

ECOFISIOLOGIA E EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA EM BANANEIRA ECOPHYSIOLOGY AND WATER USE EFFICIENCY IN BANANA

Sérgio Luiz Rodrigues Donato¹, Eugênio Ferreira Coelho², Pedro Ricardo Rocha Marques¹, Alessandro de Magalhães Arantes¹, Marcelo Rocha dos Santos¹, Polyanna Mara de Oliveira³

SUMMARY

Banana is grown under irrigation in different semi-arid areas of the world. In these environments irrigation managements should be precise, that demand to know the yield and water use efficiency under specific conditions. The water use efficiency (WUE) may be expressed: for leaf as the ratio of fixed carbon and water transpired, for the plant, as the ratio of dry mass produced and water transpired; for economics, as the ratio of fresh mass and water transpired. WUE optimization requires to work on crop management, in on rational water use, on more water use efficient genotypes and on regulated deficit irrigation. The knowledge of the zones with higher root length densities and water extraction under high application efficiency irrigation systems, such as microsprinkler and drip indicates places for soil water monitoring and fertilizer application. The deposition of the mulching on the soil reduces evaporation, minimizes compaction, improves physical, chemical and biological soil properties and WUE. The use of more tolerant cultivars to soil water deficits more acceptable under environmental point of view and seems to be practicable for hybrids (AAAB), which can be submitted to different irrigation strategies such as regulated deficit irrigation and partial rootzone drying with increased WUE. The increase in leaf temperature reduces WUE, even with adequate irrigation water depths. In banana crops in semi-arid regions, where high temperatures limit yield, all practices of planning, irrigation management and cultivations should be oriented to optimize the diffusive flow, nutrient cycling in the soil, as well to provide plant refrigeration and water use efficiency increase.

Key words: *Musa* spp., environment, water stress.

RESUMO

A bananeira é cultivada em diferentes áreas semiáridas do mundo com uso da irrigação. Nesses ambientes o manejo da irrigação deve, priorizar a precisão, o que demanda conhecer a produção e a eficiência de uso da água em condições específicas. A eficiência de uso de água (EUA) pode ser expressa: para a folha, razão entre carbono fixado e água transpirada; para a planta, razão entre massa seca produzida e lâmina de água transpirada; econômica, razão entre produção de massa fresca e água transpirada. A otimização da EUA requer atuação no manejo da cultura, no uso racional da água e de genótipos mais eficientes no uso da água e irrigação com déficit. O conhecimento das zonas com maiores densidades de comprimento radicular e extração de água em sistemas de irrigação com maior eficiência de aplicação, gotejamento e microaspersão, indica o local para monitorar água do solo, aplicar fertilizantes e incrementar a produtividade. A deposição da palhada sobre o solo, diminui a evaporação, minimiza a compactação, melhora os atributos físicos, químicos e biológicos do solo e a EUA. O cultivo tem alta demanda e impacta os recursos hídricos em áreas semiáridas. O uso de cultivares mais tolerantes a déficit hídrico do solo, é mais aceitável do ponto de vista ambiental e parece ser factível para híbridos (AAAB), que podem ser submetidos a estratégias de irrigação com déficit controlado e lateralmente alternada, com aumento da EUA. O aumento da temperatura foliar reduz a EUA, mesmo com lâminas de irrigação adequadas. Em cultivos de bananeira em regiões semiáridas, onde as temperaturas elevadas limitam a produção, todas as práticas de planejamento, manejo de irrigação e do cultivo devem ser orientadas para otimizar o fluxo difusivo, a ciclagem de nutrientes no solo, favorecer a refrigeração da planta e aumentar a eficiência de uso da água.

INTRODUÇÃO

Durante os últimos 30 anos, a área de terra sob irrigação passou de 200 milhões para mais de 270 milhões de hectares. No mesmo período, a retirada mundial da água subiu de 2.500 km³ para mais de 3.600 km³ (FAO, 2007). No Brasil, Christofidis (2008) indica que, no período de 27 anos (1975/2004), houve incorporação de 2,4 milhões de hectares de terras irrigadas e estima que, no mundo haverá acréscimo da área irrigada, com previsão de 330 milhões de hectares no ano 2025.

As plantas utilizam água em grande quantidade, consequência direta da absorção de CO₂ para a fotossíntese. A maior parte da água absorvida pelas raízes é evaporada das superfícies foliares por transpiração, enquanto pequena parte permanece na planta para atender as demandas de crescimento, da fotossíntese e outros processos metabólicos. A eficiência de uso da água (EUA) de determinada espécie expressa a sua efetividade de fixar carbono enquanto transpira. É aceita a ideia que bananeiras requerem grandes quantidades de água para alta produção. Entretanto, é afirmado que bananeiras mantêm seu *status* hídrico interno durante a seca pela redução da exposição à radiação, fechamento dos estômatos e devido ao mecanismo de ajuste osmótico pelo aumento da concentração de minerais e ou solutos orgânicos na folha (Mahouachi, 2009).

O aumento da eficiência de uso da água é fundamental para diminuir o desperdício desse recurso dos atuais padrões de produção da agricultura irrigada. Isso é viável com mudanças na aplicação de água às culturas, na eficiência dos sistemas de irrigação, no manejo da irrigação e das culturas. A eficiência dos sistemas de irrigação envolve a eficiência de condução de água da fonte hídrica até a cultura e a eficiência de aplicação de água, que relaciona água aduzida e utilizada pela cultura. Envolve eficiência inerente à cultura, eficiência de uso de água. As condições hídricas e térmicas do solo e do clima influenciam a temperatura da folha, com reflexos nas trocas gasosas, no status hídrico, no crescimento, desenvolvimento e produção da bananeira, com especificidade varietal. A temperatura é o principal fator, associado à água, radiação e fotoperíodo que contribuem para a sazonalidade na emergência dos cachos (Fortescue et al., 2011), e, conseqüentemente, na estacionalidade da produção, corrente em todas as regiões produtoras.

A eficiência de uso de água (EUA) pode ser expressa de várias formas: EUA da folha, razão entre ganho de carbono unitário fixado pela fotossíntese por unidade de água transpirada para uma redução de 1 kPa de déficit de pressão de vapor; EUA da planta, corresponde à razão entre massa seca produzida e lâmina de água transpirada; do ponto de vista econômico, considera a razão entre produção unitária de massa fresca (kg) por unidade de água transpirada. Matematicamente pode-se expressar a EUA pela equação utilizada por Odhiambo e Kranz (2011).

$EUA = \frac{y_i - y_c}{ET_i - ET_c}$ (1), em que: y_i , produtividade sob irrigação; y_c , produtividade sob condições de chuva ($t\ ha^{-1}$); ET_i , evapotranspiração sob condição irrigada; ET_c , evapotranspiração sob condição de sequeiro (com chuva) em mm. A EUA também pode ser expressa pela equação:

$EUA = \frac{y}{R+D+E_s+T_w+T_c}$ (2), em que: y , matéria seca ou a produção comercial; R , escoamento superficial; D , drenagem profunda ou perdas por percolação; E_s , perda por evaporação, T_w , transpiração das ervas daninhas; T_c , transpiração da cultura. Uma particularidade da equação (2) é considerar no denominador apenas a quantidade de água transpirada ou evapotranspirada. As plantas mais eficientes no uso da água são aquelas que apresentam melhoria das funções fisiológicas, o que inclui ajustamento osmótico, regulação estomatal, relação fotossíntese/transpiração, manutenção da estabilidade da membrana plasmática e das enzimas antioxidantes ativas. Isso implica em maiores valores de relação raiz/parte aérea, conteúdo de clorofila, eficiência fotossintética e acúmulo de matéria seca (Zhengbin et al., 2011), com menor quantidade de água aplicada.

O ótimo ecológico difere do ótimo fisiológico, e é função do ajuste da espécie às condições ambientais do sítio, solo e clima. Assim, a bananeira realiza fotossíntese em taxas adequadas, quando há condições ambientais favoráveis. A fotossíntese, a transpiração, a absorção de água e nutrientes; o crescimento e o desenvolvimento da bananeira e sua conseqüente produtividade são processos dependentes das interações água-solo-genótipo-atmosfera e da interferência humana.

A bananicultura ocupa diferentes áreas semiáridas do mundo, ambientes físicos caracterizados por escassez e/ou irregularidades de chuvas, temperaturas supraótimas, excesso de radiação e vento e baixa umidade relativa, o que implica ser obrigatório o uso da irrigação para obtenção de produtividade comercial. Numa visão de sustentabilidade produtiva e ambiental, nesses ambientes o manejo da irrigação deve, priorizar a precisão, o que demanda conhecer a produção e a eficiência de uso da água em condições específicas de solo, clima, genótipo e diferentes sistemas e manejos da irrigação. Assim, o objetivo do presente texto é compilar e discutir informações sobre ecofisiologia e eficiência de uso da água em bananeira que possam subsidiar recomendações de estratégias de irrigação, de manejo cultural e de melhoramento genético, mais refinadas, com especificidade local, com vistas ao incremento da produtividade da bananeira.

ECOFISIOLOGIA E OTIMIZAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE USO DE ÁGUA EM BANANEIRA

As fases infantil e juvenil, fase vegetativa, compreendem o período do ciclo da bananeira mais sensível ao déficit hídrico do solo (Figura 1). Contudo, a maior exigência quantitativa de água estende da diferenciação floral à emergência do cacho. Na fase infantil, o rebento depende da planta-mãe. Há necessidade de água e nutrientes adequada na fase vegetativa (0 a 7 meses), para crescimento e desenvolvimento. Deficiência hídrica nesta fase afeta taxa de desenvolvimento das folhas, ritmo de emissão foliar e época da iniciação floral. Durante a fase juvenil, é crucial a interferência do agricultor para assegurar adequadas produtividades, com práticas de irrigação e adubação, particularmente nitrogenada e potássica, pois a quantidade de flores femininas definida na diferenciação floral é proporcional às folhas lançadas antes dessa fase, o que define cachos com mais pencas (Robinson e Galán Saúco, 2010). A emissão de raízes da planta-mãe paralisa na floração e os filhos passam a contribuir intensamente com absorção de água e nutrientes. Na floração, deficiência hídrica limita a frutificação e na fase de enchimento, afeta o tamanho e a qualidade dos frutos. Área foliar reduzida afeta a taxa de enchimento e provoca maturação prematura de frutos. O conhecimento da dinâmica das relações fonte/dreno entre órgãos ao longo do ciclo possibilita adotar manejo eficiente de desbaste, para diminuir competição entre órgãos em períodos críticos por assimilados disponíveis. A retirada de folhas velhas, sombreadas, quebradas, com lesões de sigatocas

deve ter atenção especial a partir do florescimento, pois podem constituir-se em drenos, dificultar a refrigeração do bananal, e afetar a EUA.

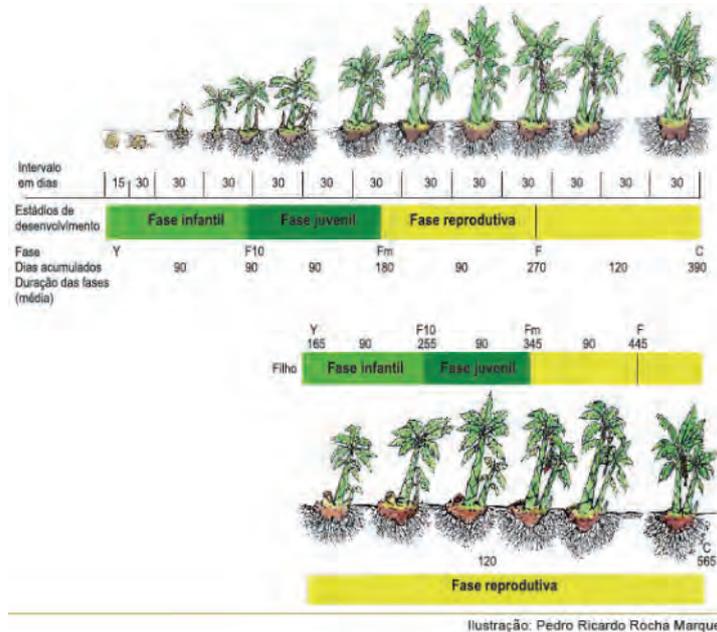


Ilustração: Pedro Ricardo Rocha Marques

Figura 1. Representação do ciclo da bananeira, com adaptações das durações dos estádios de desenvolvimento para bananeira Prata. Y = gema, desenvolvimento do filho; F10 = Primeira folha com 10 cm de largura; Fm = Primeira folha adulta característica da cultivar (DF); F = Emissão da inflorescência; C = Colheita do cacho.

Fonte: Denominações das fases ou estádios de desenvolvimento adaptadas de Soto Ballester (2008).

O coeficiente de cultivo, K_c , é a razão entre a evapotranspiração da cultura e a evapotranspiração de referência. O K_c varia ao longo do ciclo da bananeira de um valor inicial próximo a 0,40, crescendo numa taxa menor até a floração (0,85) com aumento até um máximo (1,10), quando da ocorrência do máximo crescimento dos frutos e diminui com a maturação destes (0,80). Existem várias sugestões de divisão das fases fenológicas para definição dos K_c s com vistas ao manejo de irrigação em bananeira (Coelho *et al.*, 2012). Para as condições climáticas do Norte de Minas Gerais, precipitação anual de 717 mm e evaporação do tanque classe A de 2.438 mm, os autores relatam que os valores mais adequados de K_c correspondem a 1,25 vezes os sugeridos pela FAO. Baseado nisto e na divisão fenológica apresentada pode-se sugerir K_c s para as fases: I (0,50), infantil (crescimento vegetativo lento, 0 - 90 dias); II (1,05), juvenil, crescimento vegetativo rápido até a diferenciação floral (90 - 180 dias); III (1,35), da DF até a floração (180 - 270 dias); IV (1,00), da floração à colheita do cacho (270 - 390 dias após o transplantio). No primeiro ciclo da cultura, essas fases são devidamente caracterizadas em toda a área, entretanto, a partir do segundo ciclo, em virtude de antecipações e atrasos das plantas, ocorre uma desuniformidade das fases dentro de uma mesma área e as quatro fases podem ocorrer com sobreposição na mesma área, o que implica decidir por um K_c da fase mais representativa da cultura.

A eficiência de uso de água pode ser otimizada por meio da maximização da produtividade da bananeira e minimização das variáveis que resultam em perdas de água, que corresponde à: (a) aumentar a produtividade com atuação no manejo da cultura, no uso racional da água e na produção de genótipos mais eficientes no uso da água, (b) uso de irrigação com déficit.

O aumento da densidade de plantio, mais plantas por unidade de área, pode aumentar significativamente a produtividade para as mesmas condições evapotranspirométricas. Esse aumento de densidade deve ser tal que promova aumento de produtividade, sem reduzir a qualidade física e química dos frutos, pois esses devem atingir classificação comercial. O aumento da densidade acarreta maior sombreamento e, conseqüentemente, reduz a evaporação de água do solo, conservando assim a umidade do solo em níveis mais próximos ao requerido, reduzindo a aplicação de água. A eficiência de uso de água em bananeira aumentará em função do aumento da produtividade com redução da lâmina de água necessária. Na Índia, a utilização da técnica do 'High Density Planting' (HPD) promove densidades de 4.444 a 5.555 plantas por hectare, com produtividade alcançando 60 t ha⁻¹ ciclo⁻¹. Essa técnica inclui a adoção de tecnologias apropriadas, como a utilização de mudas micropropagadas, fertirrigação, cultivares de porte baixo e produtivas (Biswas e Kumar, 2010). Em regiões mais quentes, de clima tropical, altas densidades (mais de 3.000 plantas ha⁻¹) podem ser utilizadas para maximizar a produção e fornecer proteção contra temperaturas demasiadamente altas (Robinson, 1995). Moura *et al.* (2002) avaliaram densidades de 4.000, 2.000 e 1.666 plantas ha⁻¹ e concluíram que no primeiro ciclo as densidades de 2.000 e 1.666 plantas ha⁻¹ resultaram em maior produção de cacho e melhor qualidade física dos frutos, sem afetar a produtividade.

Pamponet (2013) avaliou duas densidades de plantas (2.000 e 4.000 plantas ha⁻¹) sob quatro lâminas de irrigação (60, 80, 100 e 120% da ETc) e verificou diferenças entre as eficiências de uso de água para essas duas densidades, sendo que, a elevação da EUA para densidade de 4.000 plantas ha⁻¹ correspondeu a um incremento de produtividade de pencas de 80 a 85% em relação a densidade de 2.000 plantas ha⁻¹ no segundo ciclo e a um aumento médio para todas as lâminas avaliadas de 98% e 118% da EUA de 2.000 para 4.000 plantas ha⁻¹ no segundo e terceiro ciclos, respectivamente (Figura 2).

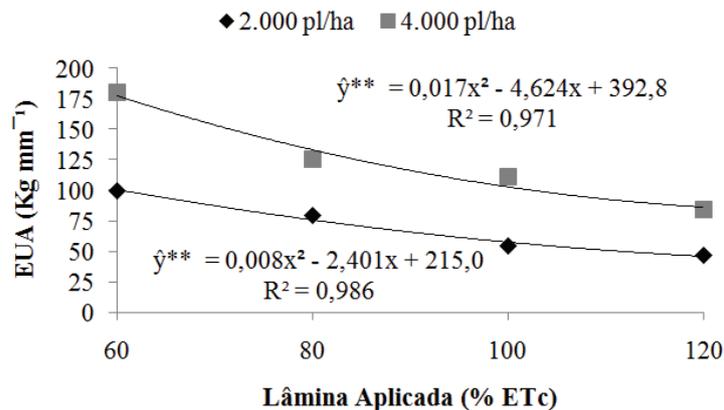


Figura 2. Eficiência de uso de água (EUA) no segundo e terceiro ciclos produtivos da bananeira 'Prata Anã'. Cruz das Almas, BA. 2009– 2010.

Fonte: Pamponet (2013).

A distribuição das raízes no solo pode ser influenciada pela densidade de plantas, que interfere no uso da água pela bananeira. A variação da densidade de plantas é técnica comum em bananais irrigados. Santana Júnior et al. (2009) utilizaram um microaspersor para quatro plantas com vazão de 60 L h⁻¹, espaçamento de 3,0 m x 2,7 m, em sistemas de condução com uma e duas famílias. O sistema radicular para uma e duas famílias diferiram até 0,30 m do pseudocaule, com menor variação das percentagens do comprimento total para maiores distâncias do pseudocaule. Maior densidade de comprimento radicular, DCR, foi registrada a 0,30 m do pseudocaule, entretanto, com maior percentagem de raízes entre 0,10 m e 0,20 m, para duas famílias. Comprimento total de raízes e DCR com duas famílias equivaleram, respectivamente, a 2,4 e 2,3 vezes para uma família. A profundidade efetiva, 80,00% das raízes, foi detectada a 0,50 m em ambos sistemas.

O conhecimento da distribuição do sistema radicular da bananeira é fundamental para o uso racional de água e fertilizantes, uma vez que as raízes, além de se constituírem como meio de fixação da planta no solo, são a principal via de absorção de água e nutrientes. Essas informações permitem definir distâncias horizontais e verticais mais adequadas para aplicação de fertilizantes e instalação de sensores de monitoramento do estado de água no solo (umidade e potencial matricial) para melhor manejo da irrigação. Diferentes sistemas de irrigação tendem a promover diferentes padrões de distribuição de água no solo, que condicionam a distribuição do sistema radicular (Sant'ana *et al.*, 2012) e resulta numa maior ou menor área de absorção de água e nutrientes, com consequências para o fluxo difusivo de nutrientes no solo, sua absorção e seu teor na planta (Donato *et al.*, 2010), o que causa alterações na fisiologia da bananeira.

Em região semiárida, para bananeira sob gotejamento com duas linhas laterais por fileira e quatro emissores por planta, a densidade de comprimento radicular (DCR) média foi 2,05 cm cm⁻³, com 80,00% das raízes a 0,50 m da superfície do solo, coerente com a distribuição de raízes em plantas irrigadas por gotejamento. Essa DCR superou à encontrada em condições subúmidas (0,87 cm cm⁻³), o que não implica serem comuns essas diferenças. A bananeira irrigada por aspersão convencional apresentou maior concentração de raízes próximo à superfície do solo (0,00- 0,30 m), 80,00% do comprimento total das raízes (Sant'ana et al., 2010).

Sant'ana et al. (2012) avaliaram a distribuição do sistema radicular de 'Prata Anã' (AAB) nas fases de florescimento do primeiro ciclo e final do crescimento dos frutos de dois ciclos sob sistemas de irrigação por aspersão convencional, microaspersão e gotejamento, em condições semiáridas. Verificaram maior DCR para gotejamento em profundidade acima de 0,40 m e, abaixo de 0,40 m e a maiores distâncias do pseudocaule das plantas, até 0,70 m, para microaspersão e aspersão. Isto indica que estes sistemas proporcionam uma área maior com disponibilidade de água superficial, enquanto o gotejamento disponibilizou água no solo a profundidades maiores induzindo o aprofundamento radicular. Ao final do crescimento dos frutos do primeiro ciclo, as maiores DCR para o gotejamento, foram registradas nas regiões limitadas pelas distâncias horizontais do pseudocaule e profundidade da superfície do solo de até 1,0 m, com dois centros de concentração do sistema radicular, a 0,70 e 0,20 m da superfície do solo, nas distâncias de 0,15 e 0,60 m do pseudocaule, respectivamente. No segundo ciclo,

a bananeira apresentou maior predominância de raízes próxima à superfície do solo, com 80% a 0,61 m, 0,51 m e 0,61 m e à distância efetiva de 0,63 m, 0,66 m e 0,79 m do pseudocaule, para os sistemas de irrigação por gotejamento, microaspersão e aspersão, respectivamente (Figura 3). Em geral, predominaram raízes com diâmetros inferiores a 2 mm, em toda a zona radicular avaliada. As zonas com maiores densidades de comprimento radicular, até 0,40 m de profundidade, compreendem as regiões com maior extração de água em todos os sistemas de irrigação estudados, e por isso, constituem o local indicado para instalação de sensores para monitoramento da tensão ou umidade do solo.

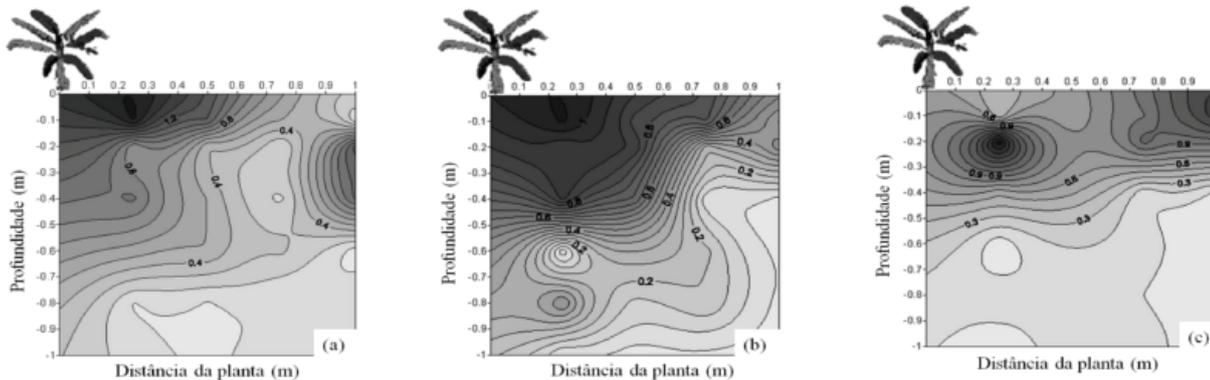


Figura 3. Isolinhas de densidade de comprimento de raízes no perfil do solo para os sistemas por gotejamento (a), microaspersão (b) e aspersão convencional (c), na fase final do segundo ciclo da bananeira ‘Prata Anã’, no Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, Guanambi, BA. Fonte: Sant’ana *et al.* (2012).

O manejo da irrigação referente à frequência de aplicação de água está relacionado à distribuição de água no solo e à distribuição de raízes no solo. O aumento da frequência de irrigação implica em menor quantidade de água aplicada por evento de irrigação e menor volume de solo molhado, afetando a distribuição das raízes no solo. A distribuição do sistema radicular da bananeira sob frequências de irrigação de quatro e seis dias nas condições do Projeto Gorutuba, Norte de Minas Gerais, resultou em maiores valores de DCR para a frequência de seis dias comparada à de quatro dias (Santos *et al.*, 2004). Isto foi atribuído às maiores quantidades de água aplicadas a cada evento de irrigação nesta frequência, resultando em maior volume de solo molhado, o que promove o desenvolvimento das raízes em toda a extensão entre a planta e o microaspersor.

Sant’ana *et al.* (2012) encontraram maior percentagem total do comprimento de raízes, 52,33%, pertencentes a classes de diâmetros de raízes finas, para o sistema de irrigação por aspersão convencional, comparada a microaspersão e gotejamento. Infere-se que a atividade do sistema radicular das plantas sob aspersão convencional pode ser mais eficiente que sob gotejamento e microaspersão, pois as raízes finas são mais ativas quanto à absorção de água e nutrientes.

A absorção de água ocorre mais superficialmente para frequência de irrigação de dois dias, com as zonas de maior extração até 0,70 m da planta e à 0,50 m de profundidade. Para frequência de quatro dias, provavelmente devido ao maior volume de solo molhado por irrigação, a extração ocorre em maior profundidade, com maior intensidade até 0,60 m da planta. Para seis dias, a extração acontece num maior volume de solo e os maiores valores ocorrem em toda profundidade monitorada, até 0,80 m e a distâncias da planta de até 1,10 m (Costa *et al.*, 2002).

Silva *et al.* (2006) avaliaram a distribuição e as zonas de extração de água pelo sistema radicular da ‘Prata Anã’, irrigada por sistemas de microaspersão com vazões de 32, 43 e 60 L h⁻¹. As regiões mais próximas ao emissor, se mostraram mais úmidas após as irrigações e possibilitaram maior extração de água pelas raízes, enquanto nas regiões mais afastadas do emissor, a umidade foi menor com menores quantidades de água absorvidas pelas raízes.

A aplicação de fertilizantes em cultivos irrigados de bananeira incrementa a produtividade, para a mesma lâmina de água aplicada (Figura 4), e resulta em aumento da EUA. Incrementos em produtividades decorrentes do aumento dos níveis de nitrogênio, fósforo e potássio foram demonstrados por diversos autores (Silva *et al.*, 2012). A fertirrigação na bananeira contribui com o aumento da eficiência de uso de água, uma vez que acelera a dinâmica de disponibilização dos nutrientes às raízes das plantas. Nesse caso é necessário considerar a interação entre fertirrigação e sistema de irrigação. O gotejamento, por exemplo, requer aplicação de fertilizantes via água, enquanto em microaspersão e aspersão a adubação pode ser feita com fertilizantes sólidos à lanço. Estudos desenvolvidos em Latossolo-Amarelo de Tabuleiros Costeiros mostraram maiores produtividades de bananeira

sob gotejamento e microaspersão com fertirrigação, e superioridade da microaspersão comparada ao gotejamento, mesmo sem uso da fertirrigação.

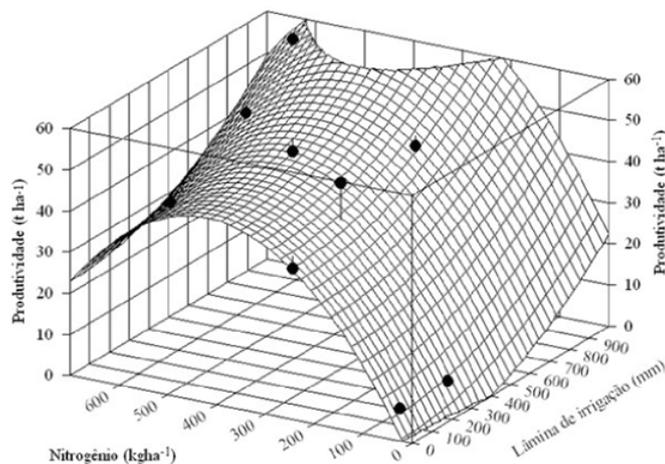


Figura 4. Superfície de resposta para a produtividade da bananeira 'BRS Tropical' em função de doses de nitrogênio e lâminas de irrigação em condições semiáridas do Norte de Minas Gerais, Brasil.

Fonte: Coelho et al. (2012).

Outras atividades de manejo da cultura para otimização da eficiência de uso de água pela bananeira pode ser feito com uso de barreiras vegetais ou fileira de plantas de altura maior que a bananeira de modo a reduzir a velocidade do vento no plantio o que promove a redução da transpiração das plantas (Skidmore e Hagen, 1970). O período de plantio da bananeira pode influenciar sensivelmente na eficiência de uso de água da mesma, uma vez que, se houver coincidência da fase de floração e desenvolvimento dos frutos com a época do ano de maior demanda evapotranspirométrica, a EUA será menor comparada a uma condição de menor demanda evapotranspirométrica nessa fase, que é a de maior demanda de água pela cultura.

Os sistemas de irrigação sofrem interferência dos fatores climáticos, particularmente o vento, de maneira diferenciada na distribuição de água sobre o solo, com efeito em sistemas de aspersão e microaspersão, provocando arraste e diminuindo a eficiência de aplicação da água. Assim, no manejo desses sistemas em regiões com velocidade de vento elevada deve se avaliar a eficiência para aplicação correta da lâmina líquida. Nestas condições, no dimensionamento e instalação dos sistemas de irrigação por aspersão e microaspersão deve-se atentar para posicionar os emissores além das plantas. Em aspersão pode-se utilizar aspersores setoriais ou posicionar a última fileira de plantas no máximo um quarto da distância do espaçamento entre linhas laterais e a última planta da fileira no máximo um quarto do espaçamento entre aspersores. Sugere-se diminuir a distância entre emissores e entre linhas laterais conforme o aumento da velocidade do vento. Para regiões com velocidade de vento de 2 m s^{-1} , $3,5 \text{ m s}^{-1}$ e maiores que $3,5 \text{ m s}^{-1}$, 60%, 50% e 30% do diâmetro molhado do emissor, respectivamente. Essas medidas asseguram adequada sobreposição e eficiente uniformidade de aplicação de água e aumentam a EUA em bananeira.

A despeito dos prejuízos causados, o vento pode favorecer a bananeira. A circulação do ar ao redor da folha provocada pelo vento remove o calor da superfície foliar, pela perda de calor sensível. Baixa velocidade de vento e grande área foliar podem aumentar a espessura da camada limítrofe, apresentar maior resistência ao movimento de vapor de água da folha para o ar e reduzir a evaporação. Assim, é de se esperar que folhas maiores sejam mais quentes que folhas pequenas. O aumento na velocidade do vento poderá reduzir a espessura da camada limítrofe, esfriar a folha e aumentar a diferença de pressão de vapor da folha para o ar. Sob influência do vento, os limbos rasgam-se em tiras, tornando as folhas menores, modificando a fisiologia das folhas. Desse modo, é de se esperar que o vento atenua o estresse térmico que a folha experimenta, seja por temperatura supraótima e/ou excesso de radiação, o que pode aumentar a eficiência de uso da água pela bananeira. Essa discussão justifica a realização da prática de desfolha para melhorar a refrigeração do bananal, desde que mantida a quantidade de folhas funcionais para atender ao requerimento de produtividades normais, uma característica varietal.

Apesar de o rasgamento foliar conferir alguns benefícios para a planta, a extensão destes depende da intensidade daquele. Dados discutidos por Robinson e Galán Saúco (2010) e Soto Ballester (2008), evidenciam a influência do vento na dilaceração do limbo e a consequente redução na taxa fotossintética em função do tamanho residual do pedaço dilacerado em bananeira 'Dwarf Cavendish' ('Nanica', AAA). As taxas fotossintéticas em folhas não dilaceradas e dilaceradas com pedaços de 100 mm cada, $20,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de CO_2 , não diferiram. Para pedaços de 50 mm e de 25 mm de largura, ocorreram decréscimos de 10,70% e 19,50%, respectivamente, comparada a

folhas não dilaceradas. Para pedaços de 12 mm, o declínio foi de 33,20%. Provavelmente, esses decréscimos nas taxas fotossintéticas resultam em perdas aproximadamente proporcionais na produtividade do cultivo. Entretanto, essa hipótese demanda validação experimental.

Os efeitos dos ventos são mais intensos em cultivares com maior porte. Trabalho conduzido no semiárido constatou a variação da produtividade com o grupo genômico (potencial genético) e o porte das plantas. As cultivares AAA e AAAA foram mais produtivas que AAB e AAAB, o que era esperado, uma vez que os tipos Cavendish e Gros Michel são potencialmente mais produtivos que os tipo Prata. Entretanto, independentemente do grupo, os genótipos de porte mais baixo foram mais produtivos que os de porte mais alto, o que pode estar relacionado à dilaceração do limbo e ao rompimento de raízes, provocados pelo vento, com maior efeito nas cultivares de porte elevado. Na mesma região, taxas de fotossíntese mensuradas na folha três em bananeiras tipo Prata mostram valor 36,00% ($26,67 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{CO}_2$) maior para a cultivar de menor porte, BRS Fhia-18, comparada à de maior porte ($17,05 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{CO}_2$), JV42-135 (Tabela 1). Entretanto, há variação nesse padrão nas cultivares de porte intermediário, o que pode ser justificado por diferenças estritamente genotípicas. A transpiração e a EUA não diferiram entre as cultivares.

Tabela 1. Altura da planta e taxas de fotossíntese mensuradas às 8:00 horas em bananeiras Prata, Guanambi, BA, outubro de 2010.

Cultivares	Altura da planta (cm)	A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{CO}_2$) - 8:00
BRS Fhia-18 (AAAB)	249,45 C	26,67 A
Maravilha (AAAB)	310,75 B	26,21 A
BRS Platina (AAAB)	285,75 B	23,16 AB
Fhia-18 (AAAB)	303,30 B	18,02 B
Prata-Anã (AAB)	295,15 B	20,25 AB
JV42-135 (AAAB)	372,75 A	17,05 B
Dms	29,27	5,00

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$).

A otimização do uso racional da água de irrigação implica em atuar no manejo da água de irrigação, bem como nos sistemas de distribuição de água. O manejo da água deve basear-se na manutenção da umidade do solo em níveis dentro da faixa de melhor uso pela bananeira, com a umidade entre o limite superior de água disponível (100% da água disponível ou capacidade de campo do solo) e a umidade correspondente a 70% da água disponível e requer redução das perdas por evaporação e por percolação. O controle da evaporação mais conhecido e usado é a aplicação de matéria seca e restos de plantas na superfície do solo; particularmente para bananeira, principalmente a partir do segundo ciclo há muita massa resultante de folhas secas de plantas ativas e de plantas inteiras que são cortadas por ocasião da colheita. Esse material sobre o solo contribui significativamente nos atributos físicos e químicos do mesmo, além de reduzir a evaporação de água. Num experimento conduzido em Latossolo-Amarelo com bananeira 'Princesa' (AAAB), em Cruz das Almas, BA, sob irrigação por gotejamento, a produtividade com uso de cobertura morta foi 50% superior à ausência. Para microaspersão houve incremento de produtividade (8%) com o uso de cobertura morta, entretanto com menor diferença do tratamento sem cobertura morta. Como foram aplicadas as mesmas lâminas de irrigação, as variações na produtividade correspondem as variações de EUA para os tratamentos avaliados.

O manejo da palhada do bananal com disposição dos pseudocaules rebaixados e das folhas, nas ruas sem e com sistema de irrigação, respectivamente, de forma a minimizar a compactação, o aporte frequente de matéria orgânica para aumentar a micro e macro fauna do solo; o aumento e ou manutenção da lâmina de irrigação adequada, para melhorar o fluxo difusivo de nutrientes no solo melhoram as propriedades químicas e físicas do solo e contribuem para a ciclagem de nutrientes, principalmente potássio (K^+) que restringe-se à fração viva da matéria orgânica do solo, com lavagem rápida após a morte celular. A ciclagem pode ser bioquímica, do pseudocaulo da planta recém colhida para a família, ou biogeoquímica, com intermediação do solo, pelo rebaixamento do pseudocaulo após a colheita e varia com solo, clima, genótipo, manejo e microrganismos.

A despeito da economia nutricional que esse fato representa, o K^+ está relacionado à regulação hídrica e osmótica da planta e por isso, à proteção anti fatores de estresses abióticos. Normalmente, em áreas irrigadas a taxa de ciclagem é maior em sistemas de irrigação por aspersão convencional e microaspersão, comparada à gotejamento, decorrente da aspersão da água sobre a palhada. Em um bananal com 24 genótipos de diferentes grupos genômicos e frutos tipo Prata, Pacovan, Cavendish, Gros Michel e Maçã, irrigado por microaspersão, o teor de K^+ no solo na camada de 0-20 cm, e de 20-40 cm, antes do transplante era $567,50 \text{ mg dm}^{-3}$ e $512,50$, respectivamente (Figura 5). Em média para os quatro grupos representados pelos tipos de frutos os modelos quadráticos ajustados estimam menores teores de K^+ no solo ($238,25 \text{ mg dm}^{-3}$ em 0-20 cm; $206,64 \text{ mg dm}^{-3}$ em 20-40 cm) aos 464 e 570 DAT, respectivamente. Os menores teores de K^+ observados nas profundidades do solo de 0-20 cm e 20-40 cm ocorreram aos 400 DAT, 140,13 e 214,83 mg dm^{-3} , respectivamente. Os dados evidenciam extração e imobilização do K^+ na biomassa até a primeira colheita, período com duração média de 459 dias para

os quatro grupos de frutos. A elevação dos teores de K^+ no solo aos 520 DAT, entre 1 e 3,5 meses após a colheita, provavelmente pela ciclagem da planta-mãe, atesta esta hipótese. O decréscimo dos teores de K^+ no solo de 520 para 640 DAT e sua elevação aos 780 e 930 DAT, indicam imobilização na biomassa para formação das colheitas dos ciclos posteriores e contribuição da ciclagem do K^+ que, associada às complementações, possibilitou retorno aos valores registrados à época do transplantio. A variação mais rápida dos teores de K^+ de 0-20 cm justifica-se pela deposição da palhada na superfície e maior exposição aos fatores, água, calor e microrganismos. As avaliações contemplam valores médios registrados em subgrupos com produtividades bastante divergentes, portanto, com balanços diferentes entre absorção e exportação de K^+ . A produtividade média dos quatro subgrupos correspondeu à $36 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, enquanto as produtividades dos grupos de cultivares, Cavendish e Gros Michel ($53 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), Pratas ($45 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), Pacovans ($28 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e Maças ($18 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$).

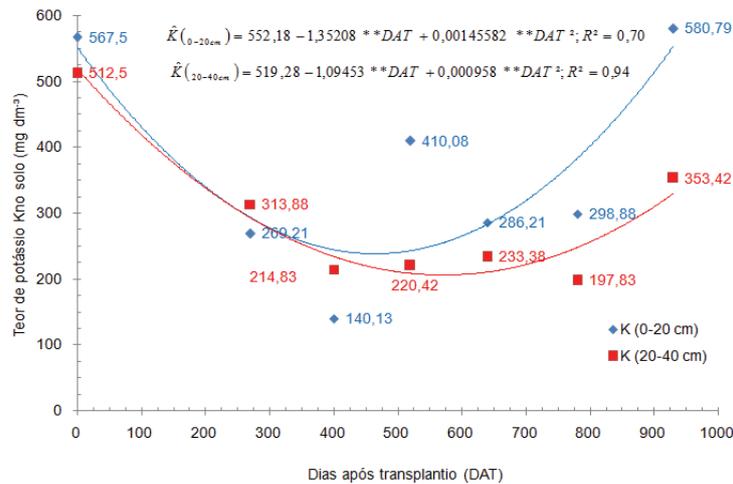


Figura 5. Variação de K^+ nas camadas de 0-20 cm e de 20-40 cm, em solos cultivados com bananeiras de diferentes tipos de frutos em função de DAT. Guanambi, BA, 05/2010-12/2012.

O uso racional da água pode ser melhorado com manejo técnico da água de irrigação, com maiores frequências de aplicação de água e monitoramento contínuo da tensão ou da umidade do solo com base na curva de retenção de água para definição do momento da irrigação (umidade e tensão crítica) e da quantidade de água a repor ao solo, ou baseado na evapotranspiração da cultura. Os sistemas de irrigação devem ser eficientes em aplicação e em distribuição de água, a exemplo do gotejamento e da microaspersão, que são os mais recomendados para bananeira dadas as maiores eficiências, comparada a irrigação por superfície e aspersão.

A água é provavelmente o fator abiótico mais limitante à produção da bananeira. O cultivo tem alta demanda hídrica, variável com o estágio de desenvolvimento, as condições atmosféricas e as propriedades físico-hídricas do solo (Coelho *et al.*, 2012). A magnitude dessa variação, pode ser ilustrada com um exemplo para condições atmosféricas de uma região semiárida da Bahia, no ano de 2012 (Figura 6). A evapotranspiração de referência E_{To} do dia mais crítico do ano corresponde a 9,38 mm. A E_{To} média diária anual, $5,95 \text{ mm dia}^{-1}$. Para a situação crítica, $E_{To} \text{ máxima} = 9,38 \text{ mm dia}^{-1}$; $K_c = 1,35$; $RL = 0,10$, razão de lixiviação devido à salinidade da água de irrigação, problema corrente em muitas regiões semiáridas que utilizam água subterrânea; $E = 82\%$, eficiência de aplicação da água de irrigação para um sistema de irrigação por microaspersão em região com velocidade do vento alta; LB (lâmina bruta) ou ITN (irrigação total necessária), $LB = E_{tpc} \times 100 / E (1 - RL)$; $E_{tpc} = E_{To} \times K_c$, evapotranspiração potencial da cultura; a LB será de 15,40 mm, enquanto para a condição média, $E_{To} = 5,95 \text{ mm dia}^{-1}$, LB será 9,80 mm.

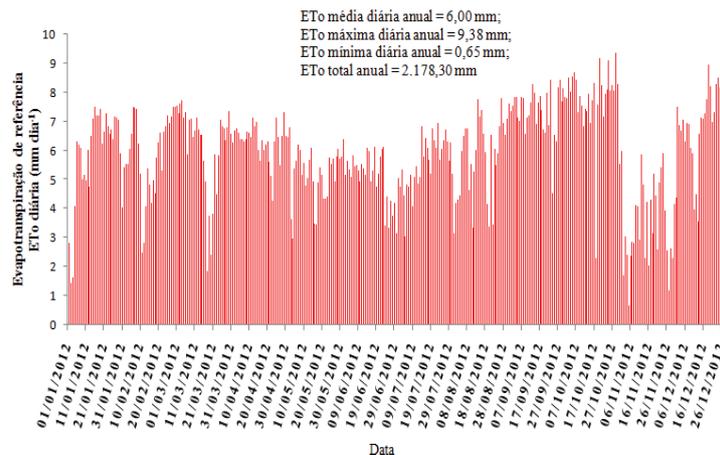


Figura 6. Evapotranspiração de referência diária registrada no IFBaiano – Campus Guanambi, no período de 01/01 a 31/12/2012, Guanambi, BA.

O tempo de funcionamento de um sistema de irrigação por microaspersão para aplicar as LB crítica e média, será de 3,86 horas e 2,50 horas, respectivamente, para uma configuração comum nas regiões semiáridas brasileiras: $q_e = 120 \text{ l h}^{-1}$, vazão do emissor; $S_f = 6 \text{ m}$, espaçamento entre linhas laterais; $S_e = 5 \text{ m}$, espaçamento entre emissores; $IA = 4,00 \text{ mm h}^{-1}$, intensidade de aplicação do emissor. Para um bananal de 'Prata Anã', com espaçamento $3,0 \text{ m} \times 2,0 \text{ m}$, com $1.666 \text{ plantas ha}^{-1}$, 6 m^2 por planta, $6 \text{ m}^2 / 30 \text{ m}^2$, área ocupada pelo emissor = $0,20$ emissor por planta, ou 1 emissor para 5 plantas; o volume diário aplicado por planta corresponderá a 90 l dia para a LB máxima ($3,80 \text{ h} \times 120 \text{ l h}^{-1} \times 0,20 \text{ emissor planta}^{-1}$); e 60 l dia^{-1} para a LB média ($2,50 \text{ h} \times 120 \text{ l h}^{-1} \times 0,20 \text{ emissor planta}^{-1}$). Para a condição mais crítica, em alguns momentos, a depender de como foram dimensionados, determinados sistemas de irrigação não atendem à demanda. Esses dados contribuem para explicar o grande impacto ambiental da bananicultura irrigada e a crise de recursos hídricos enfrentada por vários perímetros públicos de irrigação no semiárido brasileiro, em maior ou menor grau, particularmente os baseados em açúdes de barramento de rios temporários, a exemplo de Mirorós (Irecê), Estreito (Sebastião Laranjeiras), Ceraíma (Guanambi), do Brumado (Livramento de Nossa Senhora) na Bahia e Gortuba (Janaúba) no Norte de Minas Gerais. Logicamente, há outros aspectos envolvidos, talvez até de maior impacto, como o aumento da população e de mudanças nos seus hábitos de consumo, que são também usuárias da água desses reservatórios e demandam cada vez mais água *per capita*.

A produção de genótipos mais eficientes no uso da água refere-se a participação do melhoramento genético envolvendo biotecnologia, transgenia, proteômica além de outros processos que possam resultar em genótipos tanto mais tolerantes ao estresse hídrico do solo como mais produtivos quando sob melhores condições de umidade do solo, isto é, genótipos com maior EUA, maior capacidade de ajustamento osmótico e de controle estomático. Os genótipos de bananeira em uso pelos produtores diferem de forma relevante quanto ao uso de água. Trabalho conduzido no Norte de Minas no primeiro ciclo de produção, com irrigação por microaspersão, usando cinco cultivares (Princesa, Fhia-18, Grande Naine, Prata Anã e Platina) submetidas a cinco níveis de irrigação (25, 50, 75, 100 e 125% da ET_c da 'Prata Anã') mostraram que a 'Grande Naine' é a mais sensível a variações de umidade do solo, seguida da 'Fhia-18', 'Platina', 'Prata Anã' e 'Princesa', demonstrando ser a cultivar Princesa a mais tolerante a déficits hídricos do solo (Figura 7a), uma vez que os aumentos da lâmina de irrigação não correspondem a incrementos relevantes de produtividades. Baseando na lâmina de 100% ET_c como a mais adequada pelas produtividades para as cultivares Grande Naine, Fhia-18, Platina e Prata Anã resultou em EUA de $83,1$; $59,32$; $54,42$ e $45,94 \text{ kg mm}^{-1}$, respectivamente (Figura 7a). A EUA considerada mais adequada para a cultivar Princesa foi $50,4 \text{ kg mm}^{-1}$, correspondente a lâmina de 75% ET_c (Figura 7b). Sob baixos níveis de umidade do solo (reposição de 25% ET_c), a 'Grande Naine' (AAA) se mantém como mais produtiva, devido ao seu maior potencial comparado às outras cultivares; as cultivares Platina e Fhia-18 não diferiram entre si quanto as produtividades que foram inferiores a da Grande Naine e superiores as da Prata Anã e Princesa que também não diferiram entre si.

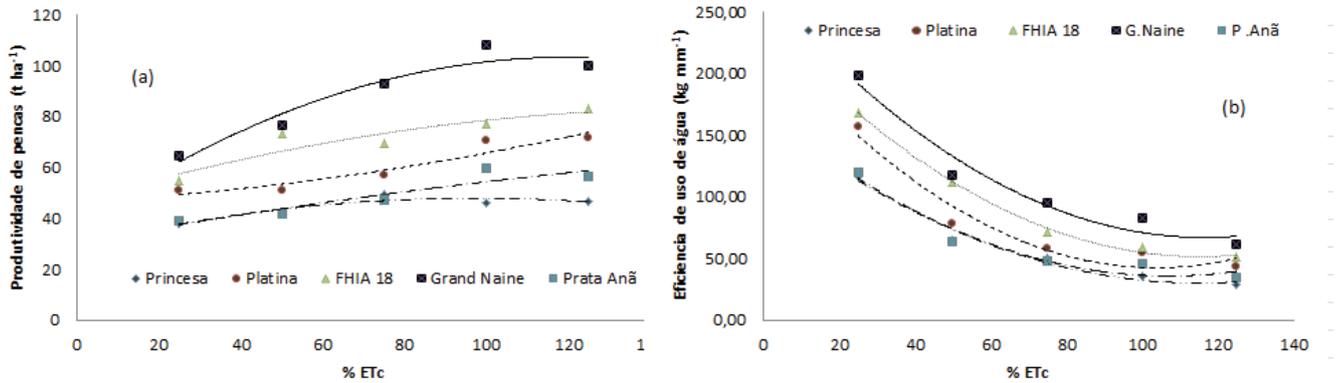


Figura 7. Produtividade das cultivares Grande Naine, Fhia-18, Platina, Prata Anã e Princesa (a) e suas correspondentes eficiências de uso de água (b) sob diferentes laminas de irrigação, Nova Porteirinha, MG, 2010-2011.

O uso de cultivares mais tolerantes a estresse hídrico do solo pode aumentar sensivelmente a EUA. As cultivares tetraploides apresentam maior tolerância a estresse de água no solo que as genitoras. 'BRS Tropical' (AAAB) foi avaliada sob sistema de microaspersão e gotejamento com aplicação de frações da água para reposição das perdas pelo uso consuntivo da bananeira: T1 - 0,9; T2 - 0,7; T3 - 0,5; T4 - 0,3 e T5 - 0,1 do uso consuntivo. Numa condição de precipitação de 981,3 mm, um déficit de 336 mm não é suficiente para influenciar significativamente na produtividade da cultura, pois não houve diferença entre produtividades dos tratamentos T1, T3 e T5, indicando baixa sensibilidade da cultivar a variações de umidade do solo (Coelho *et al.*, 2006).

Cruz (2012) estudou o primeiro ciclo de 'Prata Anã', 'Grande Naine', 'Princesa', 'Fhia-18' e 'BRS Platina' em função de diferentes lâminas de irrigação, 289,4 mm (25%ETc), 578,8 mm (50%ETc), 868,2 mm (75%ETc), 1.157,6 mm (100%ETc) e 1.447,1 mm (125%ETc), nas condições do semiárido de Minas Gerais. O autor observou comportamento linear da produtividade em função da lâmina de irrigação (Figura 8). A função de produção para cada cultivar que melhor se ajustou aos dados foi: 'Grande Naine' ($\hat{y} = 43,594333 + 0,26596^{**}LI$, $R^2 = 0,93$); 'FHIA-18' ($\hat{y} = 39,508333 + 0,152467^{**}LI$, $R^2 = 0,79$); 'BRS Platina' ($\hat{y} = 25,64 + 0,1292^{**}LI$, $R^2 = 0,96$); 'Princesa' ($\hat{y} = 24,981833 + 0,079293^{**}LI$, $R^2 = 0,85$); e 'Prata Ana' ($\hat{y} = 20,563667 + 0,096493^{**}LI$, $R^2 = 0,78$), em que: LI, lâmina de irrigação %ETc; ******Significativo ($P < 0,01$) pelo teste t. 'Grande Naine' foi a mais produtiva em todas as lâminas, porém apresentou a pior produção comercial, mais cachos "engasgados", com 25%ETc, enquanto 'Prata Anã' e 'Princesa', menos produtivas. 'Grande Naine' e 'Princesa' expressaram maior e menor resposta ao aumento da lâmina de irrigação, respectivamente. Para as tipo Prata, 'Fhia-18' foi mais responsiva e 'Prata Anã', menos. Os resultados evidenciam a alta exigência hídrica da bananeira e a dificuldade de se recomendar na prática, lâminas de irrigação que proporcionem melhor uso eficiente da água, pelo menos para cultivares mais exigentes, como Grande Naine. Isso seria mais aceitável do ponto de vista ambiental e parece ser factível de aplicação para cultivares AAAB como Princesa e Tropical, derivadas de Yangambi, mais tolerantes ao déficit hídrico do solo.

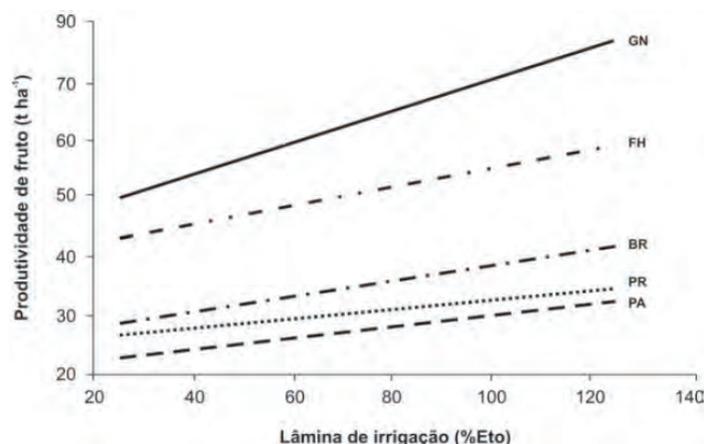


Figura 8. Produtividade de frutos (t ha⁻¹) de bananeiras 'Grande Naine' (GN), 'Fhia-18' (FH), 'BRS Platina' (BR), 'Princesa' (PR) e 'Prata Anã' (PA) em função da lâmina de irrigação (%ETc), Perímetro Irrigado do Gortuba, Nova Porteirinha, MG, 2011. Fonte: Cruz (2012).

Também no Norte de Minas, para as mesmas condições experimentais (cultivares e lâminas), porém no segundo ciclo produtivo, foi avaliado o efeito da temperatura na EUA em sete meses do ano (maio à novembro). A temperatura foliar causa redução na EUA para toda as lâminas de irrigação (Figura 9). Isso comprova que a bananeira quando cultivada em regiões e ou épocas, cujas temperaturas sejam supraótimas, mesmo com o aporte de lâmina de irrigação adequada, a transpiração e a fotossíntese podem ser afetadas. As cultivares apresentaram comportamento semelhante com relação a EUA, com exceção da 'Grande Naine' (AAA) que expressou menores temperaturas, o que resultou numa EUA alto. Possivelmente, essa cultivar possui mecanismo de regulação térmica mesmo em condições de temperaturas elevadas, como respostas de termo tolerância induzida (Santos *et al.*, 2005) que identificaram em folhas de bananeira *M. acuminata* ssp. *burmannioides* var. *Calcutá 4* (AA) genes envolvidos com aparato fotossintético e relacionados a estresse de temperatura. Os modelos para estimativa da EUA em função da temperatura foliar e lâminas de irrigação (%ETc) são descritos pelas equações 3, 4, 5, 6 e 7 para 'Prata Anã', 'Grande Naine', 'Princesa', 'BRS Platina' e 'Fhia-18', respectivamente, sendo TF a temperatura foliar (°C) e L a lâmina de irrigação (%ETc).

- $EUA = 23.76238 - 0.79423TF + 0.00630TF^2 - 0.041L + 0.001021TFL$ (3);
- $EUA = 29.3241 - 1.1882 TF + 0.01263 TF^2 + 0.006195 L - 0.00017 TFL$ (4);
- $EUA = 21.42992 - 0.75687TF + 0.00685 TF^2 - 0.001015L + 0.000027 TFL$ (5);
- $EUA = 29.85937 - 1.18625TF + 0.012098TF^2 - 0.006335L + 0.000226 TFL$ (6);
- $EUA = 26.30061 - 1.00867TF + 0.01009TF^2 + 0.002018L - 0.000058 TFL$ (7).

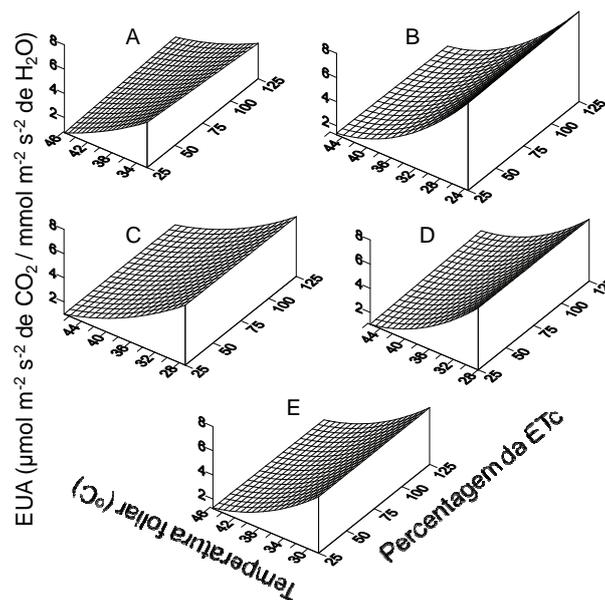


Figura 9. Eficiência de uso da água (EUA) em função da temperatura foliar e da lâmina de irrigação (%ETc), para 'Prata Anã' (A), 'Grande Naine' (B), 'Princesa' (C), 'BRS Platina' (D) e 'Fhia-18' (E) entre maio e novembro de 2011, Nova Porteirinha, MG.

Observa-se para 'Grande Naine' e 'Fhia-18' efeito linear crescente para EUA, independentemente da temperatura foliar, mesmo sob temperaturas elevadas o aumento do teor de água no solo favorece a fotossíntese. Por outro lado, 'Prata Anã', 'Princesa' e 'BRS Platina' são mais sensíveis ao aumento da temperatura, pois EUA decresceu com o aumento da lâmina de irrigação.

Nota-se que a 'Prata Anã' apresenta alta sensibilidade à temperatura para EUA, pois, no mês mais quente (outubro de 2011), mesmo com o aumento da lâmina de irrigação há declínio na EUA (Figura 10). O modelo $EUA = 72.45228 - 2.95486TF + 0.030382TF^2 - 0.145077L + 0.00331TFL$ estima a EUA em função da temperatura foliar (°C) e lâminas de irrigação (%ETc) para a cultivar.

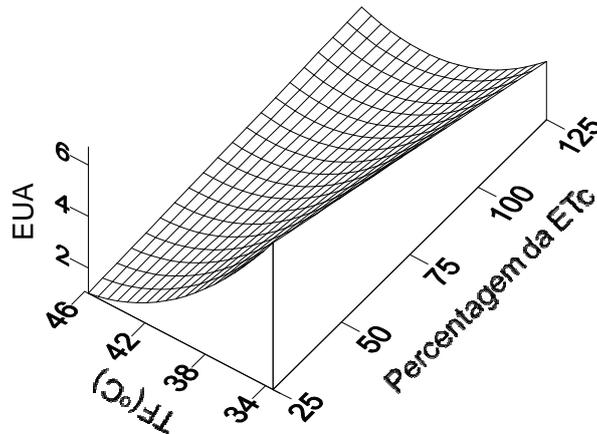


Figura 10. Eficiência de uso da água (EUA) pela folha em função da temperatura foliar (TF) e da lâmina de irrigação (%ETc) para a bananeira 'Prata Anã' no mês de outubro de 2011, Nova porteirinha, MG.

A temperatura foliar da Bananeira 'BRS Platina', em outubro de 2009, em Guanambi, BA, às 10:00; 12:00; 14:00 e 16:00 horas foi maior quando irrigada por sistema de gotejamento, menor sob microaspersão e intermediária quando irrigada por aspersão convencional (Tabela 2). Às 8:00 horas a 'BRS Platina' sob microaspersão expressou menor temperatura foliar que nos demais sistemas. A 'Prata Anã' mostrou menores temperaturas foliares quando irrigada por microaspersão, em todos os horários avaliados, das 8:00 às 16:00 horas. A água aspergida no pseudocaule proporcionada pelos sistemas de irrigação por microaspersão e aspersão exerce um efeito adicional de refrigeração (troca de calor sensível) nas plantas. Sob gotejamento, as temperaturas da folha na 'BRS Platina' às 12:00 e 14:00 horas, alcançaram valores maiores que 43 °C, próximos ao ponto de dano termal, 47,5 °C, (Robinson e Galán Saúco, 2010). Pode-se inferir que para a bananeira, uma planta herbácea, quando cultivada em regiões e ou épocas, cujas temperaturas sejam supraótimas, mesmo com o aporte de lâmina de irrigação adequada, sistemas que aplicam água diretamente ao solo, como gotejamento, favorecem menos a refrigeração da planta, o que pode afetar as trocas gasosas, o estado nutricional, o crescimento e a sua produção. Essa discussão corrobora as observações de Donato *et al.* (2010) que constataram menores teores foliares de micronutrientes nas folhas e Donato *et al.* (2013) que verificaram menor vigor, expresso pelo porte e perímetro do pseudocaule, em três ciclos, menor peso do cacho no segundo ciclo e menor número de pencas no terceiro ciclo para bananeiras 'Prata Anã' e 'Platina', irrigadas por gotejamento, em comparação aos sistemas de irrigação por aspersão e microaspersão. Adicionalmente, os melhores resultados constatados sob microaspersão e aspersão, em comparação ao gotejamento podem advir da maior área molhada, possibilitada por aqueles sistemas, que proporcionam maior distribuição do sistema radicular, além da maior porcentagem de raízes finas, mais relacionadas à absorção de água e nutrientes (Sant'ana *et al.*, 2012), o que contribui para o aumento do fluxo difusivo de nutrientes no solo, a absorção e teor na planta e influencia o crescimento e desenvolvimento da planta.

Tabela 2. Temperatura foliar T_{leaf} (°C) de bananeiras 'BRS Platina' e 'Prata Anã' cultivadas em diferentes sistemas de irrigação em cinco horários no mês de outubro de 2009, Guanambi, BA.

Sistemas de irrigação	Temperatura foliar T_{leaf} (°C)										dms
	'BRS Platina'					'Prata-Anã'					
	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	
Microaspersão	30,94cB	32,92bC	32,06bC	35,04aC	33,04bC	31,86dB	37,28abB	36,26bcB	37,70aB	35,16cB	
Aspersão	35,94cA	36,32cB	37,68bB	39,28aB	35,34cB	35,08cA	38,34bA	41,94aA	42,46aA	37,58bA	1,11
Gotejamento	35,72cA	38,18bA	43,04aA	43,54aA	37,92bA	35,54cA	38,42bA	42,02aA	43,10aA	37,84bA	
Dms	0,95										

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (P<0,05).

A Tabela 3 mostra de forma contundente, a influência da radiação e temperatura nas trocas gasosas e na EUA pela bananeira. As medidas foram tomadas na folha três e na folha mais velha às 8:00 e às 14:00 horas, em bananeiras 'Prata Anã' e 'BRS Platina', no segundo ciclo de produção, em plantas em pré e pós-florescimento precoce, com cerca de 16 folhas funcionais, irrigadas por gotejamento. Alterações na radiação solar incidente, decorrente da posição da folha, folha três, maior exposição à radiação solar, e folha mais velha, totalmente sombreada, conduzem a alterações em fotossíntese, transpiração e na EUA. Fato também verificado para a temperatura foliar, consequência do horário de leitura, 8:00 horas (mais fresco) e 14:00 (mais quente).

Tabela 3. Taxas de fotossíntese, transpiração, eficiência de uso da água, condutância estomática, resistência estomática, radiação incidente na folha e temperatura foliar, registradas nas folhas três e mais velha, às 8:00 e 14:00 horas, em bananeiras 'Prata Anã' e 'BRS Platina' irrigadas por gotejamento, Guanambi-BA, julho de 2009.

Variáveis Fisiológicas	'Prata Anã' (AAB)				'BRS Platina' (AAAB)			
	Folha 3		Folha velha		Folha 3		Folha velha	
	8:00	14:00	8:00	14:00	8:00	14:00	8:00	14:00
A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de CO_2)	20,39	13,93	1,70	1,41	17,33	15,93	1,40	1,50
E ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de H_2O)	4,36	9,46	0,94	3,06	3,55	8,70	1,21	1,05
EUA (A/E)	4,67	1,47	1,80	0,46	4,88	1,83	1,16	1,43
g_s ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	0,51	0,35	0,06	0,09	0,31	0,31	0,11	0,02
r_s ($\text{m}^2 \text{s mol}^{-1}$)	1,96	2,86	16,67	11,11	3,23	3,23	9,09	50,00
Q_{leaf} ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	1.480	1.496	87	118	1.421	1.591	286	90
T_{leaf} ($^{\circ}\text{C}$)	30,2	40,4	28,6	37,9	30,4	40,4	28,5	377

As taxas fotossintéticas foram maiores na folha três (13,93 a 20,39 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de CO_2 comparada à folha mais velha (1,40 a 1,70 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de CO_2), e maiores às 8:00 horas da manhã que às 14:00 horas, para as duas cultivares, genitora e progênie. Embora ocorra aumento da quantidade de radiação das 8:00 para as 14:00 horas, aumento de temperatura e mudanças na qualidade da radiação determinam os decréscimos nas taxas fotossintéticas. Por exemplo, às 08:00 da manhã, na bananeira 'Prata Anã', a radiação solar incidente na folha três foi 1.480 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, a temperatura foliar 30,2 $^{\circ}\text{C}$ e a fotossíntese 20,39 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de CO_2 . Nas mensurações realizadas às 14:00 horas, os valores foram, respectivamente, 1.496 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 40,4 $^{\circ}\text{C}$ e 13,93 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de CO_2 . Os resultados exibem redução de 31,70% na fotossíntese das 8:00 para as 14:00 horas, possivelmente devido ao aumento de temperatura de 33,77% (30,2 $^{\circ}\text{C}$ para 40,4 $^{\circ}\text{C}$), o que afeta o comportamento estomático e o sistema enzimático. Provavelmente, essa elevação da temperatura comprometeu o funcionamento do sistema enzimático mais que o fechamento estomático. A condutância estomática decresceu 31,37%, de 0,51 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, às 8:00 horas, para 0,35 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, às 14:00 horas, como esperado. Contudo, a transpiração aumentou, o que não traduz um comportamento coerente, mas evidencia o pouco efeito no comportamento estomático, pois em tese, o fechamento estomático, inicialmente, inibe mais a transpiração do que decresce as concentrações intracelulares de CO_2 . A EUA decresceu 68,52%, de 4,67 para 1,47. Contudo, o comportamento ecofisiológico é resultante do balanço dos diversos fatores ambientais. A temperatura ótima para a carboxilação do CO_2 pela enzima rubisco, ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase-oxigenase é 22 $^{\circ}\text{C}$. Essa enzima predomina em plantas com mecanismo fotossintético C_3 , como a bananeira. A temperatura ótima para o balanço entre crescimento e desenvolvimento da bananeira é 27 $^{\circ}\text{C}$ (Robinson e Galán Saúco, 2010). O balanço entre as atividades carboxilase e oxigenase da rubisco é governado pelas propriedades cinéticas da enzima, temperatura e concentração dos substratos CO_2 e O_2 . Sob concentração de CO_2 ambiental, um aumento na temperatura modifica as constantes cinéticas da rubisco e aumenta a taxa de oxigenação, preferencialmente à carboxilação, aumenta a fotorrespiração com decréscimo na taxa de fotossíntese líquida. De forma geral, abaixo de 30 $^{\circ}\text{C}$ a produtividade quântica da fotossíntese, mol de CO_2 fixado por quantum absorvido, em plantas C_3 , é normalmente elevada e acima desse limite apresenta redução. Adicionalmente, alterações na qualidade da radiação fotossinteticamente ativa subsidiam as explicações, uma vez que a quantidade de radiação incidente na folha praticamente foi a mesma e próximo do ótimo para a bananeira (Turner *et al.*, 2007). Entretanto, a radiação predominante às 8:00 horas da manhã apresenta comprimento de onda na faixa do vermelho e do vermelho distante, com melhor efeito para a fotossíntese.

Os dados mensurados nas folhas três e mais velha, às 8:00 da manhã, na bananeira 'Prata Anã' evidencia a extinção da radiação ao longo do dossel, resultante do sombreamento exercido pelas folhas de cima. A radiação solar incidente decresceu 94,00% (1.480 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na folha três para 87 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na folha mais velha), com proporcional depleção na fotossíntese, 91,00% (20,39 para 1,70 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de CO_2). A diminuição da taxa fotossintética pode ser imputada ao decréscimo da radiação solar incidente na folha, pois as temperaturas registradas nas folhas três e mais velha foram, respectivamente, 30,2 e 28,6 $^{\circ}\text{C}$, próximas do ótimo para bananeira. A EUA decresceu 61,45%, de 4,67 para 1,80. Os dados mostram maior efeito do aumento da temperatura no decréscimo da EUA e da extinção da radiação no decréscimo da fotossíntese.

A otimização da eficiência de uso de água na bananeira pode ser feita com uso da irrigação com déficit, que repõe ao solo quantidade de água inferior a necessária, menor que a evapotranspiração da cultura num dado período, com aumento da EUA, da eficiência de aplicação e redução das perdas por percolação. No caso, as produtividades poderão ser inferiores às máximas, mas, além da economia de água e energia, há reduções nos custos operacionais da irrigação, menor lixiviação de produtos químicos, e, conseqüentemente, aumento na EUA.

A irrigação com déficit promove a redução da transpiração das plantas, pois reduz a disponibilidade de água do solo e o gradiente de potencial entre solo e ar junto as folhas da planta e aumenta a EUA. Pode-se trabalhar com déficit de irrigação na prática, desde que mantenha a produtividade em níveis desejáveis. As duas formas de manejo de água comuns são irrigação com déficit controlado e secamento parcial do sistema radicular (irrigação lateralmente alternada).

Trabalho realizado no Norte de Minas Gerais verificou a viabilidade da técnica de irrigação com déficit controlado para 'BRS Platina', na qual a redução de até 40% da lâmina bruta durante quatro meses seguidos, independente da estação do ano, não ocasionou reduções nas características vegetativas nem perdas significativas de produtividade. Esses resultados sugerem que a bananeira, a depender do genótipo, pode ser submetida a reduções de água por determinado tempo, a exemplo de culturas mais tolerante como a mangueira. Também foi estudada a técnica da irrigação lateralmente alternada para a 'Princesa'. Produtividades com irrigação plena e com redução de 50% da lâmina de irrigação e aplicação em lados alternados da planta em intervalos de 7, 14 e 21 dias foram semelhantes. Houve decréscimo de 12% da produtividade com 50% lâmina total necessária comparada à irrigação plena, equivalente a incremento de 76% na EUA.

Como considerações finais deve-se se refletir e sedimentar que a bananicultura tem alta demanda de água e impacta os recursos hídricos em áreas semiáridas. O uso de cultivares mais tolerantes ao déficit hídrico do solo, é mais aceitável do ponto de vista ambiental. A temperatura foliar causa redução na EUA mesmo sob lâminas de irrigação adequadas. Disso infere-se que em cultivos de bananeira em regiões semiáridas, onde as temperaturas elevadas limitam a produção, todas as práticas de planejamento e manejo de irrigação e de manejo cultural devem ser orientadas para otimizar o fluxo difusivo e a ciclagem de nutrientes no solo, favorecer a refrigeração da planta e aumentar a eficiência de uso da água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Biswas, B.C. e Kumar, F.N.D. (2010). High Density Planting: Success Stories of Banana Farmers. Fertiliser Marketing News, v.41(6), p.3-10.
- Christofidis, D. (2008). O futuro da irrigação e a gestão das águas. Série Irrigação e Água: I – 2008. Ministério da Integração Nacional, Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica, Departamento de Desenvolvimento Hidroagrícola.
- Coelho, E.F., Pamponet, A.J., Coelho Filho, M.A., Salinas Junior, A., Santana, J.A.V. (2006). Redução da irrigação e efeitos na produtividade da bananeira BRS Tropical em tabuleiros costeiros. XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. João Pessoa – PB, 2006. Anais, João Pessoa.
- Coelho, E.F., Donato, S.L.R., Oliveira, P.M., Cruz, A.J. de S. (2012). Relações hídricas II: evapotranspiração e coeficiente de cultura. In: Eugênio Ferreira Coelho. (Org.). Irrigação da bananeira. 1ªed. Brasília: Embrapa, v.único, p.85-117.
- Costa, E.L., Coelho, E.F. Martins da Silva, T.S.M. (2002). Absorção de água pela cultura da bananeira Prata-anã nas condições do recôncavo baiano e Norte de Minas. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31; 2002, Salvador. A engenharia agrícola para o desenvolvimento sustentável, água, energia e meio ambiente. 1 CD ROM.
- Cruz, A.J. de S. (2012). Crescimento e produção de genótipos de bananeira sob diferentes lâminas de irrigação. 82p. Dissertação - (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido). Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba.
- Donato, S.L.R., Léo, A.A., Pereira, M.C.T., Coelho, E.F., Cotrim, C.E. (2010). Estado nutricional de bananeiras tipo Prata sob diferentes sistemas de irrigação. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.45, p.980-988.
- Donato, S.L.R., Marques, P.R.R., Coelho, E.F. (2013). Vegetative traits and yield of a Dwarf Pome and its tetraploid hybrid under different irrigation systems. Acta Horticulturae, v.986, p.131-138.
- FAO. Food and Agricultural Organization. (2007). Disponível em: < <http://faostat3.fao.org/home/index.html>>. Acesso em: 15 maio 2011.
- Fortescue, J.A., Turner, D.W., Romero, R. (2011). Evidence that banana (*Musa spp.*), a tropical monocotyledon, has a facultative long-day response to photoperiod. Functional Plant Biology, v.38, p.867-878.
- Mahouachi, J. (2009). Changes in nutrient concentrations and leaf gas exchange parameters in banana plantlets under gradual oil moisture depletion. Scientia Horticulturae, v.120, p.466-469.
- Moura, R.J.M., Silva Junior, J.F. Santos, V.F., Gouveia, J. (2002). Espaçamento para o cultivo da bananeira 'Comprida verdadeira (Musa AAB) na zona da mata sul de Pernambuco (1º ciclo). Revista Brasileira de Fruticultura, v.24, n.3, 697-699.
- Odhambo, I., Kranz, W.L. (2011). Irrigation efficiency, uniformity and crop water use efficiency. University of Nebraska. Lincoln Extension.
- Pamponet, A.J. (2013). Resposta da bananeira irrigada com diferentes densidades de plantas. 111p. Dissertação (Mestrado) - UFRB. Cruz das Almas.
- Robinson, J.C. (1995). Systems of cultivation and management. In: Bananas and plantain. London: Chapman & Hall, p.15-65.

- Robinson, J.C., Galán Saúco, V. (2010). Bananas and plantains. 2nd ed. Oxford: CAB International. 311p. (Crop production science in horticulture series, 19).
- Sant'ana, J.A.V., Coelho, E.F., Faria, M.A., Coelho Filho, M.A. Santos, C.C. (2010). Distribuição de raízes de bananeira na fase de floração sob diferentes sistemas de irrigação no semiárido da Bahia. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERÍA AGRÍCOLA., 9., CLIA; CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA., 39, 2010. Anais...A engenharia agrícola e o desenvolvimento das pequenas propriedades rurais.
- Santana Júnior, E.B, Santana, J.A. do V., Coelho, E.F., Nascimento Junior, A.L., Coelho Filho, M.A. (2009). Distribuição de Raízes de Bananeira Irrigada Sob duas Densidades de Plantio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA., 38., 2009, Juazeiro (BA). Anais...Planejamento da Bacia Hidrográfica e o Desenvolvimento da Agricultura.
- Sant'ana, J.A. do V., Coelho, E.F. Faria, M.A., Silva, E.L., Donato, S.L.R. (2012). Distribuição de raízes de bananeira 'Prata-Anã' no segundo ciclo de produção sob três sistemas de irrigação. Revista Brasileira de Fruticultura, v.34, p.124-133.
- Santos, C.M.R., Martins, N.F., Hörberg, H.M., Almeida, E.R.P. de, Coelho, M.C.F., Togawa, R.C., Silva, F.R. da; Caetano, A.R., Miller, R.N.G., Souza Júnior, M.T. (2005). Analysis of expressed sequence tags from *Musa acuminata* ssp. *burmannicoides*, var. *Calcutta 4* (AA) leaves submitted to temperature stresses. TAG Theoretical and Applied Genetics, v.110, n.8, p.1517-1522.
- Santos, M.R. dos, Coelho, E. F., Costa, E. L. (2004). Distribuição de raízes de bananeira Prata-Anã irrigada por microaspersão em condições semiáridas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, COMPETITIVIDADE SUSTENTABILIDADE., 18., Anais...Florianópolis: Sociedade Brasileira de fruticultura.
- Silva, A.J.P. da, Coelho, E.F.; Pinho, R.E. da C. de; Santos, M.R. dos; Coelho Filho, M.A. (2006). Zonas de extração de água pela bananeira sob diferentes configurações de sistemas de microaspersão. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM., 16., Anais...2006, Goiânia. Agricultura irrigada no Cerrado.
- Silva, J.T., Pereira, A.R.D., Rodrigues, M.G.V. (2012). Adubação da bananeira 'Prata Anã' com diferentes doses e fontes de nitrogênio. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.16, n.12, p.1314–1320.
- Skidmore, E.E.L. e Hagen, L.J. (1970). Evaporation in sheltered areas as influenced by windbreak porosity. Agricultural Meteorology, v.7, p.363-374.
- Soto Ballester, M. (2008). Bananos: técnicas de producción, poscosecha y comercialización. In: Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda. Guácimo, Costa Rica, 2008. [CD-ROM].
- Turner, D.W., Fortescue, J.A., Thomas, D.S. (2007). Environmental physiology of the bananas (*Musa* spp.). Brazilian Journal Plant Physiology, v.19, n.4, p.463-484.
- Zhengbin, Z., Ping, X., Hongbo, S., Mengjun, L., Zhenyanf., Liye, C. (2011). Advances a water use efficiency, Critical Reviews in Biotechnology, p.1–13.