizados dados climáticos de temperatura, umidade relativa, insolação e velocidade do vento de 16 municípios do Ceará, que possuem dados necessários para aplicação da metodologia da FAO, conforme Tabela 2. Os municípios foram agrupados em regiões climáticas semelhantes com seus municípios vizinhos para a utilização das equações obtidas por regressão para correção dos valores de ET_o publicados por Hargreaves (1974).

Tabela 2 - Regiões Climáticas Semelhantes no Estado do Ceará aos municípios que possuem dados climáticos completos para o cálculo da ET_{OPM}.

Município Base	Municípios correlacionados
Acaraú	Bela Cruz, Itarema, Cruz, Marco, Morrinhos, Jijoca de Jericoacoara, Camocim, Barroquinha, Chaval.
Aracati	Fortim, Itapuí, Beberibe
Barbalha	Missão Velha, Milagres, Jardim, Jati, Penaforte, Abaiara, Porteiras, Brejo Santo, Mauriti, Barros
Campo Sales	Salitre Araripe, Aiuába, Antonina do Norte, Assaré, Potengi, Saboeiro, Tarrafas.
Crateús	Novo Oriente, Independência, Ipaporonga, Tamboril, Nova Russas, Poranga, Ararendá, Monsenhor Tabosa, Ipueiras, Catunda
Fortaleza	Caucaia, Maranguape, Maracanaú, Aquiraz, Eusébio, Pacatuba, Guaiúba, Itaitinga, Pindoretama, Cascavel
Guaramiranga	Palmácia, Pacoti, Mulungu
Iguatu	Acopiara, Jucás, Quixelô, Cedro, Orós, Cariús, Icó, Irapuã Pinheiro, Ipaumirim, Baixio, Umari, Piquet Carneiro
Jaguaruana	Itaiçaba, Quixeré, Palhano
Juazeiro do Norte	Crato, Caririaçu, Aurora, Várzea alegre, Santana do Cariri, Nova Olinda, Farias Brito, Granjeiro, Altaneira, Lavras da Mangabeira
Morada Nova	Limoeiro do Norte, Tabuleiro do Norte, Russas, Ocara, São João do Jaguaribe, Alto Santo, Ibareta, Jaguaretama, Jaguaribara, Iracema, Potiretama, Banabuiú, Ibicuitinga, Ererê, Pereiro, Jaguaribe, Solonópoles
Paraipaba	Paracuru, São Gonçalo do Amarante, Trairi, São Luiz do Curu
Pentecoste	Apuiarés, Umirim, Itapajé, Tejuçuoca, General Sampaio, Caridade, Canindé, Paramoti
Quixeramobim	Quixadá, Madalena, Boa Viagem, Senador Pompeu, Choró, Milhã, Itapiúna, Itatira
Sobral	Forquilha, Alcântaras, Coreaú, Groaíras, Catiré, Santa Quitéria, Reriutaba, Varjota, Meruóca, Massapê, Santana do Acaraú, Moraújo
Tauá	Arneiroz, Parambu, Mombaça, Quiteranópolis, Pedra Branca, Catarina

Fonte: Cabral (2000).

As equações 2 a4, correlaciona a ET_{OPM} com a ET_{OHG} , tendo sido obtida por regressão linear para os municípios de Morada Nova e Barbalha, respectivamente (CABRAL, 2000).

$$ET_{OPM} = 1,1746ET_{OHG} - 5,6058 \quad R^2 = 0.9644 \quad (2)$$

$$ET_{OPM} = 0,985ET_{OHG} + 16,245 \quad R^2 = 0.9413 \quad (abr/out) \quad (3)$$

$$ET_{OPM} = -2,4967ET_{OHG} + 664,86 \quad R^2 = 1 \quad (nov/dez) \quad (4)$$

Evapotranspiração da Cultura (ET_c)

A evapotranspiração da cultura (ET_c) sob condições padrão, refere-se à evapotranspiração de culturas bem adubadas e livres da doença, cultivada em grandes campos, nas melhores condições de água no solo e em plena produção sob determinadas condições climáticas (Allen et al., 2006).

Nos vegetais, o intercâmbio de gás carbônico e de oxigênio é diretamente proporcional ao do valor d'água. Assim, plantas com altas taxas de absorção e fixação de CO_2 (maior fotossíntese) apresentam altas perdas por transpiração, o que torna implícito que elevado consumo de água aumenta a produtividade (DURAES E MAGALHÃES, 2008).

A evapotranspiração da cultura é obtida pelo produto da evapotranspiração de referência (ET_o) e o coeficiente de cultura (K_c), conforme equação 5.

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (5)$$

em que,

K_c - coeficiente de cultivo em cada estágio fenológico da cultura;

ET_o - evapotranspiração de referência; e

ET_c - evapotranspiração da cultura no ciclo de cultivo.

Para Miranda et al. (2012), as necessidades hídricas da bananeira devem ser supridas através da irrigação, em regiões com baixa pluviosidade. Para os autores, os dados de pesquisa indicam uma lâmina anual aplicada entre 1.400 a 2.500 mm na região do Baixo Jaguaribe. Em função do tempo decorrido do plantio, Doorenbos e Kassan (2000) recomendaram valores de K_c para a bananeira, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Coeficiente de cultura recomendados por Doorenbos e Kassan (2000) para a bananeira no primeiro ciclo de produção.

Meses após o plantio (primeiro ciclo de produção)											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,40	0,40	0,45	0,50	0,60	0,70	0,85	1,00	1,10	1,10	0,90	0,80

Fonte: Doorenbos e Kassan (2000).

Miranda (2012) citando Allen et al. (2006) sugeriram coeficientes de cultura com base nos estágios fonológicos estabelecidos com três valores. 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 (Tabela 4).

Tabela 4 - Coeficiente de cultura (Kc) recomendado por Allen et al. (2006) para dois ciclos de produção da bananeira.

Ano (ciclo)	Kc inicial	Kcmid	Kc final
1	0,5	1,10	1,0
A partir do 2	1,0	1,20	1,1

Fonte: Allen et al. (2006).

Barroso et al. (2010), realizaram estudos para determinar a ETc e o Kc da bananeira cv “Pacovan Apodi”, utilizando o método do lisímetro de drenagem. Os valores de Kc médios encontrados pelos autores para os estádios de desenvolvimento da cultura foram de 0,92 (início), 1,07 (meio) e 0,98 (final).

O coeficiente de cultura (Kc) varia de acordo com as fases fenológicas e seus valores para a banana, Costa (2009), estudando o Kc da bananeira cv. “Pacovan Apodi”, em lisímetros de drenagem para o 2º ano de produção, região da chapada do Apodi, encontrou valores de 1,09; 1,21 e 0,71.

2.1.1.1. Determinação da Lâmina Líquida e Lâmina Bruta

A determinação da lâmina líquida é fundamental para o manejo adequado da irrigação das fruteiras. A lâmina líquida representa a quantidade de água que as plantas devem absorver do solo e pode ser determinada através de dois métodos: i) determina a lâmina líquida

com base no método do tensiômetro; e, ii) determina a lâmina líquida com base no método climático.

O método climático determina a lâmina líquida de irrigação multiplicando a evapotranspiração da cultura e o turno de rega (frequência de irrigação), de acordo com a equação6:

$$LL = ET_C \times TR \quad (6)$$

em que,

LL - lâmina líquida de irrigação (mm);

ETc- evapotranspiração potencial da cultura (mm/dia); e

TR - turno de rega (dia)

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. A lâmina bruta de irrigação é calculada como se segue:

$$LB = \frac{LL}{Ea} \quad (7)$$

em que,

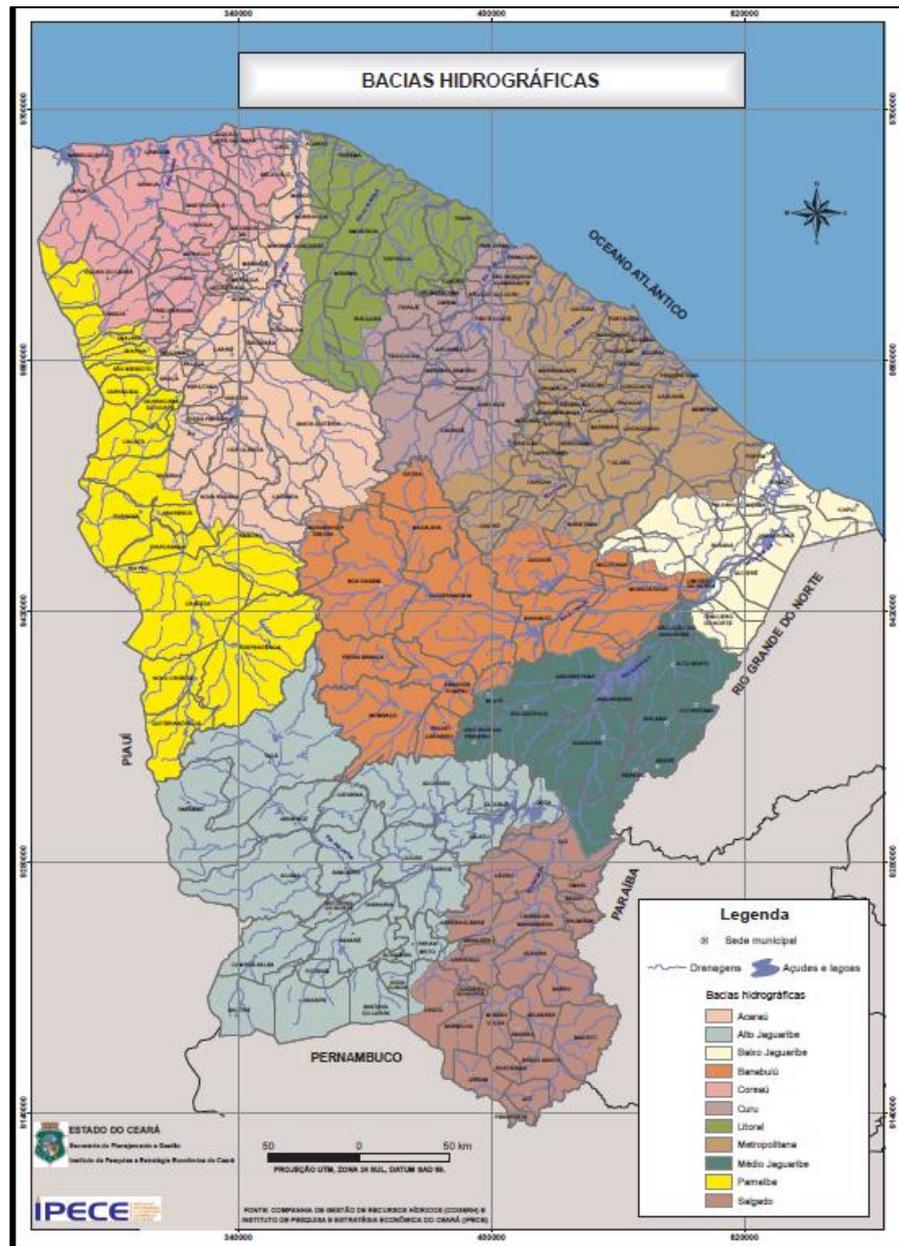
LB - lâmina bruta de irrigação (mm); e

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

Bacias Hidrográficas do Ceará e disponibilidade hídrica

O Estado do Ceará possui uma área aproximada de 148.825 km². O Estado, segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Ceará, divide-se em 12 bacias hidrográficas, as quais agregam rios, riachos, lagoas e açudes em seus amplos aspectos, diante das políticas desenvolvidas na região (MEDEIROS et al., 2013), Figura 2. As bacias hidrográficas são: 1) Bacia do Coreauá; 2) Bacia do Acaraú; 3) Bacia do Litoral; 4) Bacia do Curu; 5) Bacia Metropolitana; 6) Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe; 7) Bacia da Serra da Ibiapaba; 8) Bacia dos Sertões de Crateús; 9) Sub-Bacia do Banabuiú; 10) Sub-Bacia do médio Jaguaribe; 11) Sub-Bacia do Alto Jaguaribe; e, 12) Sub-Bacia do Salgado.

Figura 2 - Mapa de Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará.



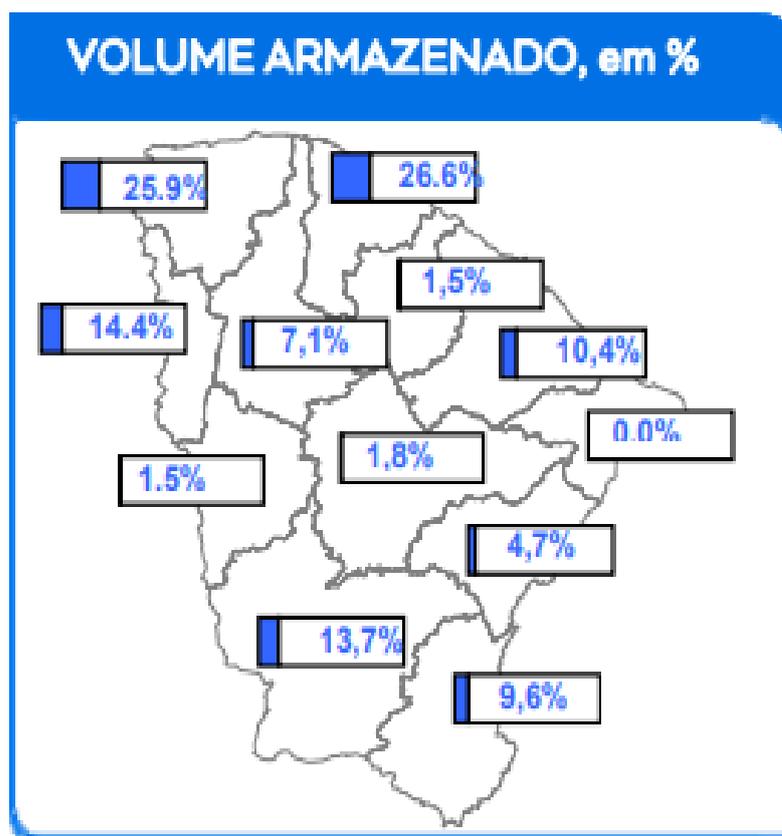
Fonte: Ipece (2011).

A seca prolongada entre 2012 e 2016 reduziu a disponibilidade de água, agravando as disputas por terras irrigadas e pelo uso da água no Ceará. Estes conflitos têm proporcionado a apresentação de estratégias de alocação de água, em período de escassez para as bacias hidrográficas, a partir da junção dos mecanismos de formação de consenso entre usuários e mecanismos econômicos.

Segundo o relatório dos volumes de água armazenados nos reservatórios do Estado do Ceará (Cogerh, 2016), a bacia do Acaraú, cuja capacidade de armazenamento é de

1.721,82 Hm³, apresenta-se com um volume armazenado de 162,28 hm³ (9,42% do total). Este mesmo relatório relata que a bacia do Jaguaribe, com uma capacidade de armazenamento de 10.189,21 Hm³, apresenta-se hoje (30-12-2016) com um volume armazenado de 1.227,78 hm³ (33,49% do total).

Figura 3 - Mapa do Percentual de Volume Armazenado Bacias Hidrográficas do Ceará dezembro/2016 (Cogerh, 2016)



Fonte: Cogerh (2016).

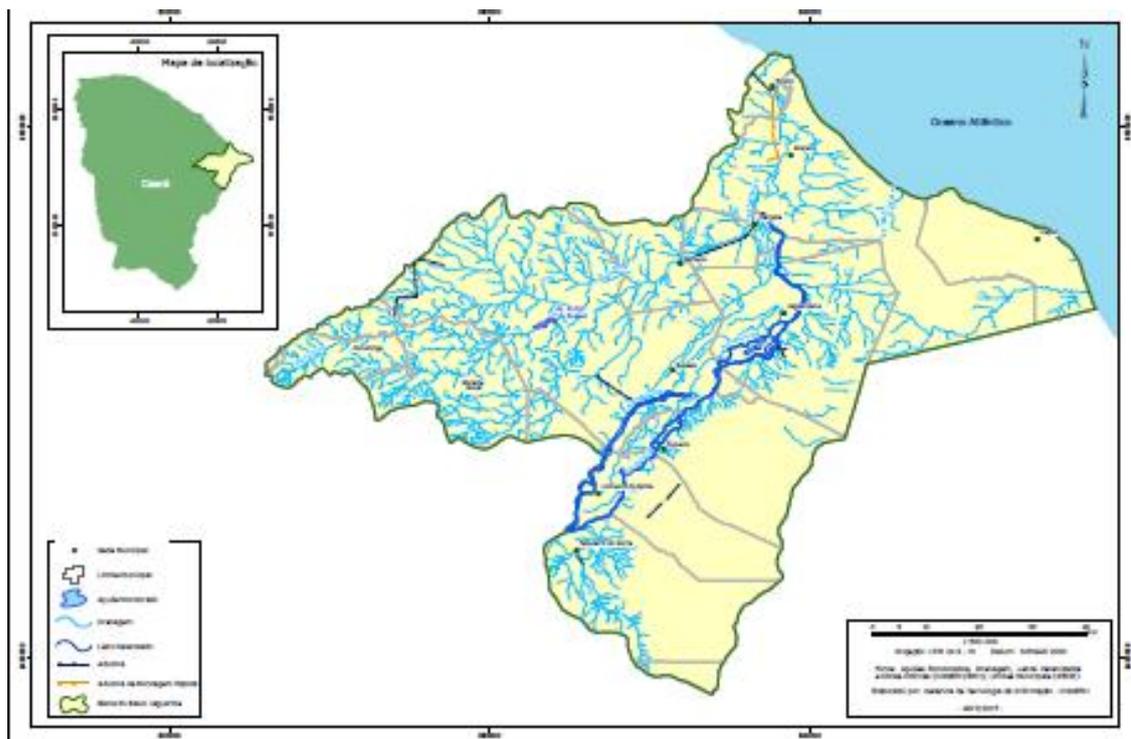
Nas bacias hidrográficas do Baixo Acaraú e do Banabuiú, gestores e usuários já não utilizam fonte de água superficial para a produção de frutas, mas sim oriunda de poços rasos e poços profundos. Na região Jaguaribana na Bacia do Baixo Jaguaribe, os Perímetros Irrigados do Jaguaribe Apodi e Tabuleiro de Russas trabalham com redução de áreas devido à escassez hídrica da região; enquanto o Perímetro Irrigado de Morada Nova permanece com suas atividades restritas às áreas que dispõem de poços.

Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe

Segundo o INESP (2009a), a Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe localiza-se na porção oriental do Estado do Ceará limitando-se com o Estado do Rio Grande do Norte a Leste, o Oceano Atlântico ao Norte, as Bacias Metropolitanas a Oeste e ao Sul e Sudoeste com as Sub-Bacias do Médio Jaguaribe e Banabuiú, respectivamente. Das cinco Sub-Bacias que compõem a Bacia do Jaguaribe, o Baixo Jaguaribe apresenta menor área, 8.893 Km², sendo a mais dinâmica economicamente (Figura 2).

O Rio Jaguaribe é o principal rio desta Sub-Bacia. Drena uma área de 7.021km², e situa-se no trecho entre a localidade de Peixe Gordo, onde este rio cruza a rodovia BR 116, até a sua foz, percorrendo um curso total de 137 km, com um desnível de 40 m. Sua área equivale a 4% do território cearense (Figura 4).

Figura 4 -Mapa de localização da Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe, 2013.



Fonte: [http://cogerh \(2016\)](http://cogerh.com.br)

A Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe drena área de 13 (treze) municípios, três integralmente: Itapuí, Itaiçaba, Jaguaruana, Quixeré e os demais, parcialmente: Alto Santo (0,31%), Aracati (91,03%), Fortim (34,39%), Ibicuitinga (40,32%) Limoeiro do Norte

(70,77%), Morada Nova (19,38%), Palhano (59,53%), Russas (96,01%) e Tabuleiro do Norte (77,82%), conforme Figura 4.

A demanda hídrica total da bacia é estimada em $68.433.120 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$, sendo a demanda urbana para esta Sub-Bacia correspondente, respectivamente, a $9.145.440 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ (FILHO, 2018). Os estudos realizados referem-se somente às demandas urbanas, concentradas nas cidades, tendo em vista que as rurais, dispersas no território, são atendidas, em geral, por reservatórios com capacidade inferior a 10 milhões de metros cúbicos ou por poços, o mesmo ocorrendo para a demanda animal. Para a demanda industrial, a Sub-bacia do Baixo Jaguaribe apresenta uma necessidade de $6.622.560 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$, o que corresponde a 3,54% da demanda Estadual (CEARÁ, 2018). Para irrigação, tem-se, uma demanda estimada de $54.241.920 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$.

Sub-Bacia Hidrográfica do Salgado

A Sub-Bacia do Rio Salgado posiciona-se na porção meridional do Estado, limita-se a Oeste com a Sub-Bacia do Alto Jaguaribe, ao Sul com o Estado de Pernambuco, ao Leste com o Estado da Paraíba e a Nordeste com a Sub-Bacia do Médio Jaguaribe.

Com baixa capacidade de acumulação em termos de águas superficiais no Estado do Ceará, esta Sub-Bacia, segundo dados da COGERH, possui um total de 1.695 reservatórios (COGERH, 2008, citado por INESP, b 2009).

A Sub – Bacia do Rio Salgado tem como principal fonte de recursos hídricos poços tubulares profundos, constituída por dois sistemas aquíferos: rochas sedimentares (porosos; cársticos e aluviais) e os das rochas cristalinas (fissurais), representados na Figura 5.

Segundo Macedo et al (2013) as captações de água subterrânea na Sub-Bacia do Rio Salgado são provenientes de 3.645 pontos d'água, dos quais 3.370 destes pontos, são provenientes de captações de perfurações do tipo tubulares. Outros 23 do tipo amazonas; e 252 fontes naturais captando água tanto em rochas sedimentares como cristalinas. De acordo com as características do aquífero ocorre a distribuição dos poços, sendo; 2.384 poços em aquíferos porosos, 30 poços em aquíferos cársticos, 334 poços em aquíferos aluviais e 622 poços em aquíferos fissurais.

Figura 5 - Localização dos poços e fontes dos sistemas aquíferos na Sub-bacia do Salgado



Fonte: INESP b (2009).

Para irrigação, segundo dados apresentados por Filho (2018), tem uma demanda de $79.986.080 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$, $54.144.344 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ para atendimento aos perímetros públicos e $25.640.735 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ para perímetros privados.

Pegada Hídrica (PH)

Definição de pegada hídrica

O termo "pegada hídrica" (PH) foi inicialmente introduzido por Hoekstra em (2003) com o intuito de medir o volume de água requerido por todos os bens consumidos pelas pessoas de um país. Para quantificar o volume de água relativo a um produto, esse termo evoluiu ao longo dos anos, incorporando os conceitos de água verde, azul e cinza. Hoekstra et al. (2011) definem água verde aquela proveniente das chuvas armazenada no solo, disponível para o desenvolvimento das plantas; azul a água estocada em reservatórios superficiais e subterrâneos e utilizada em processos de produção (por exemplo: na agricultura, para irrigação das culturas); e, água cinza aquela necessária para diluir a carga poluente oriunda dos processos de produção, conforme os padrões de qualidade da água disponível. Para Hoekstra et al. (2011) o resultado da PH é expresso pela relação entre a unidade de volume de água verde, azul e cinza, e a quantidade de produto produzido, por exemplo $\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$.

Com a norma ISO 14046 (2014), o conceito de pegada hídrica modificou-se e buscou padronizar internacionalmente uma metodologia de avaliação dos impactos sobre os recursos hídricos, levando em consideração a avaliação de ciclo de vida (ACV). Incidindo basicamente da avaliação dos impactos ambientais, partindo da obtenção da matéria-prima até o descarte final do produto. Ao especificar os princípios, requisitos e orientações relacionadas com a avaliação da pegada hídrica de produtos, processos e organizações, a norma ISO 14046 (2014) apresenta como características da avaliação da pegada hídrica os seguintes preceitos: baseia-se na avaliação do ciclo de vida (ISO 14044:2006); identifica os impactos ambientais potenciais relacionados com o uso da água; inclui as dimensões geográficas e temporais relevantes; quantifica o uso da água e as mudanças na qualidade da água; e utiliza o conhecimento hidrológico e climatológico.

Com a ISO 14046 (2104) a medida puramente volumétrica, antes definida, foi transformada em um resultado ponderado por um índice, que reflete as condições locais de escassez da água e de vulnerabilidade aos poluentes oriundos de efluentes hídricos.

Para Figueirêdo et al. (2013), o conceito de pegada hídrica foi modificado nos últimos anos, passando da pura quantificação volumétrica da água demandada em um processo de produção para a consideração de todos os processos ao longo do ciclo de vida do produto. Esse conceito também passou a contemplar a avaliação dos impactos ambientais relacionados ao consumo e degradação da água.

Pegada Hídrica conforme Hoekstra et al. (2011)

A pegada hídrica, definida por Hoekstra et al. (2011), 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.

Conforme Hoekstra et al. (2011) a metodologia da Pegada Hídrica envolve um conjunto de atividades com o objetivo de: (i) quantificar e situar a Pegada Hídrica do objeto em estudo, ou quantificar, no tempo e no espaço, a Pegada Hídrica de um produto em uma área geograficamente delimitada; (ii) analisar a sustentabilidade ambiental, social e econômica do valor resultante da Pegada Hídrica; e (iii) formular uma resposta estratégica. Logo, a metodologia da Pegada Hídrica, em sua execução completa, é composta por quatro fases distintas observadas na Figura 6.

Figura 6 - Fases de execução da Pegada Hídrica.



Fonte: adaptado de HOEKSTRA et al. (2011)

No estudo de Pegada Hídrica, deve-se começar com uma definição clara dos objetivos e escopo. Isso porque, a Pegada Hídrica pode ser empregada para vários propósitos e em contextos diferentes. Exemplificando: o governo de um país pode estar interessado em conhecer sua dependência de recursos hídricos estrangeiros. Já o órgão gestor de águas em uma região hidrográfica pode estar interessado em saber a Pegada Hídrica total das atividades humanas em várias bacias. Uma empresa pode estar interessada em avaliar sua dependência da cadeia de suprimentos de recursos hídricos em áreas com escassez (HOEKSTRA et al., 2011).

Dessa forma, nesta fase de determinação dos objetivos e escopo deve ser especificado, em primeiro lugar, o objeto de interesse do estudo, que pode ser um processo, um

produto, um grupo de consumidores, um país ou uma região hidrográfica, um setor de negócios, entre outros.

Para que seja conhecido o nível de detalhamento exigido pelo estudo, outras definições devem ser feitas, dentre as quais estão: o objetivo final, que pode ser a sensibilização da população, a identificação de pontos críticos, a formulação de políticas, ou apenas a quantificação do consumo de água; as fases que o estudo irá abordar; os componentes considerados (Água Azul, Verde e Cinza); a escala de tempo e espaço dos dados coletados; e a fronteira dos dados incluídos na quantificação da Pegada Hídrica, ou seja, o que vai ser considerado e o que vai ser excluído do estudo (HOEKSTRA et al., 2011).

A fase seguinte é a de contabilidade da Pegada Hídrica (PH) onde os dados são coletados e a quantificação do consumo de água é realizada (em m³ ou litro) por quilo de produto produzido. A PH é dividida em Água Verde (AV, m³ ou L), Azul (AA, m³ ou L) e Cinza (AC, m³ ou L). Nesta etapa, a base para o cálculo da Pegada Hídrica de qualquer objeto em estudo, é a Pegada Hídrica de um processo unitário. Desse modo, a Pegada Hídrica de um produto, por exemplo, é a soma dos valores obtidos nos processos unitários envolvidos em sua produção (SHANG, 2015). No caso de produtos agrícolas a pegada hídrica mostra a demanda hídrica necessária para produção do produto nas diferentes etapas do ciclo de vida do produto.

$$PH = AV + AA + AC \quad (9)$$

A Pegada Hídrica Azul (PH_{azul}, m³ ou L) é um indicador do uso consuntivo daquilo que chamamos de água azul, ou seja, a água doce superficial ou subterrânea. O termo "uso consuntivo" não significa que a água desaparece, pois, a água permanecerá dentro do ciclo e retornará sempre para algum lugar. O "uso consuntivo" da água refere-se a um dos quatro casos citados por Hoekstra et al. (2011), a seguir: **1.** Quando a água evapora; **2.** Quando a água é incorporada ao produto; **3.** Quando a água não retorna à mesma bacia hidrográfica, mas sim escoar para outra bacia ou para o oceano; e, **4.** Quando a água não retorna no mesmo período; por exemplo, quando é retirada em um período de seca e retorna em um período de chuvas.

A evapotranspiração, na maioria das vezes, é o mais significativo. Portanto, o uso consuntivo é geralmente equiparado à evaporação, porém os outros três componentes devem ser incluídos quando forem relevantes. Conforme Hoekstra et al. (2011) toda a evaporação relacionada à produção deve ser calculada incluindo a água que evapora no processo de armazenamento (por exemplo, de reservatórios artificiais), o transporte (por exemplo, de canais

abertos), o processamento (por exemplo, a evaporação de água aquecida que não é recoletada) e a coleta e o lançamento (por exemplo, de canais de drenagem e de estações de tratamento de esgotos).

Hoekstra et al. (2011) considera a pegada hídrica verde (PH_{verde}) como um indicador do uso da água verde por parte do homem. A água verde faz referência à precipitação no continente que não escoar ou não repõe a água subterrânea, contudo é armazenada no solo ou permanece temporariamente na superfície do solo ou na vegetação. A pegada hídrica verde é o volume da água da chuva consumido durante o processo de produção.

A pegada hídrica cinza (PH_{cinza}) de uma etapa do processo é um indicador do grau de poluição da água que pode estar associado a etapa do processo. Hoekstra et al. (2011) define a pegada hídrica cinza como o volume de água necessário para assimilar a carga de poluentes baseado nas concentrações em condições naturais e nos padrões ambientais existentes.

Pegada Hídrica na Agricultura

Dependendo da cultura e do clima da região estudada, os processos agrícolas requerem água em quantidades e com distribuição variada no tempo e espaço. Conforme Bayart et al. (2010) e Ridoutt e Pfister (2010), o consumo da água da chuva disponível na camada superficial do solo (chamada água verde) não promove impactos ambientais diretos. No entanto, o consumo de água oriunda de reservatórios superficiais e subterrâneos para irrigação (chamada água azul) reduz o acesso de outros usuários da bacia hidrográfica ao volume consumido, podendo levar a eventos de escassez hídrica, dependendo das características climáticas e capacidade de armazenamento de água da região. Logo, o volume de água aplicado na irrigação deve ser determinado levando-se em consideração os fatores solos, clima, método de irrigação, bem como, a cultura a ser explorada. Ao se definir a cultura deve-se calcular a sua necessidade hídrica, que pode ser estimada através de vários métodos recomendados pela FAO ou por meio de entrevistas junto a produtores.

Pegada hídrica de produtos agrícolas

A etapa de produção agrícola contribui com uma elevada proporção da pegada global de água de produtos alimentícios. Dessa forma, a agricultura tem o grande desafio de melhorar a gestão da água para apoiar o crescimento da população mundial, impulsionando o crescimento econômico e reduzindo os impactos ambientais. (CAZCARRO et al. 2015)

Giacomin e Ohnuma (2012) ao analisarem o resultado de pegada hídrica por países e produtos específicos (milho, soja, arroz, carne de frango, carne de cabra, carne bovina) concluíram que nos países em desenvolvimento a pegada hídrica varia, geralmente, não por causa de seu grande consumo relativo de água, mas, sobretudo observam-se grandes pegadas hídricas por tonelada de produto consumido, ou seja, por uma baixa produtividade de água. Outro fator que os autores destacam são os baixos rendimentos na produção agrícola aliados às elevadas taxas de evapotranspiração dos países.

Chapagain e Hoekstra (2007) avaliaram a pegada hídrica global da sociedade holandesa em relação ao seu consumo de café e chá. Concluíram que a maior parte da água utilizada na produção do café e chá, não é água de origem holandesa, ou seja, os principais produtores de café ou chá estão distantes do continente europeu.

Os autores observaram que o grande volume de água para cultivar o café é proveniente da chuva. Apesar de relativamente pequena, a quantidade de água utilizada para a produção de determinados produtos agrícolas, tem efeitos significativos, tendo em vista que esta água às vezes é pouco disponível em alguns países produtores.

Cazcarroet al. (2015) compararam os níveis mais importantes da estrutura da pegada da água na agricultura na Espanha entre os anos de 2005 a 2010. Este período reúne as mais importantes mudanças ocorridas, entre outras, em termos de expansão da irrigação, colheita e construção de infraestruturas de água na Espanha. Essas alterações, analisadas em nível regional, foram relacionados, principalmente, à sustentabilidade ambiental e econômica da água.

Chouchane et al. (2015) quantificaram e analisaram a pegada hídrica da Tunísia em nível nacional e subnacional, avaliando a pegadas hídrica: verde, azul e cinza para o período 1996 a 2005. Os autores também avaliaram as produtividades econômicas de água e terra relacionadas com a produção de culturas (azeitona, cevada, cenoura, figo, uva, laranja, batata, tomate, trigo além de outras culturas) para a agricultura irrigada e de sequeiro, e escassez de água. A pegada hídrica da produção agrícola tunisiana deu a maior contribuição (87%) ao total da pegada hídrica nacional. Tomates e batatas foram as principais culturas com produtividade relativamente alta em economia de água, enquanto a azeitona e cevada foram as principais culturas, relativamente, com baixa produtividade.

Huang et al. (2015) utilizando a abordagem de pegada hídrica avaliaram o impacto da produção agrícola das culturas de milho e trigo na Região de Pequim. Segundo os autores as áreas tradicionais das culturas de milho e trigo podem ser aumentadas, no entanto, as práticas agrícolas atuais, que envolvem a irrigação excessiva e adubação levam ao desperdício de água

e o agravamento da poluição por lixiviação. Baseado em experiências de campo, o estudo forneceu evidência para o grande potencial de redução da pegada hídrica e da melhoria das práticas agrícolas para o cultivo de cereais em Pequim em situação de escassez hídrica. A redução de 33,3% do volume de água de irrigação, aplicada para os cultivos de milho e trigo, em situação de escassez, pode reduzir a pegada hídrica em 27,5% sem que houvesse perdas de produtividade significativas.

Métodos de Consenso para avaliação de impacto de escassez hídrica

Andrade (2016) analisando os principais métodos de avaliação de escassez hídrica, (Tabela 5), comenta que dentre os métodos listados, Pfister et al. (2009) e Berger et al. (2015) são os que consideram apenas o aspecto quantitativo da escassez hídrica.

Tabela 5 - Tabela Principais métodos de avaliação de escassez hídrica

Método	Abordagem
Frischknecht et al. (2006)	Midpoint
Bösch et al. (2007)	Midpoint
Pfister et al. (2009)	Midpoint e Endpoint
Milà i Canals et al. (2009)	Midpoint e Endpoint
Boulay et al. (2011)	Midpoint e Endpoint
Hanafiah et al. (2011)	Endpoint
Hoekstra et al. (2011)	Midpoint
Motoshita et al. (2011)	Endpoint
Van Zelm et al. (2011)	Endpoint
Loubet et al. (2013)	Midpoint
Boulay et al. (2014)	Midpoint
Berger et al. (2015)	Midpoint

Fonte: Andrade (2016).

Desenvolvido para avaliar os impactos ambientais do consumo de água doce no mundo, o método de Pfister foca danos a três áreas de proteção: a saúde humana, o ecossistema, a qualidade e recursos (ANDRADE, 2016 apud PFISTER et al., 2009).

Este é um dos métodos de Análise de Impacto Ambiental no Ciclo da Vida (AICV) para o uso da água em que os Fatores de Caracterização (FC) são baseados no modelo WaterGAP 2 e tratam da retirada e da disponibilidade hídrica presente nas bacias da região considerada, analisando apenas a escassez física de água para usos humanos em nível de midpoint.

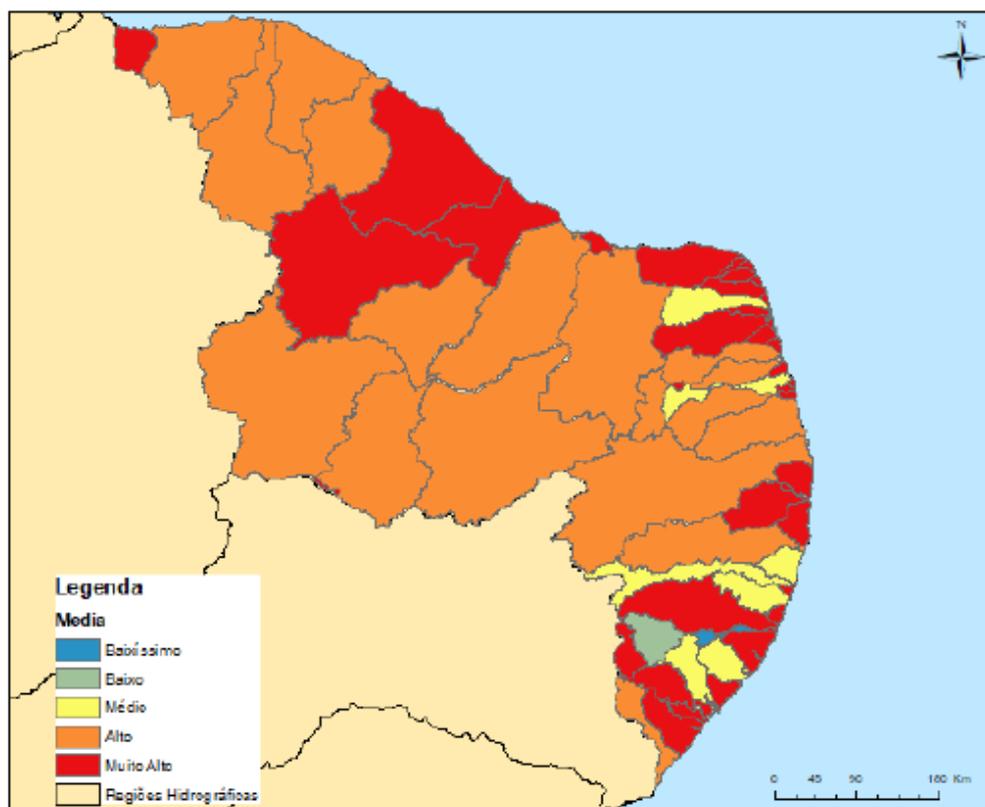
O método AWARE avalia o potencial relativo da privação de água, tanto para humanos como para ecossistemas. E o indicador no método AWARE baseia-se no pressuposto de que quanto menor a água restante disponível por área, mais provável será que um outro usuário seja privado (BOULAY et al., 2015). Ainda Boulay et al. (2015), a água restante disponível por área refere-se à água restante após o consumo de água humana e a demanda de água ambiental foi subtraída da disponibilidade de água natural na bacia de drenagem.

Marzullo (2014) definem os fatores de caracterização (FC) como derivados de modelos de caracterização. No entanto, existem diversos modelos de caracterização para uma mesma categoria de impacto. Logo, têm-se disponíveis diferentes fatores de caracterização para uma mesma substância, a depender do modelo de caracterização escolhido. Os modelos de caracterização são próprios de cada método de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV).

É possível calcular fatores de caracterização (FC) para escassez hídrica, através de diferentes métodos para diversas regiões no mundo. Na avaliação de impacto na escassez hídrica, o volume de água consumida em cada processo unitário contemplado no estudo de um sistema de produto é multiplicado pelo FC da região onde esse processo ocorre (ANDRADE, 2016).

Andrade (2018) estudou a regionalização dos fatores de caracterização de escassez hídrica do modelo AWARE para o semiárido brasileiro, utilizando dados hidrológicos nacionais e diferentes recortes de bacias hidrográficas da Agência Nacional de Águas (ANA). A autora ao analisar a média anual e a variação mensal anual dos FC mensais regionalizados do AWARE para as Unidades Hidrográficas Estaduais (UHE) do Atlântico Nordeste Oriental caracterizou os índices de risco para escassez hídrica para as regiões das Sub-Bacias do Salgado e do Jaguaribe como alto e muito alto, respectivamente.

Figura 7 - Fatores de Caracterização (FC) médios nas Unidades Hidrográficas Estaduais (UHE) das Regiões Hidrográficas no Atlântico Nordeste Oriental



Fonte: Andrade (2018).

REFERÊNCIAS

ADECE - Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará. **Perfil da produção de frutas Brasil Ceará**. 2013. Disponível em:

<http://www.adece.ce.gov.br/index.php/agronegocio/fruticultura>. Acesso em: 23 ago. 2016.

ALLEN, R.G. *et al.* **Evapotranspiration del cultivo guias para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2006. 298 p. (Estudio FAO Riego y Drenaje, 56)

ANA – Agência Nacional de Águas. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília, 2017. 86 p.

ANDRADE, E. P. **Determinação de índices de escassez hídrica para as sub-bacias cearenses**. 2016. 64p. Monografia (Especialização em Geoprocessamento Aplicado à Análise Ambiental e Recursos Hídricos) - Centro de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2016.

ANDRADE, E. P. **Regionalização para o Semiárido Brasileiro de Método de Avaliação de Ciclo de Vida para Escassez Hídrica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Ambiental). Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

ANDRIGUETO, J. R. *et al.* Produção integrada de frutas e sistema agropecuário de produção integrada no Brasil. *In*: PRODUÇÃO INTEGRADA NO BRASIL AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, ALIMENTOS SEGUROS / MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. SECRETÁRIA DE DESENVOLVIMENTO AGROPECUÁRIO E COOPERATIVISMO., 2009, Brasília. **Anais [...]**. Brasil: MAPA/ ACS, 2009. p. 1-24.

BARROS, K. de O. **Índice de aridez como indicador da susceptibilidade à desertificação na mesorregião norte de Minas Gerais**. Monografia (Graduação em Geografia) - Centro de Ciências Humanas Letras e Artes, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2015.

BARROSO, A. de A. F. *et al.* Evapotranspiração e coeficiente de cultivo da bananeira cv. “Pacovan Apodi” no terceiro ciclo de produção. **Rev. Bras. de Agric. Irrig.** Fortaleza, v. 4, n. 1, p. 23–30, fev.2010.

BAYART, J.B. *et al.* A framework for assessing off-stream freshwater use in LCA. **Int. J. Life Cycle Assess.** U.S., v. 15, p. 439-453, jan. 2010.

BERGER, M. *et al.* Saving the planet's climate or water resources? The trade-off between carbon and water footprints of European biofuels. **Sustainability**. Switzerland, v. 15, p. 6665-6683, maio, 2015.

BORGES, A. L. *et al.* **O cultivo da bananeira**. 1ª. ed. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004. 279 p. ISBN: 85-7158-010-3.

BORGES, A. L. *et al.* **Banana: instruções práticas de cultivo**. 1ª ed. Cruz das Almas: Documentos/Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006. (CD-ROM).

BORGES, A. L.; SOUZA, L. da S.; ALVES, E. J. Exigências edafoclimáticas. *In* CORDEIRO, Z. J. M. **Banana. Produção Aspectos técnicos**. Brasília: EMBRAPA, 2009. p.17-23.

BOULAY A.M. *et al.* Analysis of water use impact assessment methods (Part A) Evaluation of modeling choices based on a quantitative comparison of scarcity and human health indicators. **Int. J. Life Cycle Assess.** Berlim, v.20, p. 139-160, out. 2014.

BRANDÃO, Z. N. *et al.* Zoneamento de áreas de plantio e mapeamento de APPS e RLS usando imagens ALOS. *In* SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 4., Recife. **Anais...** Recife: UFPE, 2012. p. 001-006.

CABRAL, R. C. **Evapotranspiração de referência de Hargreaves (1974) corrigida pelo método de Penman-Monteith /FAO (1991) para o Estado do Ceará**. 2000. Dissertação. (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2000.

CAZCARRO, I. *et al.* How Sustainable is the Increase in the Water Footprint of the Spanish Agricultural Sector? A Provincial Analysis between 1955 and 2005–2010. **Sustainability**, Switzerland, v. 7, p. 5094-5119, abr. 2015.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Fortaleza, 2005.

CHAPAGAIN, A.K., HOEKSTRA, A.Y. The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands. **Ecol. Econ.** Boston. v. 64, n. 1, p. 109–118, out. 2005.

CHOUCHANE, H., *et al.* The water footprint of Tunisia from an economic perspective. *In*: **Ecol. Indic.**, Netherlands, v. 52, p. 311–319, maio, 2015.

COELHO, E. F., BORGES, A.L. Aspectos de fertirrigação em bananeira. *In*: BORGES, A.L. *et al.* **Fertirrigação em Frutas Tropicais**. 2ª ed. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2008. p. 9-19. ISBN: 85-7158-002-2.

COGERH. Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará. **Nível dos Açudes**. Disponível em: <http://portal.cogerh.com.br>. Acesso em jul. 2009.

COGERH. Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará. **Base cartográfica · mapas Bacia Hidrográfica - Baixo Jaguaribe**. Disponível em: <http://portal.cogerh.com.br/base-cartografica/category/62-bacia-hidrografica-baixo-jaguaribe.html>, 2016. Acesso em: 9 mar. 2017.

CORDEIRO, Z. J. M. **Banana. Produção Aspectos Técnicos - séries Frutas do Brasil**. 2ªed. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. 143 p. v.1. ISBN 85-7383-070-0.

DANTAS, L. L., *et al.* Classificação botânica, origem, evolução e distribuição geográfica. *In* ALVES, E. J. (Org.). *In*: **A cultura da banana aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais**. Brasília: Embrapa Serviço de Produção e Informação / Embrapa Cruz das Almas, 1997. p. 27-33. ISBN: 85-7383-001-8.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Trad. de H.R. Gheyi, A.A. de Sousa, F.A.V. Damasceno, J.F. de Medeiros. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 2000. 221p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

DURAES, F. O. M.; MAGALHAES, P. C. Transporte de água no sistema solo-planta-atmosfera; movimento de água e solutos nas plantas. *In*: ALBUQUERQUE, P. E. P. de; DURÃES, F. O. M. (Ed.). **Uso e manejo de irrigação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Sete Lagoas Embrapa Milho e Sorgo, 2008. p. 169-224.

FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentos e Agricultura. Towards a water and food secure future critical perspectives for policy-makers. **World water council**. Marseille, 2015. Disponível em: <http://www.worldwatercouncil.org/en/publications/towards-water-and-food-secure-future-critical-perspectives-policy-makers>. Acesso em: 9 mar. 2017.

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentos e Agricultura. **Crop water information for banana**. 2015a. Disponível em: http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_banana.html. Acesso em: 30 abr. 2016.

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentos e Agricultura. **FAOSTAT**. 2015b. Disponível em: <http://faostat.fao.org>. Acesso em: 30 abr. 2016.

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentos e Agricultura.. **Banana Statistical v Compendium 2015 -2016**. 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i7409e.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2018

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentos e Agricultura. **FertiStart**. 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/ag/agp/fertistart>. Acesso em: 18 fev.2018

FIGUEIRÊDO, M. C. B. *et al.* The carbon footprint of exported Brazilian yellow melon. **J. Clean. Produc.**, [s.l.] v. 47, p. 404-414. maio, 2013.

FILHO, F. A. S. **CEARÁ 2050 Estudo Setorial Especial Recursos Hídricos**. Fortaleza, 2018. 66 p. Disponível em: <http://www.fastef.ufc.br/portal/wp-content/uploads/2018/07/estudo-setorial-especial-%e2%80%93-recursos-hidricos.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2018.

GIACOMIN, G. S.; OHNUMA JÚNIOR, A. A. Análise de resultados de pegada hídrica por países e produtos específicos. **Rev. Eletron. Gest. Educ. Tecno. Ambie.** Santa Maria, v. 8, p. 1562-1572, set. 2012.

HIRAKURI, M. H. *et al.* **Sistemas de produção conceitos e definições no contexto agrícola**. Londrina: Embrapa Soja, 24 p., set. 2012. ISSN: 2176-2937 (Embrapa Soja - Documentos, 335).

HOEKSTRA, A. Y. *et al.* **The water footprint assessment manual: setting global standard**. 1.ed. London: Water Footprint Network, 2011, 224 p. ISBN 978-1-84971-279-8.

HUANG, J. *et al.* Reducing agricultural water footprints at the farm scale: A case study in the Beijing Region. **J. Water**, Suíça, v. 7, p. 7066-7077, dez. 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **SIDRA**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado>. Acesso em: 16 de jan. 2018.

INESP – Instituto de Estudos e Pesquisa para o Desenvolvimento do Estado do Ceará. **Caderno regional da Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe: Pacto das Águas – Compromisso Socioambiental Compartilhado**. Ceará: INESP, 2009a. v. 7, 104p. ISBN 978-85-7973-006-1.

INESP- Instituto de Estudos e Pesquisa para o Desenvolvimento do Estado do Ceará. **Caderno Regional para a Salgado**. v 4. Pacto das Águas – Compromisso Socioambiental Compartilhado. Ceará: 2009b, v. 11, 115 p. ISBN 978-85-7973-010-8.

LIMA, M. B.; SILVA, S. de O. e; FERREIRA, C. F. **Banana o produtor pergunta, a Embrapa responde: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. 2. ed. rev., e ampl. Brasília: Embrapa, 2012. 214p. ISBN 978-85-7035-118-0.

MACEDO, C.C.A., *et al.* Caracterização da água subterrânea de uma comunidade na zona rural do município de Missão Velha – Ceará. *In*: III Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo. **Suplemento de Anais**. São Paulo: ABAS, 2013b.

Disponível em:

<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27821/18044>. Acesso em: 15 abr. 2016.

MARZULLO, R. de C. M. **Metodologia para o cálculo da pegada hídrica ecotoxicológica de produtos dentro de uma perspectiva de ACV com uso do GIS estudo piloto para o etanol hidratado**. 2014, 222f. Tese (Doutorado em Ciências). Instituto de Energia e Meio Ambiente. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2014.

MEDEIROS, C. N. de (Org.). *et al.* **Os recursos hídricos do Ceará integração, gestão e potencialidades**. 1. ed. Fortaleza: IPECE, 2011. v. 500. 268p. 2011. DOI: 10.13140/RG.2.1.1657.9289.

MDIC. Dados do Comércio Exterior [do] Ministério do Desenvolvimento, da Indústria e Comércio Exterior. Rio de Janeiro, dezembro 2016.

MEDEIROS, R. M. *et al.* Balanço hídrico climatológico e classificação climática para a área produtora da banana do município de Barbalha - CE. **Rev. Bras. Agric. Irri.**, São Paulo, v. 7, n. 4, p. 258 - 268, ago, 2013.

MIRANDA, F. R. de MASCEDO, A. B M., GONDIM, R. S. **Eficiência de uso da água e produtividade da bananeira cv. Pacovan sob diferentes potenciais de água no solo**. Fortaleza. Embrapa Agroindústria Tropical, 2012. 18 p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Agroindústria Tropical, ISSN 1679-6543, 61).

PFISTER, S.; KOEHLER, A.; HELLWEG, S. Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA. **Enviro. Sci. Technol.** California, v. 43, n. 11, p. 4098–4104, abr., 2009.

RIDOUTT, B. G.; PFISTER, S. A revised approach to water footprinting to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater scarcity. **Glob. Environ. Change**, [s.l.] v. 20, p. 113-120, fev. 2010.

ROCHA, S. R. **A balança comercial e as transferências de água virtual análise do setor agrícola no Ceará**. 2014. 170 f. Dissertação (mestrado) – Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2014.

SANTOS, J. W. G dos. **Estudos comparativo de respostas das bananeiras às aplicações de fertilizantes minerais e biofertilizantes na Chapada do Apodi - CE**. Dissertação de mestrado. 2011. 53 p. Dissertação (mestrado) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

SANTOS, M.R. dos. *et al.* **Irrigation management strategy for Prata-type banana**. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, Campina Grande , v. 20, n. 9, p. 817-822, Sept. 2016 . DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n9p817-822>. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662016000900817&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 14 abr. 2017.

SIKIRICA, N., **Water Footprint Assessment Bananas and Pineapples: Dole Food Company**. Soil & More International: Netherlands. Maio, 2011. Disponível em: <http://www.waterfootprint.org/Reports/Soil-and-More-2011-WaterFootprintBananasPineapplesDole.pdf>. Acesso em 25/05/2014.

SILVA JUNIOR; J. F. da LOPES; G. M. B.FERRAZ, L. G. B. **Sistema de produção de banana para a Zona da Mata de Pernambuco**. 1ªed. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2010, 134 p. ISSN 1678-197X 2010. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/877997>. Acesso em: 10 out. 2017

SILVA, A. J. P. da *et al.* **Irrigação da bananeira**. 1ªed. Cruz da Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura. 2012. 280p. Publicação online. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/951586/irrigacao-da-bananeira>. Acesso em: 10 out. 2017.

3 AVALIAÇÃO DA PEGADA HÍDRICA DO PROCESSO DE CULTIVO DA CULTURA DA BANANA SOB IRRIGAÇÃO, EM FASE DE PRODUÇÃO DE CAMPO.

RESUMO

Desde 1999, o setor agrícola cearense passou por um processo intensivo de desenvolvimento, resultando em importantes mudanças estruturais, não apenas no próprio setor, mas também na relação do sistema agrário com os recursos naturais. Nacionalmente o estado do Ceará está na quarta colocação dentre os estados com maior valor bruto da produção e quando comparado com os estados da região nordeste posiciona-se em segundo lugar. É importante destacar que a bananicultura tem grande importância econômica e social no agronegócio brasileiro. A pesquisa seguiu a metodologia descrita no manual de avaliação da pegada hídrica proposta por Hoekstra para avaliação da pegada hídrica do processo de cultivo da cultura da banana sob irrigação, em fase de produção de campo. O objetivo principal do estudo consiste em contabilizar a pegada hídrica verde (PH_{verde}), azul (PH_{azul}) e cinza (PH_{cinza}) para produtores de banana nos Perímetros Irrigados Jaguaribe Apodi (Limoeiro do Norte), Tabuleiros de Russas (Russas), além de áreas de produção no município de Missão Velha, considerando-se exclusivamente o processo agrícola. A avaliação da pegada hídrica pode contribuir com a tomada de decisão de governantes e produtores quanto ao real valor da água bruta, elevando assim as discussões relacionadas à cobrança de água bruta no setor agrícola, implantação e manejo das culturas nas diferentes bacias hidrográficas. As médias de pegada hídrica agrícola para Jaguaribe Apodi, Tabuleiros de Russas e Missão Velha foram de 998,3; 1.048 e 1.107 $m^3 t^{-1}$, respectivamente. Para Missão Velha em razão das condições climáticas que demandam menor evapotranspiração de água azul, obtiveram-se resultados para a água azul de 780,9 $m^3 t^{-1}$. Já para Jaguaribe Apodi e Russas estes valores foram respectivamente de 830,6 e 862,7 $m^3 t^{-1}$. A região de Missão Velha por apresentar uma pegada hídrica azul inferior em até 47% à pegada hídrica azul das regiões da Chapada do Apodi e Russas sinaliza como uma região com potencial para atrair o cultivo irrigado desta cultura, não obstante a dependência da fonte de água subterrânea. A pegada hídrica total para a cultura da bananeira nas regiões de Limoeiro do Norte, Russas e Missão Velha foram superiores a pegada hídrica mundial em 26%, 33% e 40%, respectivamente.

Palavras-chave: Manejo de irrigação. Uso eficiente da água. Escassez hídrica.

ABSTRACT

Since 1999, the agricultural sector of Ceará has undergone an intensive process of development, resulting in important structural changes, not only in the sector itself, but also in the relationship between the agrarian system and natural resources. Nationally the state of Ceará is in the fourth place among the states with the highest gross value of production and when compared with the states of the northeast region it is in second place. It is important to highlight that banana farming has great economic and social importance in Brazilian agribusiness. The research followed the methodology described in the manual of evaluation of the water footprint proposed by Hoekstra for evaluation of the water footprint of the cultivation process of the banana crop under irrigation, during the field production phase. The main objective of the study is to account for the green water footprint (PHverde), blue (PHazul) and gray (PHcinza) for banana producers in the Irrigated Perimeters Jaguaribe Apodi (Limoeiro do Norte), Bandeas de Russas (Russas) of production in the municipality of Missão Velha, considering exclusively the agricultural process. The evaluation of the water footprint can contribute to the decision-making of government and producers regarding the real value of raw water, thus raising the discussions related to the collection of raw water in the agricultural sector, implantation and crop management in the different river basins. The agricultural water footprint averages for Jaguaribe Apodi, Tabuleiros de Russas and Missão Velha were 998.3; 1,048 and 1,107 m³ t⁻¹, respectively. For Old Mission because of the climatic conditions that require less evapotranspiration of blue water, results were obtained for blue water of 780.9 m³ t⁻¹. For Jaguaribe Apodi and Russas these values were respectively 830.6 and 862.7 m³ t⁻¹. The region of Missão Velha, because it presents a blue water footprint of up to 47% to the blue water footprint of the Apodi and Russas Plateau regions, indicates a region with potential to attract the irrigated crop of this crop, notwithstanding the dependence of the water source underground. The total water footprint for banana plantations in the regions of Limoeiro do Norte, Russas and Missão Velha were superior to the global water footprint in 26%, 33% and 40%, respectively.

Keywords: Irrigation management. Efficient water use. water scarcity.

INTRODUÇÃO

Desde 1999, o setor agrícola cearense passou por um processo intensivo de desenvolvimento, resultando em importantes mudanças estruturais, não apenas no próprio setor, mas também na relação do sistema agrário com os recursos naturais. No Brasil o estado do Ceará contribui com aproximadamente 9% da área total destinada a colheita com a cultura da banana. Nacionalmente o estado está na quarta colocação dentre os estados com maior valor bruto da produção e quando comparado com os estados da região nordeste posiciona-se em segundo lugar. É importante destacar que a bananicultura tem grande importância econômica e social no agronegócio brasileiro.

A pesquisa seguiu a metodologia descrita no manual de avaliação da pegada hídrica proposta por Hoekstra et al. (2011) para avaliação da pegada hídrica do processo de cultivo da cultura da banana sob irrigação, em fase de produção de campo.

O objetivo principal do estudo consiste em contabilizar a pegada hídrica verde (PH_{verde}), azul (PH_{azul}) e cinza (PH_{cinza}) para produtores de banana nos Perímetros Irrigados Jaguaribe Apodi (Limoeiro do Norte), Tabuleiros de Russas (Russas), além de áreas de produção no município de Missão Velha, considerando-se exclusivamente o processo agrícola.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização das áreas produtoras de banana no Ceará

No estudo selecionou-se uma amostra de quatro produtores no Perímetro Irrigado Jaguaribe Apodi, quatro no Perímetro Irrigado Tabuleiros de Russas e três na localidade de Missão Nova.

Nível Tecnológico

Para Junior et al. (2013), a construção de indicadores para medir a adoção tecnológica, pela estimação dos coeficientes das variáveis de influência sobre a probabilidade de adoção de novas tecnologias, torna-se um desafio acadêmico interessante o qual contribuiria para o processo de decisão dos gestores, construção de políticas públicas e a modernização da atividade.

Oliveira (2003) estudou o nível tecnológico da bananicultura irrigada do Município de Mauriti-CE e seus aspectos socio econômicos. A contribuição das tecnologias na composição do índice tecnológico geral foi dada na seguinte ordem: fitossanidade, irrigação, tratamentos culturais, mudas, adubação, pós-colheita, colheita e gestão. A observação individual dos produtores mostrou que a tecnologia adotada pelos produtores não é considerada ótima nem insuficiente para nenhum deles. Todos produzem banana com nível tecnológico regular ou bom; isto é, os produtores adotam entre 25% e 75% da tecnologia recomendada para a bananicultura.

A Secretaria de Agricultura do Ceará (SEAGRI) adotava dois níveis tecnológicos para sistemas de produção da cultura da banana. Definia como nível tecnológico 1 (NT1) o sistema de produção de alta tecnologia direcionada para produtores e empresários com áreas e/ou volumes de produção que possibilitem o uso de equipamentos mecanizados, tecnologias de ponta e insumos modernos recomendados pelas pesquisas e que possuam alto nível de gerenciamento e controle do negócio. E definia como nível tecnológico 2 (NT2) sistema de produção de média a alta tecnologia, direcionado para produtores com áreas e/ou volumes de produção que possibilitem o pouco uso de mecanização, maior emprego de mão de obra e, com gerenciamento e controle simplificados (SANTOS ET AL., 2003). Assim, para caracterizar o nível tecnológico do produtor será usado o proposto por Santos et al. (2003).

Os produtores localizados nos perímetros irrigados Jaguaribe Apodi e Tabuleiros de Russas estão localizados na sub bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, enquanto que os produtores localizados na bacia do Salgado estão localizados no município de Missão Velha estendendo-se ao Distrito de Missão Nova, conforme informações discriminadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Informações das amostras dos produtores selecionados - 2015

Identificação	Local	Área (ha)	Solo	Produtividade médio(kg/ha)	Irrigação	Nível Tecnológico
P01 LN	Limoeiro do Norte	12,0	Franco Argilo Arenoso	39.840	Microaspersão	Nível 1
P02 LN	Limoeiro do Norte	4,0	Franco Argilo Arenoso	18.600	Microaspersão	Nível 2
P03 LN	Limoeiro do Norte	8,0	Franco Argilo Arenoso	25.200	Microaspersão	Nível 1
P04 LN	Limoeiro do Norte	12,0	Franco Argilo Arenoso	37.440	Microaspersão	Nível 1
P01 R	Russas	4,0	Areia Franca	18.600	Microaspersão	Nível 2
P02 R	Russas	12,0	Areia Franca	33.085	Microaspersão	Nível 1
P03 R	Russas	32,0	Areia Franca	38.880	Microaspersão	Nível 1
P04 R	Russas	8,0	Areia Franca	24.292	Microaspersão	Nível 2
P01 MV	Missão Velha	4,0	Areia Franca	18.602	Microaspersão	Nível 2
P02 MV	Missão Velha	20,0	Areia Franca	34.800	Microaspersão	Nível 1
P03 MV	Missão Velha	7,5	Areia Franca	25.200	Microaspersão	Nível 1

Fonte: Elaboração do Autor (2018).

Perímetro Irrigado Jaguaribe - Apodi

O Projeto de Irrigação Jaguaribe Apodi localiza-se na Chapada do Apodi, no Estado do Ceará, município de Limoeiro do Norte, entre as coordenadas 5°20' de latitude Sul e 38 5' de longitude Oeste. O clima da região é do tipo BSw'h'. A temperatura média anual é de 28,5 °C, com mínima de 22 °C e máxima de 35 °C. A precipitação média anual é 772 mm, registrando-se uma distribuição de chuvas muito irregular, através dos anos. A umidade relativa é de 62%, como média anual. Os ventos sopram a uma velocidade média de 7,5 m s⁻¹ e a evapotranspiração atinge a média anual de 3.215 mm com uma insolação de 3.030 horas ano⁻¹.

O suprimento hídrico do perímetro irrigado é assegurado pelo Rio Jaguaribe, perenizado pelo Açude Castanhão, com capacidade de 6,7 bilhões de m³, com derivação através da barragem de Pedrinhas, localizada no braço do Jaguaribe, denominado Rio Quixeré.

No local de estudo cultivava-se a variedade Prata Catarina utilizando irrigação localizada por microaspersão em solo com textura franco-argilo-arenosa, conforme Tabela 7.

Tabela 7 - Atributos físicos de amostra de solo na Chapada do Apodi – CE, 2012.

Composição Granulométrica (g kg ⁻¹)						
Prof. (m)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Argila Natural	Classificação Textural
(0 – 0,10)	355	207,5	265	172,5	-	Areia franca
(0,10 – 0,20)	335	207,5	212,5	245	-	Franco Argilo Arenosa
(0,20 – 0,30)	255	177,5	240	327,5	-	Franco Argiloso

Fonte: Elaboração do Autor (2018).

Projeto Irrigado Tabuleiros de Russas – CE,2012

O Perímetro Irrigado Tabuleiros de Russas está localizado nos municípios de Russas, Limoeiro do Norte e Morada Nova, na Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe, na chamada zona de Transição Norte dos Tabuleiros de Russas. A área de um modo geral é constituída por uma

faixa contínua de terras agricultáveis ao longo da margem esquerda do Rio Jaguaribe, desde a cidade de Russas até a confluência do Rio Banabuiú, no Estado do Ceará. São as seguintes as suas coordenadas geográficas: latitude Sul 5° 37' 20", longitude Oeste 38°07' 08" e altitude de 81,50 m.

O clima, segundo a classificação de Koppen, pode ser classificado como Bsh, ou seja, seco, muito quente, com volume de precipitações da ordem de 720mm, distribuídos irregularmente, ao longo do ano (período chuvoso). A velocidade média dos ventos fica em torno de 4,50 m s.⁻¹

A área do Perímetro Irrigado Tabuleiros de Russas situa-se na feição morfológica “terrenos cenozoico de cobertura” que ocupam uma faixa de largura variável entre 5 e 50 km ao longo da costa, formando uma ampla superfície aplainada, suavemente inclinada para o mar, conhecida como tabuleiros. O cultivo da bananeira ocorre com diversos níveis tecnológicos em solo com atributos físicos conforme apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Atributos físicos do solo em amostra do Tabuleiros de Russas.

Composição Granulométrica (g kg⁻¹)

Prof. (m)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Argila Natural	Classificação Textural
(0 – 0,10)	425	449	43	83	-	Areia franca
(0,10 – 0,20)	423	435	39	102	-	Areia franca
(0,20 – 0,30)	416	397	38	149	-	Franco Arenoso

Fonte: Elaboração do Autor (2018).

Missão Nova (Missão Velha)

Os produtores estão localizados na bacia do Salgado, no distrito de Missão Nova, no sudeste do estado do Ceará. A área está situada no município de Missão Velha, com latitude de 7°19' sul, longitude de 39°11' oeste de Greenwich e altitude de 403 metros. Nesse local encontravam-se instaladas, no ano de 2017, aproximadamente, 1.715 ha de bananeira irrigada e ainda duas das maiores empresas do ramo de fruticultura irrigada da região.

Segundo Brandão et al. (2012), as chuvas na região com média anual de 1.075,8 mm se concentram no período de janeiro a abril, sendo que no período de maio a

dezembro ocorrem chuvas extemporâneas. Com clima predominante quente e úmido (Aw) e condições edafoclimáticas favoráveis ao desenvolvimento da bananicultura, tendo em vista que a umidade relativa é superior a 80%, com temperatura média anual próxima a 24,9 °C, taxa de insolação de 2.848 horas anual e velocidade média do vento próximo a 1,90 m s⁻¹ (MEDEIROS et al., 2013).

Método de avaliação da pegada hídrica

A metodologia de Hoekstra et. al. (2011) foi utilizada para a avaliação da pegada hídrica do processo de cultivo da bananicultura irrigada, em sua fase de produção decampo.

Fronteira do estudo

A fronteira desse estudo é a produção agrícola de banana, conforme pode ser visualizada na Figura 8. A produção de banana será referente a um ano médio de produção, considerando os dados das fases de preparo da área e plantio, crescimento e estabilização do pomar com vida útil de 10 anos.

De modo geral, as atividades agrícolas podem ser divididas em sete etapas: atividades de preparo do solo, plantio, tratos culturais, irrigação, adubação, controle fitossanitário e colheita. Assim, no inventário da produção agrícola serão obtidos dados sobre as seguintes fases de produção: i) Preparo da área: mudança do uso da terra, com transformação da vegetação de caatinga para bananeira; ii) Plantio: implementação e formação do pomar no primeiro ano de cultivo; iii) Formação ou crescimento: considerando o desenvolvimento da planta do segundo ano de cultivo; e, iv) Estabilização, que ocorre com a estabilização da produção do pomar a partir do terceiro ano.

Hoekstra et al. (2011) para o cálculo da pegada hídrica utilizam o ciclo da vida, contudo neste estudo avaliou-se a pegada hídrica do desenvolvimento de uma cultura no campo, não contabilizando a pegada hídrica da produção dos insumos a serem utilizados na produção.

Figura 8 - Fluxograma da Fronteira do Sistema Agrícola



Fonte: Elaboração do Autor (2018)

Coleta de dados

Na fase de produção agrícola os procedimentos empregados podem variar dependendo de fatores, tais como: condições climáticas, tecnologias disponíveis e empregadas, e a presença de praga e doenças na cultura. Entretanto, de acordo com informações obtidas em unidades de exploração agrícola em três projetos de irrigação foi possível determinar um procedimento geral, comumente empregado na região, que será utilizado neste estudo.

O sistema de irrigação é instalado logo após o desmatamento e limpeza da área a ser explorada, ou seja, logo após o preparo da área para instalação. O solo é preparado através das operações de calagem, para correção de acidez (um procedimento realizado uma vez a cada dois anos, dependendo das análises de solo), utilizando como equipamento um distribuidor de calcário acoplado a um trator. Após, são realizadas as marcações das linhas para os coveamentos/sulcos para adubação de fundação e recepção das mudas. Na fase de plantio, as mudas são transportadas através de carroças acopladas tracionadas por um trator. O plantio é feito de forma manual e no espaçamento pré-estabelecido por cada produtor.

Após o transplante, o desenvolvimento da bananeira é acompanhado pela aplicação de fertilizantes e defensivos, que variam de acordo com o surgimento de doenças, pragas e ervas daninhas. Nesse caso, foi considerada uma aplicação de fungicida, duas de inseticida e uma de herbicida de pós-emergência.

Na etapa de desenvolvimento o desbaste das folhas, acompanhamento da irrigação e marcação das plantas (como forma de planejamento para colheita) são implementados sucedendo a etapa de colheita. As áreas estudadas utilizam o método de irrigação localizado com predominância em sistemas com microaspersão. Na microaspersão os microaspersores são disponibilizados no alinhamento das bananeiras, dispostos de tal maneira que cada microaspersor atenda a três plantas de forma simultânea.

Por fim, na etapa de colheita, que é realizada de forma manual com corte do pseudocaule da bananeira, escora do cacho e acondicionamento do cacho de modo a não danificar os frutos. Do campo até a casa de seleção das frutas utilizam-se equipamentos de transporte adequados para o transporte dos cachos de banana. Os cachos colhidos são colocados em tanques de lavagem e selecionados, conforme preferência do consumidor, acondicionados em contentores de plásticos e por fim transportados em carros.

Para determinar quais os produtos e insumos utilizados no cultivo da banana, foi feito um cruzamento das informações coletadas em propriedades rurais no Projeto de Irrigação Jaguaribe Apodi, Tabuleiros de Russas e Produtores no Município de Missão Velha. Conforme Tabelas em Anexo.

Cálculo da Pegada Hídrica conforme HOEKSTRA et al. (2011)

Cálculo da Pegada Hídrica Verde, Azul e Cinza

A Pegada Hídrica Azul (PH_{Azul} , m^3 ou L) é um indicador do uso consuntivo daquilo que se denomina de água azul, ou seja, a água doce superficial ou subterrânea.

A pegada hídrica azul em uma etapa do processo é calculada da seguinte forma:

$$PH_{azul} = Evaporação_{azul} + Incorporação_{azul} + Vazão\ de\ retorno_{azul} \quad (1)$$

A fórmula para calcular a pegada hídrica verde em uma etapa do processo é representada na equação a seguir:

$$PH_{verde} = Evaporação_{verde} + Incorporação_{verde} + Vazão\ de\ retorno_{verde} \quad (2)$$

A pegada hídrica cinza é calculada pela divisão da carga poluente (L, em massa/tempo) pela diferença entre a concentração do padrão ambiental de qualidade da água para um determinado poluente (a concentração máxima aceitável c_{max} , em massa/volume) e sua concentração natural no corpo d'água receptor (c_{nat} , em massa/volume).

$$PH_{cinza} = \frac{L}{(C_{max} - C_{nat})} \quad (3)$$

O cálculo da pegada hídrica total de um processo de desenvolvimento de lavouras ou árvores é realizado conforme a equação abaixo:

$$PH_{proc} = PH_{proc.azul} + PH_{proc.verde} + PH_{proc.cinza} \quad (4)$$

Geralmente, os processos das pegadas hídricas nos setores agrícola e florestal são expressos em $m^3\ ton^{-1}$, equivalente a $litro\ kg^{-1}$.

A componente verde da pegada hídrica do processo de crescimento de uma plantação ou floresta ($PH_{proc.verde}$, $m^3\ ton^{-1}$) é calculada como a componente verde da Demanda Hídrica da Cultura (DHC1 verde, $m^3\ ha^{-1}$) dividida pela produtividade da cultura ($Prtv$, $t\ ha^{-1}$). A componente azul ($PH_{proc.azul}$, $m^3\ ton^{-1}$) é calculada de forma semelhante:

$$PH_{proc.verde} = \frac{DHC_{verde}}{Prtv} \quad (5)$$

$$PH_{proc.azul} = \frac{DHC_{azul}}{Prtv} \quad (6)$$

A componente cinza da pegada hídrica do crescimento de uma plantação ou floresta ($PH_{proc.cinza}$, $m^3\ ton^{-1}$) é calculada conforme equação a seguir:

$$PH_{proc.cinza} = \frac{\frac{(\propto TAQ)}{C_{max} - C_{nat}}}{Prtv} \quad (7)$$

em que,

$PH_{\text{proc,cinza}}$ - componente cinza da pegada hídrica do crescimento de uma plantação ou floresta ($\text{m}^3 \text{ton}^{-1}$);

TAQ - taxa de aplicação por hectare dos agroquímicos no campo (kg ha^{-1});

α - fração de lixiviação / escoamento;

C_{max} , - concentração máxima aceitável (kg m^{-3});

C_{nat} , - concentração natural do poluente (kg m^{-3});

Prtv - produtividade da cultura (t ha^{-1});

Para o cálculo da pegada Hídrica cinza agrícola, se considerou o nitrogênio como o contaminante crítico, tomados os valores de fertilizantes aplicados que se encontram disponíveis na base de dado global FERTISTAT (FAO, 2017). Se assumiu uma fração de lixiviação/escoamento deste contaminante de 10% do total de N aplicado no campo, segundo recomendações do manual proposto por Hoekstra et al. (2011).

A FAO recomenda uma aplicação de N para a cultura da banana entre 200 e 400 $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$. A base de dados nas áreas pesquisadas se encontra um valor médio de aplicação de N para o cultivo da banana em média de 375 $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$.

Processamento dos Dados

Utilizaram-se os aplicativos da Microsoft Corporation: Planilha Eletrônica Excel, versão de 2016, e o sistema de gestão de gerenciamento de dados Acess (2016) para o processamento dos dados coletados e conseqüentemente, informações para análise.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Condições Climáticas

Na Tabela 9 são apresentados os dados de Evapotranspiração de referência (ET_o), Precipitação efetiva (Pe) para a estação meteorológica de Morada Nova expandida para os municípios de Limoeiro do Norte e Russas. A ET_o total média é de 2.245,04 mm ano⁻¹, o que corresponde a 22.450,4 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, e com Pe total média de 294,62 mm ano⁻¹, o que corresponde a 2.946,2 m³ ha⁻¹ ano⁻¹. É possível observar que há um déficit de aproximadamente 19.504,2 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, tornando-se imprescindível a adoção de irrigação.

Tabela 9 - Dados de Evapotranspiração de Referência (ET_o) e Precipitação Efetiva (Pe) para Estação Meteorológica de Morada Nova (1962-2016)

Meses	Evapotranspiração de Referência (ET _o) (mm mês ⁻¹)	Precipitação Efetiva (Pe) (mm mês ⁻¹)
Janeiro	189,49	42,55
Fevereiro	148,00	46,84
Março	145,21	82,79
Abril	163,84	44,33
Mai	157,35	45,46
Junho	162,09	12,51
Julho	187,53	8,28
Agosto	209,39	0,74
Setembro	214,68	0,37
Outubro	234,71	0,93
Novembro	220,82	-
Dezembro	211,93	9,82
Total	2.245,04	294,62

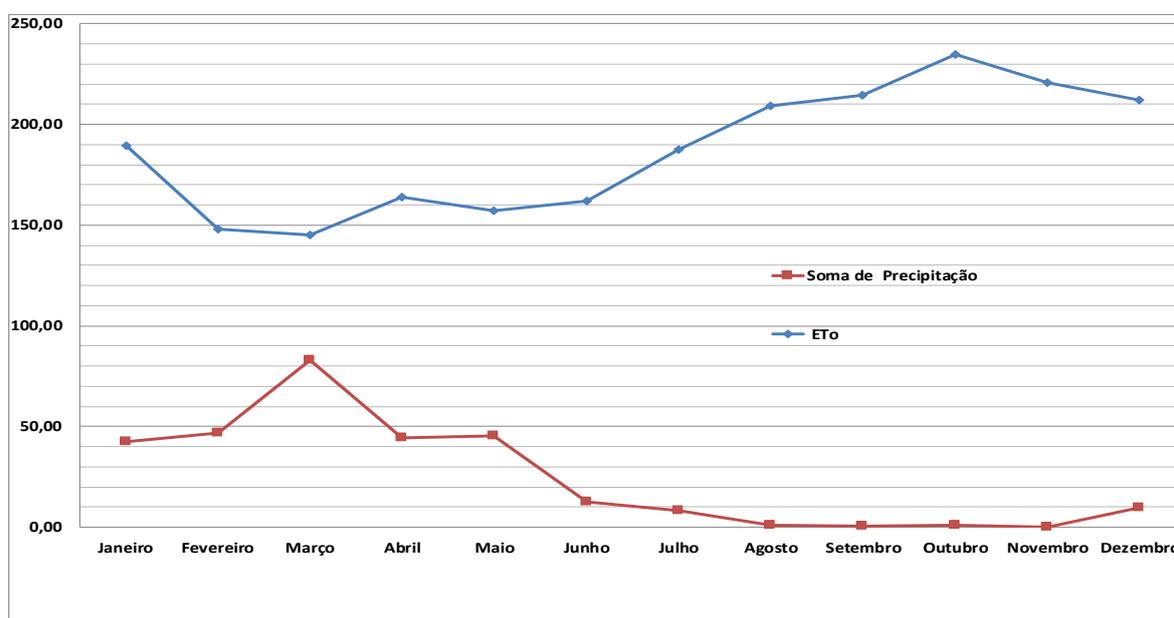
Fonte: BDMEP - INMET (2016), adaptação do autor (2018).

A Figura 9 apresenta a Evapotranspiração de referência (ET_o) e a Precipitação Efetiva (Pe), média mensal, para a estação meteorológica de Morada Nova. Observa-se que ao longo do ano em nenhum momento a Pe supera a ET_o, demonstrando um balanço hídrico

desfavorável ao longo dos 12 meses. Ao longo do ano é possível observar que nos meses subsequentes a junho o uso de irrigação para as culturas exploradas na região é suplementar.

Conforme se visualiza na Figura 9, na região do Jaguaribe Apodi, o período seco vai de julho a dezembro, com maior ênfase nos meses de setembro a dezembro. De janeiro a junho, observa-se a época chuvosa com maior concentração no mês de março. Tal distribuição das precipitações favorece as áreas irrigadas.

Figura 9 - Evapotranspiração de referência, em mm m-1 , estimada pela metodologia de Penman-Monteith (1991) para o município de Morada Nova no período de 1937 – 2016.



Fonte: BDMEP - INMET (2016), adaptação o Autor (2018).

Os dados de Evapotranspiração de referência (ETo), Precipitação efetiva (Pe) para a região de Barbalha são apresentados na Tabela 10. A ETo total média $2.130,61 \text{ mm ano}^{-1}$, o que corresponde a $21.306,10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, e com Pe total média de $623,81 \text{ mm ano}^{-1}$, o que corresponde a $6,238,10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. É possível observar que há um déficit de aproximadamente $15.068,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na região.

Tabela 10 - Dados de Evapotranspiração de Referência (ET_o) e Precipitação Efetiva (P_e) para Estação Meteorológica de Barbalha (1973-2016)

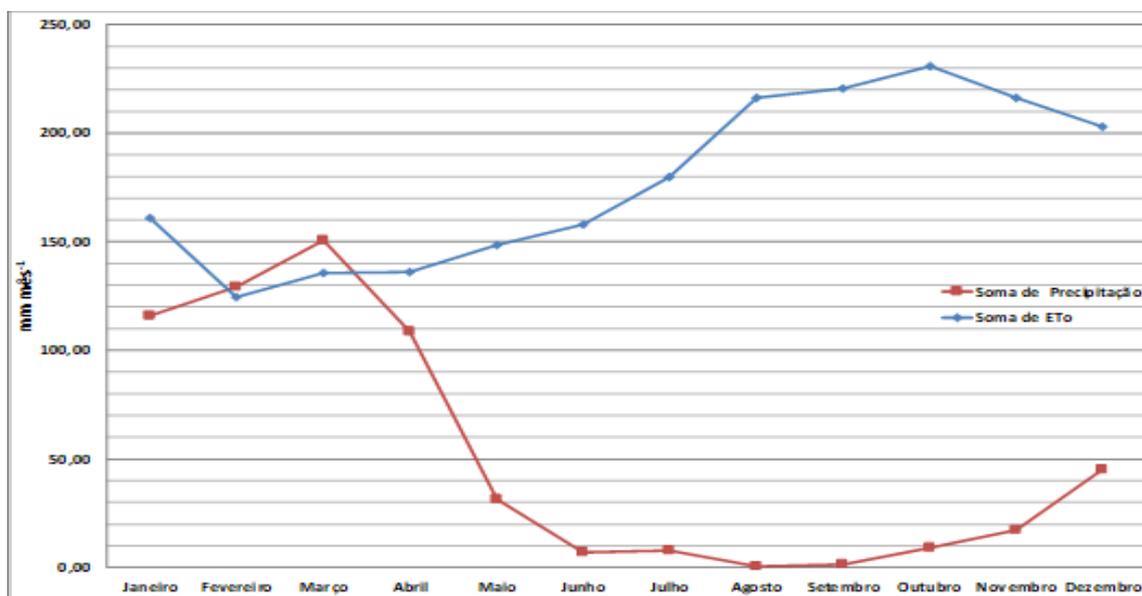
Meses	Evapotranspiração de Referência (ET_o)(mmmês⁻¹)	Precipitação Efetiva (P_e)(mmmês⁻¹)
Janeiro	160,87	115,71
Fevereiro	124,52	129,10
Março	135,77	150,48
Abril	136,04	108,78
Mai	148,47	31,45
Junho	158,04	7,09
Julho	179,77	7,89
Agosto	216,35	0,65
Setembro	220,53	1,21
Outubro	231,00	8,96
Novembro	216,35	17,29
Dezembro	202,91	45,19
Total	2.130,61	623,81

Fonte: BDMEP - INMET (2016), adaptação do autor (2018).

A Figura 10 apresenta a Evapotranspiração de referência (ET_o) e a Precipitação Efetiva (P_e), média mensal, para a estação meteorológica de Barbalha. Observa-se que para os meses de fevereiro e março a P_e supera a ET_o, demonstrando um balanço hídrico favorável para estes dois meses. Ao longo do ano é possível observar que somente nos meses de agosto e setembro a P_e é insignificante no Balanço hídrico.

Na região de Missão Velha, conforme Figura 10, a época seca vai de junho a novembro com maior ênfase nos meses concentrados de agosto a novembro e a época chuvosa de dezembro a maio, concentrando-se nos meses de janeiro a março.

Figura 10 - Evapotranspiração de referência, em mm mês⁻¹, estimada pela metodologia de Penman-Monteith (1991) para o município de Barbalha no período de 1973 – 2016



Fonte: BDMEP – INMET (2016), adaptação do autor (2018).

Padrões de Irrigação

O padrão de irrigação seguido pelos produtores em Russas, Apodi e Missão Velha indica que em sua totalidade os produtores utilizam a estratégia de irrigação com frequência diária na época seca utilizando sistema de irrigação localizada tipo microaspersão e irrigação complementar na época chuvosa (Tabela 11).

O sistema de irrigação por microaspersão permite uma oportunidade de melhoria na eficiência em uso dos recursos hídricos, tendo em vista a possibilidade de redução de perdas por escoamento superficial e percolação profunda (Figura 11). Com a redução no desperdício de água pela melhoria na eficiência de irrigação, o sistema por microaspersão evita o escoamento superficial da água (que proporciona Evapotranspiração de água sem benefício para o cultivo). O escoamento gera ademais o carreamento de nutrientes, pois a água que se infiltra arrasta consigo substâncias nutritivas para a planta.

Os produtores do Jaguaribe Apodi estão situados em perímetro irrigado, com gerenciamento próprio e distribuição de água coletiva. Assim, os produtores têm frequência diária de oferta de água para realizar suas atividades bem como uma jornada de trabalho diária com irrigação de 15 h.

A Tabela 11 apresenta para as diferentes localidades, os padrões de irrigação inerentes aos produtores analisados.

Tabela 11 - Padrões de irrigação descrito pelos produtores analisados

Localidade	Padrão de irrigação	Nº de produtores avaliados que seguem este padrão
Jaguaribe Apodi	7 dias na semana em época seca, 1 vez a cada 2 semanas na época chuvosa;	3
	7 dias na semana em época seca e 1 vez a cada 3 semanas na época chuvosa	1
Tabuleiros de Russas	7 dias na semana em época seca, 1 vez a cada 1 semanas na época chuvosa;	4
Missão Velha	7 dias na semana em época seca, 1 vez a cada 1 semanas na época chuvosa;	3

Fonte: Elaboração do Autor (2018).

Figura 11 - Disposição do espaçamento da cultura e das linhas laterais de irrigação.



Fonte: Elaboração do Autor (2018)

Os produtores do Perímetro Irrigado Tabuleiros de Russas, Figura 11, têm suas atividades também em perímetro público de irrigação, com distribuição de água individual, por 20h diária, possibilitando ao irrigante a decisões de quando e quanto irrigar o seu cultivo. Os irrigantes do Tabuleiros de Russas usam turno de rega diário com vários parcelamentos durante o dia, isto ocorre devido à baixa capacidade de retenção de água pelo solo.

Os produtores na região de Missão Velha procedem a sua irrigação com turno diário, porém com parcelamento menor durante o dia.

Para o cultivo da bananeira é ideal que o solo deva se manter constantemente com um nível de umidade adequado, porquanto o déficit de água influencia de forma negativa o crescimento e, portanto, rendimento do cultivo.

Uma melhor distribuição da frequência de irrigação (sem alterar a quantidade de água utilizada), prática adotada no Tabuleiros de Russas, tende a melhorar a eficiência do manejo do recurso e conseqüentemente aumentar os rendimentos evitando períodos de estresse por excesso e por déficit hídrico (Figura 12).

Figura 12 - Cavalete de setorização no Perímetro Irrigado Tabuleiros de Russas, CE.

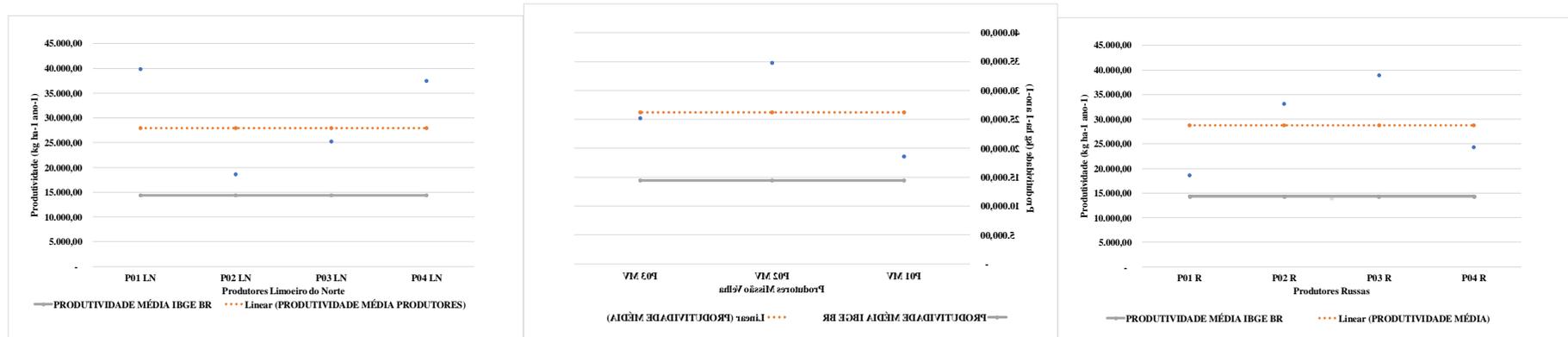


Fonte: Elaboração do autor (2018)

Rendimentos

A média de produção das áreas avaliadas (Figura 13), no Jaguaribe Apodi é de $30,27 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, enquanto que a FAO indica em sua base de dados (FAO, 2015, b) que o Brasil teve uma média de $14,37 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, entre os anos de 2012-2015. Dados da FAO (2015, b) demonstram, ainda, que a média para a região estudada é de $22,10 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, entre os anos de 2012-2015. A amostra de Limoeiro do Norte é 111% superior à média apresentada pela FAO. Uma das razões pela qual a média dos agricultores irrigantes é superior à média nacional e regional deve-se ao fato de uma maior inserção de tecnologia e manejo da cultura, outra razão é que a média apresentada pela FAO inclui também áreas de banana plantada em sequeiro.

Figura 13 - Rendimento ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) obtido pelas amostras dos produtores em: a) Limoeiro do Norte (LN), b) Missão velha (MV) e c) Russas (R) para o ano de 2015.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2018).

O rendimento médio dos produtores no Tabuleiros de Russas é de 26,20 t ha⁻¹ ano⁻¹ superior 82% a média apresentada pela FAO (2015b). Para a região de Missão Velha o rendimento médio dos produtores é de 28,71 t ha⁻¹ ano⁻¹, portanto, superior em 100% à média apresentada pela FAO para o Brasil que é de 14,37 t ha⁻¹ ano⁻¹.

É importante ressaltar que o rendimento médio do Jaguaribe Apodi é superior em 15% e 5% respectivamente, aos rendimentos observados em Missão Velha e em Russas. Já o rendimento médio dos produtores de Missão Velha quando comparado com o de Russas tem rendimento superior em aproximadamente 10%. Apesar de tecnologias adotadas pelos irrigantes do Tabuleiros de Russas a escassez hídrica que se estendeu do ano de 2012 até 2017 influenciou na queda do rendimento da banana na região de Russas, que foi em média de 30%.

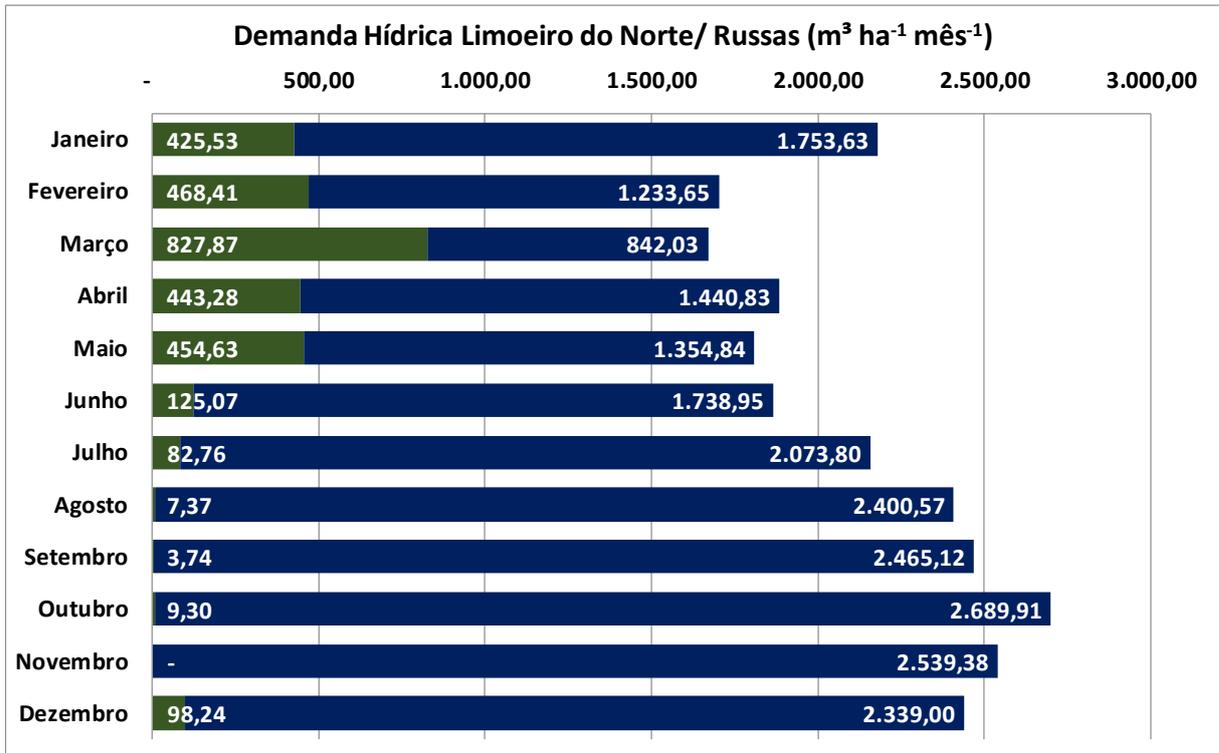
Evapotranspiração expressa em m³ ha⁻¹ ano⁻¹

A obtenção da evapotranspiração em m³ ha⁻¹ ano⁻¹ deu-se pela transformação direta do valor de evapotranspiração em mm ano⁻¹, o que equivale ao volume de água verde e azul consumida por hectare na fase agrícola. A pegada agrícola cinza foi calculada com base na quantidade de aplicação de N reportado para a bananeira convencional produzido nas localidades analisadas.

A evapotranspiração média calculada para as localidades de Jaguaribe Apodi e Tabuleiros de Russas foi de 22.450,4 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, enquanto para a região de Missão Velha foi de 21.306,1 m³ ha⁻¹ ano⁻¹. Estas taxas se encontram próximas da evapotranspiração para a cultura da bananeira, a qual em conformidade com a FAO (2012) se situa em torno de 22.000 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ em trópicos secos. A diferença nos valores de evapotranspiração entre as localidades analisadas se deve principalmente às condições climáticas.

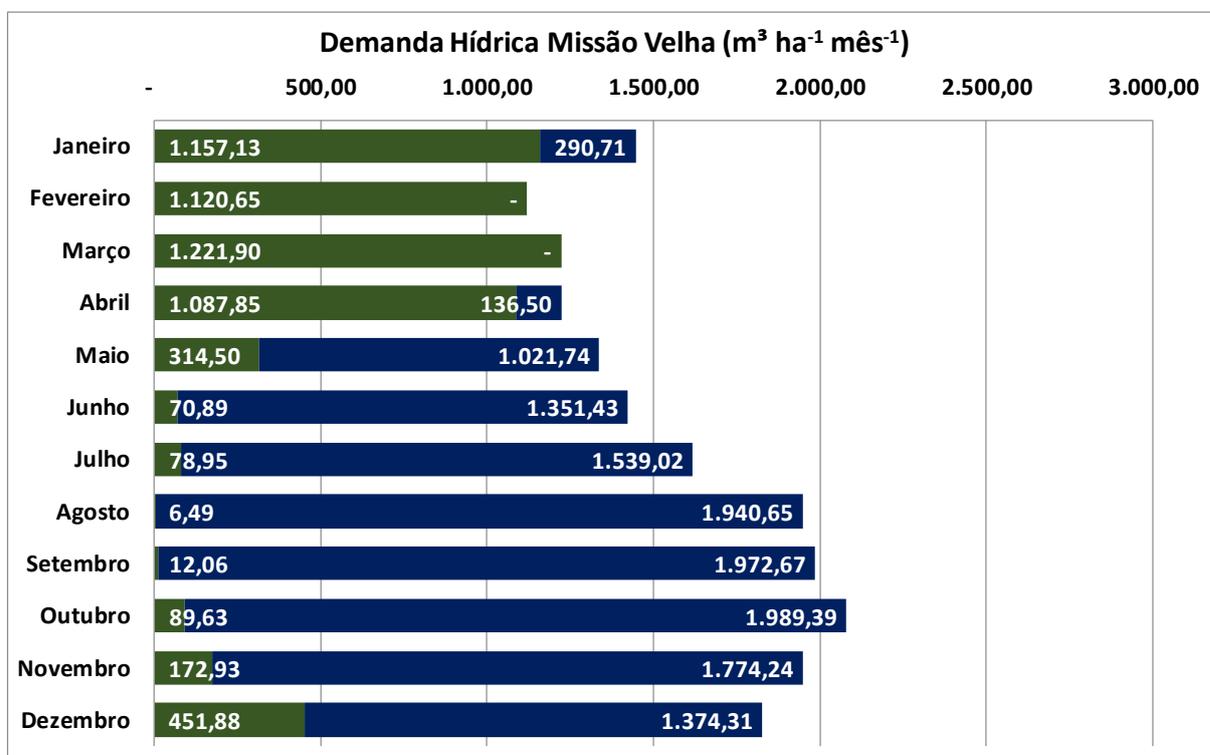
Nas Figuras 14 e 15 observa-se que para a região de Apodi e Russas no período de (JAN – MAIO), o aporte hídrico da cultura depende de um fornecimento de águas de irrigação, o que incrementa a PH azul nesse período. Já para a região de Missão Velha para o mesmo período o aporte hídrico é realizado por águas de chuva, indicando que nessa área a PH verde é maior. No segundo semestre as duas regiões se equivalem sendo o aporte hídrico realizado predominantemente por irrigação.

Figura 14 - Valores de evapotranspiração do cultivo de banana para as amostras do Jaguaribe Apodi (LN) e Tabuleiros de Russas (R).



Fonte: Autor (2018).

Figura 15 - Valores de evapotranspiração do cultivo de banana para as amostras de Missão Velha.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

Na Tabela 12 se verifica que para cada 1 m^3 de água azul que se consome no Jaguaribe Apodi e em Russas é consumido 0,53 m^3 em Missão Velha. Cabe destacar que este consumo se refere à água azul evapotranspirada pelo cultivo (proveniente de irrigação), não da extração de água para irrigação. A extração de água para irrigação certamente é bem maior, contudo a metodologia proposta por Hoekstra para a fase agrícola somente se contabiliza a água evapotranspirada.

Tabela 12 - Demanda Hídrica da banana fase agrícola ($\text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{ano}^{-1}$) – média para as amostras no Jaguaribe Apodi (Limoeiro do Norte), Tabuleiros de Russas (Russas) e Missão Nova (Missão Velha).

Demanda Hídrica na fase Agrícola $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	Jaguaribe Apodi	Tabuleiros de Russas	Missão Nova
Demanda Hídrica Verde	133,31	133,31	236,92
Demanda Hídrica Azul	1.034,87	1.034,87	548,42

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

O valor da demanda hídrica cinza calculada para as práticas agrícolas convencionais nos Perímetros de Irrigação Jaguaribe Apodi, Tabuleiros de Russas e na zona agrícola de Missão Nova corresponde a água requerida para a assimilação da carga de nitrogênio proveniente dos fertilizantes aplicado, contudo se desconhece o efeito que pode ter o escoamento gerado pelo excesso da quantidade de irrigação sobre o incremento na lavagem de nutrientes no campo.

Pegada Hídrica

A pegada hídrica, expressa em $\text{m}^3 \text{t}^{-1}$ foi obtida pela relação entre a demanda hídrica ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) na fase de produção e o rendimento da cultura em t ha^{-1} . A média de pegada hídrica agrícola para as amostras do Jaguaribe Apodi, Tabuleiros de Russas e Missão Velha foram de $998,3 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$, $1.048 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ e $1.107 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$, respectivamente (Tabela 13).

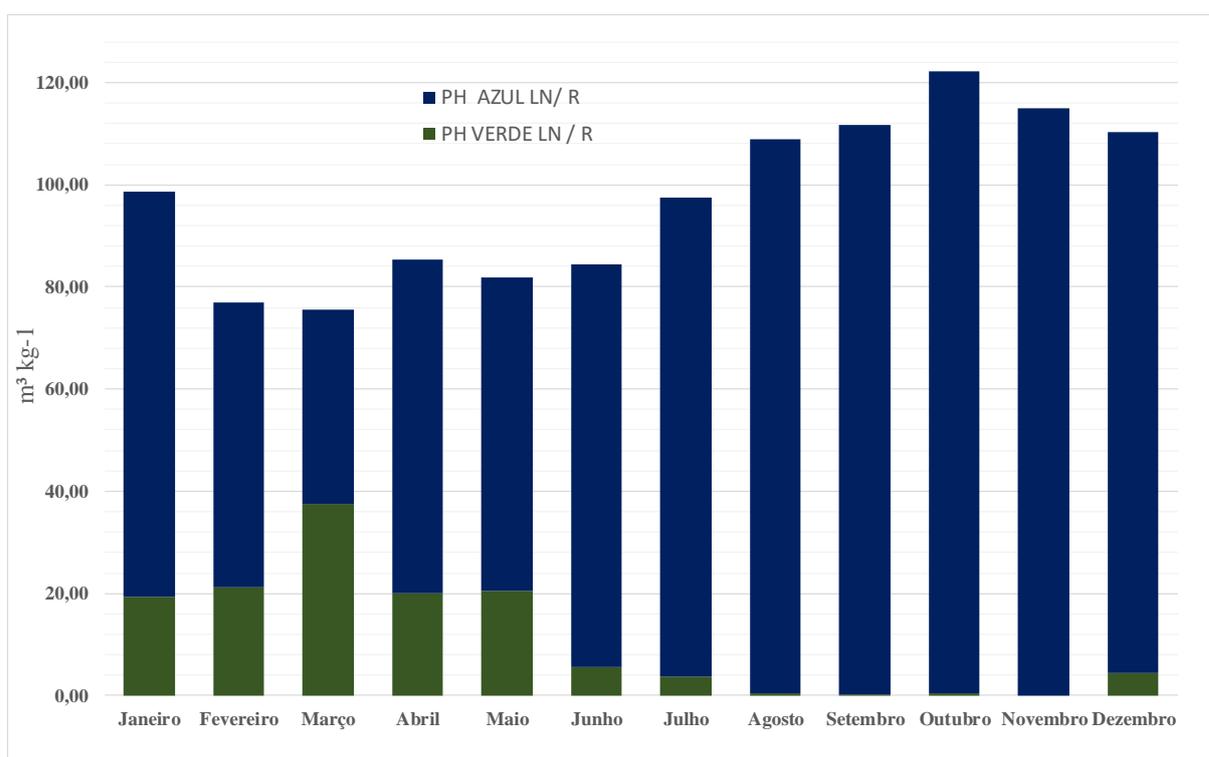
Para Missão Velha em razão das condições climáticas que demandam menor evapotranspiração de água azul, obteve-se resultado para a água azul de $780,9 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$. Já para Jaguaribe Apodi e Russas estes valores foram respectivamente de $830,6$ e $862,7 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$.

As pegadas hídricas agrícolas para os produtores do Apodi variam entre $708,77$ e $1.448,79 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$, e no caso de Russas variam de $738,19$ e $1.462,21 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ e para Missão Velha variam entre $802,22$ e $1.438,07 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$.

A maior pegada hídrica verde média encontrada para as três regiões foi a de Missão Velha, que é de $998,28 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$, superando em 137% e 118%, respectivamente, Jaguaribe Apodi ($106,99 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$) e Tabuleiros de Russas ($111,13 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$).

Ao se observar a pegada hídrica azul (PH_{azul}), os levantamentos identificam uma maior pegada no Tabuleiros de Russas, que é de 862,69 m³ t⁻¹, em seguida vem o Jaguaribe Apodi, com uma PH_{azul} de 830,56 m³ t⁻¹, e Missão Velha com 780,92,97 m³ t⁻¹. A PH total (azul, verde e cinza) média obtida para as mostras do Perímetro irrigado Jaguaribe Apodi é de 998,28m³ t⁻¹ ao qual se encontra 4% abaixo dos valores encontrados no Perímetro irrigado de Russas, que é de 1.047,97 m³t⁻¹, e inferior 10% aos valores encontrados no polo de irrigação de Missão Velha é de 1.106,91m³ t⁻¹.

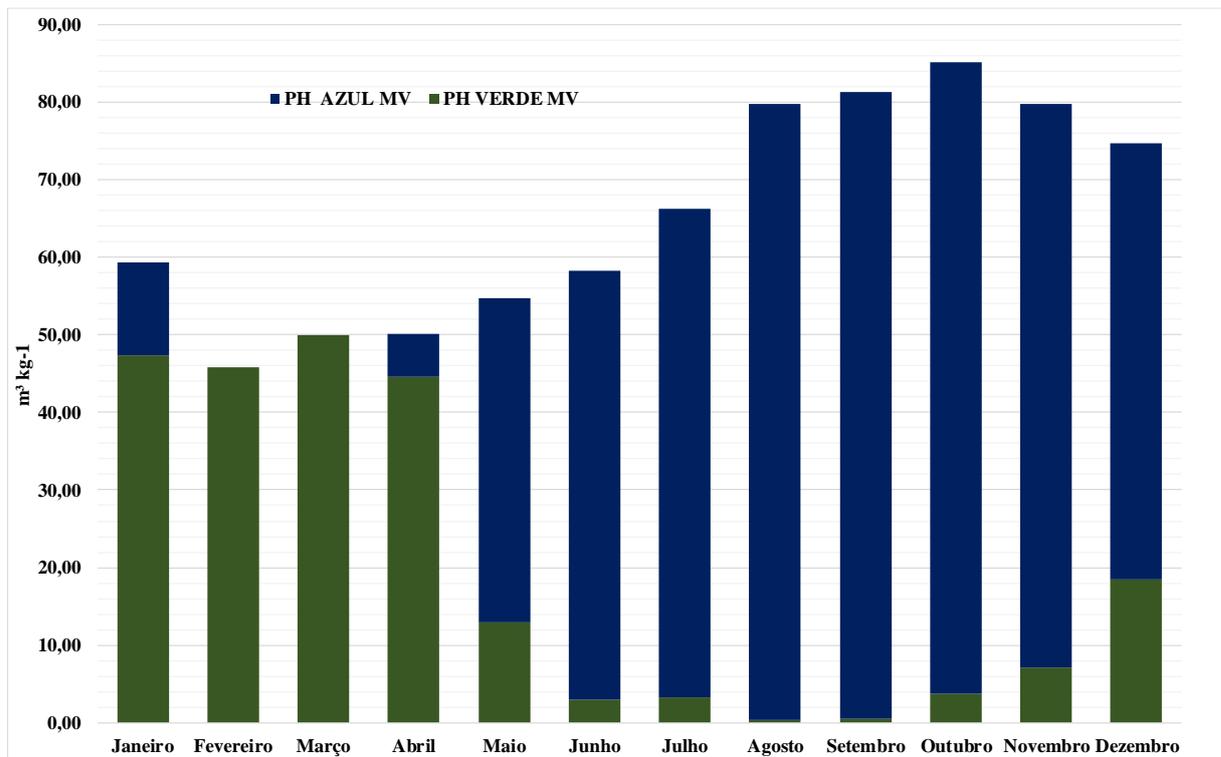
Figura 16 - Pegada hídrica agrícola da banana em m³ t⁻¹ para as amostras de Limoeiro do Norte e Russas



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

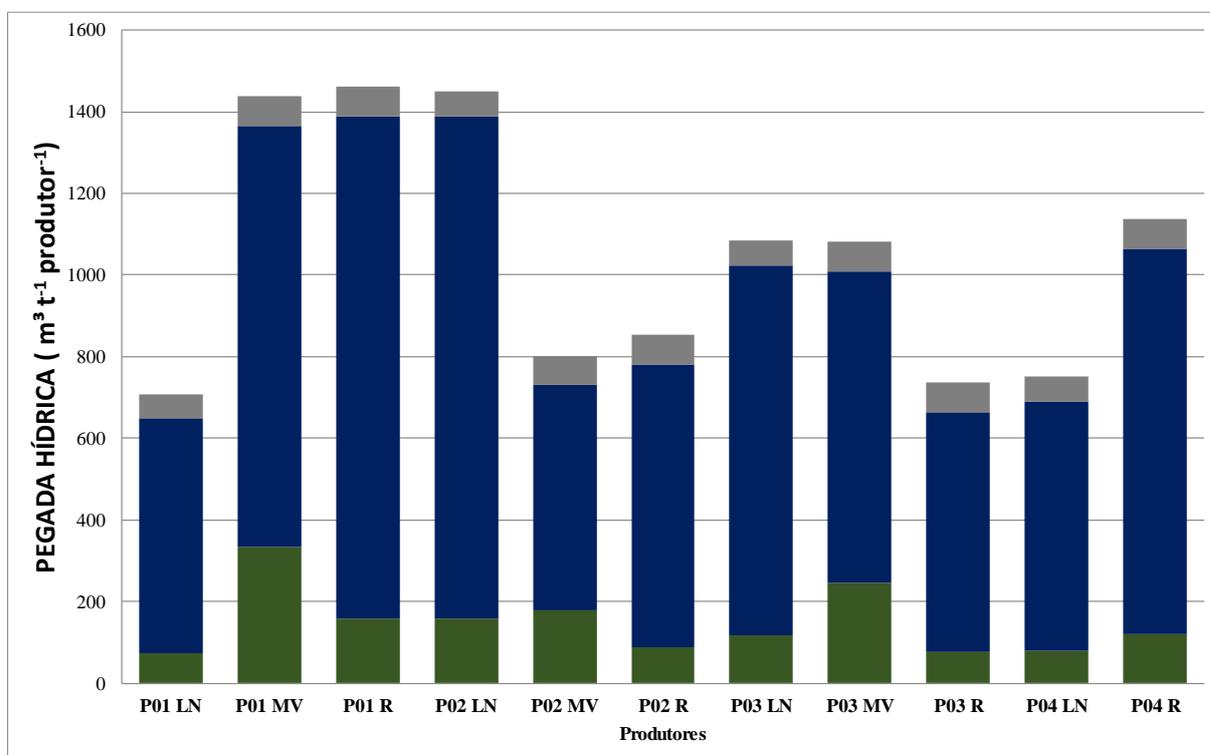
Apegadas hídricas mensais médias verdes (PH_{verde}) e azul (PH_{azul}) são apresentadas nas Figuras 17 e 18, para as amostras de Limoeiro do Norte /Russas e Missão Velha, respectivamente. Comparando as Figuras observa-se que a PH_{verde} nas duas regiões se concentra no primeiro semestre do ano, porém somente a região de Missão Velha toda a demanda da cultura foi atendida pelas precipitações nos meses de fevereiro e março. No entanto a PH_{azul} a região do Jaguaribe Apodi/ Russas supera em 19,3% a PH_{azul} da região de Missão Velha.

Figura 17 - Pegada hídrica agrícola da banana em $\text{m}^3 \text{ t}^{-1}$ para as amostras Missão Velha.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

Figura 18 - Pegada hídrica agrícola da banana em $\text{m}^3 \text{t}^{-1}$ para as amostras dos produtores de Limoeiro do Norte (LN), Russas (R) e Missão Velha (MV).



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

Tabela 13 - A pegada hídrica das fases agrícolas para as amostras do Apodi, Russas e Missão Velha. ($\text{m}^3 \text{t}^{-1}$).

Pegada Hídrica das fases agrícolas	Jaguaribe Apodi	Russas	Missão Velha
Pegada Hídrica verde (média)	106,99	111,13	254,05
Pegada Hídrica azul (média)	830,56	862,69	780,92
Pegada Hídrica cinza (média)	60,73	74,15	71,94
Pegada Hídrica total (média)	998,28	1.047,97	1.106,91

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

A pegada hídrica agrícola é sensível ao nível de produção da cultura, portanto, é importante que o sistema de cultivo aplicado gere a maior produtividade no intuito de reduzir a pegada hídrica por tonelada de banana produzido.

A avaliação pegada hídrica é um indicador importante e que deve analisar um conjunto de outros indicadores como, por exemplo, o índice de escassez hídrica das bacias hidrográficas onde estão instaladas as áreas de produção.

Clercx et al. (2016) avaliando a pegada hídrica das bananas produzidas por pequenos produtores de banana no Peru e no Equador encontraram como pegada de água média da amostra equatoriana de $576 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ e para a amostra peruana $599 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$. No caso peruano, 94% da pegada média de água corresponde à PH_{azul} , ou seja, proveniente de irrigação, mas para o Equador, a PH_{azul} corresponde a 34% do total. Em ambos os países, a fase de produção agrícola contribui com mais de 99% para a pegada total de água.

Pahlow et al. (2015) estudando a Pegada Hídrica agrícola da África do Sul com base em dados para o período 1996-2005, concluiu que a cultura da banana tem uma pegada hídrica verde, azul e cinza, respectivamente, de $288 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$, $431 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ e $29 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$, totalizando uma pegada hídrica para a cultura de $748 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$.

Sikirica (2011) estudando a Pegada Hídrica agrícola das fazendas da Dole Food Company na Costa Rica e Honduras concluiu que a cultura da banana tem uma pegada hídrica, no caso de bananas em crescimento, a pegada de água seria diferente por 50,8 até 262,6 litros por quilo de bananas, dependendo da fazenda.

Ao se correlacionara PH_{verde} mundial ($660 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$) com a PH_{verde} para as três regiões estudadas: Missão Velha ($254,05 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$), Limoeiro do Norte ($106,99 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$) e Russas ($111,13 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$) observa-se que as regionais são superadas pela PH_{verde} mundial média, o que demonstra um forte impacto da PH_{azul} para a produção de bananas regional.

O consumo médio de água virtual mundial na produção da banana foi determinado em $790 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ (MEKONNEN, 2011). A PH_{total} média obtida para as mostras do Perímetro irrigado Jaguaribe Apodi foi de $998,28 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$, no Perímetro irrigado de Russas, que foi de $1.047,97 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$, e no pólo de irrigação de Missão Velha que foi de $1.106,91 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$. Segundo Andrade (2018), as áreas em estudo estão localizadas em bacias hidrográficas cujo fator de escassez hídrica regionalizado é considerado alto, sinalizando que a pegada hídrica azul da cultura da banana deve estar contribuindo com o incremento da escassez hídrica dessas bacias.

CONCLUSÕES

A região de Missão Velha por apresentar uma pegada hídrica azul para a banana inferior em até 47% às pegadas hídricas azul das regiões da Chapada do Apodi e Russas sinaliza como uma região com potencial para atrair o cultivo irrigado desta cultura, não obstante a dependência da fonte de água subterrânea.

A avaliação da pegada hídrica pode contribuir com a tomada de decisão de governantes e produtores quanto ao real valor da água bruta, elevando assim as discussões relacionadas à cobrança de água bruta no setor agrícola, implantação e manejo das culturas nas diferentes bacias hidrográficas.

A pegada hídrica total para a cultura da banana nas regiões de Limoeiro do Norte, Russas e Missão Velha foram superiores a pegada hídrica mundial em 26%, 33% e 40%, respectivamente.

REFERÊNCIAS

ADECE - Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará. **Perfil da produção de frutas Brasil Ceará**. 2013. Disponível em:

<http://www.adece.ce.gov.br/index.php/agronegocio/fruticultura>. Acesso em: 23 ago. 2016.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília, 2017. 86 p.

ANDRADE, E. P. **Determinação de índices de escassez hídrica para as sub-bacias cearenses**. 2016. 64p. Monografia (Especialização em Geoprocessamento Aplicado à Análise Ambiental e Recursos Hídricos) - Centro de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2016.

ANDRADE, E. P. **Regionalização para o Semiárido Brasileiro de Método de Avaliação de Ciclo de Vida para Escassez Hídrica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Ambiental). Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

BRANDÃO, Z. N. *et al.* Zoneamento de áreas de plantio e mapeamento de APPS e RLS usando imagens ALOS. *In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO*, 4., Recife. **Anais...** Recife: UFPE, 2012. p. 001-006.

FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentos e Agricultura. Towards a water and food secure future critical perspectives for policy-makers. **World water council**.

Marseille, 2015. Disponível em:

<http://www.worldwatercouncil.org/en/publications/towards-water-and-food-secure-future-critical-perspectives-policy-makers>. Acesso em: 9 mar. 2017.

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentos e Agricultura. **Crop water information for banana**. 2015a. Disponível em:

http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_banana.html. Acesso em: 30 abr. 2016.

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentos e Agricultura. **FAOSTAT**. 2015b. Disponível em: <http://faostat.fao.org>. Acesso em: 30 abr. 2016.

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentos e Agricultura. **Banana Statistical v Compendium 2015 -2016**. 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i7409e.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2018

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentos e Agricultura. **FertiStart**. 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/ag/agp/fertistart>. Acesso em:

18 fev.2018

HOEKSTRA, A. Y. *et al.* **The water footprint assessment manual: setting global standard.** 1.ed. London: Water Footprint Network, 2011, 224 p. ISBN 978-1-84971-279-8.

MEKONNEN M. M.; HOEKSTRA A. Y.; The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. **Hydrol. Earth Syst. Sci.** [s.l] v. 15 p. 1577–600. Maio, 2011.

MEDEIROS, C. N. de (Org.). *et al.* **Os recursos hídricos do Ceará integração, gestão e potencialidades.** 1. ed. Fortaleza: IPECE, 2011. v. 500. 268p. 2011. DOI: 10.13140/RG.2.1.1657.9289.

MEDEIROS, R. M. *et al.* Balanço hídrico climatológico e classificação climática para a área produtora da banana do município de Barbalha - CE. **Rev. Bras. Agric. Irri.**, São Paulo, v. 7, n. 4, p. 258 - 268, ago, 2013.

OLIVEIRA, M. A. S., KHAN, A. S. **Nível tecnológico e seus fatores condicionantes na bananicultura do município de Mauriti - Ce.** 2003. 92 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) - Departamento de Economia Agrícola, Centro de Ciências Agrária, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza-Ce, 2003.

PAHLOW, M; SNOWBALL, J; FRASER, G. Water footprint assessment to inform water management and policy making in South Africa. **Water SA**, Pretoria, v. 41, n. 3, p. 300-313, abr., 2015.

PFISTER, S.; KOEHLER, A.; HELLWEG, S. Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA. **Enviro. Sci. Technol.** California, v. 43, n. 11, p. 4098–4104, abr., 2009.

SIKIRICA, N., **Water Footprint Assessment Bananas and Pineapples: Dole Food Company.** Soil & More International: Netherlands. Maio, 2011. Disponível em: <http://www.waterfootprint.org/Reports/Soil-and-More-2011-WaterFootprintBananasPineapplesDole.pdf>. Acesso em 25/05/2014.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A grande expansão da produção agrícola nas regiões de Limoeiro do Norte, Russas e Missão Velha levou a crescentes necessidades de recursos hídricos. Tal aumento de consumo de água envolve um desafio importante na gestão da água no estado do Ceará. O que representa um desafio para as políticas de gestão da água.

Nestas regiões, no geral, a escala de produção foi o principal fator que impulsionou o consumo de água. A água azul tornou-se essencial para o desenvolvimento do setor agrícola, e a substituição de culturas não teria sido possível sem o papel fundamental da irrigação. A área irrigada aumentou gradualmente durante esses anos e, com ela, o consumo de água azul.

Consequentemente, o desenvolvimento do setor agrícola nestas regiões estava intimamente ligado à evolução tecnológica que permitia a aquisição e armazenamento de água mais facilmente e a um custo menor.

As observações e conclusões realizadas nesse estudo nos permite fazer considerações a respeito da avaliação da pegada hídrica como um importante indicador que deve analisar um conjunto de outros indicadores como, por exemplo, o índice de escassez hídrica das bacias hidrográficas onde estão instaladas as áreas de produção.

REFERÊNCIAS

ADECE - Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará. **Perfil da produção de frutas Brasil Ceará**. 2013. Disponível em:

<http://www.adece.ce.gov.br/index.php/agronegocio/fruticultura>. Acesso em: 23 ago. 2016.

ALLEN, R.G. *et al.* **Evapotranspiration del cultivo guias para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**: Guias para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2006. 298 p. (Estudio FAO Riego y Drenaje, 56)

ANA – Agência Nacional de Águas. **Atlas irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. Brasília, 2017. 86 p.

ANDRADE, E. P. **Determinação de índices de escassez hídrica para as sub-bacias cearenses**. 2016. 64p. Monografia (Especialização em Geoprocessamento Aplicado à Análise Ambiental e Recursos Hídricos) - Centro de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2016.

ANDRADE, E. P. **Regionalização para o Semiárido Brasileiro de Método de Avaliação de Ciclo de Vida para Escassez Hídrica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Ambiental). Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

ANDRIGUETO, J. R. *et al.* Produção integrada de frutas e sistema agropecuário de produção integrada no Brasil. *In*: PRODUÇÃO INTEGRADA NO BRASIL AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, ALIMENTOS SEGUROS / MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. SECRETÁRIA DE DESENVOLVIMENTO AGROPECUÁRIO E COOPERATIVISMO., 2009, Brasília. **Anais [...]**. Brasil: MAPA/ ACS, 2009. p. 1-24.

BARROS, K. de O. **Índice de aridez como indicador da susceptibilidade à desertificação na mesorregião norte de Minas Gerais**. Monografia (Graduação em Geografia) - Centro de Ciências Humanas Letras e Artes, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2015.

BARROSO, A. de A. F. *et al.* Evapotranspiração e coeficiente de cultivo da bananeira cv. “Pacovan Apodi” no terceiro ciclo de produção. **Rev. Bras. de Agric. Irrig.** Fortaleza, v. 4, n. 1, p. 23–30, fev.2010.

BAYART, J.B. *et al.* A framework for assessing off-stream freshwater use in LCA. **Int. J. Life Cycle Assess.** U.S., v. 15, p. 439-453, jan. 2010.

BERGER, M. *et al.* Saving the planet's climate or water resources? The trade-off between carbon and water footprints of European biofuels. **Sustainability**. Switzerland, v. 15, p. 6665-6683, maio, 2015.

BORGES, A. L. *et al.* **O cultivo da bananeira**. 1ª. ed. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004. 279 p. ISBN: 85-7158-010-3.

BORGES, A. L. *et al.* **Banana: instruções práticas de cultivo**. 1ª ed. Cruz das Almas: Documentos/Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006. (CD-ROM).

BORGES, A. L.; SOUZA, L. da S.; ALVES, E. J. Exigências edafoclimáticas. *In* CORDEIRO, Z. J. M. **Banana. Produção Aspectos técnicos**. Brasília: EMBRAPA, 2009. p.17-23.

BOULAY A.M. *et al.* Analysis of water use impact assessment methods (Part A) Evaluation of modeling choices based on a quantitative comparison of scarcity and human health indicators. **Int. J. Life Cycle Assess.** Berlim, v.20, p. 139-160, out. 2014.

BRANDÃO, Z. N. *et al.* Zoneamento de áreas de plantio e mapeamento de APPS e RLS usando imagens ALOS. *In* SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 4., Recife. **Anais...** Recife: UFPE, 2012. p. 001-006.

CABRAL, R. C. **Evapotranspiração de referência de Hargreaves (1974) corrigida pelo método de Penman-Monteith /FAO (1991) para o Estado do Ceará**. 2000. Dissertação. (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2000.

CAZCARRO, I. *et al.* How Sustainable is the Increase in the Water Footprint of the Spanish Agricultural Sector? A Provincial Analysis between 1955 and 2005–2010. **Sustainability**, Switzerland, v. 7, p. 5094-5119, abr. 2015.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Fortaleza, 2005.

CHAPAGAIN, A.K., HOEKSTRA, A.Y. The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands. **Ecol. Econ.** Boston. v. 64, n. 1, p. 109–118, out. 2005.

CHOUCHANE, H., *et al.* The water footprint of Tunisia from an economic perspective. *In*: **Ecol. Indic.**, Netherlands, v. 52, p. 311–319, maio, 2015.

CLERCX, L., ZARATE TORRES, E. AND KUIPER, J.D. Water footprint assessment of bananas produced by small banana farmers in Peru and Ecuador. **Acta Hortic.** Austrália v.1 n.1112, p. 21-28. mar, 2016.

COELHO, E. F., BORGES, A.L. Aspectos de fertirrigação em bananeira. *In*: BORGES, A.L. *et al.* **Fertirrigação em Frutas Tropicais**. 2ª ed. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2008. p. 9-19. ISBN: 85-7158-002-2.

COGERH. Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará. **Nível dos Açudes**. Disponível em: <http://portal.cogerh.com.br>. Acesso em jul. 2009.

COGERH. Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará. **Base cartográfica · mapas Bacia Hidrográfica - Baixo Jaguaribe**. Disponível em: <http://portal.cogerh.com.br/base-cartografica/category/62-bacia-hidrografica-baixo-jaguaribe.html>, 2016. Acesso em: 9 mar. 2017.

CORDEIRO, Z. J. M. **Banana. Produção Aspectos Técnicos - séries Frutas do Brasil**. 2ªed. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. 143 p. v.1. ISBN 85-7383-070-0.

DANTAS, L. L., *et al.* Classificação botânica, origem, evolução e distribuição geográfica. *In* ALVES, E. J. (Org.). *In: A cultura da banana aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais*. Brasília: Embrapa Serviço de Produção e Informação / Embrapa Cruz das Almas, 1997. p. 27-33. ISBN: 85-7383-001-8.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Trad. de H.R. Gheyi, A.A. de Sousa, F.A.V. Damasceno, J.F. de Medeiros. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 2000. 221p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

DURAES, F. O. M.; MAGALHAES, P. C. Transporte de água no sistema solo-planta-atmosfera; movimento de água e solutos nas plantas. *In*: ALBUQUERQUE, P. E. P. de; DURÃES, F. O. M. (Ed.). **Uso e manejo de irrigação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Sete Lagoas Embrapa Milho e Sorgo, 2008. p. 169-224.

FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentos e Agricultura. Towards a water and food secure future critical perspectives for policy-makers. **World water council**. Marseille, 2015. Disponível em: <http://www.worldwatercouncil.org/en/publications/towards-water-and-food-secure-future-critical-perspectives-policy-makers>. Acesso em: 9 mar. 2017.

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentos e Agricultura. **Crop water information for banana**. 2015a. Disponível em: http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_banana.html. Acesso em: 30 abr. 2016.

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentos e Agricultura. **FAOSTAT**. 2015b. Disponível em: <http://faostat.fao.org>. Acesso em: 30 abr. 2016.

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentos e Agricultura.. **Banana Statistical v Compendium 2015 -2016**. 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i7409e.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2018

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentos e Agricultura. **FertiStart**. 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/ag/agp/fertistart>. Acesso em: 18 fev.2018

FIGUEIRÊDO, M. C. B.*et al.* The carbon footprint of exported Brazilian yellow melon. **J. Clean. Produc.**, [s.l] v. 47, p. 404-414. maio, 2013.

FILHO, F. A. S. **CEARÁ 2050 Estudo Setorial Especial Recursos Hídricos**. Fortaleza, 2018. 66 p. Disponível em: <http://www.fastef.ufc.br/portal/wp-content/uploads/2018/07/estudo-setorial-especial-%e2%80%93-recursos-hidricos.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2018.

GIACOMIN, G. S.; OHNUMA JÚNIOR, A. A. Análise de resultados de pegada hídrica por países e produtos específicos. **Rev. Eletron. Gest. Educ. Tecno. Ambie.** Santa Maria, v. 8, p. 1562-1572, set. 2012.

HIRAKURI, M. H. *et al.* **Sistemas de produção conceitos e definições no contexto agrícola**. Londrina: Embrapa Soja, 24 p., set. 2012. ISSN: 2176-2937 (Embrapa Soja - Documentos, 335).

HOEKSTRA, A. Y. *et al.* **The water footprint assessment manual: setting global standard**. 1.ed. London: Water Footprint Network, 2011, 224 p. ISBN 978-1-84971-279-8.

HUANG, J. *et al.* Reducing agricultural water footprints at the farm scale: A case study in the Beijing Region. **J. Water**, Suíça, v. 7, p. 7066-7077, dez. 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **SIDRA**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado>. Acesso em: 16 de jan. 2018.

INESP – Instituto de Estudos e Pesquisa para o Desenvolvimento do Estado do Ceará. **Caderno regional da Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe: Pacto das Águas – Compromisso Socioambiental Compartilhado**. Ceará: INESP, 2009a. v. 7, 104p. ISBN 978-85-7973-006-1.

INESP- Instituto de Estudos e Pesquisa para o Desenvolvimento do Estado do Ceará. **Caderno Regional para a Salgado**. v 4. Pacto das Águas – Compromisso Socioambiental Compartilhado. Ceará: 2009b, v. 11, 115 p. ISBN 978-85-7973-010-8.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em:
<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep> Acesso em: 25 abr. 2016.

LIMA, M. B.; SILVA, S. de O. e; FERREIRA, C. F. **Banana o produtor pergunta, a Embrapa responde: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. 2. ed. rev., e ampl. Brasília: Embrapa, 2012. 214p. ISBN 978-85-7035-118-0.

MACEDO, C.C.A., *et al.* Caracterização da água subterrânea de uma comunidade na zona rural do município de Missão Velha – Ceará. *In: III Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo. Suplemento de Anais*. São Paulo: ABAS, 2013b. Disponível em:
<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27821/18044>. Acesso em: 15 abr. 2016.

MARZULLO, R. de C. M. **Metodologia para o cálculo da pegada hídrica ecotoxicológica de produtos dentro de uma perspectiva de ACV com uso do GIS estudo piloto para o etanol hidratado**. 2014, 222f. Tese (Doutorado em Ciências). Instituto de Energia e Meio Ambiente. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2014.

MEKONNEN M. M.; HOEKSTRA A. Y.; The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. **Hydrol. Earth Syst. Sci.** [*s.l.*] v. 15 p. 1577–600. Maio, 2011.

MEDEIROS, C. N. de (Org.). *et al.* **Os recursos hídricos do Ceará integração, gestão e potencialidades**. 1. ed. Fortaleza: IPECE, 2011. v. 500. 268p. 2011. DOI: 10.13140/RG.2.1.1657.9289.

MDIC. Dados do Comércio Exterior [do] Ministério do Desenvolvimento, da Indústria e Comércio Exterior. Rio de Janeiro, dezembro 2016.

MEDEIROS, R. M. *et al.* Balanço hídrico climatológico e classificação climática para a área produtora da banana do município de Barbalha - CE. **Rev. Bras. Agric. Irri.**, São Paulo, v. 7, n. 4, p. 258 - 268, ago, 2013.

MIRANDA, F. R. de MASCEDO, A. B M., GONDIM, R. S. **Eficiência de uso da água e produtividade da bananeira cv. Pacovan sob diferentes potenciais de água no solo**. Fortaleza. Embrapa Agroindústria Tropical, 2012. 18 p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Agroindústria Tropical, ISSN 1679-6543, 61).

OLIVEIRA, M. A. S., KHAN, A. S. **Nível tecnológico e seus fatores condicionantes na bananicultura do município de Mauriti - Ce**. 2003. 92 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) - Departamento de Economia Agrícola, Centro de Ciências Agrária, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza-Ce, 2003.

PAHLOW, M; SNOWBALL, J; FRASER, G. Water footprint assessment to inform water management and policy making in South Africa. **Water SA**, Pretoria, v. 41, n. 3, p. 300-313, abr., 2015.

PFISTER, S.; KOEHLER, A.; HELLWEG, S. Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA. **Enviro. Sci. Technol.** California, v. 43, n. 11, p. 4098–4104, abr., 2009.

RIDOUTT, B. G.; PFISTER, S. A revised approach to water footprinting to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater scarcity. **Glob. Environ. Change**, [s.l.] v. 20, p. 113-120, fev. 2010.

ROCHA, S. R. **A balança comercial e as transferências de água virtual análise do setor agrícola no Ceará.** 2014. 170 f. Dissertação (mestrado) – Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2014.

SANTOS, M.R. dos. *et al.* Irrigation management strategy for Prata-type banana. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 20, n. 9, p. 817-822, set. 2016.
SEAGRI. **O agronegócio da agricultura irrigada no Ceará.** (1999 – 2003). Fortaleza. SIGA/SEAGRI. 2003. 14 p.

SANTOS, J. W. G dos. **Estudos comparativo de respostas das bananeiras às aplicações de fertilizantes minerais e biofertilizantes na Chapada do Apodi - CE.** Dissertação de mestrado. 2011. 53 p. Dissertação (mestrado) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

SANTOS, M.R. dos. *et al.* **Irrigation management strategy for Prata-type banana.** Rev. bras. eng. agríc. ambient., Campina Grande, v. 20, n. 9, p. 817-822, Sept. 2016
.Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662016000900817&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 14 abr. 2017.

SIKIRICA, N., **Water Footprint Assessment Bananas and Pineapples: Dole Food Company.** Soil & More International: Netherlands. Maio, 2011. Disponível em: <http://www.waterfootprint.org/Reports/Soil-and-More-2011-WaterFootprintBananasPineapplesDole.pdf>. Acesso em 25/05/2014.

SILVA JUNIOR; J. F. da LOPES; G. M. B.FERRAZ, L. G. B. **Sistema de produção de banana para a Zona da Mata de Pernambuco.** 1ªed. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2010, 134 p. ISSN 1678-197X 2010. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/877997>. Acesso em: 10 out. 2017

SILVA, A. J. P. da *et al.* **Irrigação da bananeira.** 1ªed. Cruz da Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura. 2012. 280p. Publicação online. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/951586/irrigacao-da-bananeira>. Acesso em: 10 out. 2017.

ANEXO A – INVENTÁRIO MUNICÍPIO DE RUSSAS

Área Cultivada 1 hectare 1.666 plantas
 Espaçamento: 4x2x2m

		IMPLEMENTAÇÃO	CRESCIMENTO	ESTABILIZAÇÃO	ESTABILIZAÇÃO	TOTAL
		ANO 01	ANO 02	ANO 03	ANO 04 -10	(10 ANOS)
Entradas		Quantidade	Quantidade	Quantidade	Quantidade	Quantidade
banana	Kg/ ha	32.000	35.000	40.000	280.000	387.000
Insumos	Unidade	-	-	-	-	-
Biomassa	t/ha	-	-	-	-	-
Ureia	Kg/ha	320	420	420	420	1.580
Calcário	Kg/ ha	-	-	-	-	-
Cloreto de Potássio	Kg/ ha	-	-	-	-	-
Detergente	L	-	-	-	-	-
Esterco de Caprino	L.ha ⁻¹	0,0320	0,0320	0,0320	0,0320	0
Gesso	Kg.ha ⁻¹	-	-	500	-	500
MAP	Kg.ha ⁻¹	320	420	420	420	1.580
Nitrato de Cálcio	Kg.ha ⁻¹	-	-	-	-	-

		IMPLEMENTAÇÃO	CRESCIMENTO	ESTABILIZAÇÃO	ESTABILIZAÇÃO	TOTAL
		ANO 01	ANO 02	ANO 03	ANO 04 -10	(10 ANOS)
Entradas		Quantidade	Quantidade	Quantidade	Quantidade	Quantidade
Nitrato de Potássio	Kg.ha ⁻¹	-	-	-	-	-
Plástico para enxertia	m	-	-	-	-	-
Sacos para geladinho	unidade	-	-	-	-	-
Sacos de Polietileno	Unidade	-	-	-	-	-
Sulfato de Amônia	Kg.ha ⁻¹	320	420	420	420	1.580
Sulfato de Magnésio	Kg.ha ⁻¹	-	-	-	-	-
Sulfato de potássio	Kg.ha ⁻¹	320	420	420	420	1.580
Defensivos		-	-	-	-	-
Cercobin	Kg.ha ⁻¹	2	2	2	2	8
Caligur	Kg.ha ⁻¹	2	2	2	2	8
Turbo	L.ha ⁻¹	2	2	2	2	8
NATUR'L ÓLEO (espalhante adesivo)	L.ha ⁻¹	2	2	2	2	8
Glifosato	L.ha ⁻¹	-	-	-	4	4
Klap	L.ha ⁻¹	-	-	-	-	-
Nativo	L.ha ⁻¹	-	-	-	-	-

		IMPLEMENTAÇÃO	CRESCIMENTO	ESTABILIZAÇÃO	ESTABILIZAÇÃO	TOTAL
		ANO 01	ANO 02	ANO 03	ANO 04 -10	(10 ANOS)
Entradas		Quantidade	Quantidade	Quantidade	Quantidade	Quantidade
Provado	L.ha ⁻¹	-	-	-	-	-
Rubigan	L.ha ⁻¹	-	-	-	-	-
Strom	Unidade	-	-	-	-	-
Talstar	L.ha ⁻¹	-	-	-	-	-
Combustível		-	-	-	-	-
Diesel	L.ha ⁻¹	102	220	220	220	762
Gasolina	L.ha ⁻¹	-	-	-	-	-
Irrigação	L.ha⁻¹	-	-	-	-	-
Água	m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹	30.000	30.000	30.000	30.000	120.000

ANEXO B – INVENTÁRIO MUNICÍPIO DE MISSÃO VELHA

Área Cultivada 1 hectare 1.666 plantas
 Espaçamento: 4x2x2m

		IMPLEMENTAÇÃO	CRESCIMENTO	ESTABILIZAÇÃO	ESTABILIZAÇÃO	TOTAL (10 ANOS)
		ANO 01	ANO 02	ANO 03	ANO 04 -10	
Entradas		Quantidade	Quantidade	Quantidade	Quantidade	Quantidade
banana	Kg.ha ⁻¹	32.000	35.000	40.000	280.000	387.000
Insumos	Unidade					-
Biomassa	t.ha ⁻¹					-
Ureia	Kg.ha ⁻¹	320,0	420,0	420,0	2.940	4.100
Calcário	Kg.ha ⁻¹	-	-		-	-
Clorero de Potássio	Kg.ha ⁻¹	-	-	-	-	-
Detergente	L	-	-	-	-	-
Esterco de Caprino	L.ha	0,032	0,032	0,032	-	-
Gesso	Kg.ha ⁻¹	-	-	500	-	500
MAP	Kg.ha ⁻¹	320,0	420,0	420,0	2.940	4.100
Nitrato de Cálcio	Kg.ha ⁻¹	-	-	-	-	-

		IMPLEMENTAÇÃO	CRESCIMENTO	ESTABILIZAÇÃO	ESTABILIZAÇÃO	TOTAL
		ANO 01	ANO 02	ANO 03	ANO 04 -10	(10 ANOS)
Entradas		Quantidade	Quantidade	Quantidade	Quantidade	Quantidade
Nitrato de Potássio	Kg.ha ⁻¹	-	-	-	-	-
Plastico para enxertia	m	-	-	-	-	-
Sacos para geladinho	unidade	-	-	-	-	-
Sacos de Polietileno	Unidade	-	-	-	-	-
Sulfato de Amônia	Kg.ha ⁻¹	320,0	420,0	420,0	2.940	4.100
Sulfato de Magnésio	Kg.ha ⁻¹	-	-	-	-	-
Sulfato de potássio	Kg.ha ⁻¹	320,0	420,0	420,0	2.940	4.100
Defensivos						-
Cercobin	Kg.ha ⁻¹	2	2	2	14	20
Caligur	Kg.ha ⁻¹	-	-	-	-	-
Turbo	L.ha ⁻¹	2	2	2	14	20
NATUR'L ÓLEO (espalhante adesivo)	L.ha ⁻¹	2	2	2	14	20
Glifosato	L.ha ⁻¹	-	-	-	-	-
Klap	L.ha ⁻¹	-	-	-	-	-
Nativo	L.ha ⁻¹	-	-	-	-	-

		IMPLEMENTAÇÃO	CRESCIMENTO	ESTABILIZAÇÃO	ESTABILIZAÇÃO	TOTAL (10 ANOS)
		ANO 01	ANO 02	ANO 03	ANO 04 -10	
Entradas		Quantidade	Quantidade	Quantidade	Quantidade	Quantidade
Provado	L.ha ⁻¹	-	-	-	-	-
Rubigan	L.ha ⁻¹	-	-	-	-	-
Strom	Unidade	-	-	-	-	-
Talstar	L.ha ⁻¹	-	-	-	-	-
Combustível		-	-	-	-	-
Diesel	L.ha ⁻¹	187	306	306	2.142	2.941
Gasolina	L.ha ⁻¹	-	-	-	-	-
Irrigação	L.ha⁻¹	-	-	-	-	-
Água	m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹	25.0000	25.000	25.000	25.000	100.000