Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Consumo de água na irrigação para cultivo da bananeira nas condições edafoclimáticas da bacia do riacho do Pontal no Semiárido de Pernambuco

Elisabeth Regina Alves Cavalcanti Silva¹, Ygor Cristiano Brito Morais², Jadson freire da Silva³, Josicléda Domiciano Galvêncio⁴

¹Mestre em Geografia (UFPE), Recife, Pernambuco, Brasil, Autor correspondente. E-mail: bellhannover@hotmail.com; ²Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Recife, Pernambuco Brasil, ygor_cristiano@hotmail.com; ³Graduando em Licenciatura em Geografia, (UFPE), Recife, Pernambuco, Brasil, jadsonfreireufpe@hotmail.com; ⁴Professora adjunta do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, Pernambuco, Brasil, josicleda@hotmail.com

Artigo recebido em 20/10/2015 e aceite em 09/12/2015.

RESUMO

Diante do cenário atual de crise hídrica enfrentada pelo Brasil, tem havido a necessidade de soluções imediatas que envolvam um melhor planejamento do uso da água e gestão dos recursos hídricos disponíveis, compatibilizando as mais diversas utilizações sem que, para tal, haja o comprometimento da distribuição da água para setores estratégicos, como a produção de alimentos através da irrigação. A aplicação de técnicas e estudos que possam otimizar o uso da água podem ser bastante úteis em nível local e regional, nesse sentido, realizou-se o estudo de caso na Bacia do Pontal pela proximidade com a área de influência de importantes perímetros irrigados e polos de fruticultura irrigada como o de Petrolina-Juazeiro, porém, pela baixa disponibilidade hídrica do riacho do Pontal, a agricultura irrigada apresenta grandes limitações, todavia, culturas como a da bananeira são importantes para a economia da região. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi calcular quanto de água deveria ser disponibilizada, sem desperdício, para a cultura da bananeira em cada ciclo de produção, através da estimativa da evapotranspiração de referência, comparando os métodos de irrigação que podem ser aplicados na área, bem como a demanda suplementar da irrigação para métodos com 75% e 90% de eficiência. O resultado mostra que se houvesse a modificação do sistema de irrigação e ele passasse a operar com 90% de eficiência ao invés de 75%, poderia haver o aumento da área agrícola na ordem de 703 hectares (em lotes de colonos) utilizando-se a mesma quantidade de água.

Palavras-chave: fruticultura, evapotranspiração, métodos de irrigação, eficiência do uso da água.

Water consumption irrigation for banana farming in edaphoclimatic conditions of the stream of Pontal basin in Semiarid of Pernambuco

ABSTRACT

Given the current scenario of water crisis faced by Brazil, has been the need for immediate solutions involving better planning of water use and management of available water resources, harmonizing the various uses without, for this, there is the commitment of distribution water to strategic sectors such as food production through irrigation. The application of techniques and studies to optimize the use of water can be very useful at the local and regional level, in this sense, there was a case study in the Pontal Basin by proximity to the area of influence of major irrigated and poles of irrigated fruit as the Petrolina-Juazeiro, however, by low water availability do riacho do Pontal, irrigated agriculture has major limitations, however, crops such as banana are important to the region's economy. Thus, the aim of this study was to calculate how much water should be made available without waste, for the cultivation of banana in each production cycle, by estimating reference evapotranspiration, comparing the irrigation methods that can be applied in the area, and supplemental irrigation demand for methods with 75% and 90% efficiency. The result shows that there was a modification of the irrigation system and pass it to operate at 90% rather than 75% efficiency could be increased agricultural area on the order of 703 hectares (batch settler) using the same amount of water.

Keywords: fruit culture, evapotranspiration, irrigation methods, water use efficiency.

Introdução

Segundo o Ministério da Integração Nacional (BRASIL, 2008), a segurança alimentar

depende cada vez mais da produção de alimentos proveniente da agricultura irrigada, o que faz com que ela se torne, consequentemente, dependente da

segurança hídrica. No Brasil, um dos maiores desafios à agricultura irrigada consiste em garantir outorgas de água compatíveis com as demandas de solos potencialmente aptos à irrigação de forma a compatibilizar a segurança de oferta hídrica à produção de alimentos reduzindo as perdas de água nos sistemas de irrigação, seja na sua condução e distribuição na infraestrutura hídrica ou na aplicação da água nos cultivos pelos métodos e manejo das parcelas.

Conforme as projeções elaboradas pelo Instituto Internacional de Gestão das Águas (International Water Management Institute - IWMI), embora o Brasil seja um dos países com maior disponibilidade hídrica média anual por habitante, ele está inserido na categoria de países com escassez econômica de água, pois dispõe de quantidade suficiente de água para atender às suas necessidades, contudo, possui uma região semiárida no Nordeste caracterizada pela má distribuição espacial e temporal de precipitações, o que implica na necessidade de investimentos na construção de reservatórios para armazenamento e regularizações hídricas e em construção de sistemas de condução, como forma de garantir a utilização da água no seu desenvolvimento sustentável. Essa preocupação quanto à produção de alimentos e ao uso dos recursos hídricos tem permeado vários trabalhos recentemente como Bouka et al. (2015), Mesquita e Cruz (2015) e Monteiro et al. (2015).

A modernização do padrão produtivo possibilitado pela irrigação vem transformando a economia do semiárido nordestino, e, em especial, do semiárido pernambucano a partir da implantação dos primeiros perímetros públicos e privados na área (no final dos anos 60) e dos investimentos estatais em infraestrutura hídrica e elétrica. Desde então, a agricultura irrigada torna-se a principal atividade econômica da região produzindo impactos significativos sobre a renda e emprego, inclusive de atividades não agrícolas. Nesse sentido, o desperdício de água na irrigação, além de aumentar os custos de produção, acarreta custos ambientais pelo comprometimento da disponibilidade e da qualidade da água. Dessa forma, muitos problemas poderiam ser atenuados com a instalação de sistemas adequados de drenagem e com a adoção de métodos de irrigação de maior controle de água. Essa situação tem levado muitos projetos de irrigação, em todo o mundo, a uma condição de baixa sustentabilidade econômica e socioambiental (Oster e Wichelns, 2003; Cullen, 2004; Oliveira et al., 2006).

Uma das culturas de fruta mais desenvolvidas no Brasil é a bananeira. A banana é a fruta mais consumida in natura no mundo, cujo

cultivo se concentra nos países de clima tropical. Em 2011 a produção mundial foi de aproximadamente 107 milhões de toneladas (FAO, 2014). Segundo dados do IBGE (2014), o Brasil produz cerca de 7 de toneladas, com participação de 6,9% nesse total. Ao longo dos últimos 30 anos, a área cultivada com bananas no Brasil passou de 343,6 mil hectares para 511,6 mil hectares, representando 49% de aumento. No entanto, a produtividade aumentou apenas 13,5%, passando de 12,7 para 14,05 toneladas por hectare, enquanto, nesse mesmo período, a produtividade média mundial aumentou 45%. De acordo com levantamentos da Secretaria de Política Agrícola Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), entre os maiores estados produtores de bananas do Brasil, a produtividade anual em 2006 ficava em 22 toneladas por hectare em São Paulo, 21 toneladas por hectare em Santa Catarina, 14 toneladas por hectare na Bahia, 13 toneladas por hectare no Pará e 15 toneladas por hectare em Minas Gerais.

Autores como Silva Neto e Guimarães (2011) salientam que a bananicultura brasileira não tem acompanhado a evolução tecnológica que essa cultura tem experimentado no resto do mundo (a produtividade aumentou apenas 13,5%, passando de 12,7 para 14,05 toneladas por hectare, enquanto, nesse mesmo período, a produtividade média mundial aumentou 45%), haja vista que as produtividades médias de bananas em lavouras tecnificadas espalhadas pelas diversas regiões têm alcançado produtividades iguais ou superiores às melhores do mundo, indicando que não há limitações tecnológicas ou climáticas para a cultura da banana no Brasil. Entretanto, a produtividade média brasileira, estando entre as mais baixas do mundo, indica que a tecnologia disponível não está sendo utilizada pela maioria dos produtores, e, portanto, o potencial agrícola e econômico dessa cultura não está sendo adequadamente aproveitado. Por se tratar de cultura de clima tropical, a bananeira exige temperatura elevada, boa disponibilidade de água no solo para seu pleno desenvolvimento (Alves et al., 1999) mas devido à má distribuição de chuvas no semiárido, seu cultivo se torna mais viável através da irrigação.

Diante desse cenário, informações quantitativas da evapotranspiração são de grande importância na agricultura para avaliação da severidade, distribuição e frequência dos períodos de seca, assim como, elaboração de projetos e manejo de sistemas de irrigação e drenagem. A evapotranspiração, em termos de quantidade de água transportada em bacias, é o segundo componente mais importante do ciclo hidrológico depois da precipitação, possuindo um papel

significativo no contexto climático e na resolução de problemas de manejo de recursos hídricos. Por essa razão, a identificação do volume de água das irrigações possibilita avaliar a eficiência do seu uso e constitui elemento imprescindível à gestão sustentável dos recursos hídricos (Li e Lyons, 1999; Ward e Trimble, 2004; Brutsaert, 2005).

Segundo Klocke et al. (1996), a evapotranspiração corresponde à água removida da superfície e lançada na atmosfera. Este fenômeno ocorre devido à combinação de dois processos através dos quais a água é perdida pela superfície: por evaporação ou por transpiração. Como é praticamente impossível se distinguir o vapor d'água proveniente da evaporação da água no solo e da transpiração das plantas, Sentelhas e Angelocci (2009) definem a evapotranspiração como o processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera por evaporação da água do solo e da vegetação úmida e por transpiração das plantas.

Dentre os vários tipos de evapotranspiração, destaca-se a evapotranspiração de referência (ET_o), de Penman-Monteith, por permitir e facilitar a estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c). A ET_o é uma variável relevante para o planejamento de irrigação, pois ela leva em consideração principalmente fatores climáticos tais como: temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, etc. Assim, as informações sobre a ET_o, que levam a estimativas da ET_c, tornam-se ferramentas importantes no manejo da irrigação (Araújo et al., 2007; Henrique e Dantas, 2007; Sousa et al., 2010).

Jensen et al. (1990) afirmaram que na prática a estimativa da evapotranspiração de uma cultura específica (ET_c) envolve o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o), aplicando-se, posteriormente, coeficientes de cultivo (K_c). O mesmo autor sugere que a ET_o pode ser definida como a taxa com que a água, se disponível, é removida da superfície do solo e das plantas, de uma cultura específica, arbitrariamente chamada de cultura de referência.

A identificação do volume de água das irrigações possibilita avaliar a eficiência do seu uso e constitui elemento imprescindível à gestão sustentável dos recursos hídricos. Diversos estudos, tais como os realizados por Acreman et al. (2004), pelo Plano Nacional de Recursos Hídricos elaborado pelo MMA (2011), Galvão (2008) e Silva e Galvêncio (2011), se utilizam de modelos hidrológicos e climáticos para auxiliar na avaliação do estresse hidrológico, estimativa do grau de vulnerabilidade climática e a relação entre oferta e demanda de água para irrigação em Bacias Hidrográficas.

O sucesso da utilização da água para fins de irrigação depende, entre outros requisitos, do conhecimento preciso da demanda hídrica da cultura. Desse modo, torna-se necessário o uso de coeficientes adequados, especificamente de coeficientes de cultura (K_c), determinados em função da evapotranspiração da cultura e da evapotranspiração de referência (ET_o), cujas estimativas permitem avaliar quantidades de água a serem dotadas aos cultivos. Todavia, é notória a escassez de dados de pesquisa referentes a esses coeficientes, sobretudo no semiárido, constituindo um fator agravante no tocante à dotação racional de água aos cultivos, que associado aos déficits hídricos anuais, contribui para a redução dos aportes de água. Vários trabalhos atestam a influência do controle rigoroso na aplicação de água como fator de aumento na produtividade e melhoria na qualidade dos produtos agrícola, contudo, são escassos os trabalhos que tratam do assunto, muito mais ainda quando sob condições de semiárido (Carvalho et al., 2004; Segovia et al., 2004).

O valor de pesquisas sobre manejo da irrigação, considerando condições climáticas de semiárido, encontra respaldo na necessidade da otimização da exploração da água, com vistas ao incremento da eficiência de uso deste recurso. No entanto, para o sucesso dessas estratégias, são necessárias informações corretas a respeito das necessidades hídricas das plantas, do manejo de irrigação adequado, da identificação de fases de maior sensibilidade ao estresse hídrico, bem como uso de cultivares adaptadas às condições locais (Brito, 2005). A FAO, através dos documentos FAO 24 (Doorenbos e Pruitt, 1977) e FAO 33 (Doorenbos e Kassan, 1979), recomenda a realização de estudos locais para a determinação do consumo hídrico e a obtenção de coeficientes de cultura, assim como para a avaliação dos rendimentos em função de diferentes formas de dotação hídrica.

De posse dessas informações, pode-se determinar corretamente a quantidade e o momento da aplicação de água pela irrigação, maximizando o uso dos recursos hídricos de uma região. Experimentos com restrição hídrica em apenas parte do ciclo das culturas são importantes para identificação de fases de maior sensibilidade, sendo também utilizados na calibração de modelos de previsão de safras, de zoneamento de riscos climáticos para as culturas e análise de custos de projetos agrícolas (Sans et al., 2001; Esposti et al., 2002; Hernandez et al., 2003; Marques e Frizzone, 2005; Santos, 2008).

Com base nisso, este trabalho procura estimar a demanda suplementar da cultura da

banana com base em cálculos de evapotranspiração para determinar a quantidade de água que potencialmente poderá ser destinada para irrigação da bananeira e o quanto de área que potencialmente poderia ser utilizada na Bacia do Pontal-PE se houvesse uma melhor utilização dos recursos hídricos da região.

Material e métodos

Localização geográfica

A Unidade de Planejamento Hídrico UP13, que corresponde à bacia hidrográfica do riacho do Pontal, está localizada no extremo oeste do Estado

de Pernambuco, entre 08°19'00" e 09°13'24" de latitude sul, e 40°11'42" e 41°20'39" de longitude oeste. O riacho Pontal tem sua nascente no extremo oeste do Estado de Pernambuco, entre os limites dos estados do Piauí e Bahia, no município de Afrânio (Brito et al., 2012). A bacia do riacho Pontal tem na sua foz no rio São Francisco uma área de drenagem de 6334 km², desembocando na margem esquerda do rio São Francisco, depois de percorrer uma distância de aproximadamente 200 km, apresentando como direção predominante o sentido noroeste-sudeste (APAC, 2015), (Figura 1).

Figura 1. Mapa de localização da bacia hidrográfica do riacho do Pontal-PE.

Hidrografia

A Bacia do Pontal tem como principais cursos d'água, pela margem direita, os riachos Caieira, Sítio Novo, Terra Nova e Simão. Pela margem esquerda, destacam-se os riachos do Caboclo, Caldeirão, do Dormente, Baixo, do Areial e da Serra Branca. A área de drenagem do rio envolve 4 municípios, dos quais apenas o município de Afrânio está totalmente inserido na bacia (APAC, 2015).

O tributário principal é o riacho do Dormente no município de mesmo nome e uma área de drenagem correspondente a 34% da bacia hidrográfica do riacho Pontal. Nesses riachos estão construídos pelo Poder Público diversos

empreendimentos hidráulicos (açudes), dos quais se destacam: Cruz de Salinas (4.021.375 m³), Vira Beiju (11.800.000 m³) e Caititu (3.500.000 m³). Os açudes listados que fazem parte do Sistema de Barragens Sucessivas do riacho Pontal (açudes públicos) são: Amargosa, Caldeirão II, Comprida, Gavião, Jatobá, Lajedo, Lagoa da Pedra II, Mandim, Poço da Serra e Poço do Canto (CODEVASF, 2013).

Clima

O clima da região é classificado como Semiárido quente (BSwh'), cuja precipitação pluviométrica média anual é de 557,7 mm (MOURA, 2007), com chuvas concentradas em 4

meses (de dezembro a março). Com uma evapotranspiração potencial média conforme Hargreaves, para o posto de Petrolina, da ordem de 2.090 mm anuais, o déficit hídrico médio é de 1.689 mm/ano. Abrange uma superfície de 7.540 hectares, sendo 4.029 ha de áreas em estudos ou projetos e 3.511 ha de áreas em produção, distribuídos em duas áreas separadas pelo riacho do Pontal: Área Sul, com 3.511 ha e Área Norte, com 4.029 ha. A ocupação contempla 4.291 ha destinados a 715 lotes para pequenos irrigantes e 3.249 ha a 82 lotes para médias empresas. Pontal é um dos projetos de irrigação em implantação pela Codevasf. Ele está localizado na área rural do município de Petrolina, em Pernambuco, na margem esquerda do rio São Francisco. O projeto possui uma área de 27.517 mil hectares, dos quais 7.717 hectares são irrigáveis, sendo 3.588 ha do Pontal Sul e 4.129 ha do Pontal Norte. A Reserva Legal (5.539 hectares) já foi definida e implantada, e a área restante é composta por terras de “sequeiro” (não irrigáveis), áreas de canal, estradas e áreas de uso comum (CODEVASF, 2007; CODEVASF, 2012).

Cobertura vegetal

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

Solos

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

Projeto Pontal

Num primeiro momento, a escolha das culturas que ocupariam a área do projeto baseou-se nos estudos agrônômicos do Estudo de Viabilidade do Projeto Pontal. Considerando condições de mercado, rentabilidade das culturas, utilização

agroindustrial, vocação da área, adaptação das culturas às condições edafoclimáticas, necessidades alimentares e aspectos socioeconômicos. Foram selecionadas as seguintes culturas pela CODEVASF (2013):

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

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

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

Áreas ocupadas pela cultura da bananeira

As áreas ocupadas por culturas agrícola na área da Bacia foram divididas entre áreas cultivadas por colonos e por empresas (Tabela 1).

Na tabela acima se pode observar que a área ocupada pela cultura da bananeira corresponde a 3.541,10ha em lotes de colonos e 266, 4ha em lotes de empresas.

Estimativa do índice de área foliar

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

O conjunto da radiância ou calibração radiométrica é obtido utilizando-se a equação utilizada por Oliveira et al. (2010) e Silva et al. (2011):

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

Em que, a e b são as radiâncias espectrais mínima e máxima (1 1 2µm sr Wm), ND é a intensidade do pixel (número inteiro compreendido entre 0 e 255) e i corresponde às bandas (1, 2, ... e 7) do satélite Landsat 5 e 7. De modo que os coeficientes de calibração utilizados para as imagens TM são os propostos por Chander e Markham (2003) e utilizados por Oliveira et al. (2010), Silva et al. (2011) e Silva et al. (2015).

Tabela 1. Áreas cultivadas em hectares na bacia do riacho do Pontal-PE.

ÁREAS CULTIVADAS EM HECTARES		
Culturas	Colonos	Empresas
Banana	3.541,10	266,4
Coco	3.510,90	704,5
Goiaba	2.611,20	494,6
Manga	2.928,80	5135
Uva	1.002,70	1152,4

Fonte: CODEVASF (2007).

O cálculo da reflectância é definida como a razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície e o fluxo de radiação solar global incidente, obtida através da equação (Allen et al., 2002 apud Oliveira et al., 2010):

$$\rho_{\lambda i} = (\pi \cdot L_{\lambda i}) / (K_{\lambda i} \cdot \cos Z \cdot dr)$$

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

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

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

Estimativa da evapotranspiração máxima da cultura (ETM) ou evapotranspiração potencial da cultura (ETPC)

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

O valor de ETo foi estimado a partir dos dados climáticos diários de temperatura mínima (T_n), temperatura média (T), temperatura máxima (T_x), umidade relativa (UR), brilho solar (I_n) e

velocidade do vento medida a 10 m de altura (U); e das coordenadas geográficas latitude e altitude local.

A nova conceituação de ETo considera a taxa de evapotranspiração (ET) de uma cultura hipotética, com uma altura uniforme de 0,12 m, resistência do dossel da cultura de 70 sm^{-1} e albedo de 0,23. Esse conceito de ETo assemelha-se, bem de perto, a ET de uma superfície extensa coberta com grama de altura uniforme, em crescimento ativo e cobrindo completamente a superfície do solo e sem restrição de umidade. Atualmente, a ETo é uma cultura hipotética, semelhante à grama, cujo modelo físico-matemático que a expressa é o de Penman-Monteith, com parâmetros estabelecidos pela FAO (Allen et al., 1998).

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

Em que,

ETo - evapotranspiração de referência, mm dia⁻¹;

Rn - radiação líquida na superfície das culturas, MJ m² dia⁻¹;

G - fluxo de calor no solo, MJ m² dia⁻¹;

T - média diária da temperatura do ar a 2 m de altura, °C;

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

e_s - pressão da saturação de vapor, kPa;

e_a - pressão de vapor atual, kPa;

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

Δ - inclinação da curva da pressão de vapor *versus* temperatura, kPa °C⁻¹.

γ - constante psicrométrica, kPa °C⁻¹.

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

$$ET_{pc} = K_c \cdot ETo$$

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

$$ET_{pc} = fL \cdot K_c \cdot$$

O K_c é apresentado, na maioria dos casos, como função do tempo, expresso em termos de meses ou anos contados a partir do transplante das mudas para o campo. Os valores de K_c nesse trabalho estão tabelados para as fases de desenvolvimento da cultura da banana: inicial, desenvolvimento, intermediário e final do ciclo; e também colheita como recomendado pela EMBRAPA (2009). Assim, o K_c (coeficiente da cultura) varia de acordo com as fases de desenvolvimento da planta. No caso da bananeira conforme os ciclos e em cada ciclo há diferenciação conforme os meses do ano.

Lâmina líquida com base no método climático

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

$$LL = ET_{pc} \cdot TR$$

Em que,

LL = lâmina líquida de irrigação (mm);

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

TR = turno de rega (dia)

Observa-se que:

(1) O turno de rega a ser utilizado na equação acima, deve seguir o valor definido pelo projetista do sistema de irrigação e refere-se ao tempo que pode ser decorrido entre uma irrigação e outra, ou seja, quanto tempo o solo tolera entre uma irrigação e outra. Quanto maior a capacidade de armazenamento de água do solo, maior será o turno de rega.

(2) Fruteiras irrigadas por gotejamento ou microaspersão são em geral irrigadas diariamente, ou seja, TR = 1 dia.

(3) Caso ocorra chuva durante o manejo da irrigação com o método climático, a aplicação do mesmo deve ser interrompida, devendo ser retomada 2 dias após a ocorrência da chuva.

Lâmina bruta de irrigação

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

$$LB = LL/Ea$$

Em que,

LB = lâmina bruta de irrigação (mm);

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

Tabela 2. Eficiência de aplicação de água para sistemas de irrigação comumente utilizados em plantios de fruteiras e hortaliças.

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

Demanda de irrigação das culturas

Tem-se que:

$$DSC_i = ET_{ci} - PrecEfeti, \text{ se } ET_{ci} > PrecEfeti$$

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

Em que,

DSC_i – demanda suplementar da cultura no dia i, mm

$PrecEfeti$ – precipitação efetiva no dia i, mm

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

$$DSI = DSC/Ea \times 100$$

Em que,

DSI_i – demanda suplementar de irrigação no dia i, mm

Ea – eficiência do sistema de irrigação, %

Resultados e discussão

A evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith Fao para a bacia do Pontal-PE foi de 2008.3 e apresenta valores aproximados em relação aos calculados por outros métodos tais como: o Cálculo da Evapotranspiração Potencial de Hargreaves e de

Blaney-Criddle com Temperaturas Inferidas pela Estação Climatológica de Bebedouro e valores anuais de 2096,4 pelo método de Hargreaves e 2032,2 através do método de Blaney-Criddle

levantados pela PROJETEC. O cálculo da Evapotranspiração Potencial de Hargreaves e de Blaney-Criddle com Temperaturas Inferidas por Modelo de Regionalização da UFPB resultaram numa evapotranspiração calculada de 2047,2 pelo método de Hargreaves e 1983,8 pelo método Blaney-Criddle. Segundo dados da CODEVASF, a evapotranspiração estimada pelo método de Penman na área é de 2.204 mm e o calculado pela PROJETEC pelo método de Penman Monteith Fao chegou a um resultado de 2008.14.

Balanço hídrico e rendimento médio anual da bacia do processo de conversão geral chuva X vazão no riacho Pontal

O uso do balanço hídrico é de suma importância para a gestão e o planejamento hidroagrícola, caracterização climática, delimitador de zonas agroecológicas, e controle dos recursos hídricos em microbacias, levando em conta as necessidades hídricas, bem como suas demandas e ofertas no espaço e no tempo. Conforme visualizado na Tabela 3, tem-se que para uma precipitação média anual de 583mm e uma temperatura média anual de 26.68°C na Estação de Bebedouro o rendimento médio anual do processo de conversão geral chuva x vazão na bacia é inferior a 1% (Tabela 3).

Tabela 3. Balanço Hídrico de Thornthwaite-Mather para a Região do Perímetro Irrigado Pontal Norte – Evapotranspiração Potencial de Penman-Monteith (FAO).

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

LEGENDA: T = Temperatura média em graus Celsius; P = Precipitação climatológica; EVP = Evapotranspiração Potencial; P-EVP = Precipitação - Evapotranspiração Potencial; ARM = Armazenamento; ALT = Altura; EVR = Evaporação Real; EXC = Excedente; DEF = Deficiência.

Como se pôde identificar na tabela, na Bacia do riacho do Pontal há uma taxa de

evapotranspiração maior do que a precipitação, o que faz com que haja um déficit hídrico na área, sendo imprescindível então, o uso de técnicas de irrigação para que seja possível uma melhor utilização das terras disponíveis bem como o aumento de produtividade. Os resultados estimados

apresentaram uma ETo de 2008,3, ou aproximadamente uma ETo média de 5,50mm.dia⁻¹.

Índice de área foliar (IAF)

Foi realizado também o mapeamento do IAF para espacialização das áreas agrícolas irrigadas da Bacia do Pontal-PE como visualizado na Figura 2:

Figura 2. Análise espaço-temporal do IAF da bacia do Pontal-PE.

Como pôde ser visualizado, a partir de 2001 o perímetro irrigado da Bacia do Pontal apresentou um IAF moderado na área do perímetro irrigado, destoando muitas vezes de seu entorno, mais seco, pela presença de biomassa. Os valores

do IAF nas áreas agrícolas foi predominantemente de 0,6 a 1,2 e chega a 1,6 dependendo da pluviosidade nos dias anteriores, já em áreas não agrícolas os valores mínimos são menores que 0,2 e abaixo de 0,4.

Valores semelhantes podem ser encontrados no trabalho de Oliveira et al. (2010) na Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó com índices variando, respectivamente, 0-0,244 para áreas sem presença de vegetação e 0,832-3,560 para áreas vegetadas. Em trabalho realizado por Silva et al. (2015) os autores salientam que o IAF apresenta-se relacionado à frondosidade do dossel vegetal, pois é levado em consideração, o tamanho, o número e o estágio fenológico da vegetação.

Evapotranspiração da cultura da bananeira

Na cultura da bananeira o primeiro ciclo de produção costuma se diferenciar tanto a partir dos primeiros meses após o plantio, quanto nos demais ciclos de produção (Tabela 4):

Tabela 4. Valores de ET_{pc}(Kc) para a cultura da bananeira na bacia do riacho do Pontal-PE.

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

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

Allen et al. (1998) recomendam para a bananeira o uso de valores de Kc de 0,50 e 1,10 para as fases inicial e intermediária durante o primeiro ano de cultivo e 1,00 e 1,20 para as mesmas fases, durante o segundo ano de cultivo. O valor de Kc, obtido durante a fase inicial do presente estudo, mostrou-se um pouco superior ao citado por Allen et al. (1998). Isso pode estar relacionado à frequência das irrigações e ao clima da região e seus efeitos sobre a fisiologia da planta. Bassoi et al. (2001), que trabalhando com a cultivar Pacovan e utilizando o método do balanço hídrico do solo, na região de Petrolina-PE, encontraram

valores médios de 0,70 para a fase vegetativa, 1,10 para a fase de floração/frutificação do 1º ciclo, e 0,90 para a fase de floração/frutificação do 2º ciclo.

Silva (2004), trabalhando com a mesma cultivar e o mesmo método de determinação da ET_c, na região de Pentecoste-CE, também obteve valores de Kc semelhantes: 1,00 para a fase de floração / frutificação, no primeiro ano de cultivo. Estudos conduzidos por Teixeira et al. (2002), sobre o consumo hídrico da bananeira no Vale do São Francisco conforme as condições edafoclimáticas do Polo Petrolina/Juazeiro, revelaram valores de coeficientes de cultura variando entre 0,6 e 1,3, durante os dois ciclos avaliados (primeiro e segundo ciclos).

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

de 3,9; 4,0 e 3,3 mm d⁻¹ para o primeiro, segundo e terceiro ciclos, respectivamente. Essa variação ao

longo de um ano pode ser visualizada conforme a Figura 3:

Figura 3. Diferença entre a evapotranspiração da cultura da bananeira no primeiro ciclo de produção e nos demais ciclos.

Como pôde ser demonstrado houve uma variação ao longo dos meses na Evapotranspiração da cultura da banana e também ao longo dos demais ciclos de produção, conforme as condições edafoclimáticas da área. Já Montenegro et al. (2008) identificaram que nas condições edafoclimáticas de Paraipaba-CE, a evapotranspiração média da cultura da bananeira foi de 2,6 mm d⁻¹ para o estágio inicial, 3,5 mm d⁻¹ para o estágio de florescimento e desenvolvimento dos frutos do 1º ciclo, 3,9 mm d⁻¹ e 4,3 mm d⁻¹ para o crescimento vegetativo e florescimento e desenvolvimento dos frutos do 2º ciclo, respectivamente. Teixeira et al. (2002), também

verificaram, nos seus trabalhos conduzidos na microrregião de Petrolina, PE, que a evapotranspiração da cultura da banana, cv. Pacovan, determinada pelo método da razão de Bowen, foi 1.210 mm entre os 120 dias após o plantio (maio, 1999) e a primeira colheita (abril, 2000), com valor médio de $3,8 \pm 1,1$ mm d⁻¹; para o segundo ciclo (término da colheita em novembro de 2000), o consumo foi de 880 mm, com média de $4,0 \pm 1,2$ mm d⁻¹.

Lista-se a seguir os valores de ETpc (fL) para a cultura da bananeira (Tabela 5):

Tabela 5. Valores de ETpc (fL) para a cultura da bananeira na bacia do riacho do Pontal-PE.

Meses após o plantio	Até 1	1 a 2	2 a 3	Acima de 3
fL	0,66	0,66	0,85	1
ETpc (fL)	1458,03	1458,03	1877,76	2209,13

Nota-se que acima de 3 anos a ETpc (fL) assemelha-se aos valores da a ETpc (Kc). Isso ocorre porque na irrigação localizada não se molha toda a área cultivada, de forma que na área molhada

a ETpc é potencial e, na área não molhada a ETpc é reduzida. Dessa forma, é necessário corrigir o Kc por um fator de localização (fL, adimensional) com base na fração de área molhada, portanto para cada sistema de plantio autores como Frizzone et al.

(2012) recomendam uma fL específica. Oliveira et al. (1993) utilizando o sistema

de irrigação por gotejamento com um turno de rega de dois dias, efetuaram cinco tratamentos de irrigação na bananeira, com coeficientes de cultura de 0,60; 0,80; 1,00 e 1,20 e testemunha sem irrigação. Os resultados indicaram a maior produtividade da bananeira, com coeficiente de

cultura de 0,60. Como pudemos visualizar na tabela, a evapotranspiração pelo método de gotejamento revelou que é exatamente nesse intervalo por volta de 0,66 que a evapotranspiração é menor.

Ao compararmos as duas ETpc (ETpc(Kc) e ETpc(fL)), fica claro como a irrigação localizada tende a diminuir a evapotranspiração da cultura agrícola da banana (Figura 4):

Figura 4. Comparação entre ETpc(Kc) e ETpc(fL).

Lâmina líquida para cultura da bananeira

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

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

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

Lâmina bruta para cultura da bananeira

Com base na lâmina líquida (LL) foi efetuado o cálculo da lâmina bruta necessária à cultura da bananeira e efetuada, em seguida, a tabulação dos dados (Tabela 6):

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

Tabela 6. Lâmina bruta de irrigação para cultura da bananeira na Bacia do Pontal-PE.

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

Do ponto de vista econômico, uma irrigação ótima implica menores lâminas aplicadas em relação à irrigação plena, com consequente redução da produtividade da cultura, mas com algumas vantagens significativas. Seus benefícios potenciais advêm de três fatores: aumento da eficiência da irrigação; redução dos custos da irrigação e redução dos riscos associados aos impactos ambientais adversos da irrigação plena.

Muitos pesquisadores, entre eles Stewart et al.(1974), English e Nuss (1982), Frizzzone (1986), English (1990), Calheiros et al. (1996), Queiroz et al. (1996), Frizzzone et al. (1997) e Frizzzone (2004), analisaram os benefícios econômicos da irrigação ótima em circunstâncias específicas e concluíram que a técnica pode aumentar a receita líquida proporcionada pelas culturas irrigadas.

Demanda suplementar da cultura da bananeira

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

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

Segundo Simão (2002) dependendo do tipo de solo e das condições climáticas, o consumo de água pela bananeira pode variar de 3 a 8 mm d⁻¹. Para efeito de comparação, pode-se verificar no trabalho de Freitas et al. (2008), por exemplo, que, a demanda suplementar máxima da cultura na cidade de Janaúba (MG) e no polo Juazeiro/Petrolina (ambas inseridas na Bacia do Rio São Francisco), que era 7,3 e 8,2 mm d⁻¹, passou a 9,5 e 10,6 mm d⁻¹, respectivamente, ao se considerar a eficiência do sistema. Marinato (1980) cita que o consumo anual de água pela bananeira pode variar de 1.200 a 1.800 mm, enquanto para Robinson e Alberts (1989) esses valores podem variar de 1.200 a 2.690 mm, dependendo das condições climáticas locais.

Demanda suplementar da irrigação da bananeira

Para evidenciar a necessidade de aumentar a eficiência dos sistemas de irrigação na bacia considerou-se a demanda suplementar da cultura da banana no Pontal/PE igual a 1625,73 mm/ano. Sendo a área a ser cultivada na Bacia de aproximadamente 3.541,10 ha de banana, haveria uma demanda anual de 57.568.725 m³ de água para suprir as deficiências hídricas da cultura da bananeira. Assim temos que calcular a demanda suplementar da irrigação dessa cultura:

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

Considerando-se a eficiência de 75%, a demanda suplementar de irrigação seria 2.167,73 mm anuais o que implicaria em um consumo anual de 76.761.487 m³ de água, ou seja, um acréscimo de 19.192.762 m³ de água em relação ao sistema funcionando com 100% de eficiência.

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

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

Dessa forma, a demanda suplementar de irrigação utilizando-se microaspersão seria de aproximadamente 1.806,4 mm/ano. A diferença na demanda suplementar da irrigação chega a ser de 361,24 mm/ano. Considerando-se a eficiência de

90%, e, sendo a área a ser cultivada na Bacia após a transposição de aproximadamente 3.541,10 ha de banana, haveria um consumo de 64.037.252 m³ de água para suprir as deficiências hídricas da cultura da bananeira.

Comparando-se as duas técnicas de irrigação tem-se uma economia de 12.724.235 m³ de água em relação ao sistema funcionando com 75% tem-se que:

$$X = \frac{\text{econ.de agua} \times \text{área total}}{\text{consumo de agua anual}} =$$

$$X = \frac{12.724.235 \times 3.541,10}{64.037.252} = 703,61 \text{ ha}$$

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

Conclusões

A evapotranspiração potencial da cultura da bananeira demonstrou a alta demanda por água dessa cultura na área da Bacia do perímetro irrigado do Pontal-PE. A ETPC (Kc), utilizada quando o pomar é irrigado por aspersão ou superfície, variou conforme os meses de 803,32mm/ano (ou 2,2mm d⁻¹) até uma média de evapotranspiração de aproximadamente 5,0 mm d⁻¹ nos demais ciclos. Observa-se que quando se utiliza a irrigação por gotejamento ou microaspersão a ETpc (fL) chega a 85% da ETPC (Kc) até o terceiro ano. Notou-se ainda que acima de 3 anos a ETpc (fL) (que toma por base a fração de área molhada), assemelha-se aos valores da a ETpc (Kc).

O consumo real de água pela cultura da banana, resultante do cálculo da lâmina líquida (LL), foi de cerca de 6,05mm/dia. Já a lâmina total que deverá ser aplicada prevendo-se perdas e procurando a uniformidade de distribuição (LB) foi de aproximadamente 6,37 mm/dia a 10,09mm/dia dependendo do método de irrigação utilizado. Dessa forma, pode-se analisar qual melhor método, em termos de custo/benefício, a ser aplicado pelo agricultor dependendo de seu interesse.

É possível uma gestão mais eficiente da água, de forma menos onerosa e sem diminuição da produtividade se forem aplicadas técnicas de irrigação como microaspersão e gotejamento, e naquelas em que já existe microaspersão, os mecanismos devem se tornar mais eficientes, pois,

mesmo nas áreas em que é empregada a microaspersão, a literatura mostra que há apenas 70% de eficiência no sistema. O estudo constatou que se fossem adotadas melhores estratégias de manejo e o sistema passasse a operar com eficiência de 90% ao invés de 70% haveria uma economia de água na cultura da bananeira, de forma tal, que permitiria agregar cerca de 703,61ha para o aumento da cultura da bananeira na Bacia ou diminuição da área plantada, sem que para isso haja um aumento no consumo de água e/ou diminuição da produtividade. Isso evitaria um aumento desnecessário dos custos na utilização dos recursos hídricos além de minimizar problemas ligados aos custos de produção e de salinização dos solos.

Agradecimentos

Agradeço à EMBRAPA pela disponibilização de dados. Agradeço ao SERGEO pelo apoio nas atividades de pesquisa e ao CNPq pela concessão de bolsa à primeira autora.

Referências

- Acreman, M., King, J., Hirji, R., Sarunday, W., Mutayoba, W., 2004. Capacity building to undertaking environmental flow assessments in Tanzania. Disponível: http://www.iwmi.cgiar.org/research_impacts/Research_Themes/BasinWaterManagement/RIPARWIN/PDFs/Mike%20Acreman%20EF%20cap%20build%20Tanzania%20paper.pdf. Acesso: 04/09/2014
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, K., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO, Rome. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- Allen, R.G., Tasumi, M., Trezza, R., 2002. SEBAL – Advanced Training and User's Manual. Idaho Implementation, version 1.0.
- Alves, E.J., Oliveira, M.A., Dantas, J.L.L., Oliveira, S.L., 1999. Exigências climáticas, in: Alves, E.J. A Cultura da Bananeira: aspectos técnicos, sócio-econômicos e agroindustriais. 2. ed. Embrapa SPI, Brasília, pp. 85-105.
- APAC. Agência Pernambucana de águas e Clima. Bacias Hidrográficas – Riacho do Pontal. http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=25. Acesso em 05/07/2015.
- Araújo, W.F., Costa, S.A.A., Santos, A.E., 2007. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) para Boa Vista, RR. Caatinga 20, 84-88.
- Basso, L. H. Teixeira, A. H. de C.; Silva, J. A. M. e; Silva, E. E. G. da; Ramos, C. M. C.; Targino, E. de L.; Maia, J. L. T.; Ferreira, M. de N., 2001. Consumo de água e coeficiente de cultura em bananeira irrigada por microaspersão. Embrapa Semi-Árido, Petrolina. (Embrapa Semi Árido. Comunicado Técnico, 108).
- Basso, L.H., Silva, J. A. M. e; Silva, E. E. G. da; Ramos, C. M. C.; Sedyama, G. C. 2004. Guidelines for irrigation scheduling of banana crop in the São Francisco Valley, Brazil. I - Root distribution and activity. Revista Brasileira de Fruticultura 26, 464-467. On-line version ISSN 1806-9967. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452004000300021>.
- Bouka, E., Lawson-Evi, P.I., Ekl-Gadegbeku, K., Aklirikou, K., Gbéassor M., 2015. Food risk analysis related to heavy metals in the phosphates exploitation area of Togo. Journal of Agriculture and Environmental Sciences 4, 26-34. DOI: 10.15640/jaes.v4n1a4.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional, 2008. A irrigação no Brasil Situação e Diretrizes. Brasília.
- Brito, Lima, L. T. de; Pereira, L. A.; Moura, M. S. B.de; Cavalcanti, N. de B. Características físicas e agroclimáticas de açudes da Microbacia do Riacho Pontal, em Petrolina, PE.
- Brito A.S., Libardi, P.L., Mota, J.C.A., Moraes, S.B.O., 2011. Estimativa da capacidade de campo pela curva de retenção e pela densidade de fluxo da água. Revista Brasileira de Ciências do Solo v.35 pag. 1939-1948.
- Brutsaert, W.H., 2005. Hydrology: an introduction. Cambridge University Press, New York.
- Calheiros, C.B.M., Queiroz, J.E., Frizzone, J.A., Pessoa, P.C.S., 1996. Estratégias ótimas de irrigação do feijoeiro: água como fator limitante da produção. Pesquisa Agropecuária Brasileira 31, 509-515.
- Carvalho, J. de A.; Santana, M. J. de; Pereira, G.M.; Pereira, J. R. D.; Queiroz, T. M. de. Níveis de déficit hídrico em diferentes estádios fenológicos da cultura da berinjela (*Solanum melongena* L.). 2004. versão On-line ISSN 1809-4430. Engenharia Agrícola v.24 n.2 Botucatu mayo/ago. 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162004000200010>.
- Chander, G.; Markham, B. 2003. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 41. 11, 2674-2677.
- CODEVASF. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba,

- Ministério da Integração Nacional. 2007. Estudo de Impacto Ambiental – Projeto Pontal Norte. Projetc. v. 1, estudos preliminares, Brasil.
- CODEVASF. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba, Ministério da Integração Nacional. 2012. Mais Irrigação é lançado por presidenta Dilma com previsão de investimento de R\$ 10 bi em 538 mil hectares e 16 estados. Disponível: <http://www.codevasf.gov.br/noticias/2007/mais-irrigacao-e-lancado-com-previsao-de-investimento-de-r-10-bi-em-538-mil-hectares-e-16-estados>. Acesso: 03/11/2015.
- Doorembos, J., Kassam, A.H., 1979. Yield response to water. FAO, Rome. (Irrigation and Drainage Paper, 33).
- Doorenbos, J., Pruitt, W.O., 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO, Rome. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Apostila Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças - Manejo da água de irrigação. Org. Waldir Aparecido Marouelli, Áureo Silva de Oliveira, Eugênio Ferreira Coelho, Luis Carlos Nogueira, Valdemício Ferreira de Sousa. Pág. 159 a 232. <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/55931/1/IRRIGACAO-e-FERTIRRIGACAO-cap5.pdf>. Acesso em 11/09/2014.
- English, M.J., 1990. Deficit irrigation. 1: analytical framework. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 116, 399-412.
- English, M.J., Nuss, G.S., 1982. Designing for deficit irrigation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 108, 91-106.
- Esposti, M.D.D. Pezzopane, J. E. M.; Pires, F. R.; Pigatti, V. A., 2002. Estimativa da perda de produtividade potencial do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) e épocas de plantio na região Sul do Espírito Santo em função do déficit hídrico. Revista Ciência Agrônômica 33, 5-12.
- FAO. Food and Agriculture Organization, 1990. 'Annex V. FAO Penman – Monteith formula'. Expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. FAO, Rome.
- FAO. Food and Agriculture Organization, 2014. Banana market review and banana statistics 2012-2013. Intergovernmental Group on Bananas and Tropical Fruits. Market and Policy Analyses of Raw Materials, Horticulture and Tropical (RAMHOT) Products Team. FAO, Rome.
- <http://www.fao.org/docrep/019/i3627e/i3627e.pdf>.
- Freitas, W.S., Ramos, M.M., Costa S.L., 2008. Demanda de irrigação da cultura da banana na Bacia do Rio São Francisco. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 12, 343-349. DOI: 10.1590/S1415-43662008000400002.
- Frizzzone, J.A., 1986. Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L) ao uso de nitrogênio e lâmina de irrigação. Tese (Doutorado). Piracicaba, Esalq.
- Frizzzone, J. A., 2004. Otimização do uso da água na agricultura irrigada: perspectivas e desafios. Engenharia Rural 15, 37-56.
- Frizzzone, J.A., Coelho, R.D., Dourado Neto, D., Soliani, R., 1997. Linear programming model to optimize the water resource use in irrigation projects: na application to the Senador Nilo Coelho Project. Scientia Agrícola 54, 136-148.
- Frizzzone, J. A.; Freitas, P. S. L. de; Rezende, R.; Faria M. A. de ., 2012. Microirrigação: gotejamento e microaspersão. Eduem, Maringá. ISBN: 978-85-7628-460-4.
- Galvão, D.M.O., 2008. Subsídios à determinação de vazões ambientais em cursos d'água não regulados: o caso do Ribeirão Piripau (DF/GO). Dissertação (Mestrado). Brasília, UNB.
- Henrique, F.A.N., Dantas, R.T., 2007. Estimativa da evapotranspiração de referência em Campina Grande, Paraíba. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 11, 594-599.
- Hernandez, F.B.T.; Souza, S.A.V. de; Zocoler, J.L.; Frizzzone, J.A. Simulação e efeito de veranicos em culturas desenvolvidas na região de Palmeira d'oeste, estado de São Paulo. Jaboticabal, Engenharia Agrícola, v.23, n.1, P.21-30, 2003.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2014. Produção agrícola Levantamento Sistemático da Produção agrícola. Brasil.
- Jensen, M.E., 2007. Sustainable and productive irrigated agriculture, in: Hoffman, G.J., Evans, R.G., Jensen, M.E., Martin, D.L., Elliott, R.L. (Eds.), Design and Operation of Farm Irrigation Systems, 2nd ed. ASABE, Saint Joseph, pp. 33-56.
- Klocke, N.L., Hubbard, K.G., Kranz, W.L., Watts, D.G., 1996. Evapotranspiration (ET) or Crop Water Use. Disponível: <http://www.p2pays.org/ref/20/19769.htm>. Acesso:

- Li, F., Lyons, T.J., 1999. Estimation of regional evapotranspiration through remote sensing. *Journal of Applied Meteorology* 38, 644-1654.
- Marinato, R., 1980. Irrigação da bananeira. *Informe Agropecuário* 6, 42-45.
- Marques, P.A.A., Frizzzone, J.A., 2005. Modelo computacional para determinação do risco econômico em culturas irrigadas. *Acta Scientiarum Agronomy* 27, 719-727.
- Markham, B.L., Barker, L.L., 1987. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. *International Journal of Remote Sensing* 8, 517-523.
- Mesquita, F.J.G., Cruz, M.J.M., 2015. Water supply situation diagnosis in Salvador, Bahia, Brazil. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*. 4, 35-41. DOI: 10.15640/jaes.v4n1a5.
- Monteiro, V.M., Silva, C.I., Pacheco Filho, A.J.S., Freitas, B. M., 2015. Floral biology and implications for apple pollination in Semiarid Northeastern Brazil. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences* 4, 42-50. DOI: 10.15640/jaes.v4n1a6
- Montenegro, A.A.T., Gomes, A.R.M., Miranda F.R., Crisóstomo, L.A., 2008. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo da bananeira para a região litorânea do Ceará. *Revista de Ciências Agrônômicas* 39, 203-208.
- Moura, M. S. B. de; Galvêncio, J. D.; Brito, L. T. de L.; Souza, L. S. B. de; Sá, I. I. S.; Silva, T. G.F.da. Clima e água de chuva no semiárido. In: Brito, L. T. de L.; Moura, M. S. B. de; Gama, G. F. B. (Ed.). *Potencialidades da água de chuva no semiárido brasileiro*. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2007. Cap. 2, p.37-59
- MMA. Plano Nacional de Recursos Hídricos - Prioridades 2012-2015. Brasília, dezembro de 2011. http://www.mma.gov.br/estruturas/161_publicacao/161_publicacao16032012065259.pdf. Acesso em 03/11/2015.
- Oliveira, A.S., Coelho, E.F., Faccioli, G.G., 2006. *Manejo Básico da Irrigação na Produção de Fruteiras*. LK, Brasília.
- Oliveira, S.L., Alves, E.J., Caldas, R.C., 1993. Coeficiente de cultura para irrigação da bananeira. *Revista Brasileira de Fruticultura* 15, 15-20.
- Oliveira, T.H., Silva, J.S., Machado C.C.C., Galvêncio, J.D., Pimentel, R.M.M., Silva, B.B., 2010. Índice de umidade (NDWI) e análise espaço-temporal do albedo da superfície da bacia hidrográfica do rio Moxotó-PE. *Revista Brasileira de Geografia Física* 3, 55-69.
- Oster, J.D., Wichelns, D., 2003. Economic and agronomic strategies to achieve sustainable irrigation. *Irrigation Science* 22, 107-120.
- Queiroz, J.E.; Calheiros, C. B. M.; Pessoa, P. C. S.; Frizzzone, J. A. 1996. Estratégias ótimas de irrigação do feijoeiro: terra como fator limitante da produção. ISSN 0104-1347. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 31, 55-61. <http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/artic/e/view/4452/1738>. Acesso em 07/07/2014.
- Robinson, J.C., Alberts, A.J., 1989. Seasonal variations in the crop water-use coefficient of banana (cultivar William) in the subtropics. *Scientia Horticulturae* 40, 215-225.
- Sans, L.M.A.; Assad, E. D.; Guimarães, D. P.; Avellar, G. 2001. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de milho na Região Centro-Oeste do Brasil e para o estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 9, 1-10.
- Santos, F.X.dos., 2008. Evapotranspiração de cultura e influência de diferentes lâminas e frequências de irrigação no crescimento e produtividade da cultura da cenoura. Tese (Doutorado). Recife, UFRPE.
- Segovia, J.F.O., Lopes Filho, R.P., 2004. Irrigação de Hortaliças no Estado do Amapá. Embrapa Amapá, Macapá. (Embrapa Amapá. Circular técnica, 33).
- Sentelhas, P.C., Angelocci, P.R., 2009. Balanço Hídrico Climatológico Normal e Sequencial, de Cultura e para Manejo da Irrigação. Aula nº 9. Disciplina LCE 306 – Meteorologia Agrícola. ESALQ/USP. <http://www.lce.esalq.usp.br/aula/s/lce306/Aula9.pdf>.
- Silva, B. B., Galvêncio, J.D., Montenegro, S.M.G.L., Machado, C.C.C., Oliveira, L.M.M., Moura, M.S.B., 2013. Determinação por sensoriamento remoto da produtividade primária bruta do perímetro irrigado São Gonçalo – PB. *Revista Brasileira de Meteorologia* 28, 57-64.
- Silva, E. N. da. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da bananeira pelo método do balanço hídrico no vale do Curu, Ceará. Dissertação (Mestrado). Fortaleza, UFC.
- Silva, E.R.A.C., Melo, J.G., Galvêncio, J.D., 2011. Identificação das Áreas Suscetíveis a Processos de Desertificação no Médio Trecho da Bacia do Ipojuca - PE através do Mapeamento do Estresse Hídrico da Vegetação e da Estimativa do Índice de Aridez. *Revista Brasileira de Geografia Física* 3, 629-649. ISSN:1984-2295.
- Silva, E.R.A.C., Galvêncio, J. D., Brandão Neto, J. L., Morais, Y.C.B., 2015. Space-Time

- Analysis of Environmental Changes and your Reflection on the Development of Phenological of Vegetation of Mangrove. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences* 4, 245-253. DOI: 10.15640/jaes.v4n1a30.
- Silva, E. R. A. C.; Galvêncio, J. D. 2011. A Metodologia de Escopo Global MWSP Aplicada no Âmbito Local para Análise do Estresse Hidrológico no Médio Trecho da Bacia do Ipojuca- PE: uma Contribuição à Temática da Transposição do Rio São Francisco. *Revista Brasileira de Geografia Física* 4, 602-628.
- Silva Neto, S.P., Guimarães, T.G., 2011. Evolução da cultura da banana no Brasil e no mundo. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. Disponível: <http://www.cpac.embrapa.br/noticias/artigosmidia/publicados/287/>. Acesso: 05 jan. 2011.
- Simão, A.H., 2002. Influência da percentagem de área molhada no desenvolvimento da cultura da bananeira irrigada por microaspersão. Dissertação (Mestrado). Viçosa, UFV.
- Sousa, I.F., Silva, V.P.R., Sabino, F.G., Netto, A.O., Silva, B.K.N., Azevedo, P.V., 2010. Evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do estado de Sergipe. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 14, 633-644.
- Stewart, J.I., Hagan R.M., Pruitt W. O. 1975. Functions to predict optimal irrigation programs. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 100, 179-197.
- Teixeira, A.H.C., Bassoi, L.H., Costa, W.P.L.B., Silva, J.A.M., Silva, E.E.G., 2002. Consumo hídrico da bananeira no Vale do São Francisco estimado pelo método da razão de Bowen. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 10, 45-50.
- Ward, A.D., Trimble, S.W., 2004. *Environmental Hydrology*, 2nd ed. Lewis Publishers, USA.