

## Curso de Bananicultura Irigada



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

# ***Documentos 176***

## **Curso de Bananicultura Irrigada**

*Eugênio Ferreira Coelho*  
Editor

Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical  
Cruz das Almas, BA  
2009

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical**

Rua Embrapa, s/n  
Caixa Postal 007  
CEP 44380-000, Cruz das Almas, Bahia  
Fone: (75) 3312-8000  
Fax: (75) 3312-8097  
Home page: <http://www.cnpmf.embrapa.br>  
E-mail: [sac@cnpmf.embrapa.br](mailto:sac@cnpmf.embrapa.br)

**Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: *Aldo Vilar Trindade*  
Vice-Presidente: *Ana Lúcia Borges*  
Secretária: *Maria da Conceição Pereira Borba dos Santos*  
Membros: *Carlos Alberto da Silva Ledo*  
*Carlos Estevão Leite Cardoso*  
*Davi Theodoro Junghans*  
*Eliseth de Souza Viana*  
*Luiz Francisco da Silva Souza*  
*Marilene Fancelli*  
*Abelmon da Silva Gesteira (suplente)*

Supervisão editorial: *Aldo Vilar Trindade*  
Revisão de texto: *Ana Lúcia Borges*  
Ficha catalográfica: *Sônia Maria Sobral Cordeiro*  
Tratamento de ilustrações: *Saulus Santos da Silva*  
Editoração eletrônica: *Saulus Santos da Silva*

**1ª edição**

1ª impressão (2009): on line.

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

---

Coelho, Eugênio Ferreira.

Curso de bananicultura irrigada [recurso eletrônico] / editor, Eugênio Ferreira Coelho; autores, Ana Lúcia Borges... [et al.]. - Dados eletrônicos. - Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2009. - (Documentos / Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, ISSN 1809-4996; 176).

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web: <[http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/documentos/documentos\\_176.pdf](http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/documentos/documentos_176.pdf)>.

Título da página web (acesso em 29.12.2009)

1. Irrigação. 2. Fruticultura. 3. Banana. I. Coelho, Eugênio Ferreira. II. Borges, Ana Lúcia. III. Título. IV. Série.

---

CDD 634.772 (21. ed.)

© Embrapa 2009

# **Autores**

## **Ana Lúcia Borges**

Eng. Agr<sup>a</sup>, D.Sc., Pesquisadora da Embrapa  
Mandioca e Fruticultura Tropical, Rua Embrapa, s/n,  
C. Postal 07, 44380-000 - Cruz das Almas, BA,  
analucia@cnpmf.embrapa.br.

## **Alessandro de Magalhães Arantes**

Eng. Agr<sup>o</sup>, M.Sc., Professor do IF Baiano - Campus  
de Guanambi, Distrito de Ceraíma, C. Postal 09,  
46430-000 - Guanambi, BA,  
arantes2005@yahoo.com.br.

## **Carlos Elízio Cotrim**

Eng. Agr<sup>o</sup>, M.Sc., Professor do IF Baiano - Campus  
de Guanambi, Distrito de Ceraíma, C. Postal 09,  
46430-000 - Guanambi, BA,  
carlozelizio@eafajt.gov.br.

## **Edson Perito Amorim**

Eng. Agr<sup>o</sup>, D.Sc., Pesquisador da Embrapa Mandioca  
e Fruticultura Tropical, Rua Embrapa, s/n, C. Postal  
07, 44380-000 - Cruz das Almas, BA,  
edson@cnpmf.embrapa.br.

**Eugênio Ferreira Coelho**

Eng. Agrº, D.Sc., Pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, Rua Embrapa, s/n, C. Postal 007, 44380-000 - Cruz das Almas, BA, ecoelho@cnpmf.embrapa.br.

**Luiz Roberto Angelocci**

Eng. Agrº, D.Sc., Professor da Esalq/USP, Av. Pádua Dias, 11, Agronomia, C. Postal 009, 13418-900 - Piracicaba, SP

**Marcelo Fialho de Moura**

Eng. Agrº, D.Sc., Professor do IF Baiano - Campus de Guanambi, Distrito de Ceraíma, C. Postal 009, 46430-000 - Guanambi, BA, aruomm@hotmail.com.

**Maria Geralda Vilela Rodrigues**

Eng. Agrª, D.Sc., Pesquisadora da Epamig, Centro Tecnológico do Norte de Minas, C. Postal 12, 39527-000 - Nova Porteirinha, MG, magevr@epamig.br.

**Maurício Antônio Coelho Filho**

Eng. Agrº, D.Sc., Pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, Rua Embrapa, s/n, C. Postal 007, 44380-000 - Cruz das Almas, BA, macoelho@cnpmf.embrapa.br.

**Otávio Álvares de Almeida**

Eng. Civil, D.Sc., Pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, Rua Embrapa, s/n, C. Postal 007, 44380-000 - Cruz das Almas, BA, otavio@cnpmf.embrapa.br.

**Sebastião de Oliveira e Silva**

Eng. Agrº, D.Sc., Pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, Rua Embrapa, s/n, C. Postal 007, 44380-000 - Cruz das Almas, BA,  
ssilva@cnpmf.embrapa.br.

**Sérgio Luiz Rodrigues Donato**

Eng. Agrº, D.Sc., Professor do IF Baiano - Campus de Guanambi, Distrito de Ceraíma, C. Postal 009, 46430-000 - Guanambi, BA,  
sergiodonatoeaf@yahoo.com.br.

# Apresentação

A banana é a fruta mais consumida no mundo. De origem asiática, a planta se adaptou muito bem ao clima tropical e subtropical brasileiro. É cultivada em todo o território nacional, com destaque para as regiões Nordeste e Sudeste.

No Nordeste brasileiro a banana está presente em todos os principais biomas – tabuleiros costeiros, semi-árido, cerrado, sendo, em muitas regiões, predominantemente cultivada sem o concurso da irrigação, apesar de poder ser classificada como planta hidrófita diante da sua alta exigência em suprimento hídrico. Nos perímetros irrigados da região semi-árida, a banana se destaca entre as plantas mais cultivadas, cuja produtividade e qualidade de fruto depende em elevado grau do manejo adequado da água, um recurso natural cada vez mais escasso e valorizado.

A Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical tem dedicado grande esforço a estudos que visam à geração e adaptação de novas cultivares, bem como o aprimoramento dos sistemas de produção convencional, integrada e orgânica de banana, com destaque para a pesquisa dirigida ao manejo eficiente de água e nutrientes.

O conhecimento útil acumulado e as principais inovações são objeto de freqüentes ações de transferência de tecnologia para os clientes e usuários, sob a forma de dias-de-campo, palestras, seminários e cursos. Este

documento é fruto de um curso sobre bananicultura irrigada para técnicos, estudantes e produtores realizado na Escola Agrotécnica Federal de Guanambi, BA. Apresenta o rico conteúdo das aulas ministradas por especialistas de várias instituições, abordando desde aspectos da reação e adaptação de bananeiras ao estresse hídrico e térmico, tema muito atual nestes tempos de mudanças climáticas, a cultivares e práticas culturais recomendadas, com ênfase nas tecnologias de manejo de nutrientes e água.

*Domingo Haroldo Reinhardt*

Chefe Geral

Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical

# Sumário

<b>Introdução .....</b>	<b>11</b>
<b>Estresses Hídricos e Térmicos: Efeitos e Estratégias de Resistência .....</b>	<b>13</b>
<b>Melhoramento Genético e Desenvolvimento de Cultivares ...</b>	<b>53</b>
<b>Nutrição e Adubação .....</b>	<b>59</b>
<b>Práticas Culturais .....</b>	<b>109</b>
<b>Evapotranspiração e Necessidades Hídricas .....</b>	<b>131</b>
<b>Manejo de Irrigação .....</b>	<b>151</b>
<b>Fertirrigação .....</b>	<b>179</b>
<b>Fitossanidade .....</b>	<b>209</b>

# Introdução

---

A irrigação existe como alternativa para a suplementação de água que falta durante períodos de déficit hídrico no solo e não funciona isoladamente, mas, sim, conjugada com outras práticas agrícolas, de forma a beneficiar a cultura. É indispensável nas regiões onde a chuva não atende às necessidades das plantas durante todo o seu ciclo de vida ou em parte dele. Seu efeito dependerá do período de déficit hídrico da região, quanto a sua extensão temporal e ao estágio de desenvolvimento da cultura.

A banana tem sido cultivada em sua maior parte em regiões de precipitação suficiente para o crescimento e desenvolvimento satisfatório das plantas, entretanto, em qualquer região, no Brasil, há riscos de ocorrência de déficit de água no solo nos períodos secos e com isso, comprometimento da quantidade e qualidade dos frutos produzidos. O uso da irrigação induz a aumentos na produtividade da cultura nas áreas onde já está implantada, como permite o aumento das áreas de produção, inclusive na região semi-árida do Nordeste, com geração de maiores produtividades e de frutos de melhor qualidade.

# Estresses Hídricos e Térmicos: Efeitos e Estratégias de Resistência

---

Sérgio Luiz Rodrigues Donato

Alessandro de Magalhães Arantes

## Introdução

A bananeira de frutos comestíveis (*Musa* spp.) é uma monocotiledônea da classe Liliopsida, subclasse Liliidae, superordem Lilinae, ordem Zingiberales (Scitamineae), família Musaceae, subfamília Musoideae, gênero *Musa*, seção *Eumusa* (Silva et al., 2002) originada de cruzamentos interespecíficos entre *Musa acuminata* colla e *M. balbisiana* colla, e apresenta por isso, caracteres das duas espécies (Simmonds, 1973).

O centro de origem da maior parte do germoplasma de banana está localizado na Ásia ocorrendo centros secundários na África Oriental, algumas ilhas do Pacífico e uma considerável diversidade genética na África Ocidental (Shepherd, 1984), regiões com clima tropical quente e úmido.

O cultivo da bananeira no mundo está situado geograficamente entre latitudes de 30° S e 30° N do Equador (Soto Ballester, 1992) e as condições ótimas encontradas entre 15° de latitude ao Sul e ao Norte do Equador. No Brasil o cultivo da bananeira ocorre em todos os estados da Federação nos ecossistemas mais variados possíveis.

A despeito disto, existem cultivos fora das condições climáticas ótimas para o crescimento e desenvolvimento da bananeira, como nos subtropicais

frios ou nos trópicos semi-áridos onde são comuns períodos durante o ano com temperaturas baixas ou estresse por calor e falta de água que limitam o potencial produtivo.

Extremos de temperatura causam injúrias por prejuízos nos processos celulares incluindo alterações em propriedades de membrana, interações entre macromoléculas e reações enzimáticas, desnaturação de proteínas, mudança nos níveis dos hormônios, aumentos em açúcares insolúveis e produção de espécies de oxigênio reativo (Iba, 2002; Wang et al., 2003). De forma similar, a morte devido ao frio é consequência de lesões nas biomembranas e na interrupção do suprimento de energia celular (Larcher, 2000).

Na fotossíntese, estresse por temperaturas altas induz desintegração de grana, reduz transporte de elétrons, afeta a distribuição de energia, a organização estrutural das membranas dos tilacóides, a fluidez da membrana, o balanço iônico e diminui a atividade enzimática (Larcher, 2000; Taiz & Zeiger, 2004; Santos et al., 2005), limitando assim, o crescimento e produtividade da planta.

O conceito de estresse, desvio significativo das condições ótimas para a vida (Larcher, 2000), está intimamente relacionado ao de tolerância ao estresse, que é a aptidão da planta para enfrentar um ambiente desfavorável (Taiz & Zeiger, 2004), pois, o estresse, ao afetar os processos fisiológicos e bioquímicos da planta ativa a cadeia de sinais para as respostas de tolerância das plantas a esta condição.

Estresses abióticos, como seca, salinidade, temperaturas extremas, toxicidade química e estresse oxidativo estão intimamente relacionados e são ameaças sérias a agricultura, pois afetam os processos fisiológicos e bioquímicos os quais são traduzidos por uma cadeia de moléculas sinalizadoras que acionam elementos reguladores de genes induzidos pelo estresse. Estes genes são envolvidos na sequência de respostas ao estresse, como sinalização em cascata, fatores de transcrição, proteção de membranas e proteínas, chaperonas moleculares, íons e canais

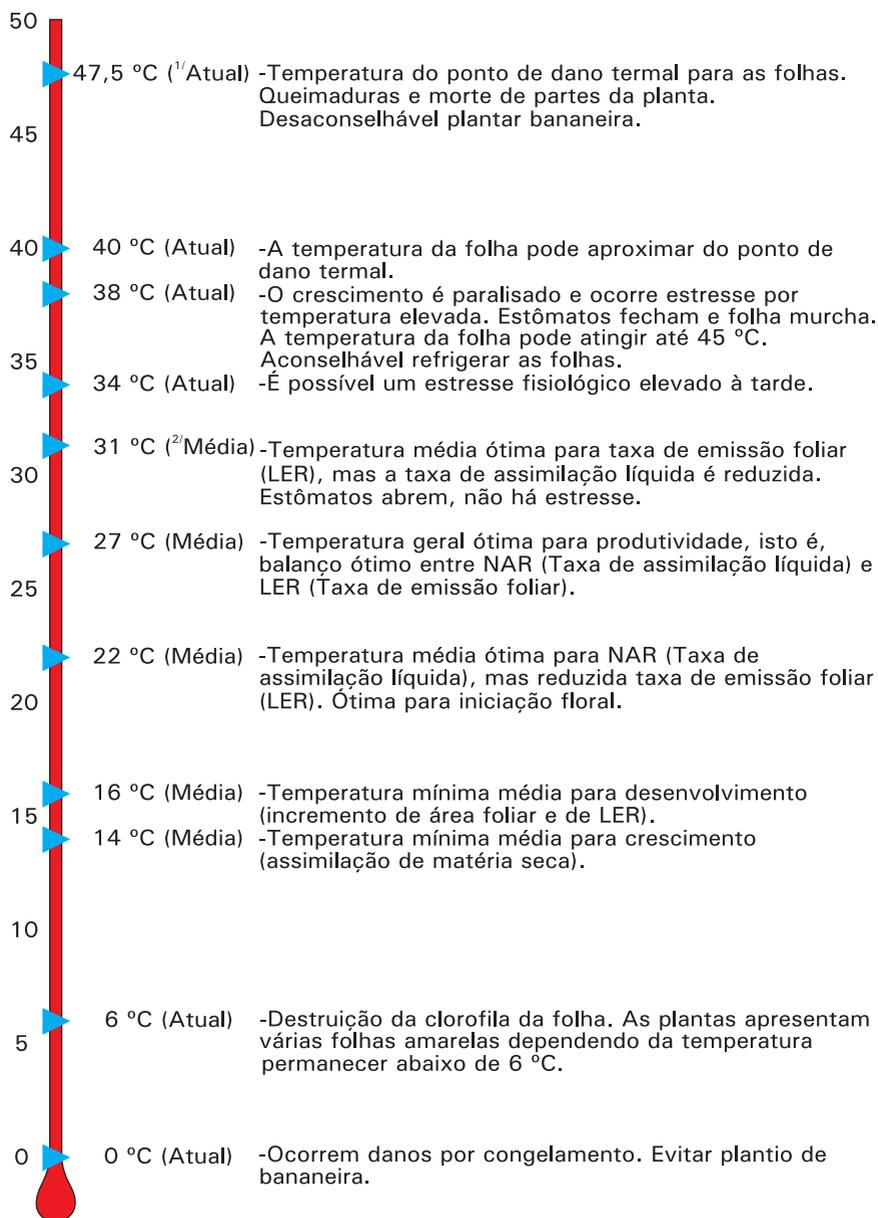
transportadores e limpeza de radicais livres e compostos tóxicos (Iba, 2002; Wang et al, 2003; Santos et al., 2005). Esta rede celular integrada de resposta ao estresse que resulta em adaptação e aclimação é fundamental para sobrevivência da planta e correlacionada aos níveis de estresse aos quais as plantas estejam submetidas.

O entendimento das respostas de tolerância da bananeira frente às condições de estresses abióticos normalmente encontrados nas áreas de cultivo é significativo para a adoção de estratégias de melhoramento genético e de manejo com vistas ao incremento da produtividade da cultura. Assim, este trabalho objetiva discutir os efeitos da água e da temperatura no desenvolvimento e produção da bananeira, bem como, as estratégias adaptativas de resistência desta espécie nos níveis de organização, anatômico e morfológico, celular, bioquímico e molecular quando expostas aos estresses hídricos e térmicos, comuns no Semi-Árido brasileiro.

## **Exigências Hídricas e Térmicas da Bananeira**

Água é provavelmente o fator abiótico mais limitante à produção de banana (Turner, 1995). O cultivo tem uma alta demanda hídrica. Precipitação média anual de 2.000 a 2.500 mm, uniformemente distribuída durante o ano e 25 mm por semana são necessários para crescimento satisfatório (Robinson, 1996).

Há controvérsias em relação às temperaturas máximas, mínimas e médias ótimas correlacionadas com crescimento. Moreira (1999) indica como ótimos, a faixa entre 20 e 24 °C, e os limites extremos entre 15 e 35 °C, enquanto Soto Ballesteros (1992) como sendo de 21 a 29,5 °C e os limites entre 15,6 e 37,8 °C. Entretanto, há consenso sobre temperatura média diária para crescimento e desenvolvimento da bananeira: a emissão foliar paralisa abaixo de 16 °C; temperatura ótima para crescimento e iniciação floral é 22 °C, e ótima para taxa de emergência foliar é acima de 31 °C (Turner & Lahav, 1983; Robinson, 1996). A temperatura média ótima é acima de 27 °C (Figura 1).



**Fig. 1.** Temperaturas críticas para crescimento e desenvolvimento de bananeiras.

<sup>1/</sup>Temperatura Atual = temperatura (alta ou baixa) que quando atingida induz um determinado dano.

<sup>2/</sup>Temperatura Média = temperaturas médias que provocam variações nas taxas dos processos de crescimento e desenvolvimento da planta.

Fonte: Adaptado de Robinson (1996).

Estes limites formam a base para estimar a produção potencial e o estabelecimento de fatores limitantes para a produção de banana em diferentes regiões, com base somente na temperatura (Robinson, 1996) e sinaliza para caracterizar os limites das temperaturas consideradas infra e supra-ótimas.

## **Estresse Causado por Seca em Bananeira: Efeitos e Estratégias de Resistência**

A seca como fator de estresse ocorre quando pouca água está disponível em um estado termodinâmico apropriado. Para Larcher (2000) “seca” significa um período sem precipitação durante o qual o conteúdo de água no solo é reduzido de forma que as plantas sofrem com a ausência de água e resistência à seca como a capacidade da planta de superar períodos de estiagem.

O déficit hídrico pode ser definido como todo o conteúdo de água de um tecido ou célula que está abaixo do maior conteúdo de água exibido no estado hidratado. Quando o déficit hídrico apresenta evolução suficientemente lenta para permitir mudanças nos processos de desenvolvimento, o estresse hídrico tem vários efeitos sobre o crescimento, um dos quais é a limitação da expansão foliar (Taiz & Zeiger, 2004).

A deficiência hídrica resulta na diminuição do volume celular, aumento na concentração e uma progressiva desidratação do protoplasto (Larcher, 2000). Todos os processos vitais são afetados de alguma forma pelo declínio do potencial hídrico. A primeira e mais sensível resposta ao déficit hídrico é a diminuição da turgescência e, associada a esse evento, a diminuição do processo de crescimento, em particular, o crescimento em expansão (Larcher, 2000; Taiz & Zeiger, 2004).

Os primeiros sinais visíveis do estresse de seca são murchas prolongadas das folhas, seguidos de amarelecimento, necrose marginal, e sintomas de

queimadura das folhas. No longo prazo a resposta a déficits de umidade levará à redução do tamanho e do número de folhas vivas por planta, aumento do amarelecimento das folhas, redução no tamanho das plantas, decréscimo na emissão foliar, diminuição no crescimento dos órgãos florais, cachos engasgados, isto é, obstruídos, dedos curtos e, no pior caso, cachos pequenos, com dedos secos e enegrecidos (Stover & Simmonds, 1987; Soto Ballester, 1992; Robinson, 1996).

O consumo de água da planta é elevado e constante, em função da sua morfologia e da hidratação dos seus tecidos. A deficiência de água é mais grave nas fases de diferenciação floral e início da frutificação.

A característica principal das consequências de déficits de água é a associação direta ou indireta dos seus efeitos com a aquisição de carbono, taxas de crescimento e absorção de nutrientes. Eventos de desenvolvimento como emissão de folhas e a iniciação de florescimento tendem ser retardados. Por exemplo, o número de folhas por ciclo, a taxa à qual essas folhas são produzidas, e a taxa de emergência das mesmas reflete o impacto de déficits hídricos na iniciação floral (Turner, 1995).

O crescimento reduzido das plantas decorre da redução de área foliar e da condutância estomática, que terminam por limitar a fixação de carbono, diminuindo assim a atividade fotossintética (Tabela 1). A redução na condutância estomática é uma resposta de curto prazo da planta a déficits hídricos e varia durante o dia. Esta variação acontecerá até mesmo em plantas bem irrigadas, pois os estômatos respondem a mudanças em luz, umidade, temperatura e fatores internos da planta.

Os dados de Robinson (1996) ilustram uma redução na taxa fotossintética da ordem de 8, 18, 44 e 82 por cento para plantas de bananeira submetidas a déficits hídricos de -12, -25, -53 e -70 KPa, respectivamente (Tabela 1).

**Tabela 1.** Efeito do déficit hídrico na taxa fotossintética em bananeiras do subgrupo *Cavendish*, em clima subtropical.

Déficit hídrico	Taxa Fotossintética ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )
Potencial de água no solo (outono)	
(a) Plantas sem estresse	26,4
Estressada por 4 dias (-12 kpa)	24,2
(b) Plantas sem estresse	22,6
Estressadas por 6 dias (-25 kpa)	18,6
(c) Plantas sem estresse	20,8
Estressadas por 9 dias (-53 kpa)	11,7
(d) Plantas sem estresse	18,0
Estressadas por 12 dias (-70 kpa)	3,3

Fonte: Adaptado de Robinson (1996).

As estratégias comuns de resistência à seca que as plantas possuem são influenciadas pelas condições climáticas e/ou edáficas: a redução da transpiração pelo fechamento estomático em resposta ao ácido abscísico e pela redução da área foliar; maior aprofundamento das raízes no solo como decorrência da mudança da razão parte aérea / raiz (alteração nos drenos preferenciais), dependente do grau de intensidade da seca; ajuste osmótico das células e aumento do depósito de cera sobre a superfície foliar (Larcher, 2000; Taiz & Zeiger, 2004).

Estresses moderados desencadeiam a síntese de ácido abscísico (ABA), a partir de carotenóides na raiz. O ABA é transportado como um “sinal da raiz” para a parte aérea da planta onde induz efeitos (Larcher, 2000) como fechamento estomático, alterações no equilíbrio hormonal e na alocação de assimilados entre raiz e parte aérea, desenvolvimento de características morfogênicas específicas e início precoce do processo reprodutivo. Sob estresse hídrico severo predominam os processos catabólicos.

Diferentes autores realizaram estudos sobre efeitos do déficit hídrico nos processos fenológicos, fisiológicos, bioquímicos e na produtividade da bananeira (Robinson & Bower, 1987, 1988; Robinson & Alberts, 1989; Kallarackal et al., 1990; Milburn et al., 1990; Hoffmann & Turner, 1993; Ekanayake et al., 1994; Turner & Thomas, 1998; Bananuka et al., 1999; Thomas & Turner, 2001; Ismail et al., 2004). As variáveis normalmente

mensuradas em trabalhos desta natureza são: potencial hídrico foliar, transpiração, condutância estomática, teor relativo de água, taxa fotossintética líquida, fluorescência da clorofila, concentração de  $\text{CO}_2$  subestomática, acúmulo de prolina, crescimento foliar, taxa de emissão foliar e crescimento da planta.

A bananeira é uma hidrófita, requer grandes quantidades de água para seu normal desenvolvimento, sendo então, muito suscetível à seca. O fechamento estomático ocorre quando o limbo sofre deficiência hídrica, a transpiração diminui, porém, como este fechamento estomático é parcial, a defesa da planta é incompleta (Soto Ballester, 1992). Este fenômeno acontece ainda com teores elevados de umidade no solo.

Em ambientes com alta demanda evaporativa, esta condição pode exceder a habilidade da planta para extrair água do solo ainda úmido, impedindo o fluxo de água no sistema solo-planta-atmosfera. Isto conduz à perda de turgor da planta, que inicia murcha temporária. Robinson (1996) considera este um problema fisiológico que provê uma evidência experimental para apoiar a baixa tolerância à seca pela bananeira e a necessidade do uso de irrigação adicional para obtenção de boa produção. Soto Ballester (1992; 2003) argumenta que o fato do sistema radicular da bananeira não ser muito eficiente na extração de água do solo, em adição à grande exigência hídrica do sistema foliar, evidencia a necessidade de que o solo esteja sempre abundantemente provido de água.

A taxa fotossintética é menos responsiva inicialmente a estresses moderados de falta d'água, pois o fechamento estomático inibe a transpiração mais que diminui as concentrações intracelulares de  $\text{CO}_2$ . Estresse hídrico severo conduz à inibição da divisão celular, da síntese de proteínas e de parede, ao acúmulo de solutos, ao fechamento estomático e a inibição da fotossíntese.

Nos seus estudos Bananuka et al. (1999) submeteram seis cultivares de bananeira: Nfuuka (AAA-EA); Sukalindizi (AB); French Plantain (AAB); Gros Michel (AAA); Lep Chang Kut (BBB) e FHIA-02 (AAAA) a quatro semanas

e meia de déficit hídrico durante as quais a tensão de umidade do solo subiu a mais de 400 mbar em experimentos em vasos e avaliaram a condutância estomática, concentração de CO<sub>2</sub> subestomática, taxa fotossintética, crescimento, área de folha verde e capacidade de retenção de água pela folha. Estes autores verificaram decréscimos nos processos avaliados como resposta ao déficit hídrico para todas as cultivares, variando o grau de decréscimo, o que indica a maior sensibilidade ou resistência do genótipo ao estresse hídrico.

Ainda Bananuka et al. (1999) concluíram que os genótipos de *Musa* têm diferentes mecanismos internos de resistência ao estresse de seca. Cultivares que indicaram reduções pequenas nas trocas gasosas, perda de área foliar, capacidade de retenção de água na folha e taxas de assimilação mostram mais resistência ao estresse de seca, pois a resistência é manifestada pela habilidade do cultivo para sustentar uma pequena redução nas atividades fisiológicas e metabólicas sob condição de estresse.

É corrente na literatura a informação que bananas e plátanos do grupo genômico AAB são mais tolerantes à seca que clones AAA, e as bananas de cozinhar do grupo genômico ABB são as mais tolerantes à seca. Entretanto, Bananuka et al. (1999) estudando a reação de genótipos de *Musa* spp. à seca encontraram que a cultivar Lep Chang Kut (BBB) mostrou significativamente ( $P < 0.05$ ) alta taxa de transpiração e concentração de CO<sub>2</sub> subestomática, baixa taxa de assimilação, capacidade de retenção de água na folha (44,5%) e condutância estomática que indicam sua sensibilidade ao estresse de seca, contrariando o conceito estabelecido na literatura que *Musa balbisiana* contém genomas para resistência ao estresse de seca (Stover & Simmonds, 1987).

Thomas & Turner (2001) submeteram bananeiras cultivadas em vaso a déficit hídrico de oito dias, e observaram um maior declínio na relação fluorescência variável fluorescência máxima (Fv/Fm) da clorofila na face adaxial comparada à abaxial, o que sugere que falta d'água associada à luz pode causar maior dano fotoquímico à planta. As plantas submetidas à seca

mostraram maior declínio em  $F_m$  e  $F_v/F_m$  na superfície foliar adaxial iluminada pelo sol quando ocorreram reduções no conteúdo relativo de água e na pressão de turgor da folha.

Valores de fluorescência elevados significam menor eficiência fotoquímica, apontando para maior dissipação não fotoquímica em detrimento da fotoquímica, como consequência de um estresse, embora, melhor avaliação a esse respeito seja dada pela razão entre fluorescência variável e fluorescência máxima ( $F_v/F_m$ ) (Balhàr & Öquist, 1993). A capacidade de emissão da fluorescência induzida com alta radiação em folhas adaptadas ao escuro, e fluorescência mínima possibilita estimar a integridade do fotossistema II (PSII), como também sua capacidade de transporte de elétrons, o que pode ser indicado pelo valor da fluorescência quântica máxima ( $F_v/F_m$ ) que varia entre 0,78 e 0,83 para a maioria das espécies, quando não submetidas a estresses ambientais. A queda decorre da exposição ao estresse que induz o processo de fotoproteção ou fotoinibição dinâmica, à qual está relacionada à desnaturação da proteína D1, que promove a estabilidade estrutural do fotossistema II.

Ismail et al. (2004) expuseram plantas de *Musa* spp. cultivar *Pisang mass* e *Berangan* a déficit de água e observaram diminuições significativas no crescimento vegetativo da planta e perturbações nas relações hídricas e respostas estomáticas. Perímetro do pseudocaulé e alongamento de folha foram notadamente reduzidos depois de sete dias de restrição de água. Embora tenha ocorrido uma grande depleção no conteúdo de umidade do solo, somente uma pequena redução no status hídrico da folha foi medido pelo teor relativo de água. Os autores não encontraram correlação entre decréscimo inicial acentuado na condutância estomática e redução no conteúdo relativo de água, sendo aquela, mais sensível à depleção de conteúdo de umidade do solo.

Os resultados encontrados por Ismail et al. (2004) são semelhantes às observações de Turner & Thomas (1998) que concluíram que taxa de trocas gasosas de folha ou taxa de emissão de novas folhas são métodos mais sensíveis para determinar a resposta de plantas de banana a déficit de

água, que as medidas volumétricas ou termodinâmicas tradicionais do estado hídrico da folha. Assim, os resultados encontrados apoiam a visão corrente na literatura que bananeiras são altamente hidratadas (Soto Ballester, 1992; 2003) e é difícil demonstrar associações claras entre estado hídrico da folha e trocas gasosas. Entretanto, há uma associação forte entre status de água do solo e trocas gasosas da folha, como comprovado por Ismail et al. (2004) em que, nas plantas submetidas a déficit hídrico por um período de vinte dias, a condutância estomática decresceu de cerca de 500 para zero  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

O ajuste osmótico, aumento no conteúdo de solutos por célula, constitui uma resposta das plantas a déficit hídrico (Taiz & Zeiger, 2004). São acumulados íons nos vacúolos (ex,  $\text{K}^+$ ) e osmólitos compatíveis no citoplasma como o aminoácido prolina, álcoois de açúcar (sorbitol e manitol) e uma amina quaternária, a glicina betaína. Os osmólitos compatíveis mantêm o equilíbrio osmótico entre o citoplasma e os diferentes compartimentos celulares e contribuem para a proteção das biomembranas e das proteínas em relação aos efeitos deletérios da alta concentração iônica (Larcher, 2000).

Nos trabalhos de Ismail et al. (2004), o nível de acumulação de prolina em tecido de folha de bananeira foi associado com o estado hídrico interno da planta. Os níveis de prolina aumentaram de 45  $\text{mg g}^{-1}$  para 74  $\text{mg g}^{-1}$  de peso fresco quando o conteúdo relativo de água do tecido da folha diminuiu de 92 a 72% com o início do estresse hídrico. Assim, é amplamente aceito que déficit de água aumenta a acumulação de prolina em muitas espécies de plantas, que regula o equilíbrio osmótico da célula e alivia o efeito negativo do estresse, além de manter a integridade das membranas e atuar na remoção de radicais superóxidos.

O aumento de depósitos de cera é uma adaptação morfológica contra déficits hídricos. Soto Ballester (2003) reporta que Freeman & Turner (1985) encontraram 60% mais de cera ( $80\text{-}90 \text{ mg cm}^{-2}$ ) nas folhas que cresceram no campo em relação as que cresceram sob estufa. A presença de cera é mais pronunciada em cultivares do grupo genômico ABB como figo.

A epiderme adaxial da folha é fortemente cuticularizada e apresenta uma quantidade de estômatos menor que a face abaxial, entretanto, com células estomáticas maiores, o que diminui a perda de água da parte diretamente exposta ao sol. A epiderme tem células com as paredes externas mais grossas que as internas. A epiderme adaxial é mais uniforme que a abaxial, todavia, pode apresentar células curtas e largas.

## **Estresses Causados por Temperaturas Infra e Supra-ótimas em Bananeira: Efeitos no Desenvolvimento e Produção e Estratégias de Resistência**

Dois aspectos básicos do efeito da temperatura em bananeira são de interesse de fisiologistas e pesquisadores: o impacto da variação da temperatura nas taxas dos processos e os danos irreversíveis a tecidos e células causados por exposição a altas e baixas temperaturas (Turner, 1995). Os limites extremos de temperaturas que causam injúrias em tecidos são definidos pelo tempo de exposição e tecidos envolvidos.

Calor é um estado termodinâmico caracterizado pela alta energia cinética das moléculas. O calor acelera os movimentos das moléculas. As ligações químicas que associam os átomos, formando as moléculas, tornam-se mais fracas e as camadas de lipídeos das biomembranas tornam-se mais fluídas (Larcher, 2000). O frio, ao contrário, caracteriza-se por baixa energia cinética das moléculas, o que provoca diminuição da velocidade das reações, mas também provoca alterações nas biomembranas.

Temperaturas infra e supra-ótimas são valores de temperaturas abaixo e acima, respectivamente, dos limites críticos estabelecidos para a otimização dos processos fisiológicos, bioquímicos e fenológicos de uma determinada espécie. Assim, quando valores críticos de temperaturas são ultrapassados, as estruturas e as funções celulares podem ser repentinamente danificadas culminando com a morte celular imediata.

Os estresses hídricos e térmicos estão relacionados. As partes aéreas da maioria das plantas  $C_3$  e  $C_4$ , com acesso abundante a suprimento hídrico, são mantidas abaixo de 45 °C por esfriamento evaporativo (Taiz & Zeiger, 2004). No entanto, se a água tornar-se limitante, e/ou a temperatura muito elevada, ocorre fechamento estomático, o esfriamento evaporativo decresce e as temperaturas dos tecidos aumentam. Assim, temperatura foliar alta, associada a déficit hídrico conduz a estresse térmico.

Similarmente ao déficit hídrico, sob temperaturas altas, acima do limite extremo superior, há inibição no ritmo de emissão foliar e no desenvolvimento da bananeira. As folhas, devido à desidratação dos seus tecidos, podem sofrer queimadura solar e se tornam mais susceptíveis ao fendilhamento.

A queimadura solar das folhas da bananeira é decorrente da combinação de temperaturas diurnas maiores que 30 °C, umidade relativa menor que 25% e alta intensidade luminosa que produzem um déficit de pressão de vapor maior que 35 kPa e impõem um severo estresse evaporativo nas plantas debilitando a atividade do sistema radicular. Nesta situação, os estômatos se fecham, as plantas murcham rapidamente e a temperatura das folhas eleva-se 5 °C em relação ao ambiente devido à falta de esfriamento evaporativo por transpiração. Adicionalmente, a alta intensidade luminosa incidente na superfície superior da folha alveja a clorofila e a folha exibe uma cor amarela que é aparentemente uma reação de foto-oxidação (Robinson, 1996). Turner (1995) relata que isto resulta em fotoinibição e é comum em folhas e frutos expostos a associação entre altas (ou baixas) temperaturas ambientes e alta intensidade luminosa.

Estresse de calor ocorre quando a temperatura ambiente eleva a 38 °C, e os estômatos fecham. A redução na condutância estomática é uma resposta de curto prazo da planta a déficits hídricos, mudanças em luz, umidade, temperatura e fatores da planta. A alta demanda evaporativa pode exceder a habilidade da planta para extrair água do solo ainda úmido, impedindo o fluxo de água no sistema solo-planta-atmosfera. Isto conduz à perda de turgor, a planta inicia uma murcha temporária, a transpiração diminui, a temperatura da folha eleva e a fotossíntese decresce.

A ocorrência de temperaturas máximas excepcionalmente altas entre 40 e 45 °C próximo ao período de emergência da flor (imediatamente antes e imediatamente depois) causam danos às células (mudanças bioquímicas e ruptura de parede celular), em torno dos óvulos na placenta, especificamente durante a fase de divisão celular, e vai culminar com colapso da polpa no período de amadurecimento dos frutos, devido à desintegração das células na fase de expansão, desordem conhecida como “polpa amarela” (Robinson, 1996).

Fortescue & Turner (2004) submeteram óvulos de *Musa acuminata* colla a variações de temperatura de 3-18 °C para estudar a associação entre baixas temperaturas e mudanças anatômicas nos óvulos e verificaram que: os óvulos afetados por baixas temperaturas são menores e crescem menos entre os estágios de desenvolvimento; baixas temperaturas afetam a diferenciação dos ápices vegetativos em floral, e quando ocorre a formação do perianto, estames e carpelos no interior do pseudocaulo; estão associadas com desenvolvimento anormal do megasporângio quando a diferenciação ocorre 3-6 semanas antes da emergência; a ocorrência de distúrbios quando o megasporângio e o gametófito são formados podem resultar na perda da função dos gametas.

A temperatura ao interferir na epidemiologia de patógenos induz uma maior incidência e severidade das doenças, caracterizando assim, efeitos indiretos no desenvolvimento e produção da bananeira, a exemplo de doenças foliares como as sigatokas negra e amarela as quais os fungos somente produzem esporos em temperaturas superiores a 22 °C (Cordeiro & Matos, 2000), não germinam quando a temperatura está abaixo de 12 °C ou acima de 35 °C e a temperatura ótima para germinação de conídios entre 25-28 °C conforme relatado por Ventura & Hinz (2002).

As cultivares variam com relação à suscetibilidade ao frio, é o que ilustra um experimento realizado em Santa Catarina (Zaffari et al., 1995) no qual as do grupo genômico AAA se mostraram mais sensíveis, enquanto a ‘Prata’ e ‘Prata-Anã’ ou Enxerto do grupo genômico AAB se mostraram mais tolerantes às baixas temperaturas.

Sob temperaturas baixas pode haver engasgamento ou obstrução foliar (Soto Ballester, 1992; Moreira, 1999). Este fenômeno fisiológico manifesta-se mais em cultivares de menor porte como a 'Nanica' (AAA) (Robinson, 1996; Moreira, 1999) e raramente acontece em cultivares de porte alto. A obstrução foliar pode ser causada tanto por baixas ou altas temperaturas como por excesso ou deficiência hídrica e é caracterizada pelo aprisionamento da inflorescência por ocasião da emergência do pseudocaule pelos pecíolos da folha e internódios curtos, os quais congestionam e compactam a abertura, tendo como consequência final atraso na emergência e deformação dos cachos.

Turner & Lahav (1983) avaliaram a ocorrência de obstrução foliar na cultivar 'Williams' (AAA) e verificaram que o fenômeno foi mais severo a temperaturas dia/noite de 37/30 °C, menor a 17/10 °C e ausente a temperaturas de 24/14 °C a 33/26 °C.

Lomas & Shashova (1970) avaliaram os efeitos de baixas temperaturas sobre o rendimento da bananeira durante um período de onze anos e obtiveram respostas correlacionadas negativamente. Os autores encontraram que a temperatura mínima média mensal durante a estação de crescimento afetava primariamente o rendimento do ano corrente, enquanto, a "quantidade de frio", definida pelas medidas das temperaturas abaixo de 5 °C afetava mais o rendimento do ano posterior.

As baixas temperaturas também aumentam o ciclo de produção das bananeiras, prejudicam os seus tecidos, provocam danos fisiológicos nos frutos, "chilling" (Soto Ballester, 1992; Robinson, 1996) e alterações morfológicas nas flores e seus componentes (Fortescue & Turner, 2004) e nos frutos (Turner, 1995).

O "chilling" consiste em danos fisiológicos na bananeira e ou no fruto, representado pelo fechamento dos estômatos, que causa a paralisação parcial ou total da sua respiração e produz a coagulação de seiva, na região sub-epitelial do epicarpo (casca), dos cloroplastos das células e também a oxidação do tanino, o que dificulta a circulação da seiva (Soto Ballester,

1992; Turner, 1995; Robinson, 1996). Esta desordem ocorre em plantas com qualquer idade, sendo os tecidos mais jovens mais prejudicados.

A ocorrência de temperatura mínima média mensal abaixo de 9 °C ou a média de temperatura mensal em 14 °C provoca redução no crescimento da bananeira, a assimilação de matéria seca torna desprezível, paralisa a emergência foliar e a planta permanece quiescente (Robinson, 1996). A taxa de emergência foliar fica entre zero e meia folha por mês comparada com o normal de quatro no período do verão. A paralisação do crescimento tem como consequência o alongamento do ciclo da planta.

Robinson & Human (1988) estudaram a variação da massa do cacho e do intervalo florescimento colheita em bananeira cultivar 'Williams' em condições subtropicais e verificaram que o menor intervalo florescimento colheita foi de 110 dias (florescimento no verão) e o maior 204 dias (florescimento no outono) e as massas dos cachos variaram de 35 kg até aproximadamente 60 kg, sendo as maiores registradas nos períodos de maior intervalo florescimento colheita. Os meses de verão com menor intervalo florescimento colheita levou a menor tamanho de cacho.

Robinson (1996) comparou as variações do intervalo da emergência da flor até a colheita das variedades 'Williams' em condições subtropicais na África do Sul, 'Grande Naine' nas condições tropicais úmidas na América Central e 'Williams' em clima mediterrâneo de Israel. O intervalo do florescimento à colheita variou de 98 a 117 dias, 115 a 200 e 86 a 208 dias para as condições dos trópicos úmidos, dos subtropicais e do mediterrâneo, respectivamente, sendo os menores valores correspondentes aos períodos de verão e os maiores intervalos aos períodos de inverno das respectivas regiões. O clima mediterrâneo por apresentar os maiores extremos de temperaturas para as duas estações exibiu o menor e o maior intervalo florescimento colheita, enquanto o trópico úmido apresentou a menor variação. Nesta região, variações sazonais e diurnas em temperatura são mínimas e a temperatura média é ótima para o equilíbrio entre os processos de assimilação e incremento de área foliar, não ocorrendo assim, situações de estresse por temperaturas infra ou supra-ótimas com as suas indesejáveis consequências.

O conceito de unidades térmicas ilustra o efeito da temperatura no desenvolvimento do fruto. Robinson (1996) discute estudos realizados na África do Sul que demonstram a necessidade média de 1000 unidades térmicas ou graus dias acima de 14 °C para o desenvolvimento do cacho de banana cv. 'Williams' do florescimento à maturidade. As unidades térmicas requeridas para completar o período do florescimento à colheita podem ser determinadas pela fórmula a seguir, utilizada para previsão de colheita em áreas comerciais.

$$^{\circ} dias = \sum \left( \frac{T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}}}{2} - 14 \right) \quad (1)$$

Temperaturas baixas inibem o crescimento em extensão das raízes (Robinson, 1996), provoca morte de pêlos radiculares e inibe a formação de novos pêlos. Absorção de água e de nutrientes (Turner & Lahav, 1985) é severamente restringida e a planta pode murchar durante o dia, com as folhas nitidamente dobradas. Dados apresentados por Robinson (1996) de um experimento conduzido na África do Sul em condições subtropicais com a cultivar AAA 'Williams' mostram que não houve crescimento em extensão de raízes nos meses em que a temperatura mínima média foi menor que 14 °C; o crescimento radicular mostrou correlação significativa com a temperatura a 1% de probabilidade. A temperatura média do solo na camada de 0-20 cm registrada às 8:00 da manhã para as condições experimentais variou de 10 °C a 26 °C. Durante os meses de temperatura elevada o crescimento radicular variou de 70 mm semana<sup>-1</sup> até 200 mm semana<sup>-1</sup> a temperatura de 23 °C.

A atividade da ATPase é regulada pela concentração de substrato (ATP), pH, temperatura entre outros. Sob condições de temperaturas extremas a composição e conseqüentemente a seletividade da membrana são alteradas, e seus componentes protéicos podem não mais funcionar normalmente (Larcher, 2000). O resultado é a inibição da H<sup>+</sup>-ATPases e do transporte de íons e solutos para dentro e para fora de células por transportadores e proteínas formadoras de canais, da transdução de energia e do metabolismo dependente de enzimas (Taiz & Zeiger, 2004).

Deste modo, qualquer processo dependente da ATPase e ou do transporte por proteínas de canais como a absorção de nutrientes e absorção de água por proteínas aquaporins pode ser alterada por mudanças extremas na temperatura, seja por efeito de falta de ATP e/ou de alterações nas membranas.

Incremento de temperatura na zona radicular afeta o gradiente de transporte de nutrientes no solo, o volume de fluxo xilemático e a concentração iônica deste fluxo (Marschner, 1995). O fluxo de massa é consequência da existência de um potencial de água no solo maior do que aquele junto à raiz. Esta diferença de potencial que causa um movimento de massa da água em direção à raiz, arrastando nela os íons que se encontram em solução, é causada pela transpiração da planta. Assim, o fluxo de massa segue o fluxo transpiracional da planta. Então, pode se inferir que condições que causem o fechamento de estômatos, como temperatura elevada, deverão causar menor absorção de cálcio e de nitrogênio entre outros de maior mobilidade no solo.

Embora a temperatura do solo apresente maior influência no transporte de nutrientes por fluxo de massa, o transporte de nutrientes no solo por difusão ainda que em menor intensidade varia com a temperatura (Novais, 1996). Isto é particularmente importante para a bananeira, uma vez que esta espécie tem baixa capacidade de troca de cátions do sistema radicular e uma alta exigência quantitativa em nutrientes demandando uma cinética de disponibilidade correspondente à cinética das necessidades da planta (Martin-Prevel, 1984). Deste modo, qualquer fator que reduza a disponibilidade de nutrientes no solo como um fluxo difusivo limitado interfere na produção desta espécie. Vale salientar que o potássio, o nutriente mais absorvido e exportado pela bananeira, tem o seu transporte no solo em torno de 50% atribuído à difusão.

O fluxo difusivo de nutrientes da solução do solo até a raiz é expresso pela Lei de Fick (Novais, 1996):  $F = -DA\frac{dc}{dx}$  em que  $F$  é o fluxo difusivo do nutriente, em moles  $s^{-1}$ , através de uma superfície de área  $A$ , em  $cm^2$ , proporcionado pelo decréscimo de sua concentração ( $dc$ ), em moles  $cm^{-3}$ ,

com o aumento da distância de transporte ( $\Delta x$ ), em cm;  $D$  é denominado coeficiente de difusão, em  $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$ . A variável  $\Delta c/\Delta x$  é denominada gradiente de concentração ao longo da distância de transporte do nutriente. O coeficiente de difusão,  $D$ , é definido pela equação:  $D = D_1 \frac{f}{\theta}$  em que  $D_1$  é o coeficiente de difusão do elemento em solução (água) pura, em  $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$ ;  $\theta$  é o conteúdo volumétrico de água no solo, em  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ;  $f$  é o fator de impedância, adimensional, que representa a tortuosidade da trajetória da difusão que depende dentre outros fatores da viscosidade da água que se encontra mais próxima das superfícies das partículas coloidais. A viscosidade é alterada negativamente pela temperatura do solo. Assim, a elevação da temperatura na zona radicular tende a diminuir a viscosidade, a aumentar o fator de impedância, determinando maior valor do coeficiente de difusão e conseqüentemente maior fluxo difusivo de nutrientes do solo até a raiz.

Temperatura influencia a taxa de transporte no simplasto e o fluxo no xilema que se move com um gradiente de potencial hídrico. A temperatura afeta mais os nutrientes que se movem por fluxo de massa, por exemplo, um incremento na temperatura radicular incrementa a concentração de K, mas decresce a de cálcio no exsudato, refletindo assim, os efeitos da seletividade da membrana ou a importância relativa dos caminhos de transporte radial de cálcio e água (Marschner, 1995).

Turner & Lahav (1985) submeteram bananeiras cultivar 'Williams' a seis regimes de temperatura variando de 17/10 °C a 37/30 °C para verificar a influência da temperatura na absorção de nutrientes e no aumento da taxa de crescimento em ambientes controlados. Temperaturas menores que 29/22 °C reduziram a concentração de todos os elementos em toda a planta exceto Fe. A temperatura influenciou a taxa de absorção da raiz de B 10 vezes; K, Na, Ca, Fe e Zn de três a quatro vezes; e N, P, Mg, Mn, Cu e Cl de uma a duas vezes. Entre os elementos a taxa maior de absorção foi de 12  $\text{mg g}^{-1}$  para K a 33/26 °C. A temperatura ótima para absorção de nutrientes diferiu entre os elementos e isto foi acompanhado por um grande crescimento dos órgãos a estas temperaturas.

A translocação no floema é o movimento dos produtos da fotossíntese das folhas maduras (fonte) para áreas de crescimento como folhas novas, ápices caulinares, frutos e ápices radiculares (drenos) e também de aminoácidos, proteínas, hormônios vegetais, e íons inorgânicos. O carregamento de fotoassimilados do floema é um mecanismo físico-químico controlado pela ATPase. Assim qualquer fator que influencie no funcionamento da ATPase como a temperatura interfere na partição de assimilados.

Turner & Lahav (1986) submetem plantas jovens de banana a seis regimes de temperatura variando de 17/10 °C a 37/30 °C e verificaram que: com o aumento da temperatura a proporção de matéria seca nas folhas incrementou de 20 a 50% às expensas do rizoma e das raízes, enquanto a proporção da matéria seca no pseudocaule foi relativamente menos afetada, entre 20 e 25% do peso seco total da planta; variações na relação entre concentração de nutrientes no órgão/concentração de nutrientes na planta de N, P, K, Mg, Cl e Cu foi marcadamente seguida de variações na distribuição da matéria seca, sob todos os regimes de temperatura, enquanto a distribuição de Ca, Na, Mn, Zn, Fe e B dentro da planta foi associada com altas temperaturas; alta temperatura incrementou a relação no rizoma e no pseudocaule, decresceu nas raízes, e manteve mais estável nas folhas.

A temperatura afeta as reações bioquímicas da fotossíntese, principalmente as dependentes da radiação (transporte de elétrons) (Larcher, 2000) e os efeitos são mais pronunciados com suprimento adequado de CO<sub>2</sub> nos sítios de carboxilação. No entanto, sob concentrações de CO<sub>2</sub> atmosféricas, a fotossíntese é limitada pela atividade da rubisco, pois o efeito da temperatura na fotossíntese é minimizado como resultante de dois processos antagônicos, um aumento na taxa de carboxilação com a temperatura e um decréscimo na afinidade da rubisco para CO<sub>2</sub> com a elevação da temperatura (Taiz & Zeiger, 2004).

As taxas respiratórias aumentam em função da temperatura e a interação entre fotorrespiração e fotossíntese torna-se aparente nas respostas à

temperatura, sendo então, o rendimento quântico profundamente dependente da temperatura em plantas  $C_3$  e quase independente em planta  $C_4$  (Taiz & Zeiger, 2004).

A fotossíntese e a respiração são inibidas sob temperaturas altas, mas com o aumento da temperatura as taxas fotossintéticas caem antes das taxas respiratórias. Sob temperaturas acima do ponto de compensação de temperatura, a fotossíntese não pode repor o carbono usado como substrato para a respiração (Taiz & Zeiger, 2004).

A temperatura alta induz o fechamento estomático, reduz a fotossíntese, e outros fenômenos que afetam o desenvolvimento da folha, levando a redução ou inibição do crescimento (Turner & Lahav, 1983), similarmente ao que ocorre por estresse hídrico. A taxa fotossintética é menos responsiva inicialmente a estresses moderados, pois o fechamento estomático inibe a transpiração mais que diminui as concentrações intracelulares de  $CO_2$ .

A fotossíntese é especialmente sensível à temperatura alta. O transporte de elétrons no fotossistema II é sensível a altas temperaturas; as enzimas ribulose-1,5-bifosfato carboxilase, NADP:gliceraldeído-3-fosfato desidrogenase e fosfoenolpiruvato carboxilase são menos estáveis em temperaturas altas (Larcher, 2000; Taiz & Zeiger, 2004). Entretanto, tais enzimas começam a desnaturar e a perder atividade sob temperaturas nitidamente mais altas do que aquela em que a fotossíntese começa a cair. Isto sugere que os prejuízos iniciais à fotossíntese estão mais diretamente relacionados a mudanças nas propriedades de membranas e ao desacoplamento dos mecanismos de transferência de energia nos cloroplastos do que a desnaturação de proteínas.

A região de temperatura ótima para a fotossíntese é aquela em que as taxas de fotossíntese atingem cerca de 90% da capacidade fotossintética (Larcher, 2000). Estas temperaturas têm fortes componentes genéticos e fisiológicos (Taiz & Zeiger, 2004). A temperatura ótima e os limites inferiores e superiores de temperatura para a fotossíntese líquida em bananeira são 22 °C, 16 °C e 27 °C, respectivamente (Robinson, 1996).

A primeira consequência detectável resultante de baixas temperaturas é a interrupção da corrente citoplasmática, que é diretamente dependente do suprimento de energia proveniente dos processos de respiração e da disponibilidade de fosfato de alta energia (Larcher, 2000) e posteriormente, como resultante do decréscimo das sínteses de amido e sacarose, ocorre redução da demanda por trioses fosfato no citosol, o que diminui a taxa de absorção de fosfato nos cloroplastos e limita a fotossíntese.

O trabalho fotossintético nas espécies tropicais é interrompido logo acima do ponto de congelamento, principalmente devido à sensibilidade da estrutura dos tilacóides ao frio (Larcher, 2000).

Os dados de Eckstein & Robinson (1995) obtidos com a variedade 'Grande Naine' em condições subtropicais (Tabela 2) ilustram os efeitos da temperatura na fotossíntese em bananeira. As maiores taxas fotossintéticas foram registradas no início da manhã (8:00 horas) nos meses de verão, devido a combinação de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) elevada, baixo déficit de pressão de vapor e intensa atividade do sistema radicular e os menores valores medidos ao meio dia durante o inverno após noites de temperaturas baixas. À tarde a fotossíntese é reduzida devido a alta temperatura e déficit de pressão de vapor causando fechamento estomático. Durante o inverno, temperaturas noturnas abaixo de 8 °C, alto déficit de pressão de vapor e uma depleção na atividade do sistema radicular o qual foi incapaz de suprir a demanda evaporativa, foram as causas da baixa taxa fotossintética e transpiração.

**Tabela 2.** Influência dos fatores externos na taxa fotossintética em bananeiras do subgrupo "*Cavendish*", em clima subtropical.

Fatores Externos	Taxa Fotossintética ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )
1. Fatores climáticos diurnos estacionais (folhas 3, 4 ou 5; padrão 1 m/planta)	
Verão diurno máxima / média	23,4 / 19,6
Outono diurno máxima / média	19,4 / 16,4
Inverno diurno máxima / média	9,2 / 7,3
Inverno seguido de noite fria (6,2 °C)	10,4 / 2,8
Primavera diurno máxima / média	16,8 / 10,5

Fonte: Adaptado de Eckstein & Robinson (1995).

Eckstein & Robinson (1995) argumentaram que as variações nas respostas de fotossíntese e transpiração durante o inverno foram relacionadas principalmente a déficit de pressão de vapor, e a média diária de fotossíntese foi fortemente relacionada a temperatura mínima da noite anterior.

Vários processos de crescimento e desenvolvimento são afetados pela temperatura em bananeira (Turner & Lahav, 1983; Turner, 1995; Robinson, 1996). Os processos usualmente mensurados em estudos desta natureza são: taxa de emergência de novas folhas, taxa de desenvolvimento do cacho, produção de matéria seca, taxa relativa de crescimento, respiração do fruto e taxa de crescimento radicular.

A temperatura influencia o metabolismo por meio da cinética das reações químicas e da atividade das muitas enzimas que dele participam (Larcher, 2000). A relação entre velocidade de reação e temperatura é exponencial e quantificada pelo  $Q_{10}$ .

O  $Q_{10}$ , coeficiente de temperatura descreve a magnitude de uma mudança em um processo associado com uma mudança na temperatura da ordem de 10 °C e varia com o tipo de processo e com a temperatura, apresentando constância apenas numa faixa estreita de variação de temperatura.

O valor de  $Q_{10}$  para a maioria das reações enzimáticas se situa entre 1,4 e 2,0 e, para processos físicos, entre 1,03 e 1,30. Em baixas temperaturas os valores de  $Q_{10}$  são maiores, pois, o conjunto das reações enzimáticas é o fator limitante da velocidade das reações, enquanto, em altas temperaturas os valores de  $Q_{10}$  são menores, devido às limitações por processos físicos (por exemplo, velocidade de difusão) (Larcher, 2000).

$$Q_{10} = \left[ \frac{k_2}{k_1} \right]^{\frac{10}{T_2 - T_1}} \quad (2)$$

Em que  $k_1$  e  $k_2$  são taxas à  $T_1$  e  $T_2$ , respectivamente.

Turner (1995) para comparar a sensibilidade de vários processos à temperatura usando o  $Q_{10}$  compilou estudos realizados por diferentes autores em uma gama de processos fenológicos e fisiológicos (Tabela 3), e verificou que o  $Q_{10}$  variou de 1,8 para a taxa de crescimento relativo, 2,0 para a taxa de respiração do fruto e para taxa de emergência de novas folhas a 3,7 para a taxa de crescimento da folha e para taxa de crescimento de raízes, processos mais sensíveis à temperatura (Turner & Lahav, 1983; Turner, 1995). Um valor comum de  $Q_{10}$  para muitos processos biológicos em planta é 2,0, o que indica ser a bananeira comparativamente a outras plantas, tão sensível ou mais a mudanças em temperaturas.

**Tabela 3.** Temperatura ótima para diferentes processos fenológicos e fisiológicos da bananeira e sua resposta à temperatura expressa como  $Q_{10}$ .

	Temperatura ótima °C	$Q_{10}$
Taxa de emergência de novas folhas (dia <sup>-1</sup> )	27	2,0
Emergência de folhas (dia <sup>-1</sup> )	28	2,9
Taxa de desenvolvimento do cacho (dia <sup>-1</sup> )	29-30	3,1
Produção de matéria seca (g dia <sup>-1</sup> )	21-22	3,4
Taxa de crescimento relativo (matéria seca) (g dia <sup>-1</sup> )	22-23	1,8
Taxa de crescimento foliar (g m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )	17-18	3,7
Taxa de respiração (fruto)	-	2,0-2,5
Taxa de crescimento de raiz (mm dia <sup>-1</sup> )	23	3,7

Fonte: Turner (1995), modificado.

A taxa de emergência de folhas (LER), um índice útil da taxa de desenvolvimento vegetativo da bananeira, é bastante correlacionada com temperatura (Turner & Lahav, 1983; Turner, 1995). Robinson (1996) utilizou as variedades do grupo genômico AAA, 'Grande Naine' em Honduras (trópico úmido) e 'Williams' no Sul da África (subtrópicos) e observou que o maior índice LER mensal para as duas localidades foi 3,8 folhas por mês. Isto coincidiu com uma temperatura média mensal de verão de 24 °C no Sul da África e 28 °C em Honduras. Durante o período frio em Honduras quando a temperatura média mensal foi 24 a 25 °C, LER declinou para menos de três folhas. Porém, o período de inverno subtropical causou redução severa na LER, registrando valores mínimos de até 0,1 folhas por

mês quando a temperatura média mensal foi cerca de 17 °C e a LER permaneceu menor que duas folhas por mês durante seis meses do ano, reduzindo drasticamente a taxa de desenvolvimento anual.

Estresses por temperaturas supra-ótimas causam alterações reversíveis no estado físico-químico das biomembranas e na conformação das moléculas de proteínas. A excessiva fluidez de lipídeos de membranas a temperaturas altas está relacionada à perda de função (Larcher, 2000; Taiz & Zeiger, 2004).

Sob temperaturas altas ocorre um decréscimo na força das ligações de hidrogênio e das interações eletrostáticas entre os grupos polares de proteínas na fase aquosa da membrana. Assim, as temperaturas altas modificam a composição e a estrutura das membranas e podem causar perda de íons. A ruptura de membrana também causa a inibição de processos como fotossíntese e respiração, que dependem da atividade de transportadores de elétrons e enzimas associadas às membranas.

Turner (1995) revisando os trabalhos de Ingrand & Ramcharan (1988) sobre os efeitos de altas temperaturas para bananeira descreve o aumento do vazamento de íons a partir de um nível básico medindo os danos às raízes de plantas da cv. 'Grande Naine' em vaso. Eles definiram um tempo crítico de exposição quando o vazamento de íons alcançou a metade do valor máximo. Aos 48 °C o dano aconteceu em 3 hr 45 min. Aos 57 °C levou 7 min e aos 62 °C somente 1 min. Estes dados ilustram os danos na estrutura da membrana e sua dependência em relação à duração e intensidade do estresse.

A diminuição da temperatura decresce a velocidade das reações químicas e a disponibilidade de energia metabólica, o que restringe a absorção de água, diminui o turgor celular, limita os processos de biossíntese, a assimilação e resulta na interrupção do crescimento, com conseqüente redução da expansão foliar. As conseqüências para as plantas dependem do binômio temperatura tempo de exposição e também dos tecidos envolvidos.

As baixas temperaturas podem ser a causa direta de injúrias letais nas células vegetais de plantas sensíveis ao frio, e, de forma similar ao que acontece nas condições de calor, a morte devido ao frio é consequência de lesões nas biomembranas e na interrupção do suprimento de energia celular (Larcher, 2000).

O dano causado pelo frio no protoplasma desenvolve-se de maneira progressiva iniciando com a limitação de algumas funções isoladas e sequencialmente distúrbios irreversíveis na permeabilidade com consequente decréscimo da seletividade, extravasamento de conteúdo celular para o exterior (Larcher, 2000), inibição do funcionamento da  $H^+$ -ATPases, e do transporte de íons e solutos para dentro e para fora de células por transportadores e proteínas formadoras de canais, da transdução de energia e do metabolismo dependente de enzimas (Taiz & Zeiger, 2004).

O processo de perda de compartimentalização que culmina com a morte da célula é iniciado pela transição dos componentes lipídicos das biomembranas de um estado fluido-cristalino para um estado tipo sólido-gel, bem como a desorientação das proteínas nas biomembranas (Larcher, 2000). Isto ocorre em plantas sensíveis ao resfriamento, porque nestas, os lipídeos na bicamada tem uma maior percentagem de cadeias de ácidos graxos saturados que tendem a se solidificar em um estado semicristalino a uma temperatura bem superior a zero °C (Taiz & Zeiger, 2004).

Sob luminosidade intensa, temperaturas altas e/ou déficit hídrico, a bananeira “evita” o aquecimento excessivo das folhas reduzindo a exposição e a absorção de radiação solar pelo movimento dos semi-limbos coordenados pela “banda pulvinular”, que constitui um tecido motor responsável pela abertura e fechamento dos semi-limbos, função do seu grau de hidratação (Soto Ballester, 1992). Nestas condições, quando o limbo se flexiona e a nervura central se arqueia, permite reduzir consideravelmente a transpiração. Esta adaptação é importante em ambientes onde a folha está próxima do seu limite de temperatura supra-ótima e pode sofrer danos por aquecimento adicional oriundo da falta de refrigeração da folha pelo decréscimo da evaporação de água ou pelo aumento da absorção de energia.

A flexão dos semi-limbos, um nastismo realizado pelos púlvinos, é um mecanismo de defesa associado a mudanças no turgor e às contrações e expansões concomitantes do parênquima fundamental nos lados opostos do púlvino (Raven et al., 2001). O movimento decorre de uma súbita mudança na pressão de turgor das células com consequente saída de íons potássicos para o apoplasto, iniciada como consequência de um decréscimo do potencial hídrico, desencadeado por um acúmulo apoplástico de sacarose proveniente do floema.

Soto Ballester (1992) reporta do trabalho de Aubert (1973) que em bananeira os movimentos de abertura e fechamento do púlvino podem ser executados em 14 a 20 minutos, e estão sincronizados com passagem das nuvens e que este fenômeno de flexão está ausente em gêneros filogeneticamente próximos a *Musa* como *Heliconia*, *Alpinia* y *Canna* e encontra-se presente em *M. textilis*, *M. tomentosa*, *M. malaccensis*, *M. sanguínea*, *M. rosacea* e numerosos clones de bananas comestíveis.

O ângulo de inclinação da folha,  $\alpha$ , varia de 120° a 160° ao longo da ontogenia (Turner & Lahav, 1983, citando Simmonds, 1966) e é reflexo do número total de folhas produzidas, pois  $\alpha$  aumenta com o aumento do número de folhas durante a ontogenia.

Turner & Lahav (1983) estudaram a associação entre o estado hídrico do limbo e temperatura com a flexão do limbo. A baixas temperaturas (menor que 18 °C), as folhas flexionaram o limbo apesar do elevado teor relativo de água na folha. A temperaturas mais altas a flexão foi proporcional ao estado hídrico da folha. A flexão relativa do limbo foi influenciada por nebulosidade e temperatura. Nos dias ensolarados as folhas flexionaram mais que em dias nublados, especialmente a temperaturas mais altas. À 17 ou 37 °C, a flexão foi maior que entre 21 e 33 °C, independente da nebulosidade. À temperatura do ar de 21 °C e acima, a flexão foi associada com  $\psi$  (teor relativo de água na folha, variando de 93-97%). À 17 °C a resposta na flexão do limbo para mudanças em  $\psi$  foi diferente, pois o limbo flexionou embora  $\psi$  tenha sido de 97-99%.

## **Respostas Bioquímicas e Moleculares aos Estresses Causados por Temperaturas Infra e Supra-ótimas em Bananeira**

Estresses primários, como seca, salinidade, frio, calor e poluição química são frequentemente interligados, e causam danos celulares e estresses secundários, como osmóticos e oxidativos. Os sinais iniciais de estresse (efeitos osmóticos e iônicos, mudança de temperatura ou da fluidez da membrana) ativam processos posteriores sinalizando o controle da transcrição a qual ativa os mecanismos responsivos aos estresses para restabelecer a homeóstase e proteger e reparar proteínas e membranas danificadas. Respostas inadequadas a um ou vários passos na sinalização e ativação dos genes podem resultar em mudanças irreversíveis na homeóstase celular, na destruição de proteínas funcionais, estruturais e membranas e morte celular (Wang et al., 2003).

A complexa resposta de plantas ao estresse abiótico envolve muitos genes e mecanismos bioquímico-moleculares. Wang et al. (2003) revisando diferentes autores incluem os genes específicos expressos na tolerância aos estresses em três categorias: a) envolvidos na sinalização em cascatas e no controle da transcrição, como MyC, MAP cinases e SOS cinase, fosfolipase e fatores de transcrição (HSF e CBF/DREB e da família ABF / ABAE); b) com função diretamente na proteção de membranas e proteínas, como proteínas de choque térmico (HSPs, Heat Shock Proteins) e chaperonas, proteínas de embriogênese tardia abundante (LEA), osmoprotetores e removedores de ROS (espécies reativas de oxigênio); c) envolvidos em captação e transporte de água e de íons como aquaporins e íons transportadores.

Estresses abióticos são acompanhados pela formação de ROS ( $O_2^-$ ,  $H_2O_2$  e OH $^-$ ), os quais produzem danos em membranas e macromoléculas (Iba, 2002; Wang et al., 2003). O sistema de detoxificação de oxidantes em plantas pode aumentar tolerância a diferentes fatores de estresses. Antioxidantes incluem enzimas como catalase, superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX), glutathiona redutase e moléculas não

enzimáticas como ascorbato, glutatona, carotenóides e antocianinas. Componentes adicionais, como osmólitos (betaína glicina, prolina), proteínas e moléculas amplificadores (tocoferol), também podem atuar como anti-ROS.

## Respostas de choque térmico

A resposta de choque térmico é uma reação causada por exposição de tecidos, organismos ou células a estresses de temperaturas altas ou baixas, com variações súbitas da ordem de 5 °C a 10 °C.

A forma mais efetiva de proteção ao calor é caracterizada pela expressão de proteínas específicas de choque térmico sintetizadas pelas plantas, (HSPs) (Schöffl et al., 1998; Feder & Hofmann, 1999; Larcher, 2000; Iba, 2002; Wang et al., 2003; Taiz & Zeiger, 2004). A estrutura da proteína primária para HSPs é encontrada em organismos que variam de bactérias e outros procariontes até eucariontes como animais e plantas superiores. Deste modo, considera-se que as HSPs são envolvidas na proteção dos organismos contra estresse de calor e na manutenção da homeóstase.

Este conjunto de proteínas do choque térmico (HSP, Heat Shock Proteins) (Larcher, 2000; Taiz & Zeiger, 2004), foi descoberta nas moscas de frutas (*Drosophila melanogaster*) (Schöffl et al., 1998; Feder & Hofmann, 1999; Iba, 2002) e em sua maioria auxiliam as células a suportar o estresse térmico, atuando como chaperonas moleculares, definida pela sua capacidade de reconhecer e ligar a substratos de proteínas que estão em um estado instável, inativo. Assim, função chaperona é função de proteção, e confere um dobramento correto às proteínas maldobradas e agregadas dentro das células evitando a deformação, o que facilita o funcionamento adequado de células submetidas ao estresse térmico.

Wang et al. (2003) consideram a resposta de choque de calor ao nível molecular, uma reprogramação de atividades celulares caracterizadas pela síntese de HSPs, concomitante com interrupção de síntese de proteínas normais. HSPs parecem acumular de maneira dose dependente em quantias suficientes para proteger as células e prover maior nível de termotolerância e desaparecem poucas horas após a retirada do estressor. A função das

HSP na tolerância ao calor relaciona-se aparentemente com estabilização das estruturas da cromatina e de membranas e promoção de mecanismos de reparo.

As plantas apresentam de cinco a seis classes de HSPs: a) HSP100 (100-114 KDa) localizadas no citosol, mitocôndrias e cloroplastos; b) HSP90 (80-94 KDa) localizadas no citosol e retículo endoplasmático; c) HSP70 (69-71 KDa) no citosol/núcleo, mitocôndrias e cloroplastos; d) HSP60 (57-60 KDa) localizadas nas mitocôndrias e cloroplastos; e) smHSP (15-30 KDa) localizadas no citosol, mitocôndrias, cloroplastos e retículo endoplasmático sendo as mais abundantes em plantas superiores.

A indução de HSPs é dependente da temperatura que a espécie cresce (Feder & Hofmann, 1999) e em plantas superiores, ocorre geralmente por exposição curta a temperaturas de 38-40 °C (Iba, 2002). Schöffl et al. (1998), consideram que estresse severo de calor conduz a dano e morte celular e estresse subletal induz uma resposta celular de choque de calor que: 1) protege as células e organismos de dano severo; 2) permite reassumir as atividades celulares e fisiológicas normais e conduz a um nível mais alto de termotolerância.

A resposta a choque térmico é regulada a nível transcricional. A indução térmica é atribuída para conservação de elementos promotores cis-reguladores (HSEs), ligações locais para os fatores de choque térmico transativos (Schöffl et al., 1998). Os HSEs compartilham a sequência "nGAAnnTTCnnGAAn". HSFs de plantas parecem ser uma família sem semelhança com poucos membros. Hsps mantém funcionamento e crescimento celular normal em condições de estresse (Schöffl et al., 1998). Assim, é de se esperar que HSFs provejam diversas funções que controlam diferencialmente a ativação de genes de choque térmico. HSF é um fator de transcrição específico que atua sobre a transcrição de mRNAs de HSP.

Na ausência de estresse térmico, HSF ocorre como monômeros, que são incapazes de se ligarem ao DNA e de dirigir transcrição. Taiz & Zeiger (2004) revisando Bray et al. (2000), descrevem de forma simplificada e

didática o ciclo do fator de choque térmico como se segue: estresse conduz a uma associação de monômeros formando trímeros que estão aptos a ligar com elementos específicos na sequência de DNAs, identificados como elementos de choque térmico; uma vez acoplado ao HSE, o trímero HSF é fosforilado e promove a transcrição de RNAs de HSP. Subsequentemente, HSP70 liga-se ao HSF, levando à dissociação do complexo HSF/HSE e o HSF é reciclado à forma monomérica HSF. Assim, pela ação de HSF, ocorre acúmulo de HSPs até se tornarem suficientemente abundantes para se ligarem ao HSF, levando à interrupção da produção de mRNA de HSP.

Provavelmente, todas as proteínas celulares interagem com chaperonas moleculares, durante a síntese ou degradação. Devido ao aquecimento e desnaturação, a fração potencial para chaperonas moleculares parece aumentar significativamente em estresse de calor e, conseqüentemente, o pool de chaperonas celulares é aumentado (Wang et al., 2003). Com exceção de HSPs de baixo peso molecular e HSP100, cada classe de HSPs é emparelhada por um ou vários HSCs expressos a temperaturas normais. HSPs diferentes podem ter propriedades funcionais diferentes, mas comum a todas elas está a sua capacidade para interagir com outras proteínas e agir como chaperonas moleculares *in vitro* (Schöffl et al., 1998; Iba, 2002). A função chaperona da HSPs *in vivo* em plantas foi recentemente demonstrada pela proteção e reativação de luciferase em *Arabidopsis*.

A adaptação ao estresse térmico é mediada por cálcio citosólico. A taxa de reações metabólicas que recebem ou doam prótons pode ser alterada pelo estresse térmico, afetando a atividade das ATPases que bombeiam prótons para o citosol ou vacúolos, com conseqüente acidificação citosólica, o que causaria potencialmente perturbações metabólicas adicionais ao estresse. Para Taiz & Zeiger (2004), as células possuem mecanismos de aclimação metabólica que minimizam os efeitos do estresse térmico sobre o metabolismo, como acúmulo de ácido  $\gamma$ -aminobutírico (GABA).

Há evidências de acúmulo de GABA, aminoácido não protéico, em níveis seis a dez vezes mais altos em plantas estressadas por altas temperaturas comparadas à plantas não estressadas. O GABA é sintetizado a partir do

aminoácido L-glutamato, em uma reação catalisada pela enzima glutamato carboxilase (GAD), cuja atividade é modulada pela calmodulina, proteína de regulação ativada pelo cálcio (Taiz & Zeiger, 2004).

O estresse pelo frio reduz a atividade hídrica e tem como consequência o estresse osmótico dentro das células. Esse efeito do estresse osmótico provoca a ativação de rotas de sinalização relacionadas a ele e a acumulação de proteínas envolvidas na aclimação ao frio.

Várias espécies de plantas aumentam os níveis celulares de fitohormônios ABA quando submetidas a baixas temperaturas (Thomashow, 1999; Taiz & Zeiger, 2004). Alguns estudos sugeriram que ABA induz a expressão de genes relacionados a resposta para aclimação ao frio (Thomashow, 1999; Yang et al., 2005). O estresse por frio está claramente associado a respostas ao ABA e ao estresse osmótico, razão pela qual nem todos os genes regulados por estresse pelo frio estejam necessariamente relacionados à tolerância ao frio.

Outros genes específicos do frio são também ativados. O ABA e a síntese protéica estão envolvidos na aclimação ao congelamento. Várias proteínas induzidas por temperaturas baixas compartilham homologia com a família de proteínas RAB (responsiva ao ABA), LEA (abundante de embriogênese tardia), DHN (desidrina) (Taiz & Zeiger, 2004) e proteínas associadas ao estresse osmótico que incluem proteínas envolvidas na síntese de osmólitos compatíveis como prolina e betaína.

A expressão de certos genes e a síntese de proteínas específicas de choque térmico que podem atuar como chaperonas moleculares é comum tanto no estresse pelo calor quanto pelo frio, entretanto, durante o estresse de calor a síntese de proteínas de “manutenção” (proteínas produzidas na ausência de estresse) é essencialmente cessada, enquanto nos eventos de frio não (Taiz & Zeiger, 2004). Isto sugere que mecanismos para estabilização da estrutura protéica durante eventos de calor e frio são importantes para a sobrevivência.

São estimados que mais de 1000 genes do genoma de *Arabidopsis* são totalmente regulados por estresse devido a frio (Yang et al., 2005). CBF (DREB1) são genes que agem como elos da rede reguladora de resposta para estresses por frio. Além disso, os dados indicam que múltiplos sinais reguladores são ativados durante aclimação para o frio além do gene responsivo para frio CBF. Resultados mais recentes mostram que a expressão de CBFs também é regulada por ABA, luz e ritmo circadiano (Yang et al., 2005), sugerindo que existam complexas interações entre os caminhos que sinalizam para expressão de genes de resposta ao frio.

Santos et al. (2005) revisando diferentes autores sintetizaram as diversas mudanças aos níveis celulares e moleculares que ocorrem nas plantas quando submetidas ao estresse resultante de ambientes frios: (a) modificações na composição das membranas plasmáticas; (b) acumulação intracelular de osmólitos compatíveis, como açúcares solúveis, prolinas e betaínas, síntese de HSPs e proteínas reguladoras de frio (COR); (c) acumulação extracelular de proteínas anticongelante; (d) mudanças nas propriedades das paredes celulares.

Os estudos desenvolvidos por Santos et al. (2005) caracterizaram duas bibliotecas de cDNA isoladas de folhas de bananeira *M. acuminata* ssp. *burmannicoides* var. *Calcutá 4* (AA) submetidas a estresses de temperatura que variaram de 5° a 25 °C (frio) e 25 °C a 45 °C (calor), identificando 535 unigenes, com 149 cDNA de clone de fita inteira, a partir de 1.019 MaAES (sequência de expressão gênica construída em *Musa acuminata*).

Para construção da biblioteca de calor os autores retiraram amostras de folhas a 25 °C e em seguida elevaram a temperatura a 35 °C com posterior coleta de três amostras, uma por hora. Procedeu-se nova elevação de temperatura até 45 °C e cinco amostras foram coletadas a 1h, 2h, 3h, 9h e 21 horas após a mudança de temperatura. Para a construção da biblioteca de frio, foram coletadas amostras de folhas de plantas inicialmente a 25 °C e após a redução da temperatura a 15 °C foram coletadas amostras a 1h, 2h, e 3h após a mudança de temperatura. A temperatura foi diminuída então para 5 °C e foram coletadas novas amostras depois de 1h, 2h, 3h, 9h e 21h.

Santos et al. (2005) identificaram na MaAES que 10% do cDNAs sequenciados estão presentes em ambas as bibliotecas de frio e de calor, enquanto 42% e 48% só estão presentes dentro da bibliotecas de frio ou de calor, respectivamente.

Os autores enquadraram a maioria dos MaAES em três classes funcionais e de frequência representando juntas 43%: classe A (genes envolvidos na resposta a estresses ambientais), modificação pós-translacional, síntese de proteínas, funções de chaperonas; classe B, categoria funcional geral; classe C, genes envolvidos na tradução.

Aproximadamente 30% dos genes da MaAES identificados nos trabalhos de Santos et al. (2005) para bananeira são genes envolvidos nas respostas para estresses ambientais e em tradução. Muitos dos genes induzidos por estresses como os codificados para fatores de transcrição foram identificados, inclusive Myb, fator de transcrição a choque de calor e também dois diferentes genes relacionados a respostas de ABA para aclimatação ao frio e um gene responsivo a baixas temperaturas, o que corrobora a hipótese de que a bananeira apresenta respostas de termo tolerância induzida e aumenta as expectativas para o melhoramento genético desta planta comumente cultivada em condições de temperaturas infra e supra-ótimas.

Um conjunto de 27 cDNAs que codificam para HSPs foi identificado (Santos et al., 2005). Treze destes são genes de sHSPs cujas proteínas ficam situadas no citoplasma. Doze cDNAs de fita inteira de HSPs foram identificados neste estudo, nove dos quais são de sHSP tipo familiar e localizam dentro do citoplasma e cloroplasto.

Santos et al. (2005) identificaram em bananeira genes envolvidos com aparato fotossintético e relacionados a estresse de temperatura: ribulose 1,5 bifosfato carboxilase/oxigenase (10,72%), sHSP (8,50%), HSP (1,71%), PSI/II (9,75%) e metalo-proteínas (6,91%). Outras proteínas, rubisco ativase, clorofila a/b, proteína de indução inicial de luz, ubiquitina, citocromo c, ferredoxina, calmodulina e ácido abscísico (ABA) proteína de estresse, representaram menos que 2% dos clones das bibliotecas.

## Considerações Finais

A bananeira é uma hidrófita que requer grandes quantidades de água para seu normal crescimento e desenvolvimento e conseqüentemente não é resistente à seca.

A despeito da origem tropical e das exigências hídricas e térmicas ótimas para o seu crescimento e desenvolvimento, a bananeira é cultivada em zonas climáticas marginais como nos subtropicais frios ou nos trópicos semi-áridos onde são comuns períodos durante o ano com temperaturas baixas ou estresse por calor e seca que limitam o potencial produtivo.

Extremos de temperaturas causam injúrias por prejuízos nos processos celulares (alterações em propriedades de membrana, interações entre macromoléculas e reações enzimáticas, desnaturação de proteínas, mudança nos níveis dos hormônios, aumentos em açúcares insolúveis e produção de espécies de oxigênio reativo), que conseqüentemente afetam os processos fisiológicos (respiração, fotossíntese, absorção de água e nutrientes e translocação de assimilados), bem como a morfologia dos órgãos e o desenvolvimento fenológico (emissão foliar, crescimento foliar, ciclo, formação e desenvolvimento dos frutos), resultando em prejuízos para a produção da bananeira.

A bananeira sob condições de estresses por seca, temperaturas infra e supra-ótimas apresenta em menor e maior grau respectivamente mecanismos anatômicos e morfológicos, fisiológicos, bioquímicos e moleculares de respostas a esses estresses inter-relacionados como: aumento do teor de cera nas folhas, movimentos de flexão do limbo pelo púlvino, diminuição da área foliar, diminuição da condutância estomática e da taxa de transpiração, da taxa fotossintética e diminuição da taxa de crescimento, ajuste osmótico, acúmulo de osmólitos compatíveis, anti-oxidantes e osmoprotetores como prolina e expressão de genes envolvidos nas respostas para estresses ambientais e em tradução, genes específicos relacionados para estresse de temperatura como para a expressão de sHSP e HSP, genes relacionados a respostas de ABA para aclimação ao frio e gene responsivo a baixas temperaturas.

A expressão destes genes corrobora a hipótese de que a bananeira apresenta respostas de termo tolerância induzida e contribui para explicar a existência e a persistência de cultivos de bananeira em regiões marginais.

## Referências

BALHÀR, N.H.R., ÖQUIST, G. Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis research. In: **Photosynthesis and production in a changing environment. A field and laboratory manual**. London: Chapman & Hall, 1993. p.193-205.

BANANUKA, J. A.; RUBIHAYO, P. R.; TENYWA, M. M. Reactions of *Musa* genotypes to drought stress. **African Crop Science Journal**, v.7, n.4, p.333-339, 1999.

CORDEIRO, Z. J. M.; MATOS, A. P. de. Doenças fúngicas e bacterianas. In: CORDEIRO, Z. J. M. (Org.). **Banana. Fitossanidade**. Embrapa Mandioca e Fruticultura (Cruz das Almas, BA). – Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. p. 36-65.; il.; (Frutas do Brasil; 8).

ECKSTEIN, K; ROBSON, J. C. Physiological responses of banana (*Musa* AAA; Cavendish subgroup) in the subtropics. (II) influence of climatic conditions on seasonal and diurnal variations in gas exchange of banana leaves. **Journal of Horticultural Science**, v.70; p.157-167, 1995.

EKANAYAKE, J.; ORTIZ, R.; VUYLSTEKE. Influence of Leaf Age, Soil Moisture, VPD and Time of Day on Leaf Conductance of Various *Musa* Genotypes in a Humid Forest-Moist Savana Transition Site. **Annals of Botany**, v.74, n.2, p.173-178, August, 1994.

FEDER, M. E.; HOFMANN, E. G. Heat-shock proteins, molecular chaperones, and the stress response: Evolutionary and Ecological Physiology. **Annual Review of Physiology**, v.61, p.243-282, March, 1999.

FORTESCUE, J. A.; TURNER, D. W. The association between low temperatures and anatomical changes in preanthetic ovules of *Musa* (Musaceae). **Scientia Horticulturae**, v.104, p.433-444, 2005.

HOFFMANN, H. P.; TURNER, D. W. Soil water deficits reduce the elongation rate of emerging banana leaves but the night/day elongation ratio remains unchanged. **Scientia Horticulturae**, v.54, n.1, p.1-12, April, 1993.

IBA, K. Acclimative response to temperature stress in higher plants: Approaches of gene Engineering for Temperature Tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v.53, p.225-245, June, 2002.

ISMAIL, M. R.; YUSOFF, M. K.; MAHMOOD, M. Growth, Water Relations, Stomatal Conduance and Proline Concentration in Water Stressed Banana (*Musa* sp.) Plants. **Asian Journal of Plant Sciences**, v.3, n.6, p.709-713, 2004.

KALLARACKAL, J.; MILBURN, J. A.; BAKER, DA. Water Relations of the Banana. III. Effects of Controlled Water Potential, Transpiration, Photosynthesis and Leaf Growth. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.17, n.1, p.79-90, 1990.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. RIMA Artes e textos. São Carlos, 2000. 531p.

LOMAS, J.; SHASHOUA, Y. The effect of low temperatures on banana yields. **International Journal of Biometeorology**, v.14, n.2, p.155-165, 1970.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2<sup>nd</sup> ed., New York, Academic Press, 1995. 889p.

MARTIN-PREVEL. Exigências nutricionais da bananeira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE BANANICULTURA, I, 1984, Jaboticabal, **Anais...** Jaboticabal: FCAV/UNESP, 1984. p.118-134.

MILBURN, J. A.; KALLARACKAL, J.; BAKER, DA. Water Relations of the Banana. I. Predicting the Water Relations of The Field-Grown Banana the Using the Exuding Latex. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.17, n.1, p.57-68, 1990.

MOREIRA, R. S. **Banana, Teoria e Prática de Cultivo**. 2ª edição. CD-ROM. FUNDAÇÃO CARGILL. São Paulo, SP. 1999. [CD-ROM].

NOVAIS, R. Transporte de nutrientes no solo. **Curso de Fertilidade e Manejo do solo**, Módulo 3. Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior, DF, 1996. 35p.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHON, S. E. **Biologia Vegetal**. 6ª Ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2001. 906p.

ROBINSON, J. C. **Bananas and plantains**. Oxon, UK: CAB International, 1996. 238p.

ROBINSON, J. C.; ALBERTS, A. J. Seasonal variations in the crop water-use coefficient of banana (cultivar 'Williams') in the subtropics. **Scientia Horticulturae**, v.40, n.3, p.1-12, October, 1989.

ROBINSON, J. C.; BOWER, J. P. Transpiration characteristics of banana leaves (cultivar 'Williams') in response to progressive depletion of available soil moisture. **Scientia Horticulturae**, v.30, n.4, p.289-300, November, 1987.

ROBINSON, J. C.; BOWER, J. P. Transpiration from banana leaves in the subtropics in response to diurnal and seasonal factors and high evaporative demand. **Scientia Horticulturae**, v.37, n.1-2, p.1129-143, November, 1988.

ROBINSON, J. C.; HUMAN, N. B. Forecasting of banana harvest ('Williams') in the subtropics using seasonal variations in bunch develop rate and bunch mass. **Scientia Horticulturae**, v.34, n.3-4, p.249-263, 1988.

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. 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, may, 2005

SCHÖFFL, F.; PRÄNDL, R.; REINDL, A. Update on signal transduction. Regulation of the Heat-Shock Reponse. **Plant Physiology**, v.117, p.1135-1141, 1998.

SHEPHERD, K. Banana: taxonomia e morfologia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE BANANICULTURA, I, 1984, Jaboticabal, **Anais...** Jaboticabal: FCAV/UNESP, 1984. p.50-74.

SILVA, S. de O. e; ALVES, E. J.; LIMA, M. B.; SILVEIRA J. R. da S. Bananeira. In: BRUCKNER C. H. (Editor). **Melhoramento de Fruteiras Tropicais**. – Viçosa: UFV, 2002. p.101-157. : il.

SIMMONDS, N. W. **Los plátanos**. Barcelona: Blume, 1973. 539 p.

SOTO BALLESTERO, M. **Bananos; cultivo e comercializacion**. 2ª. Ed. San José, Costa Rica: Litografía e Imprensa LIL, 1992. 674 p.

SOTO BALLESTERO, M. **Libro Banano**. CD-ROM. EARTH, Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda. Guácimo, Costa Rica, 2003. [CD-ROM].

STOVER, R.H.; SIMMONDS, N.W. **Bananas**. 3rd ed. Longman, London, 1987. 468p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiología vegetal**. 3ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

THOMASHOW, M. F. Plant cold acclimation: freezing tolerance genes and regulatory mechanisms. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.50, p:571–599, 1999.

THOMAS, D. S.; TURNER, D. W. Banana (*Musa* sp.) leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence in to reponse to soil drought, shading and lamina folding. **Scientia Horticulturae**, v.90, n.1-2, p.93-108, October, 2001.

TURNER, D. W. The response of the plant to the environment. In: **Bananas and Plantains**. GOWEN, S. (Editor). First Edition, Chapman & Hall, London., 1995. chap.8, p. 206-229.

TURNER, D. W.; LAHAV, E. The Growth of Banana Plants in Relation to Temperature. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.10, n.1, p.43-53, 1983.

TURNER, D. W.; LAHAV, E. Temperature influences nutrient absorption and uptake rates of bananas grown in controlled environments. **Scientia Horticulturae**, v, 26, n.4, p.311-322, 1985.

TURNER, D. W.; LAHAV, E. Temperature influences the distribution of some nutrients in young banana plants independently of its effect on dry matter. **Scientia Horticulturae**, v, 28, n.1-2, p.47-58, 1986.

TURNER, D. W.; THOMAS, D. S. Measurements of plant and soil water status and their association with leaf gas exchange in banana (*Musa* sp.): a laticiferous plant. **Scientia Horticulturae**, v.77, n.3-4, p.177-193, October, 1998.

VENTURA, J. A.; HINZ, R. H. Controle das doenças da bananeira. In: ZAMBOLIM, L. et al., (Editores). **Controle de doenças de plantas: fruteiras**. – Viçosa: UFV, 2002. p. 839-938 : 2v.: il.

WANG, W.; VINOCUR, B.; ALTMAN, A. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance – Review. **Planta**, v.218, n.1, p.1-14, November, 2003.

YANG, T.; ZHANG, L.; ZHANG, T.; ZHANG, H.; XU, S.; AN, L. Transcriptional regulation in network of cold-responsive genes in higher plants. **Plant Science**, v.169, p.987-995, 2005.

ZAFFARI, G. R., LICHTENBERG, L. A., STUKER, H. Grau de suscetibilidade ao frio de cultivares de bananeira em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Cruz das Almas, v.17, n.3, p.69-75, 1995.

# Melhoramento Genético e Desenvolvimento de Cultivares

---

*Sebastião de Oliveira e Silva*

*Edson Perito Amorim*

*Maria Geralda Vilela Rodrigues*

## Introdução

Banana é a mais importante fruta tropical, constituindo-se em um alimento básico, tanto da área rural quanto urbana de várias regiões do país e do mundo. Esta fruta é a segunda mais produzida no mundo, ocupando uma área total de aproximadamente 4,1 milhões de hectares, em 107 países, com uma produção de 70,7 milhões de toneladas. Os principais países produtores são: Índia, Brasil, China, Filipinas e Equador, representando 55% da produção mundial desta fruteira.

O cultivo da banana no Brasil apresenta aspectos peculiares em relação à diversidade climática explorada, uso de cultivares e a forma de comercialização. Com exceção de algumas plantações nos Estados de São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina, Goiás e Rio Grande do Norte, o cultivo é conduzido com baixos níveis de capitalização e tecnologia. A maioria dos plantios apresenta baixa produtividade, com média nacional em torno de 14 t ha<sup>-1</sup>.

Os maiores problemas do cultivo no Brasil são a falta de variedades comerciais produtivas, que apresentem concomitantemente porte adequado e resistência às principais doenças (Sigatoka Amarela, Sigatoka Negra e mal-do-Panamá). (No IA padronizamos a grafia: sigatoka-amarela, sigatoka-negra, mal-do-panamá).

Uma das estratégias para a solução dos problemas mencionados é a criação de novas variedades resistentes a doenças, nematóides e pragas, mediante programas de melhoramento genético que possibilitam a obtenção de híbridos superiores, a exemplo do programa em desenvolvimento na Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, desde 1983. Vale ressaltar que o uso de variedades resistentes é uma das alternativas mais viáveis para o controle de doenças, uma vez que não depende da ação do produtor, não é prejudicial ao meio ambiente e, geralmente, é compatível com outras técnicas de manejo. Além de aumento de produtividade e melhoria na qualidade dos frutos, uma boa cultivar (resistente às doenças) implicará em menor custo de produção, em função do reduzido emprego de defensivos agrícolas e redução de gastos com o manejo da cultura aumentando, conseqüentemente, a renda líquida do produtor.

O programa de melhoramento da Embrapa está baseado na hibridação de cultivares triplóides com diplóides melhorados, desenvolvidos pelo programa de pré-melhoramento de diplóides, visando o desenvolvimento de cultivares tetraplóides com características agrônômicas superiores. Recentemente, o programa de melhoramento vem fazendo uso das modernas ferramentas biotecnológicas, entre elas irradiação, duplicação do número de cromossomos, hibridação somática, fertilização *in vitro*, transgenia e uso marcadores de DNA e cultura de tecidos de plantas, com o objetivo de maximizar os ganhos genéticos ao longo das gerações de seleção.

A partir das atividades de seleção e hibridação, uma série de cultivares já foram lançadas e outras se encontram em avaliação em diferentes locais do Brasil, ou mesmo em pré-lançamento.

## **Cultivares Recomendadas pela Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical**

Nos últimos anos a Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical recomendou as cultivares Caipira, Thap Mao, FHIA 18, Prata Graúda, Prata Baby (Nam), Pacovan Ken, Japira, Vitória, Preciosa, Tropical, Maravilha, Caprichosa, Garantida e Princesa.

A 'Caipira' (Yangambi km 5) é uma variedade triplóide (AAA) de banana de mesa, produtiva, com porte variando de médio a alto, selecionada a partir de avaliações realizadas em vários locais. Destaca-se pelo seu vigor vegetativo, resistência à sigatoka-negra, sigatoka-amarela e ao mal-do-panamá.

A cultivar Thap Maeo também é um triplóide (AAB), que apresenta porte alto, alta rusticidade, resistência às sigatokas negra e amarela e ao mal-do-panamá. Sob condições de solo de boa fertilidade, apresenta produtividade média de até  $35 \text{ t}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

A variedade FHIA-18, um híbrido tetraplóide (AAAB) de 'Prata-Anã' de porte médio, introduzida de Honduras, foi avaliada em vários locais e selecionada pela Embrapa. Esta cultivar apresenta como característica principal a resistência à sigatoka-negra, a principal doença da bananeira, sendo também resistente à sigatoka-amarela e ao mal-do-panamá.

A cultivar de bananeira Prata Graúda (SH 3640) é um híbrido tetraplóide (AAAB), de porte médio a alto, gerada em Honduras a partir de cruzamentos da 'Prata-Anã' com um híbrido diplóide. Foi introduzida no Brasil na década de 90, pela Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Os frutos dessa nova cultivar são de tamanho superior aos da 'Prata-Anã', apresentam polpa de coloração creme com sabor e aroma semelhantes aos dessa cultivar. Produz aproximadamente 30% a mais que a Prata-Anã. Apresenta resistência ao mal-do-panamá, porém é suscetível às sigatokas amarela e negra.

A Nam é uma cultivar triplóide (AAA) de porte médio a alto, introduzida da Tailândia, resistente à sigatoka-amarela e ao mal-do-panamá. Depois de avaliada em diversos locais, foi recomendada em Santa Catarina com o nome de 'Prata Baby'. Atualmente encontra-se em plantios comerciais e no mercado atinge preço superior ao da 'Prata-Anã'.

As variedades Pacovan Ken (PV 42-68), Japira (PV 42-142), Vitória (PV 42-81) e Preciosa (PV 42-85) são híbridos tetraplóides (AAAB), de porte

alto, resultantes do cruzamento da cultivar Pacovan com um híbrido diplóide, desenvolvidas pela Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Estas cultivares apresentam número e tamanho de frutos e produtividade superiores aos da 'Pacovan'. Seus frutos são mais doces e apresentam resistência ao despencamento semelhante aos da 'Pacovan'. As cultivares, além de resistentes à sigatoka-negra, apresentam também resistência à sigatoka-amarela e ao mal-do-panamá. A depender do local, as cultivares apresentam comportamentos distintos, o que levou a sua seleção em regiões diferentes. A 'Preciosa' foi recomendada no Acre.

A variedade Tropical (YB 42-21) é um híbrido tetraplóide (AAAB), de porte médio a alto, resultante do cruzamento da cultivar Yangambi nº 2 com um híbrido diplóide, desenvolvido pela Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Os frutos são semelhante aos da cultivar Maçã. A Tropical, além de resistente à sigatoka-amarela, é também tolerante mal-do-Panamá. As características organolépticas dessa variedade são diferentes entre as regiões, sendo que no Norte de Minas é bastante semelhante à 'Maçã'.

A variedade Maravilha (FHIA 01) é um híbrido tetraplóide (AAAB), resultante do cruzamento entre Prata-Anã x diplóide, de porte médio, introduzido de Honduras e que foi avaliada em vários locais e selecionada pela Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical para Região de Rio Branco (AC). Os frutos e a produção são maiores e mais ácidos que os da Prata-Anã. Apresenta resistência às Sigatokas amarela e negra e ao mal-do-panamá.

A variedade Caprichosa (PC 42-01) é um híbrido tetraplóide, obtida pela Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, resultante do cruzamento entre Prata Comum x diplóide, de porte alto, avaliada em vários locais. Os frutos têm sabor adocicado com acidez semelhante aos da cultivar 'Prata Comum', com resistência ao despencamento. Apresenta resistência às sigatokas amarela e negra e ao mal-do-Panamá.

A variedade Garantida (ST 42-08) é um híbrido tetraplóide (AAAB), obtida pela Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical resultante do cruzamento

entre Prata São Tomé x diplóide, de porte alto, avaliada em vários locais. Possui frutos e produção superiores aos das cultivares Prata São Tomé e Prata Comum. Apresenta resistência às sigatokas amarela e negra e ao mal-do-Panamá.

Recentemente a Embrapa Tabuleiros Costeiros (Aracajú, SE), em parceria com o programa de melhoramento da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, lançou a cultivar Princesa (YB 42-07) (Ledo et al., 2008). Esta cultivar é um híbrido tetraplóide (AAAB) resultante do cruzamento da cultivar Yangambi nº 2 com um diplóide. A cultivar foi avaliada na área experimental de Propriá, Sergipe e pela Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical em Cruz das Almas. A 'Princesa' atinge uma produtividade em torno de 15 a 20 t<sup>1</sup>.ha<sup>-1</sup>, apresenta porte menor que o da 'Maçã'. Possui a vantagem de ser tolerante ao mal-do-panamá, além de ser resistente à sigatoka-negra. A cultivar vem atender a demanda de frutos da cultivar Maçã, em escassez no mercado, devido a suscetibilidade dessa cultivar ao mal-do-Panamá.

## Referências

SILVA, S. O.; SANTOS-SEREJO, J. A.; CORDEIRO, Z. J. M. Variedades. In: BORGES, A. L.; SOUZA, L. S. **O cultivo da bananeira**. Embrapa Mandioca e Fruticultura. Cruz das Almas, 2004, p 45 - 58.

SILVA, S. O.; PEREIRIA, L. V.; RODRIGUES, M. G. V. Variedades. In: SIMPÓSIO NORTE MINEIRO SOBRE A CULTURA DA BANANA, 2, 2008, Nova Porteirinha. **Anais...** Nova Porteirinha, MG: EPAMIG, 2008. CD ROM.



# Nutrição e Adubação

---

*Maria Geralda Vilela Rodrigues*

## Introdução

A bananeira apresenta crescimento lento até o quarto mês, com pequena absorção de nutrientes e demanda por água. No entanto, do quarto mês até o florescimento (sétimo ao décimo mês) o crescimento é intenso, com acúmulo significativo de matéria seca e, conseqüentemente, de nutrientes (Borges et al., 1987). Nas cultivares que apresentam bom perfilamento (Nanica, Nanicão, Prata, Maçã) as brotações laterais começam a surgir aos 30 – 45 dias após o plantio (Alves et al., 1997), quando então passam a co-existir mais de uma planta por cova, com idades e exigências diferentes.

Esta situação se perpetua na maioria dos bananais onde, normalmente, o manejo dos brotos é feito com desbaste de forma a se ter a planta mãe, filha e neta em uma mesma cova. A demanda da bananeira por nutrientes e água a partir do primeiro ano de cultivo, quando passam a conviver três plantas de idades diferentes na mesma cova, é ditada pela que estiver na fase mais exigente ou pelo somatório de todas.

## Os Nutrientes e a Planta

Segundo Lahav (1995), pesquisas em nutrição mineral de bananeira começaram nos anos 30 e expandiram muito nos anos 60. Até metade dos anos 60 se concentravam na descrição de sintomas de desbalanço

nutricional e na condução de experimentos de campo comparando respostas às taxas de aplicação de fertilizante nos diferentes tipos de solo. Durante os últimos 30 anos tem sido dada atenção, em numerosos trabalhos, para uma melhor compreensão do papel dos nutrientes no crescimento e desenvolvimento da planta. Através de estudos de campo, com respostas aos fertilizantes, tem-se tentado melhorar a compreensão da nutrição da bananeira.

## Nitrogênio

São dois os principais mecanismos que garantem a transferência de N para o solo, em condições naturais (sem adubação): transformação do N elementar ( $N_2$ ) em óxidos por descargas elétricas na atmosfera, e fixação direta do N do ar por microorganismos do solo. No solo o N existe predominantemente em formas orgânicas (cerca de 98%), em uma enorme variedade de compostos, sendo que o húmus apresenta proteínas, aminoácidos livres, amino-açúcares e outros compostos nitrogenados não identificados. Uma pequena parte do N total do solo encontra-se nas formas minerais de amônio ( $NH_4^+$ ), nitrato ( $NO_3^-$ ) e nitrito ( $NO_2^-$ ) (Raij, 1991).

Vários processos controlados pela atividade microbiana determinam a ocorrência destas diferentes formas de N no solo, entre elas: fixação biológica, proteólise e amonificação, nitrificação, desnitrificação (Menguel e Kirkby, 1987). Destes resultam as transformações de formas orgânicas em inorgânicas (mineralização) e vice-versa, que podem redundar em ganhos ou perdas do sistema como um todo.

O íon amônio, sendo um cátion, permanece no solo em forma trocável, adsorvido pelas cargas negativas do solo. Já o nitrato, por ter carga negativa, é repellido pela superfície das partículas do solo, permanecendo na solução, sendo assim muito móvel (Raij, 1991) e 100 vezes mais passível de lixiviação que o amônio (Menguel e Kirkby, 1987). O nitrito é um ânion, em geral de existência efêmera no solo, sendo rapidamente oxidado a nitrato, o que é importante já que é tóxico para as plantas e para os animais que delas se alimentam (Raij, 1991).

O fornecimento de N geralmente é feito por uréia, sulfato de amônio ou nitratos. A uréia é dividida em  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{CO}_2$  pela urease e este amônio pode ser absorvido pelas plantas ou microorganismos, adsorvido pelas partículas do solo ou oxidado a nitrato. O nitrato resultante desta reação ou fornecido via fertilizantes, pode ser lixiviado, denitrificado ou absorvido (Menguel e Kirkby, 1987). Por ser elemento afetado por uma dinâmica complexa e que não deixa efeitos residuais diretos das adubações, o manejo adequado da adubação nitrogenada é dos mais difíceis (Rajj, 1991).

As plantas podem absorver e metabolizar N nas formas de  $\text{NO}_3^-$  ou de  $\text{NH}_4^+$ , sendo o nitrato a forma preferencial, mesmo quando se fornece adubo amoniacal devido à oxidação microbiana do amônio no solo. A absorção do amônio se dá melhor em meio com pH neutro, sendo reduzida quando há queda deste. Já o nitrato é melhor absorvido em meio com pH baixo (Menguel e Kirkby, 1987).

O N é translocado no xilema para a parte aérea das plantas, na forma dependente de como foi absorvido. Praticamente todo o  $\text{NH}_4^+$  absorvido é assimilado nos tecidos das raízes e redistribuído como aminoácidos (de baixa relação C/N). Já o  $\text{NO}_3^-$  pode ser translocado sem alteração das raízes para as folhas, mas isto depende do potencial de nitrato redução das raízes. Nitrato e aminoácidos são portanto as formas em que o N é translocado no sistema vascular das plantas (Menguel e Kirkby, 1987).

Nos tecidos da planta o N é inicialmente reduzido à forma nítrica ( $\text{NO}_3^-$ ) e então entra no metabolismo gerando principalmente aminoácidos (Menguel e Kirkby, 1987). A importância da redução e assimilação do nitrato para a vida das plantas se compara a importância da assimilação do  $\text{CO}_2$  na fotossíntese (Marschner, 1988).

O N é facilmente redistribuído nas plantas via floema e, em plantas deficientes, há proteólise e redistribuição dos aminoácidos, o que resulta no colapso dos cloroplastos com decréscimo no conteúdo de clorofila. Por esta razão o amarelecimento das folhas velhas é o primeiro sintoma de uma inadequada nutrição da planta (Faquim, 1994). Há redução no crescimento

das plantas que apresentam troncos delgados, folhas pequenas e as mais velhas caem prematuramente. O crescimento radicular e particularmente sua ramificação são afetados. A senescência precoce provavelmente está relacionada com a redução da síntese e translocação de citocininas, que é um promotor de crescimento vigoroso e manutenção do período juvenil (Menguel e Kirkby, 1987).

O N é importante para o crescimento vegetativo da bananeira, sobretudo nos três primeiros meses, quando o meristema está em desenvolvimento; favorece a emissão e o desenvolvimento dos perfilhos, além de aumentar a matéria seca (Borges e Oliveira, 2000). Quando da deficiência de N há redução generalizada do crescimento da planta (Vargas e Solís, 1998), amarelecimento das folhas e os pecíolos das folhas mais afetadas apresentam coloração rosada (López e Espinosa, 1995), redução na taxa de produção de folhas assim como na distância entre elas, formando o enrosetamento (Lahav, 1995; López e Espinosa, 1995). Como o crescimento da bananeira está positivamente correlacionado com a produção, há grande influência do N na produção (Lahav, 1995).

A bananeira não acumula o N de que necessita e com isso o suprimento tem que ser constante, mesmo em solos férteis (Lahav, 1995). É o nutriente mais aplicado em fertirrigação, por ser recomendado seu parcelamento devido à alta mobilidade no solo e alto índice salino dos adubos que o contém (Borges e Silva, 2002).

## Fósforo

Dos três macronutrientes, o P é o exigido em menores quantidades pelas plantas, entretanto é o nutriente mais usado em adubação no Brasil, tanto pela carência generalizada dos solos como por ter forte interação com o solo (Faquim, 1994). É o macronutriente de maior imobilidade no solo (Menguel e Kirkby, 1987).

Uma abordagem de interesse da nutrição de plantas reconhece três frações do fósforo no solo: P em solução, P lábil e P não lábil. O P lábil está em

equilíbrio rápido com o P da solução, sendo representado por formas meta-estáveis de compostos de P ainda mal formados. O P não lábil, responsável pela maior parte do P inorgânico do solo, é representado por compostos insolúveis e que só lentamente podem se transformar em fosfatos lábeis (Faquim, 1994).

Os fosfatos adicionados como fertilizantes dissolvem-se passando para a solução do solo e a maior parte deste passa para a fase sólida (adsorção), onde fica em parte como lábil e gradativamente os compostos vão adquirindo estabilidade e passam a não lábil (Faquim, 1994). A taxa anual de lixiviação de P é extremamente baixa (Menguel e Kirkby, 1987).

A redução nos teores da solução que se dá pela absorção das plantas, cria um gradiente de concentração que favorece a redissolução do fosfato lábil (Faquim, 1994), porém como a fixação impede que o P da solução aumente muito, não há formação de um gradiente muito acentuado e assim não há difusão acentuada (Malavolta, 1981). Decorre daí que a extensão do sistema radicular é de fundamental importância na absorção do P (Faquim, 1994).

As plantas são capazes de absorver P de soluções com muito baixas concentrações, sendo que geralmente a concentração no xilema é 100 a 1000 vezes superior que a concentração da solução do solo. O transporte do P no xilema ocorre principalmente na forma como foi absorvido ( $H_2PO_4^-$ ), sendo rapidamente envolvido em processos metabólicos (Menguel e Kirkby, 1987). Ao contrário do que acontece nos solos, o fosfato é bastante móvel e facilmente redistribuído pelo floema, na forma de fosforil colina. Quando adequadamente nutrida, a planta apresenta de 85 a 95 % de seu P inorgânico localizado nos vacúolos, de onde se movimenta para os órgãos novos quando o suprimento é reduzido (Faquim, 1994).

Apesar do requerimento em P pela bananeira ser relativamente baixo, repostas em produção aos fertilizantes fosfatados são comuns. Isto pode ser explicado pelo fato da banana acumular o P que requer por um extenso período de tempo; uma relativamente pequena quantidade de P ser

exportada nos frutos; e que o P é facilmente redistribuído das folhas velhas para as novas, das folhas para o cacho e da planta mãe para os seguidores (Lahav, 1995). O P favorece o desenvolvimento vegetativo e o sistema radicular, sendo o macronutriente menos absorvido pela bananeira (Borges e Oliveira, 2000). Quando deficiente, provoca uma necrose marginal em forma de serra nas folhas mais velhas da bananeira, que apresentam coloração verde escuro (López e Espinosa, 1995). Em ensaio com elemento faltante, Vargas e Solís (1998) observaram que na ausência do P, além do aspecto senescente e frágil da planta, houve necrose de raízes secundárias. Há redução no ritmo de emissão foliar e a planta apresenta aparência de “roseta” (López e Espinosa, 1995). Para Borges e Silva (2002) a aplicação de fertilizantes fosfatados via água de irrigação é pouco utilizada, em razão de sua baixa mobilidade no solo, maior exigência da planta na fase inicial de crescimento, baixa solubilidade da maioria dos adubos fosfatados e da facilidade de precipitação do nutriente causando entupimento nos emissores.

## Potássio

O teor e o tipo de argila do solo influem no processo de fixação do K e em sua mobilidade. Os solos tropicais normalmente possuem argila do tipo caulinita, pobres em sítios específicos para K e isto, associado à alta pluviosidade, confere alta lixiviação e, portanto ocorrência generalizada de baixos teores (Menguel e Kirkby, 1987). Além do K estrutural dos minerais, o nutriente ocorre no solo na forma de cátion trocável e, na solução do solo, sempre como o íon  $K^+$ , que é também a forma de ocorrência em minerais (Raj, 1991).

Assim como o P, o K depende largamente da difusão para chegar à superfície das raízes, todavia, como a concentração de K é muito maior que a de P, sua dependência da difusão é menos crítica (Vale et al, 1993). De qualquer forma, os fatores que afetam a difusão, afetam a disponibilidade de K.

Em presença de teores mais elevados de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  no solo, os mesmos teores de K trocável podem se revelar menos disponíveis para certas culturas (Raij, 1991). Segundo Vale et al, (1993), sob condições de reduzida taxa de nitrificação, o predomínio da forma amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) na solução do solo pode reduzir em cerca de 50% a absorção de K.

A quantidade de K presente na solução do solo é insuficiente, muitas vezes, para atender as exigências da cultura por mais de um dia de cultivo, portanto, principalmente considerando a grande exigência por este nutriente, o K da solução do solo tem de ser continuamente ressuprido pelo K da fase sólida (Vale et al, 1993). Segundo esse autor, em termos práticos, o poder tampão do solo para K é muito mais importante para a sua disponibilidade do que a concentração deste nutriente na solução e aqui o K trocável assume papel de destaque.

Como as membranas plasmáticas são bastante permeáveis ao K, é facilmente absorvido e transportado a longas distâncias tanto no xilema quanto no floema, não fazendo parte de nenhum composto orgânico, sendo que mais de 75% de seu total se encontra na forma solúvel (Menguel e Kirkby, 1987). É importante na estabilização do pH celular entre 7 e 8, o ótimo para as reações enzimáticas: por exemplo, a redução do pH de 7,7 para 6,5 pode inibir completamente a redutase de nitrato (Marschner, 1988). Atua na regulação osmótica, na abertura e fechamento de estômatos (resistência à seca e atividade fotossintética). Ativa mais de 50 enzimas, algumas dessas importantes no metabolismo de carboidratos, na síntese de amido e na absorção iônica e na síntese protéica (Faquim, 1994). Os fitormônios envolvidos com o crescimento vegetal, a exemplo do AIA, apresentam efeito sinérgico com o K, que tem portanto importante papel no crescimento meristemático (Menguel e Kirkby, 1987)

O K atua como regulador da transferência de nutrientes no xilema. Quando o suprimento de K é baixo, a transferência de N, P, Ca, Mg, Na, Mn, Cu e Zn no xilema é restrita, com exceção do próprio K que mantém constante a proporção com é que transferido para o topo da planta (Turner, 1987, citado por Lahav, 1995). Considerado o elemento mais importante na

nutrição da bananeira, o K corresponde a 62% do total dos macronutrientes e 41% do total de nutrientes da planta (Borges e Oliveira, 2000).

Na ausência de K, Vargas e Solís (1998) observaram, em bananeiras, clorose seguida de necrose das folhas adultas. López e Espinosa (1995) citam como sintoma típico, coloração amarelo alaranjado das folhas velhas, seguida de enrolamento para dentro e morte rápida. Geralmente nessa condição de deficiência a planta cresce lentamente, com visível encurtamento dos entrenós, apresentando aspecto de “enrepolhamento” (López e Espinosa, 1995)

Insuficiente suprimento de K reduz a produção de matéria seca das bananeiras e a distribuição da matéria seca na planta. O cacho é o órgão mais drasticamente afetado, sendo que em baixo suprimento de K pode haver redução da matéria seca do cacho em 80% enquanto as raízes não são afetadas (Lahav, 1995). Isto sugere que vários órgãos competem pelo nutriente e que os mais próximos da fonte são mais bem sucedidos em obter seu suprimento.

Em condição de deficiência de K, o crescimento do fruto é restrito por duas vias: a translocação de carboidratos é restrita e mesmo quando o açúcar chega aos frutos, sua conversão em amido é restrita (Lahav, 1995). Além de atuar na translocação dos fotossintatos, atua no balanço hídrico, sendo fundamental na produção de frutos, aumentando a resistência destes ao transporte e melhorando a qualidade, pelo aumento dos teores de sólidos solúveis (Borges e Oliveira, 2000). Como aumenta a relação açúcar/acidez por aumentar o açúcar e por reduzir a acidez, o K tem efeito tanto na qualidade do fruto quanto no rendimento (Lahav, 1995).

Uma deficiência súbita de K pode ocorrer quando a liberação pelo solo não acompanhar a mudança sazonal da demanda, podendo a bananeira ter um cacho satisfatório e as folhas entrarem em colapso de repente, por este estar sendo mobilizado para prover a demanda dos frutos em crescimento (Lahav, 1995). Segundo Borges e Silva (2002) a aplicação de K via água de

irrigação é bastante viável em razão da alta solubilidade da maioria dos fertilizantes potássicos, além da sua mobilidade no solo (principalmente em solos arenosos), sendo recomendável seu parcelamento, diminuindo assim as perdas por lixiviação.

## Cálcio

O Ca considerado disponível para as plantas é aquele adsorvido pelos colóides do solo e presente na solução do solo (Faquim, 1994). Em solos ácidos e de climas úmidos os minerais primários podem ser intemperizados e o Ca ser em parte perdido por lixiviação. O que fica no solo encontra-se adsorvido aos colóides ou imobilizado na biomassa. Em solos com pH mais elevado, o Ca pode insolubilizar-se como carbonatos, fosfatos ou sulfatos (Raij, 1991). O Ca no solo ocorre na forma  $\text{Ca}^{2+}$ , onde em condições ideais é transportado basicamente por fluxo de massa (Malavolta, 1980). Segundo esse autor, quando em menor disponibilidade e com o cultivo de espécies muito exigentes, a disponibilidade pode depender da difusão. Pode ser fornecido de várias formas, mas como a maior parte dos solos deficientes em Ca é ácida, um bom programa de calagem pode adicionar Ca de modo eficiente. Quando o pH do solo for suficientemente elevado para não necessitar de calagem e ainda assim houver necessidade de reposição deste nutriente, pode-se fazer uso do gesso agrícola que tem reação neutra no solo e contém 16% de Ca (Malavolta, 1980).

É absorvido como  $\text{Ca}^{2+}$  e o alto conteúdo encontrado nas plantas se deve a sua alta concentração na solução do solo e não à eficiência de absorção das plantas. Geralmente sua concentração na solução do solo é bem maior (em média 10 vezes) que a concentração de  $\text{K}^+$ , apesar de ser absorvido em quantidades menores (Menguel e Kirkby, 1987). Esses autores atribuem isso ao fato do  $\text{Ca}^{2+}$  ser absorvido apenas pelas extremidades das radículas (partes novas), onde as paredes da endoderme ainda não foram suberizadas, via apoplasto. Sua absorção pode ser reduzida competitivamente por altas concentrações de outros cátions como  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{NH}_4^+$  no meio, que são absorvidos rapidamente pelas raízes (Menguel e Kirkby, 1987).

O Ca absorvido é transportado pelo xilema via corrente transpiratória e, portanto, fatores que reduzam a transpiração estarão reduzindo também a absorção e translocação de Ca (Faquim, 1994). A taxa de redistribuição do Ca é muito pequena devido a sua baixíssima concentração no floema e, ao contrário do K, a maior parte do Ca encontrado nas plantas está em formas insolúveis (Menguel e Kirkby, 1987). Estas formas insolúveis são representadas por pectato de Ca, que é a principal substância da lamela média da parede celular e sais de baixa solubilidade (Faquim, 1994). A superfície externa da plasmalema é outro local de acúmulo de Ca, devido ao seu papel na manutenção da estrutura e funcionamento das membranas celulares e daí um típico sintoma de deficiência deste nutriente ser a desintegração da parede celular e o colapso de pecíolos e das partes mais novas do caule (Menguel e Kirkby, 1987).

O Ca é requerido também na alongação e divisão celular, e isto se reflete drasticamente no crescimento radicular, que cessa em poucas horas quando há ausência de suprimento exógeno desse nutriente (Faquim, 1994). Um aspecto importante em função desta imobilidade que leva as raízes a necessitarem de Ca no próprio ambiente de absorção de água e nutrientes, para sua sobrevivência, é a impossibilidade das raízes penetrarem solos deficientes em Ca (Raj, 1991).

No citoplasma o Ca é encontrado em baixas concentrações, onde é importante como ativador de enzimas. Isto é fundamental, pois altas concentrações de Ca no citoplasma poderiam precipitar fosfato inorgânico, competir com o Mg, além de inibir a ação de várias enzimas (Marschner, 1988).

Segundo Lahav (1995), o Ca é totalmente imóvel na bananeira. Em condições de deficiência há engrossamento das nervuras secundárias de folhas novas, principalmente próximo à nervura principal. Cerca de 10 dias após se inicia uma clorose internerval, frequentemente próxima à ponta da folha e quando essas áreas necrosam, se expandem na direção da nervura principal tomando formato de dentes. Há ocorrência também de folhas deformadas ou com limbos incompletos, que normalmente ocorrem quando

há um surto rápido de crescimento. Segundo o mesmo autor, esse sintoma de limbo incompleto e engrossamento das nervuras secundárias são também sintoma de deficiência de B e S. Vargas e Solís (1998) observaram na ausência do Ca, áreas translúcidas, necróticas e deformadas na folha vela. Tem-se observado necrose de raízes de bananeira em solos leves deficientes em Ca, que podem ser confundidas com danos causados por nematóides (López e Espinosa, 1995). Normalmente o Ca é fornecido através da calagem, sendo o uso desse nutriente via água de irrigação limitado por favorecer a formação de precipitados (Borges e Silva, 2002).

## Magnésio

O Mg é pouco exigido pelas plantas, similar ao P e S, porém pode ocorrer deficiência principalmente em solos ácidos altamente intemperizados, solos arenosos, solos ácidos cultivados com aplicação de altas doses de calcário pobre em Mg, cultivo com adubações pesadas de K ou  $\text{NH}_4$ , ou ainda no cultivo de espécies mais exigentes neste nutriente (Vale et al, 1993). Ocorre no solo na forma  $\text{Mg}^{2+}$  e geralmente seu fornecimento está associado à prática da calagem (Vale et al, 1993).

O Ca trocável é mais retido ao solo que o Mg trocável, por ser um íon hidratado de menor diâmetro, dessa maneira, em solos bem drenados que não receberam calagem, os teores de Mg normalmente são bem inferiores aos de Ca (Raij, 1991). Esta menor energia de retenção do Mg pelo complexo de troca, resulta em sua maior disponibilidade e também a ser mais sujeito a perdas por lixiviação (Malavolta, 1980). Portanto, o uso de gesso em quantidades elevadas em solos com baixa CTC, assim como excesso de água percolada, pode promover uma acentuada perda do Mg que, ao contrário do Ca que é importante em profundidade para promover o enraizamento, a lixiviação do Mg é indesejável (Vale et al, 1993).

O transporte do Mg por fluxo de massa quase sempre é suficiente para suprir a exigência das plantas, mas ocorre também a interceptação radicular (Vale et al, 1993). Na solução do solo o  $\text{Mg}^{2+}$  normalmente é

observado em quantidade superior a de  $K^+$ , porém é absorvido em menor quantidade (Menguel e Kirkby, 1987). A absorção se dá também na forma  $Mg^{2+}$  e o mecanismo de transporte no plasmalema é por gradiente eletroquímico, portanto a absorção e o transporte podem ser restringidos competitivamente por um excesso de outros cátions, principalmente  $K^+$ ,  $Ca^{+2}$  e  $NH_4^+$  (Menguel e Kirkby, 1987). O mesmo autor diz que baixo pH também reduz a absorção de Mg, não apenas pela baixa disponibilidade do elemento em condições ácidas, mas por um efeito direto do pH. O nitrato tem uma influência benéfica na absorção de Mg.

O transporte do  $Mg^{2+}$  das raízes para a parte aérea ocorre pelo xilema via corrente transpiratória, basicamente na forma como foi absorvido e, ao contrário do Ca e de modo semelhante ao que ocorre com o K, o Mg é muito móvel no floema (Faquim, 1994). Os frutos e tecidos de reserva, que são altamente dependentes do floema para seu suprimento mineral, são assim muito mais ricos em K e Mg que em Ca (Menguel e Kirkby, 1987). Esse elemento é mais sujeito a remoção nas colheitas sucessivas de grãos e frutos (Vale et al, 1993).

Dentre as funções do Mg destaca-se como componente da molécula de clorofila, correspondendo a 2,7% de seu peso molecular, podendo representar nesta forma 10 a 20% do total de Mg das folhas (Menguel e Kirkby, 1987). Portanto a clorose de folhas completamente expandidas é o sintoma mais visível de deficiência de Mg (Marschner, 1988). É o elemento que mais atua na ativação enzimática, participando de uma série de processos vitais da planta, que requerem e fornecem energia, como a fotossíntese, respiração, síntese de macromoléculas – carboidratos, lipídeos, proteínas – e absorção iônica (Faquim, 1994). A síntese de RNA é imediatamente interrompida quando há deficiência de Mg, interrompendo portanto a síntese protéica, porém este processo é reiniciado rapidamente depois do fornecimento do nutriente (Marschner, 1988). Segundo Malavolta (1980), o Mg favorece a absorção de P pela plantas, por participar das reações de fosforilação que promovem o aumento da eficiência da absorção de P pelas raízes.

Segundo Lahav (1995) o Mg é considerado de redistribuição moderada na bananeira. Vargas e Solís (1998) observaram redução progressiva da coloração de folhas adultas de plantas com deficiência de Mg. O que caracteriza essa clorose é que ocorre na zona central dos semilimbos das folhas mais velhas, com pontos escuros (mosqueado) que futuramente se necrosam, enquanto os pecíolos adquirem tonalidade azul púrpura (azul da bananeira) (López e Espinosa, 1995). Ao final, segundo o mesmo autor, a folha se torna amarelo dourado intenso.

Segundo Lahav (1995) a relação entre o suprimento de Mg e o crescimento e expressão de sintomas parece ser complexa, mas a restrição no rendimento causada pelo baixo suprimento de Mg é proporcional na redução do crescimento em outras partes da planta, ao contrário do K, que reduz o tamanho do cacho mais que outras partes da planta. A bananeira apresenta alteração na organização das folhas no pseudocaule, assumindo formato de roseta (López e Espinosa, 1995). Esse autor cita também, como sintoma de deficiência severa de Mg em bananeiras, o descolamento das bainhas do pseudocaule, provocando a senescência antecipada da folha.

Segundo Borges e Oliveira (2000) o Mg deve existir em quantidade suficiente no solo, quando da aplicação de doses elevadas de K, de forma a impedir o aparecimento do “azul da bananeira”. Pode ser suprido via água de irrigação por existirem fontes altamente solúveis (Borges e Silva, 2002).

## **Enxofre**

As plantas extraem S em quantidades similares às de P e Mg, porém este elemento exige muito menos cuidado que o P por apresentar menor tendência de reagir com componentes do solo (Vale et al, 1993). No solo a maior parte do S encontra-se na forma orgânica, combinado com C e N como nas plantas, nas quais participa das proteínas. A fração mineral do enxofre no solo é, em geral, reduzida, representando menos de 5% do total, como sulfatos em condições aeróbicas e como sulfetos em condições anaeróbicas (Raij, 1991). Em vários aspectos se assemelha ao N,

principalmente por apresentar-se no solo quase que totalmente em formas orgânicas e por sofrer várias transformações em reações mediadas por microrganismos (Vale et al, 1993). Segundo esse autor, assim como o N, uma vez mineralizada a matéria orgânica e tendo se transformado em formas inorgânicas, o S fica muito sujeito a perdas, nesse caso por lixiviação.

Em geral, 90% do S da camada arável do solo encontra-se em formas orgânicas e a mineralização é o processo natural de maior importância para sua disponibilidade às plantas. Aproximadamente, para cada 1% de matéria orgânica no solo a sua capacidade natural de suprimento varia de 1 a 4 kg de S por ha por cultivo (Vale et al, 1993).

Na solução do solo o S ocorre na forma de  $\text{SO}_4^{-2}$ , que é também a forma absorvida pelas raízes das plantas e bastante solúvel, porém pequenas quantidades de S orgânico podem ser absorvidas na forma de carboidratos (Vale et al, 1993). O sulfato contido no solo está em equilíbrio com o S orgânico, uma vez que é produzido apenas quando o teor de S da matéria orgânica excede a necessidade dos microrganismos do solo: quando a relação C/S for maior que 200, o sulfato geralmente se acumula e quando for maior que 400, o  $\text{SO}_4^{-2}$  produzido e mais o existente no solo são imobilizados (Malavolta, 1980).

Quando o  $\text{SO}_4^{-2}$  forma pares iônicos com  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ , lixivia com bastante facilidade, sendo sua perda maior com o predomínio de  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$  na solução, quando comparados com  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  (Vale et al, 1993). Quando o sulfato é combinado com Fe e Al, se torna pouco solúvel (Malavolta, 1980), portanto, o cultivo do solo com redução do teor de matéria orgânica, execução de programas de calagem e adubação potássica, tendem a reduzir a disponibilidade de S (Vale et al, 1993).

O sulfato é transportado das raízes para a parte aérea via xilema e o movimento do S no sentido contrário é muito pequeno, ou seja, o elemento é pouco redistribuído na planta (Faquim, 1994). Para que ocorra a assimilação do S absorvido, este deve ser reduzido e o primeiro composto estável na redução assimilatória do  $\text{SO}_4^{-2}$  é a cisteína (Marschner, 1988).

Segundo esse autor a cisteína e a metionina são os mais importantes aminoácidos que contêm S e portanto o elemento está presente em todas as proteínas. Outro papel fundamental do S é a participação direta no grupo sulfidrilo (SH-) como o grupo ativo das enzimas na ligação com o substrato. Atua também como componente estrutural das membranas celulares (Faquim, 1994). Devido a sua participação num grupo tão grande de compostos e reações, sua deficiência causa uma série de distúrbios metabólicos como redução na síntese de proteínas e açúcares, acúmulo de N-orgânico e  $N-NO_3^-$  e, com isto, uma redução no crescimento da planta (Faquim, 1994). Este acúmulo do N é resposta à redução da síntese protéica (Marschner, 1988).

Nas bananeiras a absorção de S é mais rápida nos estágios iniciais, reduzindo posteriormente, sendo que o S necessário para o crescimento dos frutos vem das folhas e pseudocaule (Lahav, 1995). Os sintomas de deficiência de S aparecem primeiro nas folhas novas, entretanto, pode haver interferência do suprimento de N, sendo que em plantas bem supridas desse elemento os sintomas de deficiência de S ocorrem principalmente na folhas velhas e, em plantas deficientes em N, os sintomas de deficiência de S ocorrem principalmente em folhas novas (Marschner, 1988). O efeito do S na utilização do N é favorecer a redistribuição do N (Lahav, 1995).

A interrupção do fornecimento de S reduz em poucos dias a condutividade hidráulica das raízes, abertura estomática e fotossíntese, há redução da área foliar como resultado da redução do tamanho e principalmente do número de células das folhas (Marschner, 1988). Na bananeira interfere principalmente nos órgãos jovens, onde a sua ausência se expressa por alterações metabólicas que dificultam a formação da clorofila, terminando por interromper as atividades vegetativas (Borges e Oliveira, 2000). As folhas novas apresentam tonalidade amarelo claro, progredindo para manchas necróticas na margem das folhas, e engrossamento das nervuras, similar ao que ocorre na deficiência de B e Ca (Lahav, 1995). Algumas vezes a morfologia da folha da bananeira é alterada e aparecem folhas sem lâmina (López e Espinosa, 1995). O crescimento da planta é retardado e o cacho é muito pequeno e engasgado (Lahav, 1995).

Assim como o N, o S apresenta alta mobilidade no solo, existindo fontes solúveis para sua aplicação via fertirrigação (Borges e Silva, 2002). Em geral o suprimento de S é feito via fertilizantes carreadores de nutrientes primários e também portadores de S (sulfato de amônio, superfosfato simples etc.), ou fórmulas fabricadas com esses fertilizantes simples ou enriquecidas com S elementar ou gesso agrícola.

## Boro

Na solução do solo a forma mais provável de ocorrência do B é a do ácido bórico ( $H_3BO_3$ ), sendo o mais móvel dos micronutrientes (exceto cloro), podendo ser lixiviado principalmente em solos de textura leve (Raij, 1991). Em regiões úmidas, somente pequena quantidade de B disponível não sofre lixiviação (Coelho e Verlengia, 1973).

A disponibilidade de B é mais afetada pelo pH, textura do solo e pelo teor de cálcio (Raij, 1991), sendo que as deficiências ocorrem geralmente em solos arenosos, com pouca argila e baixo teor de matéria orgânica, sujeitos a forte lixiviação (Mello et al., 1989). É mais solúvel em pH ácido, sendo que a calagem induz a fixação por argilas e outros minerais, diminuindo o teor disponível (Coelho e Verlengia, 1973), protegendo-o de perdas por lixiviação (Osaki, 1991). Solos argilosos adsorvem o B e podem assim dificultar a absorção pelas plantas (Raij, 1991). A matéria orgânica constitui a fonte imediata de boro para as plantas, liberando o elemento no processo de sua mineralização (Malavolta, 1980).

Segundo Malavolta (1980), o boro mostra transporte unidirecional no xilema, na corrente transpiratória, e grande imobilidade no floema. A imobilidade do elemento leva ao aparecimento dos primeiros sintomas nas partes mais novas da planta, sendo que o sintoma geral é a morte do broto terminal do ramo principal e, na sequência, dos brotos laterais (Coelho e Verlengia, 1973), as folhas mais novas se mostram menores, amareladas e muitas vezes com formas bizarras (Epstein, 1975). Na carência de boro o florescimento é inibido e quando a deficiência é severa, totalmente

impedido (Coelho e Verlengia, 1973). Segundo esses autores, as plantas herbáceas parecem ressecadas e com consistência dura de madeira, as paredes celulares são delgadas e quebradiças e podem entrar em colapso como resultado da pressão exercida pelas células adjacentes. Os sintomas externos só aparecem quando a deficiência é severa.

Não foram isoladas enzimas ou outros compostos orgânicos essenciais que possuam boro (assim como o cloro e potássio), entretanto, desempenha um papel regulador no metabolismo dos carboidratos (Epstein, 1975) e facilita seu transporte das folhas para outros órgãos (Malavolta, 1979). O B é essencial para a formação da parede celular, para divisão e aumento no tamanho das células, para o funcionamento da membrana citoplasmática (Malavolta, 1980), está envolvido no metabolismo de ácido nucléico, fotossíntese, metabolismo de proteína e estabilidade de membranas (Menguel e Kirkby, 1987). Com isso, favorece o crescimento das partes mais novas e, na sua ausência, há morte das células meristemáticas (Osaki, 1991), sendo importante também para a formação e funcionamento das raízes (Malavolta, 1981).

Os sintomas de deficiência de B em bananeiras incluem redução da área foliar, lâmina foliar enrolada e deformada e, mais caracteristicamente, estrias perpendiculares às nervuras na face inferior da lâmina (Lahav, 1995). Segundo esse autor, engrossamento das nervuras secundárias e inibição da formação de raízes e flores têm sido observados, além de folhas novas com lâmina incompleta. A deficiência severa de B pode induzir forte deformação nos cachos, porém condição de deficiência leve pode afetar a qualidade (López e Espinosa, 1995). Segundo esses autores, a falta de B provoca um pobre desenvolvimento do sistema radicular, que apresenta poucos pelos absorventes, terminando com severas necroses.

Segundo Lahav (1995) a taxa de absorção de boro pelas bananeiras é constante durante todo o ciclo, do broto à colheita. Pela característica de imobilidade do boro no floema, há necessidade de constante suprimento (Coelho e Verlengia, 1973), através de pulverizações foliares diretamente

nos órgãos que dele necessitam ou o suprimento via solo, continuamente, durante todo o ciclo (Dordas et al., 2001). As aplicações via solo são efetivas por mais tempo (Coelho e Verlengia, 1973). Segundo Malavolta et al. (1997), o fluxo de massa é responsável pela quase totalidade do contato entre o boro e as raízes das plantas e por esta mobilidade no solo, o autor sugere a colocação do adubo distante das raízes e parcelado.

A faixa de variação entre deficiência e excesso é um tanto estreita, daí a necessidade de distribuir o elemento de modo uniforme no solo para evitar dano às plantas (Malavolta, 1981). Segundo Lahav (1995), palidez marginal e necrose são alguns dos sintomas de excesso de boro em bananeiras.

## Cloro

Na natureza o Cl é amplamente distribuído, sendo um dos íons mais móveis e, portanto, passível de ser perdido por lixiviação (Menguel e Kirkby, 1987). Esta alta mobilidade se dá porque o Cl é negativamente carregado e, assim como o nitrato, não é adsorvido pelas cargas do solo, tendendo a predominar na solução do solo (Vale et al, 1993).

Na literatura não são encontrados relatos de deficiência de cloro em plantas cultivadas em condições de campo (Faquim, 1994). Como pode ser suprido às plantas de diversas formas (reservas do solo, água de irrigação, chuva, fertilizantes e poluição do ar), é mais comum ocorrer toxicidade (Marschner, 1988). Até mesmo em condições de laboratório é difícil induzir sua deficiência, em função da contaminação atmosférica (Menguel e Kirkby, 1987).

A concentração de Cl na solução do solo pode ser elevada excessivamente com adubações pesadas com KCl e em áreas irrigadas. A presença de grande quantidade de Cl na água de irrigação, o uso de quantidade insuficiente de água que possibilite lavar o Cl da camada superficial, e lençol freático elevado, são alguns dos fatores que causam excesso de Cl para as plantas (Vale et al, 1993).

O Cl atua na quebra fotoquímica da água no fotossistema II, como cofator, junto ao Mn. Evidências têm mostrado que a ATPase localizada na membrana do tonoplasto é estimulada especificamente por este nutriente (Maschner, 1988). Em algumas espécies o Cl pode afetar indiretamente a fotossíntese, atuando na abertura estomática através das células guarda (Menguel e Kirkby, 1987). Salisbury e Ross (1992) citam como funções do Cl, além da oxidação (quebra) da água na fotossíntese, a divisão celular em folhas e ser um importante soluto osmoticamente ativo.

A redistribuição do Cl na planta depende da espécie, sendo que algumas manifestam sintomas de deficiência nas folhas mais velhas e outras nas folhas mais novas (Faquim, 1994). Os principais sintomas de deficiência de Cl são o murchamento e a redução da área foliar (Marschner, 1988). Este murchamento, principalmente das margens do limbo, é uma característica típica de que a transpiração foi afetada (Menguel e Kirkby, 1987). Segundo Faquim (1994) há também redução do crescimento radicular.

O problema mais sério, entretanto, é a ocorrência de toxicidade que pode levar as plantas a apresentarem queimadura das pontas e margens das folhas, bronzeamento, clorose prematura e abscisão foliar (Menguel e Kirkby, 1987). Efeito competitivo na absorção de  $\text{Cl}^-$  e  $\text{NO}_3^-$  e de  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  são citados na literatura afetando as colheitas (Menguel e Kirkby, 1987). Segundo Lahav (1995), em algumas partes de Israel as bananeiras são irrigadas com água contendo 500 a 600 ppm de cloro, mas existem suspeitas de toxicidade, com redução do crescimento dos brotos e não enchimento dos frutos.

## Cobre

No solo o Cu reage facilmente com componentes minerais e orgânicos, tornando-se pouco móvel (Raij, 1991). A disponibilidade do Cu quelatizado depende não somente da concentração na solução do solo, mas também da forma de complexo que ocorre: complexos orgânicos com peso molecular menor que 1000 apresentam maior disponibilidade para as plantas que

complexos com peso molecular acima de 5000 (Menguel e Kirkby, 1987). Mais de 98% do Cu da solução do solo está complexado com compostos orgânicos de baixo peso molecular como aminoácidos, compostos fenólicos e outros componentes quelantes, que apresentam um importante papel na regulação da mobilidade e disponibilidade do elemento no solo (Faquim, 1994).

A solubilidade deste micronutriente diminui 100 vezes a cada aumento de uma unidade de pH, devido a forte adsorção (Menguel e Kirkby, 1987). Segundo Lahav (1995) a bananeira requer pouco Cu, sendo o total absorvido equivalente a 1% do Mn. A absorção de Cu é fortemente inibida pela absorção de zinco e vice-versa (Menguel e Kirkby, 1987), assim como alta disponibilidade de N também pode acentuar a deficiência de Cu (Marschner, 1988).

A forma iônica predominante na solução do solo é  $\text{Cu}^{2+}$ , a mesma absorvida pela planta (Vale et al., 1993), havendo controvérsias sobre sua absorção na forma de quelado (Faquim, 1994). Segundo esse autor, no xilema é transportado na forma de quelado com aminoácidos, apresentando baixa mobilidade no floema, com redistribuição dependente do nível do elemento nos tecidos, não se dando em condições de deficiência (Faquim, 1994). Já segundo Lahav (1995), em bananeiras o Cu é ativamente absorvido e prontamente redistribuído na planta.

As espécies de plantas diferem quanto à sensibilidade a deficiência de Cu e os sintomas mais comuns são: crescimento retardado, distorção das folhas novas, necrose do meristema apical, clareamento das folhas novas (Marschner, 1988), folhas novas apresentam coloração inicialmente verde escura e com aspecto flácido, com tamanho desproporcionalmente grande (Faquim, 1994). Em bananeiras os sintomas de deficiência aparecem em todas as folhas e são similares aos de N em que há palidez generalizada da lâmina (Lahav, 1995). Segundo esse autor, os pecíolos não ficam rosados (como na deficiência de N) e a nervura principal se curva, deixando a planta com aparência de guarda-chuva fechado. As plantas deficientes são mais sensíveis ao ataque de fungos e vírus.

Pode ocorrer excesso de Cu por uso constante de fungicidas cúpricos, atividades urbanas e industriais (poluição do ar, esgoto), uso de esterco rico em Cu. A toxicidade de Cu pode induzir deficiência de Fe, dependendo da disponibilidade deste. Em bananeiras o excesso de Cu pode provocar deformações nas raízes, entretanto essas não resultam em comprometimento da produção (López e Espinosa, 1995).

## Ferro

O íon requerido no metabolismo das plantas é o  $\text{Fe}^{+2}$  e é nesta forma que é absorvido. Ao que parece a eficiência de absorção está relacionada com a capacidade das raízes em efetuar a redução do ferro férrico ( $\text{Fe}^{+3}$ ) em ferro ferroso ( $\text{Fe}^{+2}$ ) na rizosfera (Faquim, 1994). Os teores de Fe solúvel na solução do solo são extremamente baixos, quando comparados com o conteúdo total (Menguel e Kirkby, 1987), atingindo um mínimo em pH mais elevado (Raij, 1991). Em condições de anaerobiose há redução do  $\text{Fe}^{+3}$  (de baixa solubilidade) em  $\text{Fe}^{+2}$ , resultando em aumento da solubilidade que pode chegar até mesmo a provocar fitotoxicidade (Vale et al., 1993).

A atividade do  $\text{Fe}^{+3}$  na solução do solo é reduzida em 1000 vezes a cada unidade de pH aumentada, pela formação de hidróxidos de Fe que são insolúveis, sendo que a solubilidade é mínima em pH entre 7,4 e 8,5 (Menguel e Kirkby, 1987). A deficiência de Fe é uma das grandes causas do pouco crescimento das plantas em solos alcalinos (Vale et al., 1993). Tem sido observado efeito competitivo na absorção de Fe com outros elementos como Mn, Cu, Ca, Mg, K e Zn. Os metais pesados como Cu e Zn podem deslocar o Fe das formas quelatizadas, limitando sua absorção e utilização (Menguel e Kirkby, 1987).

O transporte do Fe se dá pelo xilema, via corrente transpiratória, predominantemente na forma de quelados de ácido cítrico, sendo pouco distribuído na planta. Pode-se encontrar teores altos de Fe em folhas com sintomas de deficiência, sugerindo que parte do nutriente esteja em forma inativa como  $\text{Fe}^{+3}$  ou precipitado pelo fósforo (Faquim, 1994). Os tecidos

novos são, portanto, dependentes de um contínuo suprimento via xilema ou de aplicação foliar (Menguel e Kirkby, 1987).

Segundo Lahav (1995) o sintoma mais comum de deficiência de Fe em bananeiras se dá em folhas novas, ocorrendo clorose (amarelo esbranquiçado) quando o teor cai a menos de 3,4 ppm. Essa clorose é mais aguda e mais evidente sob condições de seca. As folhas chegam a ser lanceoladas e em forma de “roseta” (López e Espinosa, 1995). Segundo esses autores, as plantas cloróticas por deficiência de Fe florescem precocemente e produzem cachos pequenos e, em casos severos, não produzem.

Uma queimadura necrótica e escura, marginal em folhas velhas, tem sido associada à concentração de ferro superior a 800 ppm, em bananeiras cultivadas nas Ilhas Canárias (Lahav, 1995). Este sintoma ocorre principalmente em solos pesados e em épocas chuvosas, devido à redução do  $\text{Fe}^{3+}$  a  $\text{Fe}^{2+}$  (ferroso), que é a forma mais solúvel e disponível para as plantas (Lahav, 1995). Segundo esses autores, em áreas de com solos ácidos e pouco férteis, é possível observar também sintomas de toxicidade de Fe devido aos altos níveis desse no solo.

## Manganês

Assim como o Fe, a concentração de  $\text{Mn}^{2+}$  na solução do solo depende de reações de oxidação-redução, de forma que a sua disponibilidade depende do teor de matéria orgânica, da atividade microbiana e da umidade do solo (Vale et al., 1993). A forma mais solúvel é o  $\text{Mn}^{2+}$ , que é o íon trocável existente na solução do solo (Raij, 1991).

Em solos com alto teor de matéria orgânica a maior parte do Mn ocorre em formas orgânicas. Assim como acontece com o Cu, a solubilidade deste micronutriente diminui 100 vezes a cada aumento de uma unidade de pH (Vale et al., 1993). A anaerobiose do solo eleva o  $\text{Mn}^{2+}$  solúvel, assim como acidez de solo, podendo levar a toxicidade (Menguel e Kirkby, 1987).

Assim como a absorção, o transporte deste elemento no xilema, via corrente transpiratória, se dá na forma  $Mn^{2+}$ , provavelmente pela baixa estabilidade dos quelados, sendo pouco redistribuído na planta (Faquim, 1994). Sua absorção e translocação são particularmente reduzidas pelo Mg e, por outro lado, reduz a absorção de Fe (Menguel e Kirkby, 1987).

Os cloroplastos são as organelas mais sensíveis à deficiência de Mn (Menguel e Kirkby, 1987), por alterações estruturais irreversíveis nos tilacóides, causados por inibição à biossíntese de lipídeos e carotenóides (Marschner, 1988). Como é pouco móvel na planta, os sintomas de deficiência se manifestam nas folhas mais novas que inicialmente mostram um amarelecimento internerval, que se diferencia da deficiência de Fe por formar um reticulado grosso. Essa clorose pode ser seguida ou associada a lesões necróticas (Salisbury e Ross, 1992).

Muito mais frequente que a deficiência é a toxicidade de Mn, que pode ser corrigida por calagem. Frequentemente aparece como deficiência induzida de Ca, Mg e especialmente Fe, para só posteriormente se mostrar como toxicidade. Os sintomas de toxicidade de Mn manifestam-se primeiramente nas folhas mais novas, através de pontuações de cor marrom ao longo das nervuras e entre estas, que se tornam necróticas, cercadas por zonas cloróticas (Faquim, 1994).

Segundo Lahav (1995), uma característica típica da deficiência de Mn em bananeiras são as manchas cloróticas em formato de dentes e a presença do fungo *Deightonella torulosa* em áreas também cloróticas. Cachos de tamanho normal podem ser inicialmente produzidos em plantas deficientes, sendo o fruto coberto por pintas pretas (Lahav, 1995), porém a perda prematura da folha leva a um pobre desenvolvimento dos frutos, devido ao insuficiente acúmulo de fotossintatos (López e Espinosa, 1995).

Turner e Barkus (1983), citados por Lahav (1995) observaram em bananeira, que Mn numa concentração 10 vezes superior à concentração padrão reduziu a absorção de Ca, Mg e Zn em 28, 39 e 23%, respectivamente, e aumentou sete vezes a absorção de Mn. Segundo López

e Espinosa (1995), concentrações foliares de até 600 mg kg<sup>-1</sup> não causaram efeitos negativos em bananeiras. Toxicidade de Mn observada no campo é mais comumente relacionada aos efeitos indiretos de baixo Ca, Mg e Zn disponíveis em solo ácido, que à alta concentração de Mn. A tolerância da bananeira às altas concentrações de Mn na solução do solo é alta (Lahav, 1995).

## Molibdênio

O Mo é o micronutriente menos abundante no solo, onde ocorre na forma de molibdato ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ) e sais de sulfeto ( $\text{MnS}_2$ ) (Raij, 1991). Ao contrário dos micronutrientes catiônicos, a atividade de Mo em solução aumenta com o aumento do pH, com intensidade a depender do tipo de solo, podendo ser de 10 a 100 vezes para cada unidade de pH elevada (Vale et al., 1993). De todos os nutrientes aniônicos o molibdato é o segundo, depois do fosfato, em energia de adsorção e essa geralmente é reduzida com a elevação do pH, sendo máxima em pH 4 (Menguel e Kirkby, 1987). Em solos que possuem matéria orgânica rica em Mo, pode haver disponibilidade desse na mineralização, mesmo em pH ácido (Menguel e Kirkby, 1987).

A translocação do Mo provavelmente se dá mais na forma de  $\text{MoO}_4^-$  do que nas formas complexadas (Marschner, 1988). Porém, como as plantas requerem apenas traços de Mo, não se conhece bem a forma como é absorvido e transportado até as células das plantas (Salisbury e Ross, 1992). É moderadamente móvel nas plantas (Menguel e Kirkby, 1987).

Assim como o conteúdo de Mo na solução do solo é extremamente baixo, também o é, o teor foliar. Entretanto, ao contrário dos outros micronutrientes, as plantas normalmente podem absorver quantidades bem superiores às necessárias, sem que isto cause fitotoxicidade (Menguel e Kirkby, 1987).

A mais conhecida função do Mo nas plantas é como componente de duas enzimas essenciais ao metabolismo do N: a redutase do nitrato e a nitrogenase (Salisbury e Ross, 1992), sendo possivelmente importante para

a sulfito redutase (Marschner, 1988). A redutase do nitrato é responsável pela redução do nitrato em nitrito na redução assimilatória do N e a nitrogenase é responsável pela fixação do  $N_2$  por microorganismos (Salisbury e Ross, 1992). O Mo é essencial também na respiração (Menguel e Kirkby, 1987) e para enzimas responsáveis pela formação de guanina e do hormônio ABA (Salisbury e Ross, 1992). Os sintomas de deficiência se assemelham aos da deficiência de N, sendo que as folhas velhas se apresentam cloróticas primeiro, entretanto há rápida necrose das margens foliares por acúmulo de nitrato (Menguel e Kirkby, 1987).

Sintomas de deficiência de Mo são desconhecidos em bananeira, mas a aplicação de 4 ppm desse elemento aumentou o crescimento vegetativo e de raízes, assim como a matéria fresca e peso seco de folhas de plantas em cultura de tecidos (Lahav, 1995; López e Espinosa, 1995).

## Zinco

Nos solos brasileiros a carência de Zn é tão comum quanto à de boro e vários são os fatores que podem causar esta deficiência, relacionados ao solo, à prática da adubação, climáticos e ligados à planta (Malavolta, 1981). Segundo Lahav (1995) a deficiência de Zn é a mais comum entre os micronutrientes, para bananeira, sendo muitas vezes confundida com virose.

Certos solos são naturalmente pobres em Zn total e disponível, como os solos orgânicos e de cerrados, o que pode ser agravado pela erosão que retira a camada superficial onde se acumula, pela decomposição da matéria orgânica, o zinco extraído pelas plantas (Malavolta, 1981). Solos arenosos, com baixa CTC e sujeitos a chuvas pesadas, podem apresentar deficiência de Zn (Lopes, 1986). Em virtude da semelhança em carga elétrica e raio iônico entre Zn e Mg, argilas contendo este cátion podem reagir com zinco, resultando em fixação (Mello et al., 1989). A deficiência de Zn está mais associada ao pH do que ao teor de zinco total no solo.

Quando o pH do solo é naturalmente alto ou há sua elevação pela calagem, pode haver redução na disponibilidade do Zn, provavelmente por insolubilização (Malavolta, 1981). Segundo esse autor, a elevação do pH em uma unidade promove a redução da concentração de Zn na solução do solo em 100 vezes. Alguns solos, principalmente arenosos, quando recebem calagem que eleve o pH acima de 6,0 podem desenvolver sérias deficiências de Zn (Lopes, 1986; Raij, 1991). Segundo Lahav (1995) foi observada associação negativa entre o rendimento de bananais e o pH do solo, na Austrália, onde a produção caiu de 60 t ha<sup>-1</sup> para 30 t ha<sup>-1</sup> quando o pH passou de 4,5 para 8,7.

O P reduz a absorção de Zn por: inibição da absorção; redução da quantidade de Zn que da raiz vai para a parte aérea; dependendo do pH e da concentração de H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> no meio, poderá haver precipitação do Zn pelo P na superfície das raízes; por diluição no tecido resultante do aumento da matéria seca (Malavolta, 1981). Segundo esse autor, o excesso de Fe e Mn também pode induzir deficiência de Zn por redução na absorção ou no transporte para a parte aérea e o mesmo acontece com o Cu. O B parece favorecer a absorção radicular de Zn e inibir a absorção foliar (Malavolta, 1980).

Absorvido na forma de íon zinco, é também nessa forma que é transportado no xilema, já que os quelados que forma com ácidos orgânicos são pouco estáveis (Malavolta, 1980). Menguel e Kirkby (1987) consideram que a mobilidade do Zn nas plantas não é alta, uma vez que seu teor nos tecidos jovens é particularmente reduzido em condições de deficiência. Dordas et al. (2001) atribuem à pesquisa limitada a não conclusão sobre a remobilização do Zn, mas sabe-se que sob condições de suprimento normal, apenas uma pequena parte pode ser retranslocada no floema. Segundo esses autores, provavelmente devido à capacidade de ligação dos tecidos da folha com Zn.

Para Menguel e Kirkby (1987), como em condições de deficiência de Zn há redução acentuada da síntese de proteína (portanto reduzindo na

multiplicação celular) e na síntese do ácido indolacético (AIA - uma auxina que, como tal, contribui para aumentar o volume celular), as plantas deficientes têm células menores e em menor número, o que resulta em redução no comprimento dos internódios.

Segundo Lahav (1995), em bananeira o Zn é moderadamente redistribuído das folhas velhas para as folhas novas e os sintomas aparecem nas folhas novas, que se tornam menores e lanceoladas. A folha aberta tem estrias alternadas cloróticas e verdes, o fruto às vezes é retorcido, pequeno e magro, com coloração verde clara. O mesmo autor diz que sintomas de deficiência de Zn podem aparecer sem qualquer redução aparente de crescimento e produção mas se persistir, as plantas do próximo ciclo são atrasadas. Já para López e Espinosa (1995), a deficiência de Zn causa atraso no crescimento e desenvolvimento da planta, além de poder alterar o alinhamento das folhas, que surgem em um mesmo plano, dando à planta aparência de "roseta". Os sintomas de deficiência de Zn podem ser facilmente confundidos com os sintomas causados por infecção viral e de toxicidade de alguns herbicidas (López e Espinosa, 1995).

Segundo Borges e Oliveira (2000) o boro (B) e o zinco (Zn) são os micronutrientes que mais frequentemente se encontram deficientes nas bananeiras. Para a aplicação desses micronutrientes via água de irrigação deve-se considerar a solubilidade e a compatibilidade, sendo normalmente fornecidos na forma de quelados, porém pode haver incompatibilidade com fosfato de amônio e nitrato de cálcio (Borges e Silva, 2002).

Um resumo de alguns sintomas de deficiências e excessos minerais em bananeira, citados por Lahav (1995), estão apresentados, respectivamente, nas Tabelas 4 e 5.

**Tabela 4.** Sintomas de deficiências minerais em bananeira (Lahav, 1995).

Idade da folha	Sintomas nas lâminas	Sintomas adicionais	Elemento
Todas as idades	Verde claro uniforme	Pecíolos rosa Nervura central curvando (inclinando)	N Cu
Somente folhas novas	Folhas amarelas para quase brancas Folhas, incluindo nervuras, passando de verde claro para amarelo Raias sobre (de uma a outra) as nervuras Clorose marginal	Engrossamento das nervuras secundárias Folhas deformadas (lâmina incompleta) Engrossamento das nervuras; necroses da margem para dentro	Fe S B Ca
Somente folhas velhas	Clorose marginal em forma de dente Descoloração amarela da nervura principal; nervura principal e margens permanecem verdes Lâmina verde-amarelo sujo Clorose amarelo-laranja e chamuscado marrom ao longo das margens	Quebra de pecíolo; folhas novas com coloração verde escuro arroxeado Clorose não limitada, pseudocaule claro e desintegrando Folha dobrando e rápido secamento	P Mg Mn K

**Tabela 5.** Sintomas de excessos minerais em bananeira (Lahav, 1995).

Sintomas em	Descrição dos sintomas	Elemento
Pecíolo	Azul	Mg
Folha	Clorose irregular seguida por necrose Clorose marginal seguida por necrose Escurecimento marginal seguido por necrose	Mg Na, B Fe, Mn
Frutos	Estrias cloróticas Fruto não enche Fruto não enche	Cl
Raízes	Cacho fraco, com pencas espaçadas Crescimento inibido	N Cu

## Fornecimento de Nutrientes

### Sistema radicular da bananeira

Segundo Moreira (1999), as raízes das bananeiras mostram grande tropismo para as zonas mais férteis, principalmente quando são usados adubos orgânicos. Segundo esse autor, a maior porcentagem das raízes se encontra nos primeiros 30 cm de solo, e as localizadas em maiores profundidades geralmente são mais grossas e têm as funções de suprir a planta em água, nutrientes e ajudar sua fixação. Em plantas amostradas no início da floração, Soto (2000) observou que 65% da massa das raízes se encontrava nos 30 cm próximos da base da planta, 21 a 22% se localizavam de 30 a 60 cm e somente 13 a 14% de 60 a 90 cm (Soto, 2000). O autor deduz que a zona de exploração da bananeira está num raio de 90 cm, o que deve ser observado na fertilização.

Lacerda Filho et al. (2004), avaliando a bananeira Pacovan cultivada sob irrigação por aspersão em Neossolo Flúvico, concluiu que a maior e a menor concentração das raízes, com relação à massa fresca e à densidade de comprimento, foi de 40,9% e 36,7% e de 4,6% e 10,0%, respectivamente, nas profundidades de 0-0,15 m e 0,45-0,60 m. A massa fresca e a densidade de comprimento avaliados entre 30 e 90 cm de distância do pseudocaulo não variou.

Borges et al. (2008) observaram em Latossolo Amarelo distrófico argissólico, que a distribuição do sistema radicular da bananeira 'Prata-Anã', antes da colheita do 2º ciclo, diferiu com a frequência da fertirrigação com N em microaspersão: a maior frequência de aplicação de N e de água (3 dias) favoreceu a densidade de raízes, em comparação com a menor frequência (15 dias). A maior concentração de raízes ocorreu nas camadas superficiais, até 0,30 m, e entre a planta e o microaspersor. Predominaram raízes de diâmetro entre 0,2 e > 1,5 mm, tanto nas camadas superficiais (0 a 0,20 m de profundidade) quanto entre a planta e o microaspersor.

Borges et al. (2006), estudando o sistema radicular da bananeira fertirrigada por microaspersão, observaram que no tratamento com menores doses de N e K<sub>2</sub>O as raízes são mais superficiais do que no

tratamento com maiores doses, quando aplicadas semanalmente. Possivelmente o fertilizante em maiores concentrações movimenta-se atingindo maiores profundidades, favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular.

## Solo

A escolha do solo adequado favorece a planta ao favorecer seu sistema radicular, sendo determinante do tipo de adubação a ser adotada e da capacidade da planta em aproveitar o nutriente fornecido. A bananeira se desenvolve em vários tipos de solos, porém, deve-se dar preferência a solos com boa estrutura e com conteúdos de argila entre 300 e 550 g kg<sup>-1</sup>. Solos com conteúdo acima de 550 g kg<sup>-1</sup> de argila e os solos siltosos (silte > 400 g kg<sup>-1</sup>) devem ser evitados, pois, em geral, apresentam baixa infiltração de água, sendo facilmente compactados, o que limita a troca gasosa indispensável ao processo de respiração das raízes (Silva et al., 2001). Exigente em termos de aeração do solo, não suporta encharcamento (Coelho et al., 2001).

## Localização do fertilizante e forma de aplicação

Aplicar o fertilizante no lugar certo é quase tão importante quanto usar a fórmula e a quantidade adequadas. Localização certa significa fornecer o adubo de maneira tal que, de um lado, o possível dano à planta fique reduzido a um mínimo e, de outro, que a cultura possa absorver os nutrientes do melhor modo nos momentos em que deles mais necessite (Collings, 1947; citado por Malavolta, 1981). Antes de pensar em um programa de adubação, portanto, é necessário que se atente para algumas características básicas dos elementos: as principais são sua mobilidade no solo e na planta.

Nos bananais em formação a adubação deve ser feita sempre em cobertura, em faixas circulares, de 20 cm de largura, distante 40 cm da planta. Uma vez definido, por meio do desbaste, o “filho” que vai dar continuidade à “família”, as adubações passarão a ser feitas em faixa de 20 cm de largura, em apenas meio círculo, localizado na frente desse “filho”,

mantendo sempre a distância de 40 cm (Moreira, 1999). Em áreas irrigadas, a fertirrigação é recomendada, pois proporciona menores perdas e alto aproveitamento dos nutrientes (Borges et al., 2006).

A adubação foliar é uma alternativa como suplemento nutricional às plantas que por algum motivo tenham restrito seu sistema radicular. Os elementos devem ser fornecidos em baixas concentrações, em atomização, utilizando-se os mesmos esquemas e equipamentos desenvolvidos para o controle da sigatoka (Moreira, 1999). Segundo Soto (2000), para a adubação foliar geralmente se usam sais como sulfatos, com baixo índice salino, para evitar fitotoxicidade e, como fonte de N, pode ser usada uréia, em concentrações não superiores a 1% da solução. Esse autor sugere a utilização de quelados por serem absorvidos e translocados mais prontamente que os sais. A absorção dos adubos foliares é influenciada por condições próprias da folha (sua estrutura, composição química, idade etc.), fatores relacionados aos nutrientes (como mobilidade), aqueles inerentes às soluções aplicadas (concentração, mistura de nutrientes, espalhantes, pH), além de fatores ambientais (luz, umidade do solo, temperatura, época do ano, movimentação do ar, regularidade da atomização) (Moreira, 1999). A velocidade de absorção dos íons aplicados isoladamente e, em condições médias, no que diz respeito aos fatores ambientais, é indicada na Tabela 6.

**Tabela 6.** Velocidade de absorção pelas folhas da bananeira, dos diferentes nutrientes.

	Moreira (1999)	Soto (2000)
N (uréia)	0,5 a 2 horas	0,5 a 2 horas
P	5 a 10 dias	5 a 10 dias
K	10 a 24 horas	10 a 24 horas
Ca	10 a 90 horas	1 a 2 dias
Mg	10 a 24 horas	2 a 5 horas
S	5 a 10 dias	8 dias
B	1 a 2 dias	-
Fe	10 a 20 dias	10 a 20 dias
Mn	1 a 2 dias	1 a 2 dias
Mo	10 a 20 dias	10 a 20 dias
Zn	1 a 2 dias	1 a 2 dias

Segundo Moreira (1999), uma metodologia muito mais eficiente e simples de se introduzir os fertilizantes nas bananeiras é aplicar os micronutrientes via perfuração feita com o desbastador “lurdinha”, no pseudocaule da “mãe” colhida ou do “filho” desbastado. Segundo esse autor, o adubo aí colocado entra em contato com o rizoma da planta-mãe e, através deste, é absorvido e passa a circular no sistema de todas as plantas que estiverem interligadas. Segundo Soto (2000), a aplicação de nutrientes sólidos ou líquidos em pseudocaulos recém colhidos é uma forma de aplicação bem conhecida e têm mostrado bons resultados, evitando perdas por lixiviação no solo.

Rodrigues (2006) avaliou o efeito de Zn e B aplicados na muda desbastada com desbastador “lurdinha”, sobre a nutrição e produção da bananeira ‘Prata anã’ irrigada, por três ciclos produtivos consecutivos. Os adubos promoveram alterações nos teores foliares de nutrientes, porém sem magnitude suficiente para alterar a condição nutricional quando se consideram as faixas de suficiência. O Zn interferiu na produção, porém os menores valores foram observados na dose intermediária e não houve ajuste de modelo de regressão. Outros experimentos estão em fase de condução para verificação desse resultado, com a avaliação de conteúdo por órgão e utilização de técnicas isotópicas.

## **Determinação da Necessidade de Adubação**

Existe uma série de métodos para avaliar a necessidade de adubação das plantas. Todos apresentam vantagens e desvantagens dependendo do propósito da avaliação, portanto, a escolha de um dos métodos depende da precisão exigida e de sua praticabilidade (Vitti et al., 1988). O mais comum, entretanto, é a combinação de métodos para se ter melhor base para interpretação. Os mais comumente usados são: diagnose visual, diagnose foliar e a análise do solo.

A diagnose visual é um método de apoio no manejo nutricional, mas não poder ser usada exclusivamente, uma vez que a deficiência de um

determinado nutriente só se faz notar quando já causou perturbações metabólicas às plantas (Vitti et al., 1988). Além disso, geralmente ocorre mais de uma deficiência simultaneamente e os sintomas se mesclam dificultando a definição. Alguns exemplos de sintomas de deficiência e toxicidade, que podem auxiliar na diagnose visual, foram apresentados nas Tabelas 4 e 5.

A diagnose através de análise foliar e de solo depende da coleta de amostras e análises laboratoriais, cujos resultados serão posteriormente comparados a padrões pré-definidos. Normalmente esses métodos são utilizados em conjunto.

### **Amostragem de solo, de folhas e diagnose foliar**

A amostragem de solo é a primeira e principal etapa de um programa de avaliação da fertilidade do solo, e deve ser rigorosamente executada. Supondo que seja enviada ao laboratório uma amostra de 250 cm<sup>3</sup>, retirada de uma área de 10 ha, na profundidade de 20 cm, ela representará um volume de 20 milhões de litros de terra. Se for considerado que, em algumas extrações no laboratório, são usados apenas 2,5 cm<sup>3</sup>, isso representará uma parte de 8 bilhões de partes de camada arável (Raij, 1991). Na interpretação dos resultados da análise é importante atentar aos extratores utilizados pelo laboratório e às unidades em que são expressos os resultados.

Para a cultura da bananeira a avaliação do estado nutricional é feita a partir da amostragem foliar, conforme o Método Internacional de Referência (MEIR), proposto por Martin-Prével em 1975 (Lahav, 1995): amostra-se a metade interna (sem a nervura central) de uma faixa de 10 cm de largura, retirada na parte central da terceira folha a contar do ápice, coletada de plantas com a inflorescência no estágio em que todas as pencas femininas e no máximo três pencas masculinas estejam abertas (Figura 2).

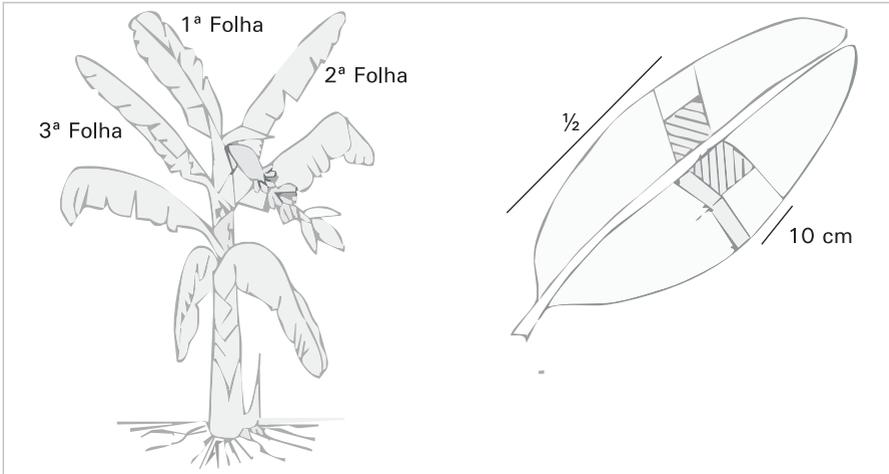


Fig. 2. Amostra foliar de bananeira.

Os resultados das análises de tecido vegetal são comparados a padrões de referência, que podem ser obtidos de populações de plantas altamente produtivas, ou de ensaios em condições controladas. Segundo Epstein (1975) quando variedades de uma mesma espécie, tendo crescido lado a lado, são analisadas quimicamente, verifica-se, com frequência, variações nas suas composições. Mesmo dentro de cada grupo genômico de bananeira existe grande variação entre genótipos, resultando em diferentes valores para os níveis críticos de nutrientes na terceira folha, como apresentado na Tabela 7.

**Tabela 7.** Faixas de teores de nutrientes consideradas adequadas para a bananeira.

Nutrientes	Cavendish <sup>1</sup>	Plátano <sup>1</sup>	Pacovan <sup>2</sup>	Prata <sup>3</sup>	Prata-Anã <sup>4</sup>
N (g/kg)	27 – 36	34	22 – 24	27 – 36	25 – 29
P (g/kg)	1,6 - 2,7	1,9	1,7 - 1,9	1,8 – 2,7	1,5 - 1,9
K (g/kg)	32 - 54	35	25 – 28	30 – 54	27 – 35
Ca (g/kg)	6,6 - 12	7,0	6,3 - 7,3	2,5 – 12,0	4,5 - 7,5
Mg (g/kg)	2,7 - 6,0	2,5	3,1 - 3,5	3,0 – 6,0	2,4 - 4,0
S (g/kg)	1,6 - 3,0	2,6	1,7 - 1,9	2,0 – 3,0	1,7 - 2,0
B (mg/kg)	10 - 25		13 – 16	10 – 25	10 - 25 <sup>5</sup>
Cu (mg/kg)	6 - 30		6 – 7	6 – 30	2,6 -8,8
Fe (mg/kg)	80 - 360		71 – 86	80 – 360	72 – 157
Mn (mg/kg)	200 - 1800		315 – 398	20 – 200	173 – 630
Zn (mg/kg)	20 - 50		12 - 14	20 – 50	14 – 25

<sup>1</sup>IFA, 1992; <sup>2</sup>Borges e Caldas 2002, citados por Borges et al., 2002 b; <sup>3</sup>Prezotti, 1992; <sup>4</sup>Silva et al., 2002.

A análise de material vegetal reflete, de certo modo, a fertilidade do solo, mas não permite avaliá-la. É consequência de um conjunto de fatores que condicionam a absorção dos nutrientes, como: clima, face de exposição, tipo de solo disponibilidade de água e nutrientes no solo, interação entre nutrientes no solo e na planta, idade da cultura, produção pendente, volume e eficiência do sistema radicular, declividade do terreno, cultivo prévio, ataque de pragas e doenças, uso de defensivos ou adubos foliares e práticas de manejo influenciam a composição mineral dos tecidos vegetais (Raj, 1991).

A amostra de solo deve ser retirada na base da planta amostrada, para que haja uma boa correlação entre o resultado da análise de ambas. A seleção das plantas no ponto de amostragem já promove o andamento dentro da área, necessário para coleta das amostras de solo.

## **Demanda nutricional e adubação**

A bananeira é uma planta de crescimento rápido que requer, para seu desenvolvimento normal e produção satisfatória, quantidades adequadas de nutrientes disponíveis no solo (Soto, 2000). No Brasil a demanda por fertilizantes se deve não somente à alta absorção e exportação de nutrientes pela bananeira, mas também à baixa fertilidade dos solos da maioria das regiões produtoras (Borges e Oliveira, 2000).

A exigência em nutrientes pela cultivar plantada depende do seu potencial produtivo, da densidade populacional, do estado fitossanitário e, principalmente, do balanço entre os elementos no solo, além do sistema radicular que interferirá na absorção (Soto, 2000). Para o adequado manejo nutricional da bananeira é necessário conhecer a quantidade de nutrientes absorvidos e o total exportado pela colheita, visando a reposição através da adubação e a devolução dos restos vegetais ao solo (Silva et al., 2001). Segundo Borges et al. (2002), a quantidade de nutrientes absorvida varia com o genótipo, mas em média é: macronutrientes em kg ha<sup>-1</sup>: 154 de N, 11 de P, 389 de K, 81 de Ca, 90 de Mg, 13 de S; micronutrientes em g ha<sup>-1</sup>: 309 de B, 77 de Cu, 236 de Zn. Já a quantidade exportada pelos cachos na

colheita, por hectare (Faria, 1997 citado por Borges e Coelho, 2002) é em média: 47 kg de N; 4,6 kg de P; 126 kg de K; 4 kg de Ca; 6 kg de Mg; 5 kg de S; 87 g de B; 38 g de Cu e 99 g de Zn.

A exportação de nutrientes pelas colheitas é dependente do genótipo, da composição dos cachos e da capacidade de produção de frutos, conforme apresentado na Tabela 8.

**Tabela 8.** Quantidades médias de macronutrientes exportadas por cultivares de bananeira.

Variedade	t ha <sup>-1</sup> por ciclo	Plantas ha <sup>-1</sup>	N ----- kg	P ----- kg	K ----- kg	Ca ----- kg	Mg ----- kg
Grande Naine <sup>1</sup>	39	2500	1,5	0,19	4,1	0,11	0,33
Gros Michel <sup>1</sup>	22	1246	2,0	0,29	5,9	0,25	0,26
Nanicão <sup>1</sup>	77	2500	1,9	0,26	8,2	0,27	0,28
Nanica e Nanicão <sup>1</sup>	17	1111	2,4	0,24	4,4	0,24	0,34
Prata, Pacovan e Mysore <sup>1</sup>	14	1111	2,0	0,25	3,7	0,26	0,37
Grande Naine e Caipira <sup>1</sup>	23	1333	2,2	0,18	5,7	0,13	0,22
Prata-Anã <sup>1</sup>	20	1333	2,3	0,24	5,5	0,28	0,35
Pioneira e FHIA 18 <sup>1</sup>	21	1333	1,9	0,20	5,8	0,20	0,28
Terra <sup>1</sup>	36	1111	1,5	0,15	4,0	0,14	0,17
Nanicão <sup>2</sup>	-	-	2,1	0,30	5,0	-	-
<b>Média</b>	<b>31</b>	<b>1.608</b>	<b>1,95</b>	<b>0,23</b>	<b>5,20</b>	<b>0,20</b>	<b>0,28</b>

<sup>1</sup>Borges e Costa (2002); <sup>2</sup>Raj (1996).

A marcha de absorção dos nutrientes é maior após o quinto mês, até o florescimento (que ocorre por volta do oitavo mês a depender das condições climáticas e cultivar), quando há maior acúmulo de matéria seca, estabilizando-se então até a colheita, exceto para zinco e potássio, este último por se acumular em grande quantidade nos frutos (Borges e Oliveira, 2000). Soto (2000) apresenta a curva de absorção por nutriente, resumida na Figura 3.

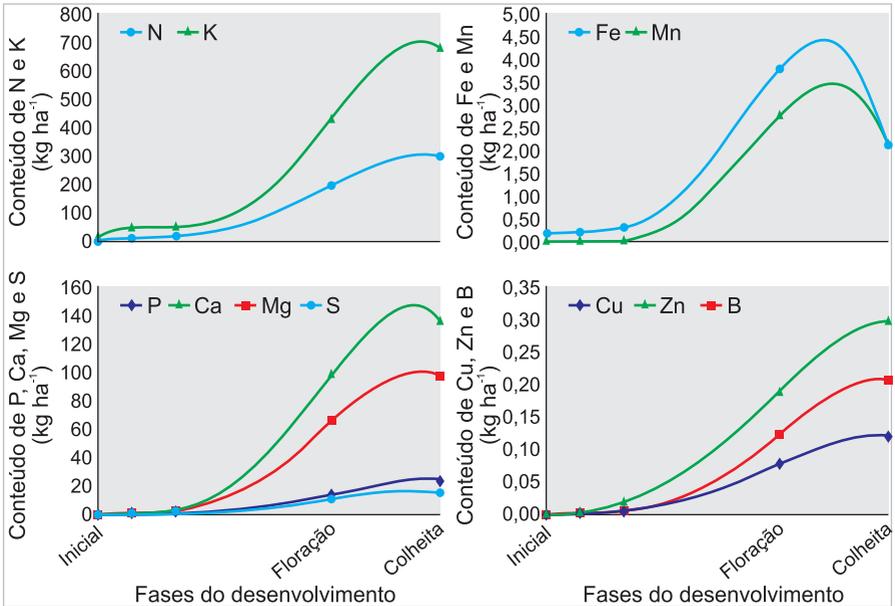


Fig. 3. Curva de absorção de nutrientes pelas bananeiras (Soto, 2000).

## Adubação orgânica

O uso de adubos orgânicos como complemento da fertilização química é uma prática comum em algumas zonas bananeiras do mundo (López e Espinosa, 1995). O baixo nível de matéria orgânica nos solos é considerado das mais críticas razões para o rápido declínio de cultivos de plantanos (Lahav, 1995). A matéria orgânica melhora a estrutura do solo, aumenta a capacidade de retenção de nutrientes e funciona como estimulante do sistema radicular (López e Espinosa, 1995), sendo a melhor forma de fornecer nitrogênio no plantio, principalmente quando se utiliza mudas convencionais, já que as perdas são mínimas (Borges et al., 2002 b).

Em Israel e Ilhas Canárias, às vezes chega-se a utilizar mais de 500 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Lahav, 1995). Segundo esse autor, em uma série de experimentos em Israel, usando esterco de curral até 80 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, observou-se aumento no crescimento de bananeiras, aceleração da floração e redução

no tempo entre a floração e a colheita. A utilização apenas do esterco de curral aumentou o rendimento em 33%, mas foi sempre vantajoso aplicá-lo junto com fertilizante.

Borges et al. (2002 b) sugerem a utilização de 10 a 15 L de esterco bovino por cova, ou 3 a 5 L de esterco de galinha, ou 2 a 3 L de torta de mamona, ou ainda, outros compostos disponíveis na região ou propriedade. Esses autores sugerem também, caso haja disponibilidade, 20 m<sup>3</sup> de esterco de curral ha<sup>-1</sup>. Segundo Lahav (1995), alguns experimentos têm mostrado que o esterco de galinha – que é mais rico em nutrientes, especialmente P – é superior ao esterco de curral e composto de lixo urbano.

## Salinização

A bananeira é uma das principais culturas exploradas nos perímetros irrigados da região nordeste brasileira; entretanto, sua produtividade é limitada, entre outros fatores, por problemas relativos à crescente salinização dos solos nestas áreas (Gomes et al., 2000). Segundo Oliveira et al. (2000) as bananeiras são classificadas no grupo das plantas glicófitas, sendo, portanto, sensíveis à salinidade. Para seu ótimo desenvolvimento a bananeira requer valores de condutividade elétrica (CE) da água de irrigação não superiores a 1000 micromohs/cm (classificação C3). Segundo pesquisas, quando se elevou a CE para 6000 micromohs/cm, com a relação de adsorção de sódio (RAS) igual a 6,67 (classificação S1), para a cultivar Nanica, houve decréscimo de 40% na produtividade, além da emissão de cachos atrasar cerca de um mês. Na presença de maiores concentrações de sódio, RAS igual a 13,2 (classificação S2), o atraso foi de dois meses na emissão de cachos, com decréscimo de 60% na produtividade (Hernandez Abreu 1982, citado por Oliveira et al., 2000). Ainda segundo Oliveira et al. (2000), esses resultados indicam que a água de irrigação para a bananeira deve ter o valor RAS inferior ou igual a 10,0 (classificação S1) e que as perdas registradas na produtividade estão mais associadas à presença do íon sódio do que à de outros sais.

Segundo Borges et al. (2002) a relação adequada K/Na no solo é 2,5, e o Na não deve exceder 8% do total de cátions trocáveis, com valor ideal inferior a 4%. Áreas com porcentagem de Na superior a 12%, em relação aos cátions trocáveis (K + Ca + Mg + Na) são inadequadas ao cultivo da bananeira. Silva et al. (2002) verificaram que a bananeira 'Prata Anã', cultivada no norte de Minas, apresentou alta produtividade em solos com até  $0,4 \text{ cmol}_c \text{ de Na dm}^{-3}$ .

De modo geral, a produção vegetal decresce linearmente com o aumento da salinidade do solo, a partir de um determinado nível (Bernardo, 1989). Sendo os problemas de salinidade cumulativos, se as causas que estão provocando seu aumento não forem diagnosticadas e corrigidas a tempo, a produção vegetal decrescerá rapidamente até o ponto de não ser mais viável, economicamente, a exploração agrícola daquela área. Ainda segundo Bernardo (1989), deve-se considerar ainda, que o custo de recuperação de uma área salinizada é sempre maior que o custo para evitar a sua salinização.

## **Recomendações de Adubação para Banais Irrigados**

### **Recomendações de Borges et al. (2002), para a Bahia:**

A aplicação de corretivo, quando recomendada, deve ser feita com calcário dolomítico, evitando o desequilíbrio entre K e Mg e, conseqüentemente, o surgimento do distúrbio fisiológico "azul da bananeira". A recomendação da calagem deve se basear na elevação da saturação por bases (V) para 70% e o teor de  $\text{Mg}^{2+}$  para  $8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . Além dessa correção, acrescentar 300 g de calcário na cova de plantio, em solos ácidos (pH em água < 6,0).

Na cova de plantio, usar de 10 a 15 L de esterco bovino, ou 3 a 5 L de esterco de galinha ou 2 a 3 L de torta de mamona. Caso haja disponibilidade, acrescentar  $20 \text{ m}^3$  de esterco de curral  $\text{ha}^{-1}$ , anualmente.

O esquema de adubação de plantio, pós-plantio e formação da bananeira, e da fase de produção, encontra-se nas Tabelas 9, 10 e 11 respectivamente.

**Tabela 9.** Adubação de plantio da bananeira irrigada, com fornecimento de P, B e Zn.

P (resina), mg dm <sup>-3</sup>				B (água quente), mg dm <sup>-3</sup>		Zn (DTPA), mg dm <sup>-3</sup>	
0-12	13-30	30-60	> 60	0-0,21	> 21	0-0,60	> 0,60
----- P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup> -----				--- B, kg ha <sup>-1</sup> ---		--- Zn, kg ha <sup>-1</sup> ---	
120	80	40	0	2,0	0	6,0	0

**Tabela 10.** Adubação com N e K no pós-plantio e na fase de formação da bananeira irrigada.

Época (dias após o plantio)	N kg ha <sup>-1</sup>	K trocável, mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			
		0-1,5	1,6-3,0	3,1-6,0	> 6,0
		-----K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> -----			
30	20	20	-	-	0
60	20	30	30	-	0
90	30	40	30	20	0
120	30	60	40	30	0
120-360	100	300	250	150	0
Total	200	450	350	200	0

**Tabela 11.** Adubação com N, P e K aplicados na fase de produção da bananeira irrigada.

Produtividade esperada (t ha <sup>-1</sup> )	N kg ha <sup>-1</sup>	P resina, mg dm <sup>-3</sup>				K trocável, mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			
		0-12	13-30	30-60	> 60	0-1,5	1,6-3,0	3,1-6,0	> 6,0
		-----P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , kg ha <sup>-1</sup> -----				-----K <sub>2</sub> O, kg ha <sup>-1</sup> -----			
< 20	160	80	60	40	0	300	200	100	0
20-40	240	100	80	50	0	450	300	150	0
40-60	320	120	100	70	0	600	400	200	0
> 60	400	160	120	80	0	750	500	250	0

## Recomendações de Silva et al. (1999) para o norte de Minas Gerais:

A quantidade de calcário a ser aplicada no solo pode ser calculada utilizando-se o método do Al e Ca + Mg trocáveis, ou o da saturação por bases, sendo que neste último o valor desejado é de 70%. O uso contínuo de doses pesadas de adubos nitrogenados, como a uréia e o sulfato de amônio, obriga a realização da calagem periodicamente.

Recomenda-se o uso de 15 L de esterco de gado por cova no plantio, ou 2 L de esterco de aves, ou 1 L de torta de mamona. É conveniente que este fornecimento de matéria orgânica seja repetido anualmente.

A bananeira não exige grande quantidade de P e o seu fornecimento deve ter como base a análise de solo. A Tabela 12 mostra a adubação fosfatada de plantio. Recomenda-se repetir a adubação fosfatada anualmente, em cobertura, em caso necessidade determinada por análise de solo.

**Tabela 12.** Adubação fosfatada de plantio para bananeiras irrigadas no norte de Minas.

P (Mehlich) no solo, mg dm <sup>3</sup>		Adubação de plantio em g de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> cova <sup>-1</sup>
Solo arenoso	Solo argiloso	
0 a 15	0 a 5	120
16 a 25	6 a 15	80
> 25	> 15	20

A adubação nitrogenada é imprescindível, principalmente para bananeiras do subgrupo Cavendish. Para o norte de Minas, em áreas irrigadas, a dose recomendada está entre 12 e 22 g de N família<sup>-1</sup> por mês e depende da textura do solo, do teor de matéria orgânica e do manejo da cultura.

A recomendação da adubação potássica também deve ser feita com base na análise de solo, conforme Tabela 13. A primeira aplicação de K deve ser feita em cobertura, no terceiro mês após o plantio. O restante deve ser parcelado, principalmente em solos arenosos, para reduzir perdas por lixiviação.

**Tabela 13.** Adubação potássica em bananais irrigados do norte de Minas.

K no solo (extrator Mehlich) em mg dm <sup>-3</sup>	g de K <sub>2</sub> O família <sup>-1</sup> mês <sup>-1</sup>
0 a 50	90
51 a 120	70
121 a 180	60
> 180	50

Quando for detectada a necessidade de fornecimento de Mg, através das análises de solo e folhas, recomenda-se de 100 a 150 kg de MgO ha<sup>-1</sup> por ano. Recomenda-se também, a utilização de 50 a 80 kg de S ha<sup>-1</sup> por ano.

Os micronutrientes podem ser fornecidos com a aplicação de 50 g de FTE BR 12/família/ano, exceto em casos onde os teores de Mn do solo sejam elevados. Onde ocorrer deficiência apenas de Zn e/ou B, pode-se aplicar 8 a 10 g Zn família<sup>-1</sup> por ano e 2 g de B família<sup>-1</sup> por ano. As pulverizações foliares também são eficientes para o fornecimento de micronutrientes.

### **Recomendações de Gonzaga Neto et al. (1998) para Pernambuco:**

Recomendações feitas para bananais irrigados, das cultivares Pacovan, Nanica e Nanicão, com produtividades esperadas de 30 t ha<sup>-1</sup> do primeiro, e de 60 t ha<sup>-1</sup> do segundo e terceiro ciclos.

A calagem deve ser calculada por:  $NC = 2 * [3 - (Ca + Mg)]$ .

Usar 20 L de esterco de curral, curtido, no plantio e depois, 20 L por família, uma vez por ano, na fase de produção. Aplicar 4,5 g de Zn e 1,0 g de B por cova no plantio e depois, por touceira e uma vez por ano, na fase de produção.

As doses de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O encontram-se na Tabela 14. Na fase de produção as doses de N e de K devem ser parceladas em quatro aplicações ao ano, a cada 90 dias, e as de P, aplicadas de uma única vez, a cada ano. Recomenda-se usar sulfato de potássio como fonte de K. Na fase de produção essas doses poderão ser alteradas em função dos resultados de análise foliar e da produtividade esperada.

**Tabela 14.** Adubação em cobertura com N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O para bananais irrigados, em função dos teores observados no solo.

Teores no solo	Plantio	Crescimento (dias)				Produção
		90	180	270	360	
----- g família <sup>-1</sup> -----						
Nitrogênio (N)						
Não analisado	20	40	60	80	80	320
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )						
< 11 mg dm <sup>-3</sup> de P	120	-	-	-	120	100
11 – 20 mg dm <sup>-3</sup> de P	80	-	-	-	80	100
> 20 mg dm <sup>-3</sup> de P	40	-	-	-	40	100
Potássio (K <sub>2</sub> O)						
< 0,12 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> de K	60	60	90	120	120	500
0,12 – 0,23 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> de K	40	40	60	80	80	400
> 0,23 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> de K	20	20	30	40	40	300

## Interação entre Nutrientes na Planta e no Solo

A interação entre nutrientes em cultivos de banana tem sido muito estudada, principalmente entre K, Ca e Mg. A seguir uma rápida revisão bibliográfica acerca desse tema.

### K/Mg

A deficiência de Mg causada por um excesso de K é de ocorrência comum, devido às adubações pesadas com K, feitas na cultura da bananeira. A grande absorção de K pode promover a translocação de Mg para os frutos e tecidos de armazenamento, ou promover crescimento, assim diminuindo a concentração de Mg em toda a planta (Martin-Prével, 1973, citado por Lahav, 1995). Segundo Lahav (1995), aumento no suprimento de K tem efeito altamente depressivo na concentração de Mg nas folhas e pseudocaule, mas muito pequeno efeito nos frutos e raízes. Para que se possa aplicar elevada quantidade de K no solo, é necessário que exista Mg suficiente, a fim de evitar o aparecimento do “azul da bananeira”. Segundo Silva et al. (1999) e Borges e Oliveira (2000), esse distúrbio se manifesta quando a relação K/Mg nas folhas, expressa em milequivalentes (%K:0,039 / %Mg:0,012) é maior que 4,5 no florescimento (ideal de 2,5 a 3,5) e 2,0

na colheita. Segundo esses autores, nas folhas o K deve ocupar 55% a 61% e o Mg 18% a 20% da soma de K + Ca + Mg

Teores de K no solo variando de 200 a 350 mg kg<sup>-1</sup> são normalmente suficientes para o crescimento da bananeira, mas se quantidades elevadas de Mg e Ca estão presentes, pode aparecer deficiência de K (Silva et al., 1999 e Borges et al., 2002). Segundo esses autores, para que não ocorra o “azul da bananeira”, a relação K/Mg no solo deve ser inferior a 0,6, ou seja, uma relação K/Mg ideal de 0,2 a 0,5, onde o Mg ocupa 40% das bases trocáveis do solo. Em condições de desequilíbrio, a relação K/Mg varia de 0,6 a 2,0 e o Mg ocupa somente 15 a 23% das bases trocáveis no solo.

## **K, Ca e Mg**

O sistema radicular da bananeira tem uma limitada capacidade de troca e por isso a relação entre cátions é muito importante (Borges et al., 2002). Segundo esses autores a CTC do solo deve ser saturada a 65-75% (não mais pois pode afetar a absorção dos micronutrientes), a fim de dispor de um valor de soma de bases (K + Mg + Ca) que permita acumular a saturação por K nos limites de 7,5 a 12,5% da soma de bases. O valor ótimo para K no solo é de cerca de 10% da soma de bases, ocorrendo deficiência de K abaixo de 5% e toxicidade acima de 20% (Silva et al., 1999 e Borges et al., 2002).

A relação Ca/Mg deve estar situada em torno de 2/1 (entre 1,5/1 e 3/1). A relação Ca/(K + Ca + Mg) deve ficar em torno de 0,6 a 0,8 (Silva et al., 1999 e Borges et al., 2002) o que corresponde a uma proporção média de 70% de Ca (Silva et al., 1999). Assim, para um bom desenvolvimento da bananeira, as quantidades de K, Ca e Mg devem corresponder a 10%, 50% e 40% da saturação por bases, ou seja, uma relação K:Ca:Mg de 0,5:3,5:2,0 a 0,3:2,0:1,0 (Borges et al., 2002).

## **N/K**

O desbalanço entre esses dois nutrientes causa problemas na pós-colheita, pois leva à queda de frutos amadurecidos no cacho, principalmente em bananeiras do subgrupo Cavendish (Silva et al., 1999). Degrana de frutos

ocorre durante a climatização quando há baixo suprimento de K, por acúmulo de  $N-NH_4$  (Lahav, 1995), que torna frágeis os pedicelos dos frutos (Borges et al., 2002). Além disso, o excesso de N atrasa a emergência do cacho e produz cachos com pencas muito espaçadas e facilmente danificáveis no transporte (Lahav, 1995). A relação N/K nas folhas da bananeira, expressa em milequivalente (%N:0,014%/ %K:0,039), mais favorável no florescimento, está entre de 1,4 e 3,3 (Silva et al., 1999). Já Borges et al. (2002) cita a relação inversa (K/N), sendo mais favorável em torno de 0,6.

## Referências

BORGES, A. L. . Nutrição adequada. Cultivar HF (Pelotas), Pelotas, RS, v. 4, n. 23, p. 12-14, 2004.

BORGES, A. L.; COELHO, E. F. **Fertirrigação em bananeira**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2002. 4 p. (Comunicado Técnico, 47).

BORGES, A. L.; COELHO, E. F.; COSTA, E. L.; SILVA, J. T. A. **Fertirrigação da bananeira**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2006. 8 p. (Comunicado Técnico, 84).

BORGES, A. L.; COSTA, E. L. da. Requerimentos de nutrientes para a fertirrigação - banana. In: BORGES, A. L., COELHO, E. F.; TRINDADE, A. V. (Org.) **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2002. p. 77-84

BORGES, A. L., OLIVEIRA, A. M. G. Nutrição, calagem e adubação. In: CORDEIRO, Z. (Org.). **Banana produção: aspectos técnicos**. Brasília: Embrapa, 2000. p. 47-59. (Frutas do Brasil, 1).

BORGES, A. L.; OLIVEIRA, A. M. G.; SOUZA, L. da S. Solos, nutrição e adubação. In: ALVES, E. J. (Coord.). **A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais**. Brasília: Embrapa- SPI, 1987. p. 197-260.

BORGES, A. L.; RAIJ, B. V.; MAGALHÃES, A. F. De J.; BERNARDI, A. C. De C. **Nutrição e adubação da bananeira irrigada**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2002. 8 p. (Circular Técnica 48).

BORGES, A. L.; SILVA, D. J. Fertilizantes para fertirrigação. In: BORGES, A. L., COELHO, E. F.; TRINDADE, A. V. (Org.) **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2002. p. 15-27.

BORGES, A. L., SOUZA, L. da S.; PEIXOTO, C. A. B.; SANTOS JUNIOR, J. L. C. Distribuição do sistema radicular da bananeira 'Prata-Anã' em duas frequências de fertirrigação com uréia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, 2008.

COELHO, E. F.; OLIVEIRA, S. L. DE; COSTA, E. L. DA. Irrigação da bananeira. In: SIMPÓSIO NORTE MINEIRO SOBRE A CULTURA DA BANANA, 1., 2001, Nova Porteirinha. **Anais...** Montes Claros: Ed. Unimontes, 2001. p. 91 – 101.

DORDAS, C.; SAH, R.; BROWN, P. H.; ZENG, Q. e HU, H. Remobilização e elementos tóxicos em plantas superiores. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. da; RAIJ, B. V.; ABREU, C. A. de. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/ FAPESP/ POTAFOS, 2001. p. 43- 69.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Tradução e notas de MALAVOLTA, E. São Paulo: USP, 1975. 341 p.

FAQUIM, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1994. 217p.

GOMES, E. W. F.; WILLADINO, L.; CAMARA, T. R.; MEUNIER, I.; ARAÚJO, B. D. S.; SILVA, S. de O. e. Efeitos da salinidade sobre diferentes variedades de bananeira (*Musa* spp.) em estágio inicial de desenvolvimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 16., 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBF, 2000. 1 CD ROM.

GONZAGA NETO, L.; PEREIRA, J. R.; SILVA, D. J. Banana (irrigada). In: **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco**. 2ª aproximação. Recife: IPA, 1998. PI 115.

LACERDA FILHO, R; SILVA, A. V. C; MENDONÇA, M.; TAVARES, J. C. Densidade do sistema radicular da bananeira 'Pacovan' sob irrigação por aspersão. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 538-539.

LAHAV, E. Banana nutrition. In: GOWEN, S. (Ed.) **Bananas and plantains**. London: Chapman e Hall, 1995. p. 258-316.

Langenegger, W.; Du Plessis, S. F. **Fertilisers in banana cultivation**. Africa do Sul: Citrus and Subtropical Fruit Research Institute, 1980. 1p.

LOPES, A. S. Micronutrientes nos solos e culturas brasileiras. In: SEMINÁRIO FÓSFORO, CÁLCIO, MAGNÉSIO, ENXOFRE E MICRONUTRIENTES – SITUAÇÃO AUTAL E PERSPECTIVAS NA AGRICULTURA, 1986. São Paulo. **Anais...** São Paulo: MANAH S/A, 1986. p. 110 – 123.

LÓPEZ M., A.; ESPINOSA M., J. **Manual de nutrición y fertilización del banano**. Quito: Instituto de Potasa y el Fósforo, 1995. 82 p.

MALAVOLTA, E. Absorção e transporte de íons e nutrição mineral de plantas. In: FERRI, M. G. **Fisiologia vegetal**. São Paulo: Editora de Universidade de São Paulo. 1979. p. 77 – 116.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3ª ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 607 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, A.S. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 1989. 201p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. rev. e atual. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2ª ed. London: Academic press, 1988. 889 p.

MELLO, F. de A. F. de; BRASIL SOBRINHO, M. de O. C. do; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; COBRA NETO, A.; KIEHL, J. de C. **Fertilidade de solo**. São Paulo: Nobel, 1989. 400 p.

MENGUEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 4ª ed. Bern, Switzerland: Lang Druck, 1987. 685 p.

MOREIRA, R. S. **Banana: teoria e prática de cultivo**. São Paulo: Fundação Cargill, 1999. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, S. de L.; COELHO, E. F.; BORGES, A. L. Irrigação e fertirrigação. In: CORDEIRO, Z. J. M. (Org.) **Banana: produção, aspectos técnicos**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. p. 60-72.

OSAKI, F. **Calagem e adubação**. Campinas: Instituto Brasileiro de Química Agrícola, 1991. 503 p.

PASCUAL, B. **El riego. Principio y prácticas**. UPV-DPV-ETSIA- SPUPV. Valencia. 395 p. 1996

PREZOTTI, L. C. **Recomendações de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo: 3ª aproximação**. Vitória: EMCAPA, 1992. 73 p. (Circular Técnica, 12).

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres/ Potafos, 1991. 343 p.

RODRIGUES, M. G. V. **Resposta da bananeira Prata-Anã à aplicação de zinco e boro no rizoma**. 2006. 83 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Jaboticabal, 2006.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Plant physiology**. 4ª ed. Belmont, Califórnia: Wadsworth Publishing, 1992. 682 p.

SILVA, E. de B.; RODRIGUES, M. G. V.; SANTOS, J. de O. Estado Nutricional de um Bananal Irrigado com Água Subterrânea. In: SIMPÓSIO NORTE MINEIRO SOBRE A CULTURA DA BANANA, 1., 2001. Nova Porteirinha. **Anais...** Montes Claros: Unimontes, 2001. p. 263-266.

SILVA, J. T. A. da; BORGES, A. L.; MALBURG, J. L. Solos, adubação e nutrição da bananeira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.20, n.196, p.21-36, jan/fev. 1999.

SILVA, J. T.; BORGES, A. L.; DIAS, M. S. C.; COSTA, E. L.; PRUDÊNCIO, J. M. **Diagnóstico nutricional da bananeira Prata Anã para o norte de Minas**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2002 a. 16 p. (EPAMIG. Boletim Técnico, 70).

SOTO BALLESTEROS, M. **Bananos: cultivo y comercialización**. 2. ed. San José: Imprenta Lil, 1992. 647 p.

VALE, F. R. do; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. de. **Fertilidade do solo: dinâmica e disponibilidade dos nutrientes de plantas**. Lavras: ESAL Gráfica Universitária, 1993. 171 p.

VARGAS, A.; SOLÍS, P. Sintomas de deficiencia y contenido de macro y micronutrientes en plantas de plátano (*Musa AAB*) bajo condiciones de carencia inducida en cultivo hidropónico. **CORBANA**. Costa Rica, v. 23, n. 50, p. 145-166, 1998.

VITTI, G. C.; MALAVOLTA, E.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; MARIN, S. L. D. Nutrição e adubação do mamoeiro. In: II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MAMÃO, 1988. Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FCAV/UNES, 1988. P. 121-159.

WARNER, R.M.; FOX, R.L. Nitrogen and potassium nutrition of the Giant Cavendish banana in Hawaii. **Journal American Society Horticultural Science**, Alexandria, v.102, p.739-743, 1977.



# Práticas Culturais

---

*Alessandro de Magalhães Arantes*

*Sérgio Luiz Rodrigues Donato*

## Introdução

A banana para consumo in natura foi a fruta mais produzida no mundo em 2007 e, em conjunto com plátanos (bananas de cozinhar e fritar) cultivados em 118 países, ocupa área total de 9,8 milhões de hectares, com produção de 115 milhões de toneladas e é a quarta lavoura mais importante do planeta. Índia, Uganda, China, Filipinas, Brasil e Equador são os principais países produtores (FAO, 2008) e, juntos, representam cerca de 50% da produção mundial de bananas e plátanos. O Brasil, quinto maior produtor mundial, quando se considera bananas e plátanos totalizou em 2007, aproximadamente 6,97 milhões de toneladas, cultivadas numa área de 508 mil hectares de norte a sul do país. A cultura apresenta elevada importância econômica e social para diversas regiões do país, gera 500.000 empregos diretos, toda produção nacional é destinada ao consumo interno e enriquece a dieta alimentar das populações carentes (DATAMUSA, 2008).

Com o aumento dos preços dos insumos e a exigência dos consumidores, cada vez maior, pela qualidade dos produtos, faz-se necessário o desenvolvimento de tecnologias que permitam produtividade elevada, sustentabilidade e rentabilidade.

A bananeira exige cuidados especiais para alcançar produtividade elevada e qualidade dos frutos. A prevenção a pragas e doenças é fundamental para

diminuir os prejuízos causados à lavoura, que podem chegar a 60% e são na maioria provocados por infecções e apodrecimento devido a ferimentos causados por manejo inadequado que vão desde a fase de cultivo até o manuseio pelo consumidor (Lichtemberg et al., 2006).

As práticas culturais têm o objetivo de melhorar a qualidade dos frutos, facilitar o manejo e a vistoria do bananal, controlar pragas e doenças e conseqüentemente aumentar a produtividade. Desfolha, corte do coração, controle de doenças fúngicas, inclusive a colheita são facilitadas pelo porte baixo ou médio de algumas cultivares (Alves & Oliveira, 1993).

O objetivo deste trabalho é discutir as práticas culturais na bananeira e sua relação com o desenvolvimento, sanidade, qualidade dos frutos e produtividade.

## **Práticas Culturais**

### **Espaçamento**

A definição do espaçamento depende da cultivar a ser plantada. Aquelas que produzem muitas folhas de grande tamanho e filhos de porte igual ou superior à planta-mãe exigem menores densidades populacionais devido ao maior sombreamento (Pereira, 2000).

Bananeiras plantadas em maiores densidades apresentaram maior produtividade, apesar de que os sistemas de espaçamento e as densidades populacionais testados não alteraram as taxas de crescimento das plantas nem suas características na colheita (Pereira, 2000). O adensamento permite maiores produtividades sem perda da qualidade dos frutos (Flori et al., 2004).

Na escolha dos sistemas de espaçamento de plantio deve-se observar o bom aproveitamento da luz e do terreno, a proteção do solo contra a erosão, o aumento de produtividade e qualidade do produto (Pereira, 2000).

Em cultivos irrigados é necessário o estabelecimento de espaçamentos de plantio e densidades populacionais adequados, devido às melhores condições de desenvolvimento das plantas e de produção.

Os espaçamentos mais utilizados seguem traçados em retângulo, quadrado, triângulo e hexágono (Soto Ballestero, 1992; Pereira, 2000). Os mais eficientes são os de triângulos equiláteros e os de fileiras duplas que permitem a mecanização e facilitam o transporte de insumos, os tratamentos fitossanitários e a colheita, além da vistoria da área (Belalcázar Carvajal, 1991; Pereira, 2000).

Os espaçamentos mais utilizados nos plantios comerciais brasileiros são: 2,0 m x 2,0 m; 2,5 m x 2,0 m e 2,5 m x 2,5 m para as cultivares de porte baixo e médio (Nanica, Figo Anã, Grande Naine, Nanicão, Prata-Anã); 3,0 m x 2,0 m; 3,0 m x 2,5 m para cultivares de porte semi-alto (Maçã, D'Angola, Terrinha, Mysore, Figo); e 3,0 m x 3,0 m a 3,0 m x 4,0 m para cultivares de porte alto (Terra, Maranhão, Prata, Pacovan) (Moreira, 1999; Alves, 1999; Alves & Oliveira, 1993; Pereira, 2000).

A distribuição das plantas pode ser em triângulo, quadrado, retângulo, hexágono ou em fileira dupla conforme apresentado na Figura 4.

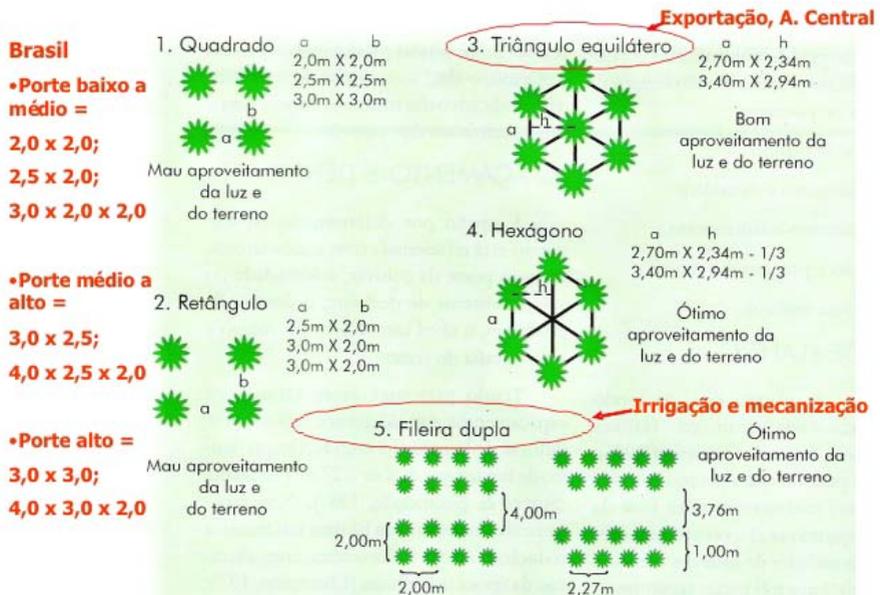


Fig. 4. Distribuição das plantas nos sistemas de quadrado, retângulo, triângulo, hexágono e fileira dupla.

Fonte: Alves & Lima (2000), original de Soto Ballestero (1985), modificado.

A bananeira 'Prata-Anã' apresentou maior produtividade em primeiro ciclo de produção no espaçamento de 3 m x 2 m em retângulo, com densidade populacional de 1.666 covas/ha<sup>-1</sup>, alcançando 29,1 t ha<sup>-1</sup> (Pereira, 2000).

A cultivar 'Grande Naine' apresentou maiores rendimentos quando plantada em densidade de 4.000 plantas ha<sup>-1</sup>, obtendo em 1º e 2º ciclo 98 t ha<sup>-1</sup> e 75 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Flori et al., 2004).

A duração dos ciclos de produção em bananais adensados amplia sucessivamente devido ao prolongamento da colheita provocado pelo sufocamento das plantas atrasadas que acarreta o envelhecimento precoce do bananal (Pereira, 2000).

## **Escolha da muda**

As mudas de banana podem ser obtidas através de micropropagação em viveiros especializados ou podem ser de origem convencional, proveniente de bananal sadio.

As mudas de cultura de tecidos são livres de pragas e doenças, são mais precoces, com produção mais uniforme e colheitas superiores (Álvares & Caldas, 2002).

A uniformidade da produção permite a concentração da primeira colheita em épocas de melhores preços garantindo maior retorno econômico aos produtores.

A principal vantagem da muda de rizoma é o menor custo. O agricultor deve retirar as mudas de bananais sadios; eliminar todo material aderido a muda como solo, raízes e sementes de invasoras; realizar o tratamento químico com inseticida e fungicida, com a finalidade de diminuir a disseminação de pragas e doenças; e fazer o plantio no início da estação chuvosa para garantir uma maior porcentagem de pagamento.

Outra observação importante no momento da escolha das mudas de rizoma é o seu tamanho. Devem-se selecionar mudas de mesma idade para garantir maior uniformidade na colheita.

Álvares & Caldas (2002) comparando mudas provenientes de micropropagação e rizoma, em cultivares Nanicão e Prata-Anã, observaram um maior desenvolvimento vegetativo nos primeiros meses nas duas cultivares e um maior peso do cacho na cultivar Prata-Anã em plantas oriundas de mudas de micropropagação (Tabelas 15 e 16).

**Tabela 15.** Desempenho de mudas de bananeira das cultivares Nanicão e Prata-Anã, provenientes de micropropagação (M) ou rizoma (R), durante o desenvolvimento vegetativo e florescimento (15 meses). Brasília, DF, 1998<sup>(1)</sup>.

Meses após o plantio	Tipo de muda	Altura da planta (cm)	Folha		Pecíolo		Perímetro do pseudocaule (cm)
			Comprimento (cm)	Largura (cm)	Comprimento (cm)	Largura (cm)	
<b>Nanicão</b>							
5	M	63,3a	78,7a	36,4a	10,3a	9,6a	-
	R	49,9b	66,7b	32,3b	9,5a	8,6b	-
CV (%)		11,38	7,36	7,81	9,52	5,35	-
8	M	92,0a	100,0a	40,6a	13,7a	9,3a	-
	R	80,9b	89,5b	37,2b	12,6a	8,8a	-
CV (%)		8,28	7,33	6,22	8,56	6,25	-
11	M	162,1a	160,7a	68,8a	22,1a	12,8a	49,2a
	R	156,2a	152,8a	66,8a	20,4a	13,1a	48,4a
CV (%)		7,16	7,87	5,58	5,28	7,83	2,71
15	M	215,1a	190,0a	79,7a	34,1a	14,1a	60,5a
	R	212,6a	190,1a	78,7a	33,3a	14,0a	61,6a
CV (%)		3,36	2,01	0,77	2,28	2,69	3,52
<b>Prata-Anã</b>							
5	M	50,8a	61,4a	30,9a	12,7a	7,1a	-
	R	42,1b	53,2b	29,6a	10,2b	6,5b	-
CV (%)		6,96	4,79	3,80	5,57	2,44	-
8	M	92,2a	94,0a	40,3a	20,0a	8,2a	-
	R	68,9b	72,7b	35,9b	13,8b	7,6b	-
CV (%)		6,10	3,79	4,08	6,64	2,14	-
11	M	173,0a	157,9a	70,2a	36,0a	11,7a	54,5a
	R	143,3b	126,2b	62,7b	28,5b	11,2b	48,8b
CV (%)		4,31	5,06	3,38	2,52	5,35	2,69
15	M	238,2a	191,3a	78,0a	47,4a	13,8a	67,0a
	R	215,1b	158,3b	73,2b	42,1b	12,8b	65,1a
CV (%)		3,54	3,32	2,73	2,12	1,91	2,51

<sup>(1)</sup>Médias seguidas pela mesma letra, na coluna em cada mês, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Um maior desenvolvimento vegetativo na fase inicial garante um maior número de folhas antes da diferenciação floral, ou seja, um maior ritmo de emissão foliar que está diretamente relacionado com o número de pencas no cacho (Soto Ballester, 2000), embora Álvares & Caldas (2002) não tenham encontrado diferenças significativas (Tabela 16).

**Tabela 16.** Características dos cachos de bananeira, cultivares Nanicão e Prata-Anã, provenientes de mudas micropropagadas e de rizomas. Brasília, DF, 1998<sup>(1)</sup>.

Tipo de muda	Peso do cacho (kg)	N <sup>o</sup> frutos por cacho	N <sup>o</sup> de pencas	Massa da 3 <sup>a</sup> penca (kg)	Massa do fruto da 3 <sup>a</sup> penca (g)	Comprimento do fruto da 3 <sup>a</sup> penca (cm)
<b>Nanicão</b>						
Micropropagada	34,7a	136,8a	8,4a	4,8a	284,4a	21,5a
Rizoma	35,6a	137,7a	8,5a	4,8a	286,9a	21,6a
CV (%)	0,89	2,04	0,27	0,19	0,96	1,36
<b>Prata-Anã</b>						
Micropropagada	16,8a	116,6a	8,4a	2,1a	142,1a	14,9a
Rizoma	14,2b	115,4a	8,3a	1,8b	123,4b	13,6b
CV (%)	1,15	3,71	0,37	0,18	10,52	0,67

<sup>(1)</sup>Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, para cada cultivar, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Álvares & Caldas (2002).

## Capina

As invasoras concorrem em água, luz, espaço e nutrientes com as bananeiras; liberam substâncias químicas que dificultam o seu crescimento; são hospedeiras de pragas e doenças (Soto Ballester, 2000); e exercem maior concorrência na instalação do bananal.

O controle é fundamental para evitar perdas na implantação, diminuição da densidade e para garantir um bom desenvolvimento vegetativo e a produção da primeira colheita.

O controle pode ser feito de diversas maneiras, o mais recomendado é a associação de vários métodos para maior eficiência. Dentre eles destacam-se o controle mecânico caracterizado pelo uso de enxadas, cultivadores,

grades e roçadeiras; o controle químico pelo uso de herbicidas; e a utilização de cobertura com restos de culturas ou com leguminosas em consórcio.

A manutenção das plantas invasoras sempre roçadas nas ruas mais largas, quando o espaçamento foi planejado para facilitar a mecanização e a irrigação (fileiras duplas) é um excelente método de convivência com as ervas que protegem o solo; evitam a exposição excessiva aos agentes climáticos; diminuem a compactação e conseqüentemente evitam a erosão. Além de permitir uma boa implantação do bananal, quando associado ao método químico (pulverização com herbicidas) nas ruas com as mangueiras de irrigação evitando o corte excessivo desse equipamento com as ferramentas (enxadas e foices).

O uso de leguminosas resulta em aumento da porcentagem de cachos colhidos e redução do tempo de colheita, além de proporcionar maior produtividade, quando comparado ao uso de vegetação espontânea (Espindola et al., 2006). Entre as vantagens trazidas por essa prática destacam-se a proteção do solo contra agentes climático causadores de erosão, o controle de plantas de ocorrência espontânea (Espindola et al., 2006) e o aumento da disponibilidade de nutrientes oriundos da matéria orgânica do solo.

O uso de herbicidas diminui os custos da capina, mas pode provocar toxidez, como é o caso dos inibidores do fotossistema I (paraquat e diquat) que capturam elétrons da fotossíntese e da respiração formando radicais tóxicos que degradam membranas (peroxidação de lipídios) e ocasionam o vazamento do sulco celular e a morte do tecido (Rizzardi, 2004). A fitotoxidade em bananeiras é caracterizada pela presença de lesões (mancha óleo) como na Figura 5. Os herbicidas registrados no Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento para a cultura da bananeira encontram-se na Figura 6 (Agrofit, 2008).

As Normas Técnicas para a Produção Integrada de Banana prevêm como obrigatório o controle integrado das plantas invasoras e a minimização do uso de herbicidas (Rodrigues et al. 2008).



Fig. 5. Capina química: (a) lesões provocadas por herbicidas; (b) área controlada com herbicidas.



MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO  
Secretaria de Defesa Agropecuária  
Departamento de Defesa e Inspeção Vegetal  
Coordenação de Fiscalização de Agrotóxicos

Gló. Produtos

12

### Relatório Consolidado de Produtos Formulados

Cultura: Banana

Situação do Produto:

Nr. Reg MAPA	Marca Comercial	Ingred. Ativo(Grupo Químico)	Conc. I.A.	Classe(s)	Classe Tóx. Amb.	Registrante
06199	Direct	glifosato (glicina substituída)	792,5 g/kg	Herbicidas	IV	III MONSANTO DO BRASIL LTDA.
1446188	Diuronex	diuron (uréia)	800 g/kg	Herbicidas	III	* SIPCAM AGRO S.A. - Uberaba
0986692	Diuron Nortox	diuron (uréia)	800 g/kg	Herbicidas	III	II NORTOX S.A.
00691	Finale	Glufosinato - sal de amônio (homocalanina substituída)	200 g/L	Herbicidas	III	II BAYER CROPSCIENCE LTDA. - REGISTRANTE
3078394	Glifosato Nortox	glifosato (glicina substituída)	480 g/L	Herbicidas	IV	III NORTOX S.A.
1246498	Gramodi	diuron (uréia)	100 g/L	Herbicidas	II	II SYNGENTA PROTEÇÃO DE CULTIVOS LTDA.
		Dicloreto de paraquate (bipiridílico)	200 g/L	Herbicidas	II	II SYNGENTA PROTEÇÃO DE CULTIVOS LTDA.
1518498	Gramoxone 200	Dicloreto de paraquate (bipiridílico)	200 g/L	Herbicidas	II	II SYNGENTA PROTEÇÃO DE CULTIVOS LTDA.
0368705	Herburon 500 BR	diuron (uréia)	500 g/L	Herbicidas	IV	II MILENIA AGROCIÊNCIAS S.A.
5006	Paradox	Dicloreto de paraquate (bipiridílico)	200 g/L	Herbicidas	I	II SINON DO BRASIL LTDA.
0896793	Roundup Original	glifosato (glicina substituída)	480 g/L	Herbicidas	III	III MONSANTO DO BRASIL LTDA.
04299	Roundup Transorb	glifosato (glicina substituída)	648 g/L	Herbicidas	III	III MONSANTO DO BRASIL LTDA.
02094	Roundup WG	glifosato (glicina substituída)	792,5 g/kg	Herbicidas	IV	III MONSANTO DO BRASIL LTDA.

Antes de usar o produto, leia o rótulo, a bula, a receita e conserve-os em seu poder. Consulte sempre um Engenheiro Agrônomo.

Fonte: **AGROFIT**

02-ABR-07 09:02:42

Página 1 de 1

Fig. 6. Herbicidas registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para a cultura da banana.

Fonte: Agrofite on line (2008) <<http://www.agricultura.gov.br/agrofit>>. Acesso em 15 jul. 2008.

## Desbrota e seleção de rebentos produtivos

A desbrota consiste na seleção de um dos filhos na touceira e a eliminação dos demais e é obrigatória segundo as Normas Técnicas de Produção Integrada de Banana. O procedimento deve ser realizado quando os brotos atingirem 60 cm de altura (Soto Ballester, 1992), depois da diferenciação floral. Esta operação pode ser realizada cortando o broto rente ao solo e extraíndo a gema apical com o auxílio de um desbastador (lurdinha), ou simplesmente cortando rente ao solo com um enxadão sempre que houver brotação (Figura 7), método adotado nos Perímetros Públicos de Irrigação do Norte de Minas e Sudoeste da Bahia onde há histórico de alta incidência de mal-do-Panamá

Deve-se selecionar de preferência a brotação mais vigorosa e que esteja no mesmo alinhamento do bananal e manter na mesma touceira 'mãe', 'filha' e 'neta' (Figura 8).

O aumento do número de rebentos por touceira levará a um acréscimo no ciclo de colheita e causará diminuição da produtividade (Gaiva, 1989; Resende et al., 2006).



Fotos: Cleudson Lopes de Queiroz

Fig. 7. Operação de desbrota: a) realizada com o enxadão; b) realizada com a "lurdinha".

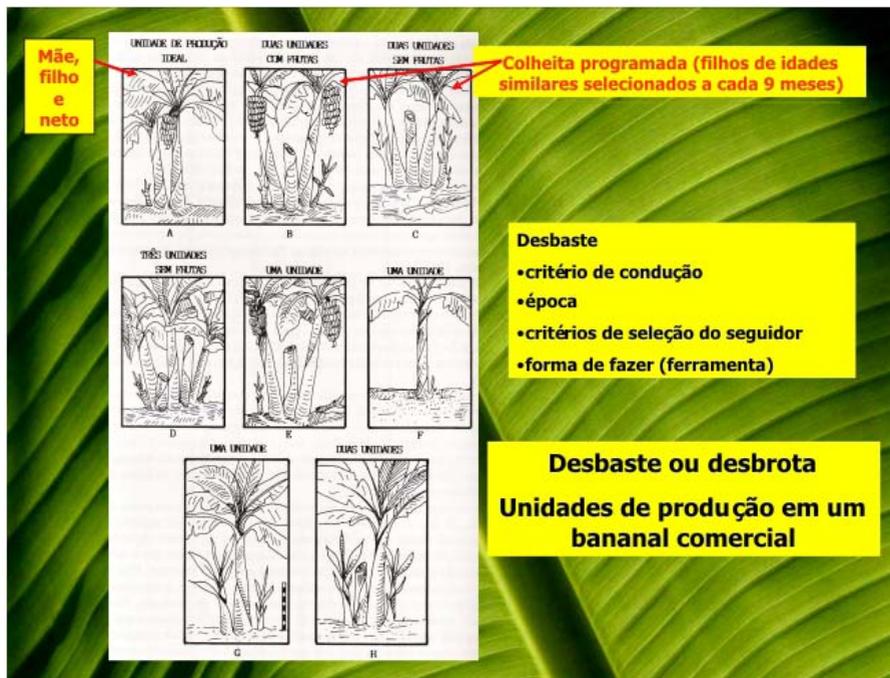


Fig. 8. Representação das unidades de produção de um bananal.

Fonte: Embrapa (1997), retirado de United Brands Company (1979), modificado.

A determinação da época de desbaste é fundamental para se obter sucesso na bananicultura (Resende et al., 2006). A execução planejada da desbrota regula a época de colheita (Manica et al. 1973).

## Desfolha

A desfolha consiste em eliminar as folhas secas sem função para a bananeira, as folhas verdes que interferem no desenvolvimento dos frutos e parte das folhas com sintomas de doenças. Tem como objetivo promover o arejamento interno do bananal, permitir uma maior entrada de luz, diminuir a umidade relativa do ar, diminuir a pressão de inóculo, e facilitar o controle de doenças fúngicas (Lichtemberg et al., 2006), acelerar o desenvolvimento dos filhos, evitar injúrias nas inflorescências e nos cachos, facilitar o ensacamento, a colheita e acelerar a ciclagem de nutrientes através da decomposição mais rápida das folhas (Moreira, 1999).

A eliminação é feita com instrumentos de corte como facão, podão e foices, de baixo para cima rente ao pseudocaule sempre depois da diferenciação floral, pois o ritmo de emissão foliar determina o número de pencas por cacho.

O sombreamento diminui taxa fotossintética das folhas, principalmente quando é baixa a intensidade luminosa provocada pela nebulosidade ou excesso de plantas por área. Soto Ballesterro (2000) defende como mínimo necessário em bananeiras do subgrupo Cavendish 11 folhas inteiras no momento da floração e 8 folhas inteiras no momento da colheita para garantir a produção de fotoassimilados exigidos no enchimento do cacho. A 'Prata-Anã' apresentou cachos mais pesados quando a planta foi mantida com no mínimo 12 folhas e maior número de pencas e de frutos com a manutenção de no mínimo 10 folhas (Rodrigues et al., 2008)

### **Retirada da inflorescência masculina (poda do coração)**

As Normas de Produção Integrada de Banana tornam obrigatória a eliminação da inflorescência masculina após a abertura da última penca deixando de 10-20 cm de ráquis e seu enterrio quando a infestação de tripes for muito alta (Brasil, 2005).

A retirada da inflorescência é uma importante medida cultural de controle da tripes-da erupção que se abriga e se alimenta destas flores; e diminui a fonte de inóculo de vários fungos como *Colletotrichum musae*, *Pycularia grisea*, e dos fungos causadores da "ponta-de-charuto" (Rodrigues et al., 2008). Esta prática integra um conjunto de técnicas de manejo do cacho na pré-colheita com o objetivo de melhorar a qualidade dos frutos, principalmente nos países tradicionalmente produtores de bananas do subgrupo Cavendish para a exportação.

Nos Perímetros Públicos Irrigados no Vale do São Francisco essa técnica é bastante utilizada pelos produtores na banana 'Prata-Anã', pois aumenta o rendimento do cacho, o diâmetro dos frutos e antecipa a colheita, provavelmente devido à interrupção do envio de fotoassimilados para esse grande dreno (Tabela 17) (Souto et al., 2001).

**Tabela 17.** Efeito da retirada da inflorescência masculina nos três ciclos de produção da bananeira Prata-Anã, cultivada sob irrigação no Norte de Minas Gerais, 1998.

Parâmetros avaliados	Primeiro Ciclo		Segundo Ciclo		Terceiro Ciclo	
	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem
Dias da retirada da inflorescência à colheita	130,00a	119,00b	122,00a	109,00b	119,00a	117,00a
Peso do cacho (kg)	10,39a	10,97a	14,91a	15,83a	20,21b	23,78a
Peso total de frutos (kg)	10,22b	11,93a	12,84a	13,54a	18,00b	21,33a
Peso médio de frutos (g)	83,46b	94,59a	108,18a	113,36a	107,10b	125,00a
Peso médio de pencas (kg)	1,21b	1,35a	1,46a	1,54a	1,69b	1,96a
Comprimento fruto central da 2ª penca (cm)	14,39a	13,30a	13,16a	13,67a	13,11b	14,51a
Diâmetro fruto central 2ª penca (cm)	3,15b	3,27a	3,39a	3,42a	3,24b	3,38a
Peso do fruto central da 2ª penca (g)	102,64b	115,48a	115,31a	122,73a	118,33b	137,96a
Espessura casca fruto central 2ª penca (mm)	0,30b	0,33a	0,30a	0,31a	0,29a	0,30a
Peso penca 1 (kg)	1,85a	1,78a	1,93a	1,86a	2,4a	2,6a
Peso penca 2 (kg)	1,54b	1,76a	1,67a	1,82a	2,1a	2,4a
Peso penúltima penca (kg)	1,12b	1,25a	1,36a	1,38a	1,40b	1,62a
Peso última penca (kg)	0,84a	0,87a	0,98a	0,90a	0,93a	1,07a
Peso médio dos frutos da última penca (g)	70,45b	83,81a	86,54a	89,10a	0,08b	0,09a
Peso engaço (kg)	2,54a	2,60a	2,07a	2,29a	2,31a	2,44a

Médias seguidas pela mesma letra, na mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Souto et al (2001).

Diversos trabalhos citados por Souto et al. (2001) confirmaram a precocidade da colheita com a eliminação da inflorescência masculina, outros observaram o aumento do peso e tamanho do cacho, além do aumento dos frutos.

Prática também recomendada no controle de pragas como Moko, tripses e a traça da bananeira (Souto et al., 2001).

### **Eliminação dos restos florais ou despistilagem**

Cultivares do subgrupo Cavendish, como a 'Nanica' e 'Grande Naine' apresentam restos florais persistentes na extremidade dos frutos. A despistilagem é a operação de retirada desses restos que pode ser feita manualmente quando as flores começam a murchar ou quinze dias após a abertura da última penca. Na cultivar Nanica é necessário o uso de ferramentas de corte devido à persistência dos restos florais. A operação exige muita mão de obra e mancha os frutos com a exudação do látex (Lichtemberg et al., 2006).

A despistilagem tem como objetivos melhorar o aspecto e a forma do fruto, reduzir a incidência da traça-da-banana, da antracnose e da "ponta-de-charuto" e reduzir os danos de transporte (Lichtemberg et al., 2006).

### **Ensacamento do cacho**

O ensacamento do cacho tem como vantagens a proteção contra danos mecânicos, a antecipação da colheita, o aumento do peso do cacho, a melhoria da qualidade dos frutos e a proteção contra o ataque de pragas como tripses-da-ferrugem, traça-da-bananeira, ácaro-da-ferrugem e abelhas arapuá vetores de doenças.

Existem vários tipos de sacos utilizados no ensacamento de cachos, alguns tratados com produtos químicos para proteção contra pragas em áreas afetadas.

Os cachos devem ser ensacados no momento da eliminação da ráquis masculina, evita-se a colocação tardia no caso de ataque de ácaro-da-ferrugem devido sua multiplicação e intensificação dos danos (Figura 9).



Fig. 9. Ensacamento do cacho.

Dentre as desvantagens do ensacamento destacam-se o aumento dos custos com a aquisição de sacos plásticos, fitilhos, mão-de-obra, dificuldade de realizar a prática em bananeiras de porte alto, aumento da persistência de restos florais, dificuldade na visualização dos frutos para identificação do ponto de colheita e maior fragilidade da casca dos frutos que aumenta os danos na pós-colheita (Rodrigues et al., 2008).

## Escoramento

A ação de ventos fortes, do peso do cacho, do porte alto da planta, do ataque de nematóides ou broca-do-rizoma, favorecem a quebra ou o tombamento das bananeiras.

O escoramento tem a finalidade de evitar o tombamento ou quebramento das plantas e conseqüentemente a proteção do cacho por meio da sustentação com escora de madeira ou fios de polipropileno. Os fios de polipropileno são mais baratos, duráveis e de fácil manejo. São amarrados

no engaço da planta que se quer proteger e na base de outra que lhe confere sustentação (Figura 10).



Foto: Sérgio Luiz Rodrigues Donato.

Fig. 10. Escoramento de plantas.

### **Corte do pseudocaule após a colheita**

Alguns autores argumentam que o corte do pseudocaule influencia no desenvolvimento da planta-filha pela translocação da seiva da planta-mãe para o broto. Outros concluíram que não há diferença de produção. Em bananeiras 'Prata-Anã' avaliadas no Norte de Minas Gerais não houve diferenças significativas para todas as características avaliadas (Rodrigues et al., 2008).

É uma prática muito usada com a finalidade de melhorar a distribuição da água de irrigação, melhorar o arejamento, manter a touceira limpa, evitar o ataque de pragas e doenças e acelerar a ciclagem de nutrientes. Torna-se obrigatória com as Normas de Produção Integrada de Banana (BRASIL, 2005).

O corte do pseudocaule facilita também a movimentação no bananal, a adubação, a colheita e os tratos culturais, além de disponibilizar material para a confecção de iscas tipo queijo para o controle da broca-do-rizoma.

## **Manejo da palhada**

A colheita, a desfolha e o corte do pseudocaule geram um grande volume de material vegetal que precisa ser manejado para aumentar a velocidade de decomposição e permitir maior ciclagem de nutrientes, além de facilitar os tratos culturais e a irrigação.

Quando o agricultor deposita todo o material (folhas e pseudocaule) nas ruas largas em bananais plantados em fileiras duplas (Perímetros Públicos de Irrigação) tende a fazer o deslocamento para realização dos tratos e da colheita nas ruas estreitas e limpas, o que provoca uma compactação excessiva que interfere na absorção de nutrientes pela diminuição do fluxo difusivo.

Desta forma recomenda-se o corte do pseudocaule em pedaços menores e sua deposição nas ruas mais largas (fileira dupla) e a deposição das folhas nas ruas com o equipamento de irrigação com a finalidade de diminuir a compactação, dificultar a infestação de invasoras e diminuir os custos com a capina.

## **Coleta de amostras de solo e folha**

A avaliação da fertilidade dos solos e do estado nutricional das lavouras para a recomendação de adubação deve ser realizada preferencialmente baseada nos dados das análises de solo e folha e da produção.

A análise de folhas e de solo permite avaliar o estado nutricional das lavouras e tem a finalidade de identificar a existência de excessos e deficiências de nutrientes para direcionar as pesquisas regionais de adubação (Silva & Rodrigues, 2001).

A coleta de solos deve ser feita de preferência na faixa de adubação, na frente do seguidor ou filho da planta que se fará a coleta de amostra de

folhas, em diferentes profundidades de 0-20 cm e de 20-40 cm, de maneira aleatória e representativa. Deve-se coletar amostras simples de glebas homogêneas que depois de misturadas originará a amostra composta que será enviada ao laboratório (Figura 11).



Foto: Cleudson Lopes de Queiroz.

Fig. 11. Coleta de amostra de solo com trado calador.

Deve-se amostrar também o solo entre as linhas de plantio para avaliação da fertilidade natural e da ciclagem de nutrientes.

A amostragem foliar deve ser feita na planta “mãe” de acordo com a norma estabelecida pelo Método de Amostragem Internacional de Referência

(MEIR) que determina o uso da terceira folha verdadeira a contar do ápice de plantas que estejam em plena floração, com metade das pencas femininas descobertas, proposto por Martin Prével em 1975, citado por Silva & Rodrigues (2001), conforme Figura 12 (Embrapa, 1997).

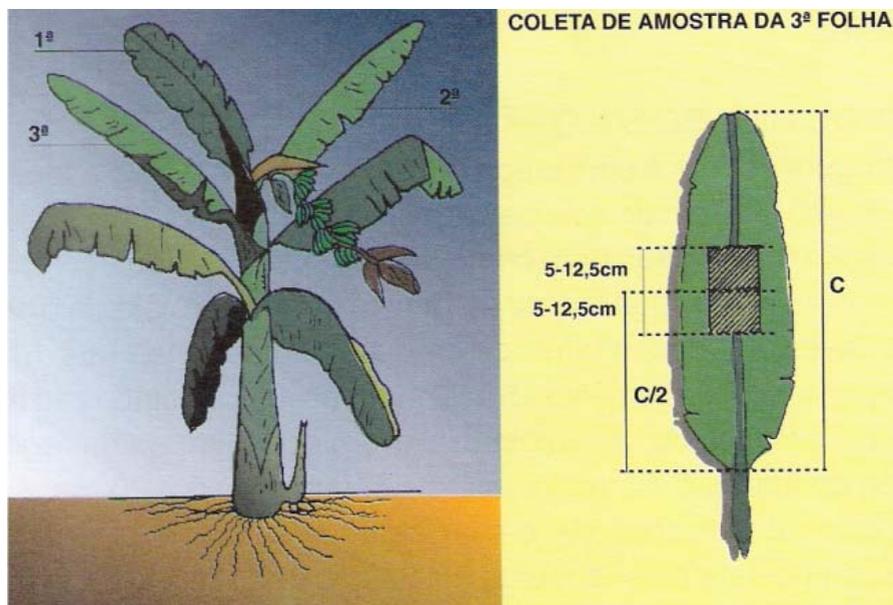


Fig. 12. Método de Amostragem Internacional de Referência (MEIR).

Fonte: Embrapa (1997).

## Referências

**Agrofit on line** <<http://www.agricultura.gov.br/agrofit>>. Acesso em 15 jul. 2008.

ÁLVARES, M. do C.; CALDAS, L. S. Crescimento, produção e variação somaclonal em bananeiras micropropagadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 3, p. 415-420, mar. 2002.

ALVES, E. J. (Org.). **A cultura da banana: aspectos técnicos, sócio-econômicos e agro-industriais**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1999. 585 p.

ALVES, E. J.; LIMA, M. B. Estabelecimento do bananal. In: CORDEIRO, Z. J. M. (Org.) *Banana Produção: aspectos técnicos*. Brasília: Embrapa, 2000. p. 73-82 (Frutas do Brasil, 1).

ALVES, E. J.; OLIVEIRA, M. A. **Escolha das cultivares ou variedades**. Cruz das Almas: EMBRAPA-CNPMPF, 1993. (EMBRAPA-CNPMPF. *Banana em Foco*, 91).

BELALCÁZAR CARVAJAL, S. L. **El cultivo de plátano em el trópico**. Cali: ICA/IDRC/Comité Departamental de Cafeteros del Quindío/INIBAP, 1991. 376 p.

BRASIL. Instrução normativa/SARC nº 001 de 20 de janeiro de 2005. [Aprova as Normas Técnicas Específicas para a Produção Integrada de Banana]. Brasília, 2005. Disponível em: <[http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAPA/SERVICOS/PROTECAO\\_INTEGRADA\\_DE\\_FRUTAS1/PROD\\_INTEGRADA-NORMAS\\_TECNICAS2/IN%20SARC%20001-2005%20NTE%20PI%BANANA.DOC](http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAPA/SERVICOS/PROTECAO_INTEGRADA_DE_FRUTAS1/PROD_INTEGRADA-NORMAS_TECNICAS2/IN%20SARC%20001-2005%20NTE%20PI%BANANA.DOC)>. Acesso em 03 de out. 2008.

DATAMUSA <<http://www.genoma.embrapa.br/musa>>. Acesso em 06 de set. 2008.

EMBRAPA. **O cultivo da banana**. In: BORGES, A. L. et al. (Editores). – Cruz das Almas: Embrapa – CNPMPF, 1997. 109p. (Embrapa-CNPMPF. *Circular Técnica*, 27).

ESPINDOLA, J. A. A. et al. Bananeiras consorciadas com leguminosas herbáceas perenes utilizadas como coberturas vivas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v.41, n.3, p.415-420, mar. 2006.

FAO. Food and Agricultural Organization. FaoStat. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/601/default.aspx>>. Acesso em: 19 fev. 2009.

FLORI, J. E.; RESENDE, G. M de.; PAIVA, L. E. Produção de bananeira ‘Grande Naine’ superadensada e irrigada no Vale do São Francisco. **Cienc. Agrtec.**, Lavras, v. 28, n. 5, p. 1060-1065, set.out., 2004

GAIVA, H.N. **Influência do número de rebentos, época de seleção sobre o crescimento e produção da bananeira cv. Nanicão (AAA subgrupo Cavendish) na região de Jaboticabal-SP.** 1989. Dissertação. (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal.

LICHTENBERG, L. A.; HINZ, R. H.; MALBURG, J. L. Manejo Cultural de Pragas e Doenças da Bananeira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE BANANICULTURA, VI, 2006, Joinville. **Anais...** Joinville: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Santa Catarina, 2006. vol. 1.

MANICA, I.; PEREZ, F. P. Z.; SIMÃO, F. S. Influência da época de seleção do rebento sobre o desenvolvimento e produção da planta matriz de bananeira (*Musa cavendishii*) cultivar Nanicão. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v.30, n. 11, p. 353- 364, 1973.

MOREIRA, R. S. **Banana: teoria e prática de cultivo**. 2ª edição. CD-ROM. FUNDAÇÃO CARGIL. São Paulo, SP.1999. [ CD-ROM].

PEREIRA, M. C. T. Crescimento e produção de primeiro ciclo da bananeira 'Prata Anã' (AAB) em sete espaçamentos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. V.35, n.7, p. 1377-1387, jul. 2000.

PEREIRA, M. C. T. **Crescimento e produção de primeiro ciclo da bananeira (*Musa* spp.) 'Prata Anã' (AAB) em sete espaçamentos, em Jaíba e Visconde do Rio Branco-MG**. Viçosa: UFV, 1997. 56p. Dissertação de Mestrado.

RESENDE, J. C. F. de; SALOMÃO, L. C. C.; CORSATO, C. E.; CASTRO, A. M. Colheita da bananeira Prata Anã por meio da seleção de rebentos produtivos. In: Resultados de Pesquisa - Epamig - Centro Tecnológico do Norte de Minas 2000-2004, 2006, Nova Porteirinha. Resultados de Pesquisa - **Resumos**. Nova Porteirinha: Epamig-CTNM, 2006. p. 30-32.

RIZZARDI, M. A. Aspectos gerais do manejo e controle de plantas daninhas. In: Vargas, L.; Roman, E.S. (Editores). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas** – Bento Gonçalves-Embrapa uva e vinho, 2004. p.105-144

RODRIGUES, M. G. V.; DIAS, M. S. C.; RUGGIERO, C.; LICHTENBERG, L. A. Planejamento, implantação e manejo do bananal. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 29, n. 245, p. 14-24. 2008.

SILVA, E. de B. & RODRIGUES, M. G. V. Levantamento nutricional dos bananais da região norte de minas gerais pela análise foliar. **Revista Brasileira de Fruticultura.**, Jaboticabal - SP, v. 23, n. 3, p. 695-698, dezembro 2001.

SOTO BALLESTERO, M. **Bananos: cultivo y comercialización**. 2.ed. San José, Costa Rica: Litografía e Imprenta Lil, 1992. 674 p.

SOTO BALLESTERO, M. **Bananos: cultivo y comercialización**. CD-ROM. 2 ed. EARTH, Escuela de Agricultura de la región Tropical Húmeda. Costa Rica, 2000. [CD-ROM].

SOUTO, R. F.; RODRIGUES, M. G. V.; MENEGUCCI, J. L. P. Efeito da retirada da inflorescência masculina na precocidade da colheita e produção da bananeira 'Prata-Ãna sob irrigação na região norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.23, n.2, p. 257-260, ago. 2001.



# Evapotranspiração e Necessidades Hídricas

---

*Maurício Antonio Coelho Filho*

*Eugênio Ferreira Coelho*

*Luiz Roberto Angelocci*

## Definições

O consumo de água de uma cultura normalmente se refere à água transferida para a atmosfera pelos processos de evaporação da superfície do solo e pela transpiração da planta, ou seja, a evapotranspiração.

Buscando apresentar uma padronização para a definição da evapotranspiração de referência e visando, principalmente, à utilização do modelo de Penman-Monteith, Smith (1991) apresentou uma conceituação da ETo como aquela que ocorre em uma cultura hipotética, com altura fixa de 0,12 m, poder refletor (albedo) de 23% e resistência difusiva do dossel ao transporte de vapor d'água de  $70 \text{ s.m}^{-1}$ . Essa proposição, coincide com a evapotranspiração de uma superfície coberta com grama, em crescimento ativo e sem restrições de água no solo.

Em locais onde existe uma pequena área irrigada em torno de uma grande área seca, ou quando a área de bordadura não é suficiente para eliminar os efeitos advectivos do calor sensível, pode ser verificada a ocorrência de valores de evapotranspiração superiores à ETP, recebendo, nessas condições, a denominação de evapotranspiração de oásis (ETO), Figura 2.

Durante os diferentes estágios fenológicos das culturas e sua ocupação na área disponível, ocorre a chamada evapotranspiração da cultura (ETc),

também denominada de evapotranspiração máxima (ET<sub>m</sub>), pois ela é definida para condições específicas que não afetam o crescimento/ desenvolvimento da cultura, ou seja, não ocorrência de pragas e doenças, deficiências nutricionais e hídrica, estando o solo com água facilmente disponível. Apesar de sua determinação ser difícil e muitas vezes inexata, a ET<sub>c</sub> é muito importante para um bom dimensionamento de projetos de irrigação, visto que ela representa a quantidade de água que deve ser reposta ao solo para manter o crescimento e a produção da cultura em condições ideais.

Além das condições meteorológicas, ET<sub>c</sub> é dependente da área foliar da cultura (AF), ou seja, da sua superfície evapotranspirante e pode ser relacionada à evapotranspiração de referência por um *coeficiente de cultura* (K<sub>c</sub>):

$$ET_c = K_c \cdot ET_o \quad (3)$$

O valor de K<sub>c</sub> varia ao longo do ciclo de uma cultura desde um valor inicial (normalmente entre 0,2 e 0,3), crescendo linearmente até passar por um máximo (K<sub>c</sub> da fase intermediária, em torno de 1,1 - 1,2) quando da ocorrência do máximo crescimento e de área foliar, diminuindo depois com a senescência de folhas e maturação da cultura (K<sub>c</sub> final), acompanhando assim a variação da área foliar por unidade de área de terreno ou *índice de área foliar* (IAF) e, portanto da fração de solo coberto e da fração molhada (aspersão > microaspersão > gotejamento). Além dos fatores relacionados com a cultura trabalhada (diferenças na anatomia da folha, nas características dos estômatos, nas propriedades aerodinâmicas (altura das plantas) e no albedo) que fazem com que a ET<sub>c</sub> seja substancialmente diferente da ET<sub>o</sub> (afetando o valor de K<sub>c</sub>), mesmo sob as mesmas condições climáticas e de mesma área foliar e do sistema de irrigação, o manejo de irrigação também afeta substancialmente os valores (Figura 13). Irrigações mais frequentes favorecem a manutenção da umidade na superfície do solo e conseqüentemente ao aumento da parcela evaporada. Verificar esse efeito direto nos valores de K<sub>c</sub> inicial da Figura 14.

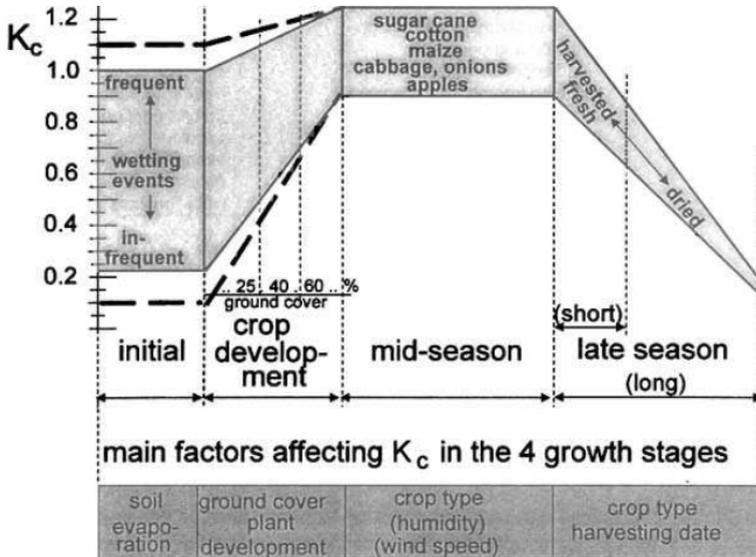


Fig. 13. Valores de  $K_c$  típicos, considerando quatro fases de desenvolvimento.

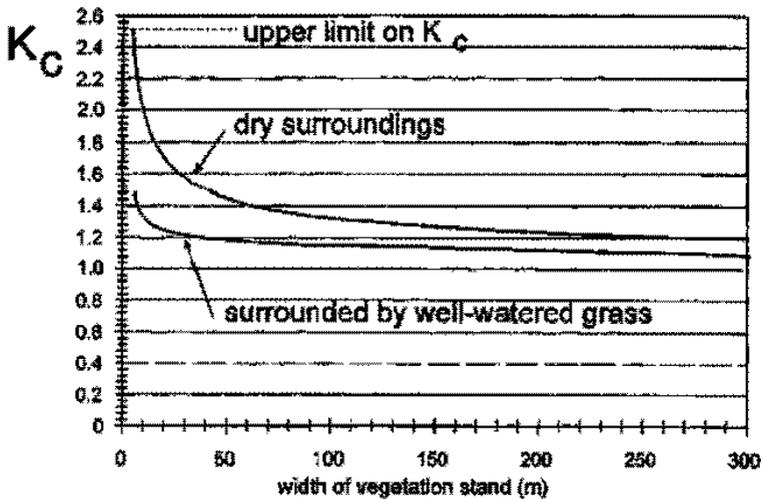


Fig. 14. Figura representativa do efeito oásis nos valores de  $K_c$  observados.

## Unidades

Para fins de aplicações em irrigação e climatologia, a evapotranspiração é quantificada como a perda de determinado volume de água em área unitária, ou seja, representando uma altura ou lâmina de água expressa em mm (milímetros) por unidade de tempo. Considerando perda de 1 litro de água de uma superfície com área igual a 1 m<sup>2</sup>, tem-se que:

$$ET = 1 \text{ litro} / 1 \text{ m}^2 = 1.000 \text{ cm}^3 / 10.000 \text{ cm}^2 = 0,1 \text{ cm} = 1 \text{ mm} \quad (4)$$

Para uma superfície de 1 ha (10.000 m<sup>2</sup>), uma ET = 1 mm (0,001 m), irá corresponder a um volume de água de:

$$0,001 \text{ m} = V / 10.000 \text{ m}^2 \quad \Rightarrow \quad V = 10 \text{ m}^3 \quad (5)$$

ou seja, 1 mm dia<sup>-1</sup> corresponde a 10 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>.

Sendo um processo envolvendo uso ou dissipação de energia líquida disponível, a evapotranspiração pode ser expressa em termos de calor latente de vaporização ( $\ddot{e}$ ), cujos valores dependem da temperatura ambiente. Por exemplo, a 20 °C,  $\ddot{e} = 2,45 \text{ MJkg}^{-1}$ , enquanto que a 5 °C,  $\ddot{e} = 2,48 \text{ MJkg}^{-1}$ . Em média, adota-se o valor de  $\ddot{e} = 2.45 \text{ MJkg}^{-1}$ , o que significa que são necessários 2,45 MJ para evaporar 1 kg de água. Considerando a densidade da água igual à unidade, 1 kg de água corresponde a 1 litro e, portanto, para evaporar 1 mm são necessários 2,45 MJ/m<sup>2</sup>.

## Aspectos do Sistema Solo-atmosfera Importantes para o Processo de Evapotranspiração

### Disponibilidade de água no solo

As características físicas do solo, como a textura e a estrutura, afetam diretamente a capacidade de absorção de água pela planta, pois estão ligadas à capacidade do solo em armazenar água e transportá-la para a

superfície das raízes. O conhecimento do armazenamento de água disponível é uma informação básica para projetos de irrigação, considerando-se o limite superior (*capacidade de campo*) e o inferior (*ponto de murcha permanente*), que definem a “capacidade de água disponível” (CAD). Porém quando há esgotamento da água do solo, antes de a umidade atingir o ponto de murcha permanente, as atividades fisiológicas são afetadas, ocorrendo a redução do crescimento da cultura, como consequência da diminuição de assimilação de  $\text{CO}_2$  pelo aumento da resistência estomática e da redução da transpiração.

Como a dinâmica da água na planta envolve interação de fatores do solo, da planta (sistema radicular e área foliar) e da atmosfera (demanda atmosférica), é mais apropriada a utilização do conceito de “água facilmente disponível no solo”, representando uma fração da CAD passível de ser esgotada sem que a planta sofra deficiência hídrica, situação na qual a planta transpira potencialmente.

A lâmina de água facilmente disponível depende do tipo de solo, da profundidade do sistema radicular, inerente à espécie de interesse e da demanda atmosférica. Solos arenosos, por exemplo, tendem a ter menor capacidade de água disponível por unidade de profundidade, com um limite mínimo de cerca de 0,5 mm de água/cm de profundidade, enquanto que solos argilosos podem chegar num limite extremo a apresentarem 2,0 mm/cm de água disponível. Verifica-se, assim, que quanto maior o volume de solo explorado pelo sistema radicular, maior a disponibilidade de água para planta. Quanto maior a demanda atmosférica por água, maior a exigência hídrica da planta e maior deve ser a disponibilidade de água para ela não sofrer déficit, ou seja, a fração da água facilmente disponível deverá ser crescente com o aumento da demanda. Esse fato pode ser observado na Figura 15. Se a demanda atmosférica for baixa (evaporação do tanque Classe A -  $\text{ECA} < 5 \text{ mm.d}^{-1}$ ), a planta consegue extrair água do solo até uma certa porcentagem da CAD; se a demanda for muito alta ( $\text{ECA} > 7,5 \text{ mm d}^{-1}$ ), mesmo com bastante umidade no solo, a planta não consegue extraí-la numa taxa compatível com suas necessidades, resultando fechamento temporário dos estômatos para evitar o secamento da folha (Pereira et al., 1997).

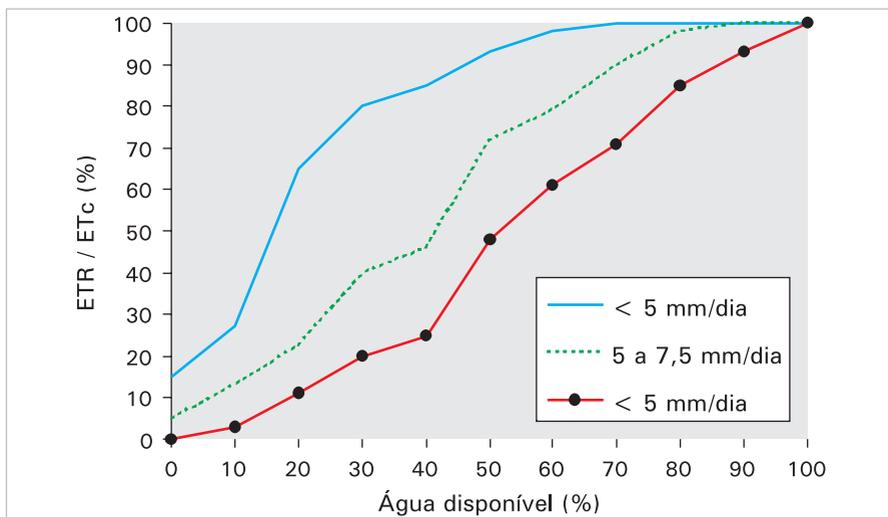


Fig. 15. Inter-relação da evapotranspiração relativa de plantas (evapotranspiração real ETR/evapotranspiração máxima da cobertura ETc) com a porcentagem de água disponível no solo. Adaptado de Denmead & Shaw (1962).

## Balanco de energia radiante

A energia radiante é primordial para a ocorrência dos processos fisiológicos das plantas e físicos do ambiente. O saldo de radiação ou radiação líquida ( $R_n$ ) representa o total de energia radiante disponível no sistema após o balanço entre seus fluxos de entrada e de saída, compondo o balanço de ondas curtas (BOC) e o de ondas longas (BOL), de modo que  $R_n = BOC + BOL$ . Os valores instantâneos e periódicos do BOC dependem da irradiância solar global, esta dependente da hora do dia, época do ano e condições atmosféricas) e de características radiométricas da superfície vegetada ligadas à reflexão de ondas curtas (espécie, porcentagem de cobertura do solo, estágio fenológico), enquanto que os de BOL dependem, também, de características atmosféricas (principalmente teor de vapor d' água e nebulosidade) e da própria temperatura da superfície. No sistema vegetado, basicamente, o saldo de radiação pode ser repartida no aquecimento do ar e da planta (calor sensível), no aquecimento do solo, nos processos de sínteses biológicas, na evaporação da água do solo e transpiração das plantas. Sem limitação hídrica no solo, a maior fração da energia disponível, representada pelo saldo de radiação descontado do fluxo de calor no solo ( $R_n - G$ ), é usada na forma de calor latente de vaporização. Quando há limitação de água, a

partição de  $R_n$  começa a favorecer o calor sensível, ou seja, o aquecimento do ar e da cobertura vegetal, além de aumentar o poder evaporante do ar.

Portanto, em cultivos irrigados o processo que predomina na partição do energia radiante disponível é a evapotranspiração. Quando a cultura apresenta baixo índice de área foliar, cobrindo pequena parcela do solo, o processo dominante é a evaporação da água no solo, principalmente quando se está irrigando por aspersão. As perdas por evaporação são minimizadas diminuindo a superfície molhada do solo, por exemplo, para irrigação localizada. Com o aumento do IAF, a energia é utilizada basicamente para a transpiração, principalmente em se tratando de árvores (como em pomares) que possuem elevada superfície foliar e em sistemas localizados de irrigação.

### **Umidade e temperatura do ar; velocidade do vento**

A transpiração depende diretamente da diferença de concentração de vapor entre a folha (próxima à saturação) e a atmosfera. Desse modo, o aumento da umidade relativa do ar diminui as diferenças de concentração de vapor e tende a fazer com que a transpiração diminua. Por outro lado, um aumento da temperatura faz com que o déficit de saturação de vapor do ar aumente e, também, as diferenças entre concentração de vapor folha-ar, de modo que mantidas as outras variáveis constantes, a transpiração se eleva até o momento em que há regulação estomática para evitar a perda excessiva de água.

O vento atua amplificando a ação dos outros elementos meteorológicos, aumentando a energia disponível para planta transpirar, mediante o transporte energético por advecção de uma área mais seca para outra mais úmida. Mediante o movimento do ar na superfície foliar, remove o vapor d'água, aumentando as diferenças de concentração de vapor folha-ar, contribuindo para o aumento da perda de vapor d'água da folha. A velocidade do vento afeta, também, a condutância difusiva da camada-limite da folha, aumentando-a com o aumento da velocidade e, conseqüentemente, aumentando a taxa transpiratória.

O efeito combinado, velocidade de vento, temperatura e umidade do ar define a demanda atmosférica por vapor d'água (Pereira et al., 2002).

## Determinação da Evapotranspiração

### Estimativa meteorológica da evapotranspiração de referência

Devido ao intenso uso da evapotranspiração de referência nos estudos de relações hídricas no SSPA, principalmente quando o interesse é a aplicação em irrigação, inúmeros métodos empíricos e semi-empíricos com base em dados meteorológico foram criados para estimá-la, como uma forma de simplificar a estimativa.

Nos itens a seguir serão discutidos os seguintes métodos mais empregados: o de Thornthwaite; o de Camargo; o de Hargreaves e Samani; o do tanque classe A e o de Penman-Monteith.

Os quatro primeiros são considerados empíricos no sentido de que utilizam de relações obtidas em condições específicas entre  $ET_o$  e uma ou mais variáveis meteorológicas, enquanto o de Penman-Monteith baseia-se em um modelo analítico. Muitos estudos de comparação de métodos tem sido realizados e com base nos estudos realizados ao redor do mundo, a FAO acabou adotando como padrão o de Penman-Monteith parametrizado por Allen et al. (1998). Entretanto, esse método exige medidas de no mínimo quatro variáveis meteorológicas. O de tanque classe A exige três (incluindo-se a própria evaporação do tanque), enquanto os três primeiros citados somente exigem a temperatura do ar. Dois outros aspectos devem ser considerados: métodos que usam somente uma variável, como os de Thornthwaite, de Camargo e de Hargreaves-Samani apresentam melhores estimativas para períodos mais longos (semanas, mês), enquanto que um método analítico como o de Peman-Monteith pode ser empregado em escala diária ou, com os cuidados recomendados, até em escala horária. Finalmente, métodos empíricos como os baseados em temperatura do ar, geram melhor estimativa para climas iguais ou próximos àqueles em que forma obtidos, como o de Thornthwaite e o de Camargo, que apresentam melhores estimativas em climas úmidos, enquanto que o de Hargreaves e Samani apresenta desempenho melhor em clima semi-árido.

## Método de Thornthwaite

Desenvolvido por Thornthwaite (1948) nos Estados Unidos com o objetivo de estimar ETo de uma forma bastante simples a partir da temperatura do ar, expressando essa variável a energia disponível no ambiente. Como a energia é a única variável considerada e pelo fato de ser um método desenvolvido e testado em condições de clima úmido, seus cálculos tendem a levar a subestimativas, principalmente em condições de clima seco.

A ETo é obtida em mm mês<sup>-1</sup> pela seguinte formulação (Sentelhas, 2001):

$$ETp = 16.(10.Tm/I)^a \quad \text{para } 0 < Tm < 26,5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (6)$$

$$ETp = -415,85 + 32,24.Tm - 0,43.Tm^2 \quad \text{para } T \geq 26,5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (7)$$

sendo ETp é a evapotranspiração padronizada para um mês de 30 dias e para um fotoperíodo (N) igual a 12h; Tm a temperatura média do mês, em °C ; "I" e "a" índices de calor, obtidos a partir dos dados normais da região e determinados pelas seguintes expressões:

$$I = S(0,2.Tni)^{1,514} \quad (8)$$

$$I = 12.(0,2.Ta)^{1,514} \quad (9)$$

$$a = 0,49239 + 1,7912.10^{-2}.I - 7,71.10^{-5}.I^2 + 6,75.10^{-7}.I^3 \quad (10)$$

sendo Tn a temperatura média normal do mês i (i = 1 a 12), Ta a temperatura média anual normal (média histórica), ambas em °C.

O valor de ETp, esta deve ser corrigida em função do número de dias (ND) e do fotoperíodo médio (N) do mês em questão na latitude do local, que pode ser obtido ou por cálculos de origem astronômica (ver Pereira et al., 2002) ou na Tabela 18. Assim, ETo em mm/mês, é dada por:

$$ETo = ETp.(ND/30).(N/12) \quad (11)$$

Embora não seja um método desenvolvido originariamente para estimativas em base diária, pode-se estimar ETo diária usando-se nas equações o valor diário de temperatura do ar do local no cálculo de ETp e colocá-lo na equação (55), usando-se ND = 1 e o valor de N do dia.

Para torná-lo aplicável em condições de clima super-úmido ou semi-árido do Brasil, no quais o método original não se mostrou eficiente, Camargo et al. (1997) propuseram um ajuste que se refere ao uso de uma "temperatura efetiva" (Tef) no lugar Tm, dada por:

$$T_{ef} = 0,36.(3.T_{max} - T_{min})$$

(12)

sendo  $T_{max}$  a temperatura máxima do ar e  $T_{min}$  a temperatura mínima do ar, em °C.

**Tabela 18.** Valor do fotoperíodo no dia 15 de cada mês para várias latitudes compreendendo o território brasileiro.

LAT (grau)	Dia 15 de cada mês											
	15/1	15/2	15/3	15/4	15/5	15/6	15/7	15/8	15/9	15/10	15/11	15/12
0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
-1	12,1	12,0	12,0	12,0	12,0	11,9	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,1
-2	12,1	12,1	12,0	12,0	11,9	11,9	11,9	11,9	12,0	12,0	12,1	12,1
-3	12,2	12,1	12,0	11,9	11,9	11,8	11,8	11,9	12,0	12,1	12,1	12,2
-4	12,2	12,1	12,0	11,9	11,8	11,8	11,8	11,9	12,0	12,1	12,2	12,2
-5	12,3	12,2	12,0	11,9	11,8	11,7	11,7	11,8	12,0	12,1	12,2	12,3
-6	12,3	12,2	12,0	11,9	11,7	11,7	11,7	11,8	12,0	12,1	12,3	12,3
-7	12,4	12,2	12,0	11,8	11,7	11,6	11,6	11,8	12,0	12,2	12,3	12,4
-8	12,4	12,3	12,1	11,8	11,6	11,5	11,6	11,7	12,0	12,2	12,4	12,5
-9	12,5	12,3	12,1	11,8	11,6	11,5	11,5	11,7	12,0	12,2	12,4	12,5
-10	12,5	12,3	12,1	11,8	11,5	11,4	11,5	11,7	12,0	12,2	12,5	12,6
-11	12,6	12,4	12,1	11,8	11,5	11,4	11,4	11,6	11,9	12,3	12,5	12,6
-12	12,6	12,4	12,1	11,7	11,4	11,3	11,4	11,6	11,9	12,3	12,6	12,7
-13	12,7	12,4	12,1	11,7	11,4	11,2	11,3	11,6	11,9	12,3	12,6	12,8
-14	12,7	12,5	12,1	11,7	11,4	11,2	11,3	11,5	11,9	12,3	12,7	12,8
-15	12,8	12,5	12,1	11,7	11,3	11,1	11,2	11,5	11,9	12,4	12,7	12,9
-16	12,9	12,5	12,1	11,6	11,3	11,1	11,1	11,5	11,9	12,4	12,8	13,0
-17	12,9	12,6	12,1	11,6	11,2	11,0	11,1	11,4	11,9	12,4	12,8	13,0
-18	13,0	12,6	12,1	11,6	11,2	10,9	11,0	11,4	11,9	12,4	12,9	13,1
-19	13,0	12,6	12,1	11,6	11,1	10,9	11,0	11,4	11,9	12,5	12,9	13,1
-20	13,1	12,7	12,1	11,5	11,1	10,8	10,9	11,3	11,9	12,5	13,0	13,2
-21	13,1	12,7	12,1	11,5	11,0	10,7	10,8	11,3	11,9	12,5	13,0	13,3
-22	13,2	12,7	12,1	11,5	10,9	10,7	10,8	11,2	11,9	12,5	13,1	13,3
-23	13,3	12,8	12,2	11,5	10,9	10,6	10,7	11,2	11,9	12,6	13,1	13,4
-24	13,3	12,8	12,2	11,4	10,8	10,5	10,7	11,2	11,9	12,6	13,2	13,5
-25	13,4	12,8	12,2	11,4	10,8	10,5	10,6	11,1	11,9	12,6	13,2	13,6
-26	13,5	12,9	12,2	11,4	10,7	10,4	10,5	11,1	11,9	12,6	13,3	13,6
-27	13,5	12,9	12,2	11,4	10,7	10,3	10,5	11,1	11,9	12,7	13,4	13,7
-28	13,6	13,0	12,2	11,3	10,6	10,2	10,4	11,0	11,9	12,7	13,4	13,8
-29	13,7	13,0	12,2	11,3	10,5	10,2	10,3	11,0	11,8	12,7	13,5	13,8
-30	13,7	13,0	12,2	11,3	10,5	10,1	10,3	10,9	11,8	12,8	13,5	13,9
-31	13,8	13,1	12,2	11,2	10,4	10,0	10,2	10,9	11,8	12,8	13,6	14,0
-32	13,9	13,1	12,2	11,2	10,4	9,9	10,1	10,8	11,8	12,8	13,7	14,1
-33	14,0	13,2	12,2	11,2	10,3	9,8	10,0	10,8	11,8	12,9	13,7	14,2

## Método de Camargo

O método proposto por Camargo (1971) é uma simplificação do método de Thornthwaite (1948), com uso apenas da temperatura média do ar e com a vantagem de não exigir dados normais de temperatura do ar. A equação de cálculo é:

$$ET_o = 0,01.Q_o.T_{med}.ND \quad (13)$$

sendo  $Q_o$  a irradiância solar extraterrestre expressa em mm de evaporação equivalente (Tabela 19)  $T_{med}$  é temperatura média do período considerado, em °C, e ND o número de dias do período considerado.

## Método de Hargreaves e Samani

Também utiliza como variável a temperatura do ar, tendo sido desenvolvido para as condições de clima semi-árido da Califórnia. É recomendado pela FAO (Allen et al., 1998) como uma opção para a estimativa de  $ET_o$ , quando há somente disponibilidade de dados de temperatura do ar local, mas por ser um método empírico desenvolvido para as condições acima especificadas, apresenta problemas, principalmente com superestimativas em clima úmido (Sentelhas e Camargo, 1996 ; Allen et al., 1998). Sua fórmula para a estimativa diária de  $ET_o$  é a seguinte:

$$ET_o = 0,0023.Q_o.(T_{max} - T_{min})^{0.5}.(T_{med} + 17,8) \quad (14)$$

sendo  $T_{max}$  a temperatura máxima do ar, em °C,  $T_{min}$  a temperatura mínima do ar, em °C,  $T_{med}$  a temperatura média do ar, em °C, e  $Q_o$  a irradiância solar extraterrestre, expressa em mm de evaporação equivalente (Tabela 19).

**Tabela 19.** Valores (em mm.d<sup>-1</sup>) da irradiância solar extraterrestre no dia 15 de cada mês em várias latitudes compreendendo o território brasileiro.

LAT (grau)	Dia 15 de cada mês											
	15/1	15/2	15/3	15/4	15/5	15/6	15/7	15/8	15/9	15/10	15/11	15/12
0	14,8	15,3	15,5	15,0	14,2	13,6	13,8	14,5	15,2	15,2	14,8	14,5
-1	14,9	15,4	15,5	14,9	14,1	13,5	13,7	14,4	15,2	15,3	15,0	14,7
-2	15,1	15,5	15,5	14,9	13,9	13,3	13,5	14,3	15,1	15,4	15,1	14,9
-3	15,2	15,6	15,5	14,8	13,8	13,1	13,4	14,2	15,1	15,4	15,2	15,0
-4	15,3	15,6	15,5	14,7	13,6	13,0	13,2	14,1	15,1	15,5	15,4	15,2
-5	15,5	15,7	15,5	14,6	13,5	12,8	13,0	14,0	15,1	15,5	15,5	15,3
-6	15,6	15,8	15,5	14,5	13,3	12,6	12,9	13,9	15,0	15,6	15,6	15,5
-7	15,8	15,9	15,5	14,4	13,2	12,4	12,7	13,8	15,0	15,6	15,7	15,6
-8	15,9	15,9	15,5	14,3	13,0	12,2	12,5	13,6	14,9	15,7	15,8	15,8
-9	16,0	16,0	15,5	14,2	12,8	12,1	12,3	13,5	14,9	15,7	15,9	15,9
-10	16,1	16,0	15,4	14,1	12,7	11,9	12,2	13,4	14,8	15,7	16,0	16,1
-11	16,2	16,1	15,4	14,0	12,5	11,7	12,0	13,2	14,7	15,7	16,1	16,2
-12	16,3	16,1	15,4	13,9	12,3	11,5	11,8	13,1	14,7	15,8	16,2	16,3
-13	16,5	16,2	15,3	13,7	12,2	11,3	11,6	12,9	14,6	15,8	16,3	16,4
-14	16,6	16,2	15,3	13,6	12,0	11,1	11,4	12,8	14,5	15,8	16,4	16,6
-15	16,7	16,2	15,2	13,5	11,8	10,9	11,2	12,6	14,4	15,8	16,5	16,7
-16	16,7	16,3	15,2	13,4	11,6	10,7	11,0	12,5	14,4	15,8	16,5	16,8
-17	16,8	16,3	15,1	13,2	11,4	10,5	10,8	12,3	14,3	15,8	16,6	16,9
-18	16,9	16,3	15,1	13,1	11,2	10,2	10,6	12,2	14,2	15,8	16,7	17,0
-19	17,0	16,3	15,0	12,9	11,0	10,0	10,4	12,0	14,1	15,8	16,7	17,1
-20	17,1	16,3	14,9	12,8	10,8	9,8	10,2	11,8	14,0	15,7	16,8	17,2
-21	17,1	16,3	14,9	12,6	10,6	9,6	10,0	11,6	13,9	15,7	16,9	17,3
-22	17,2	16,3	14,8	12,5	10,4	9,4	9,8	11,5	13,8	15,7	16,9	17,4
-23	17,3	16,3	14,7	12,3	10,2	9,2	9,6	11,3	13,6	15,7	17,0	17,4
-24	17,3	16,3	14,6	12,1	10,0	8,9	9,3	11,1	13,5	15,6	17,0	17,5
-25	17,4	16,3	14,5	12,0	9,8	8,7	9,1	10,9	13,4	15,6	17,0	17,6
-26	17,4	16,3	14,4	11,8	9,6	8,5	8,9	10,7	13,3	15,5	17,1	17,7
-27	17,5	16,3	14,3	11,6	9,4	8,3	8,7	10,5	13,1	15,5	17,1	17,7
-28	17,5	16,2	14,2	11,5	9,2	8,0	8,5	10,3	13,0	15,4	17,1	17,8
-29	17,6	16,2	14,1	11,3	8,9	7,8	8,2	10,1	12,9	15,4	17,1	17,8
-30	17,6	16,2	14,0	11,1	8,7	7,6	8,0	9,9	12,7	15,3	17,1	17,9
-31	17,6	16,1	13,9	10,9	8,5	7,3	7,8	9,7	12,6	15,2	17,2	17,9
-32	17,6	16,1	13,7	10,7	8,3	7,1	7,5	9,5	12,4	15,2	17,2	18,0
-33	17,7	16,0	13,6	10,5	8,0	6,9	7,3	9,3	12,3	15,1	17,2	18,0

## Método do tanque classe A

Baseia-se no fato de que há uma relação entre a evaporação do tanque Classe A e a ETo. Essa relação é afetada pelas diferenças entre os mecanismos de perda de água de uma superfície vegetal extensa e a

pequena superfície de um tanque com paredes laterais expostas. A relação é ajustada por um coeficiente de proporcionalidade denominado de coeficiente de tanque ( $K_p$ ) pela expressão:

$$ET_o = ECA \cdot K_p \quad (15)$$

O valor de  $K_p$  é função da velocidade do vento, da umidade relativa, do tamanho e do tipo da bordadura circunvizinha ao tanque Classe A e, sendo a lâmina de água do tanque maior do que a do gramado, ele tende a ser menor do que 1, podendo ser estimado pelas seguintes equações apresentadas (Allen et al., 1998):

*Para bordadura vegetada*

$$K_p = 0,108 - 0,0286 \cdot U_{2m} + 0,0422 \cdot \ln(B) + 0,1434 \cdot \ln(UR_{med}) - 0,00063 \cdot [\ln(B)]^2 \cdot \ln(UR_{med}) \quad (16)$$

*Para bordadura sem vegetação*

$$K_p = 0,61 + 0,00341 \cdot UR_{med} - 0,000162 \cdot U_{2m} \cdot UR_{med} - 0,00000959 \cdot U_{2m} \cdot B + 0,00327 \cdot U_{2m} \cdot \ln(B) - 0,00289 \cdot U_{2m} \cdot \ln(86,4 \cdot U_{2m}') - 0,0106 \cdot \ln(86,4 \cdot U_{2m}') \cdot \ln(B) + 0,00063 \cdot [\ln(B)]^2 \cdot \ln(86,4 \cdot U_{2m}') \quad (17)$$

sendo  $U_{2m}$  a velocidade média do vento a 2m de altura, em  $\text{ms}^{-1}$ , B a extensão da bordadura vegetada, em m, e  $UR_{med}$  a umidade relativa média diária, em %. Essas duas equações são aplicáveis dentro dos limites: limites:  $U_{2m}$  entre 1 e 8 m/s, B entre 1 e 1000 e  $UR_{med}$  entre 30 e 84%.

Na falta de dados de  $UR_{med}$  e de  $U_{2m}'$ , Allen et al. (1998) sugerem a adoção dos seguintes valores médios de acordo com a classificação climática da região:

Clima árido:  $U_{2m}$  igual ou menor que 1,0  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  e  $UR_{med} = 45\%$

Clima semi-árido:  $U_{2m}$  de 1,1 a 3,0  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  e  $UR_{med} = 55\%$

Clima sub-úmido:  $U_{2m}$  de 3,1 a 4,0  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  e  $UR_{med} = 70\%$

Clima úmido: maior que 4,0  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  e  $UR_{med} = 85\%$

## Método de Penman-Monteith (FAO)

Penman introduziu em 1948 um modelo para estimativa da evaporação de uma superfície de água livre, combinando o balanço de energia (termo energético) e o transporte de massa de vapor (termo aerodinâmico), pelo uso de dados de insolação, temperatura, umidade e velocidade do vento, obtidos em estações meteorológicas. Posteriormente, ele foi aplicado para a estimativa da evapotranspiração. O método foi, também, aplicado para estimativa de evapotranspiração potencial (de referência) por adaptação do termo energético (uso de albedo do gramado, no lugar da superfície de água livre) e ajuste do termo aerodinâmico, considerando a diferença de rugosidade entre os dois tipos de superfície.

Monteith (1965) aplicou ao modelo de Penman um tratamento envolvendo o conceito de resistências à difusão de vapor, assumindo que a cobertura vegetal poderia ser representada por uma grande folha única, daí o nome de “modelo da grande folha” (“big leaf model”). Allen et al. (1989) ajustaram o agora denominado método de Penman-Monteith para a estimativa da evapotranspiração de referência na escala diária, de acordo com a definição de  $ETo$  dada no item 6.1, com a seguinte parametrização recomendada como padrão pela FAO para a estimativa dessa variável expressa em  $mm \cdot d^{-1}$ :

$$ETo = \{0,408 \cdot s \cdot (Rn - G) + \tilde{g} [900 / (T + 273)] \cdot U_{2m} \cdot (es - ea)\} / [s + \tilde{g} (1 + 0,34 \cdot U_{2m})] \quad (18)$$

sendo  $Rn$  o saldo de radiação, em  $MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ ,  $G$  o fluxo de calor no solo, em  $MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ ,  $T$  a temperatura média do ar, em  $^{\circ}C$ ,  $U_{2m}$  a velocidade do vento a 2m acima da superfície, em  $m \cdot s^{-1}$ ,  $es - ea$  o déficit de pressão de saturação do ar, em  $kPa$ ,  $\tilde{g}$  a constante psicrométrica igual a  $0,063 \text{ kPa}^{\circ}C^{-1}$  e  $s$  a tangente à curva de pressão de saturação de vapor na temperatura do ar em  $kPa^{\circ}C^{-1}$ .

As equações recomendadas para a obtenção das variáveis acima são:

$$s = (4098 \cdot es) / (T + 237,3)^2 \quad (19)$$

$$es = (es^{Tmax} + es^{Tmin}) / 2 \quad (19)$$

$$es^{Tmax} = 0,6108.e^{[(17,27.Tmax) / (237,3 + Tmax)]} \quad (20)$$

$$es^{Tmin} = 0,6108.e^{[(17,27.Tmin) / (237,3 + Tmin)]} \quad (21)$$

$$ea = (URmed.es) / 100 \quad (22)$$

$$URmed = (URmax + URmin) / 2 \quad (23)$$

$$T = (Tmax + Tmin) / 2 \quad (24)$$

sendo Tmax a temperatura máxima diária do ar, em °C, Tmin a temperatura mínima diária do ar, em °C, URmax a umidade relativa máxima, em %, URmin a umidade relativa mínima, em %.

### **Crítérios para a escolha de método de estimativa da ETo**

De acordo com Pereira et al. (2001), a escolha de um método de estimativa de ETo depende de uma série de fatores. O primeiro deles é a disponibilidade de dados meteorológicos, pois os métodos mais complexos, como visto no item anterior, exigem grande número de variáveis. Desse modo, o método de Penman-Monteith não pode ser empregados onde há apenas dados de temperatura do ar.

O segundo fator é a escala de tempo requerida. Normalmente, métodos empíricos como os de Thornthwaite e de Camargo apresentam melhores estimativas em escalas de tempo maiores, enquanto que aqueles que utilizam o balanço de energia podem ser empregados até mesmo na escala horária.

Finalmente, o terceiro fator envolve a adaptabilidade dos métodos empíricos à região de estudo, pois esses não são de aplicação universal, requerendo ajustes locais. Em geral, os métodos de Thornthwaite e Camargo apresentam melhores estimativas de ETo em condições de clima úmido, provocando subestimativas de ETo em climas semi-áridos. Por outro lado, o método de Hargreaves-Samani produz melhores resultados em condições de clima árido e semi-árido, como por exemplo no semi-árido nordestino. Quando aplicado em condições de clima úmido este método superestima a ETo.

## Necessidades Hídricas da Bananeira

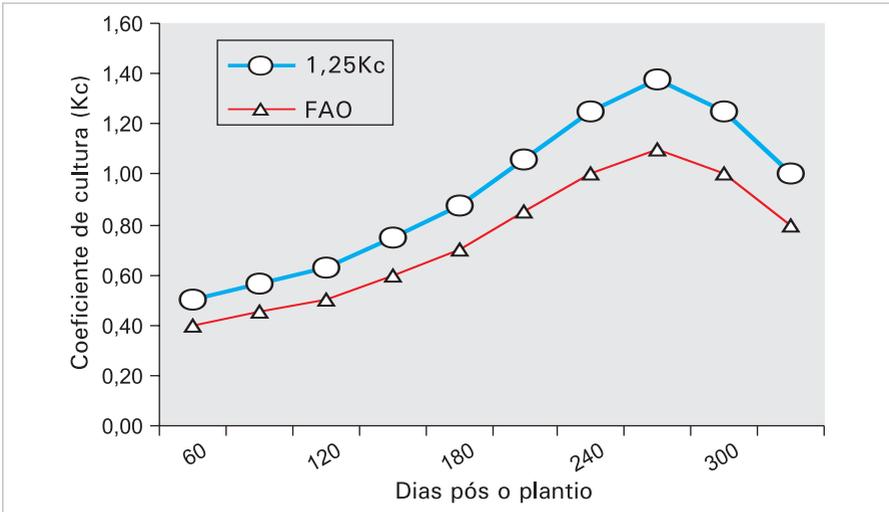
A bananeira requer razoável quantidade de água, pois apresenta grande área foliar, sendo a massa de água correspondente a 87,5% da massa total da planta. A deficiência de água pode afetar tanto a produtividade como a qualidade dos frutos. O consumo hídrico da bananeira depende da idade do pomar.

Nas condições edafoclimáticas do Norte de Minas Gerais, considerando uma precipitação total anual de 717 mm e evaporação do tanque classe A de 2.438 mm, Costa & Coelho (2003) avaliaram o consumo de água pela bananeira 'Prata Anã' e 'Grande Naine', com espaçamentos de 3,0 x 2,7 m e obtiveram resposta semelhante em termos de coeficiente de cultura, isto é, os valores que resultaram em maiores produtividades físicas corresponderam a um acréscimo de 25% aos sugeridos por Doorembos & Kassan (1984), resultando em valores de  $K_c$  até de 1,43. Deve-se ressaltar que esses coeficientes de cultura foram obtidos pelo método inverso, ou seja, diferentes níveis de irrigação (diferentes coeficientes de cultura) foram aplicados à bananeira e a partir dos resultados de produtividade chegou-se aos coeficientes que maximizaram as produtividades. Os coeficientes sugeridos por Doorembos & Kassan (1984), apesar de resultarem em produtividades físicas menores que os obtidos, condicionam a uma maior eficiência de uso de água, o que os colocam também como recomendados nas condições do Norte de Minas Gerais.

Nas condições edafoclimáticas do Pólo Juazeiro/Petrolina, os coeficientes de cultura foram determinandos a partir a estimativa da evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) pelo método da razão de Bowen e da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) por Penman-Monteith modificado (Teixeira et al., 2002). Os valores estiveram entre 0,6 e 1,1 e entre 1,1 e 1,3 no primeiro e segundo ciclos, respectivamente.

Os coeficientes de cultura obtidos nas condições tropicais do Brasil não diferem muitos daqueles obtidos em outras condições. Bhattacharyya & Madhava Rao (1984) determinaram, valores de  $K_c$  variando de 0,68 a 1,28

e um consumo anual de água de 1.560 mm, com solo sem cobertura, para a cv. Robusta. Nas Ilhas Canárias, Santana et al. (1992) obtiveram valores de  $K_c$  entre 0,48 e 1,68 para a bananeira, com a evapotranspiração da cultura (ETc) obtida pelo balanço hídrico em lisímetros e a evapotranspiração de referência (ETo) pelo método de Penman-Monteith. Os valores de evapotranspiração anuais variaram entre 1,5 e 4,6 mm/dia com um consumo anual de 1.127 mm. Allen et al. (1998) recomendam, para climas subúmidos, valores de  $K_c$  variando de 0,5 a 1,1 no primeiro ano (Figura 16), e de 1,0 a 1,2 no segundo ano de cultivo da bananeira, que podem ser adotados para o manejo de irrigação nas condições irrigadas do Brasil, com possíveis ajustes locais.



**Fig. 16.** Variação do  $k_c$  de bananeira considerando acréscimo de 25% (1,25  $K_C$ ) das recomendações da FAO.

Considerando bananal irrigado a partir do segundo ciclo da cultura, fixando os coeficientes de cultura ( $K_c$ ) em 1,2, o consumo de água irá variar linearmente e positivamente em função da demanda de água pela atmosfera, verificar **equação 3**. As necessidades de irrigação do bananal, por sua vez, dependerão do balanço entre a ETc e os totais de chuva do

período entre dois eventos de irrigação, levando em consideração que a evapotranspiração da cultura irrigada é potencial. Por meio de balanço hídrico mensal foram obtidos os resultados da Tabela 20, elaborada de forma simplificada para evidenciar a existência de diferentes necessidades hídricas dependendo da região analisada.

Na prática da irrigação, em função da variabilidade anual das variáveis que afetam o consumo de água da bananeira e, principalmente, dos totais de chuva, as mesmas devem ser levadas em consideração no manejo de água, mediante o adequado acompanhamento da umidade do solo com sensores específicos e estimativas de demandas de água pela atmosfera (ETo) ao longo do ciclo, como será visto posteriormente.

**Tabela 20.** Necessidades hídricas médias mensais (mm) de bananal em pleno desenvolvimento, para algumas de localidades produtoras de banana na Região Nordeste e no Norte de Minas Gerais.

Mês	Localidades							
	Jaíba MG	Barreiras BA	Bom Jesus da Lapa - BA	Guanambi BA	Senhor do Bonfim - BA	Petrolina PE	Apodi RN	Mossoró RN
Jan	19,6	0	17	32	42	106	161	111
Fev	56,5	0	53	86	11	77	85	14
Mar	70,9	0	63	74	32	24	0	35
Abr	120,1	30	75	139	22	64	0	0
Mai	130,7	90	120	128	47	111	58	62
Jun	100,5	81	105	105	23	106	0	108
JUL	103,0	91	107	107	26	110	75	117
Ago	146,4	108	127	119	56	123	92	166
Set	155,8	130	152	136	68	147	172	182
Out	141,5	56	102	134	93	179	191	206
Nov	0,9	0	18	18	91	158	200	207
Dez	0,0	0	0	0	71	105	187	205
Total	1046	585	938	1078	582	1309	1221	1412

## Referências

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 305 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

BORGES, A.L.; OLIVEIRA, A.M.G.; COELHO, E.F. & CALDAS, R.C. Fontes de fertilizante nitrogenado e frequência de aplicação via água de irrigação em bananeira “Prata Anã”. IN: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11, Fortaleza, CE. 2001.

COSTA, É. L.; COELHO, E. F. ; LIMA, D. M.; SILVA, T.S.M. Absorção de água pela cultura da bananeira prata anã nas condições do Recôncavo Baiano e Norte de Minas. In: XXXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2002, SALVADOR. Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Jaboticabal: SBEA, 2002.

COSTA, E.L.; MAENO, P.; ALBUQUERQUE, P.E.P. Irrigação da Bananeira In: LACERDA, V.L.A. **Informe Agropecuário**: Banana: Produção, Colheita e Pós-colheita. Belo Horizonte v. 20 n. 196, 1999 p. 67-72

COSTA, E.L.; SILVA, J.T.A.; SOUTO, R.F.; SILVA, E.B.; LIMA, L.A.; MAENO, P. & MENDES, J.O. Adubação convencional e frequência da fertirrigação no desenvolvimento e produção da bananeira (*Musa spp.*) ‘Prata Anã’ em solo argiloso do perímetro irrigado do Gortuba no Norte de Minas. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29, Fortaleza, CE, 2000.

COSTA, E.L.; SILVA, J.T.A.; SOUTO, R.F.; SILVA, E.B.; LIMA, L.A.; MAENO, P. & MENDES, J.O. Desenvolvimento e produção da bananeira (*Musa spp.*) ‘Prata Anã’ em diferentes parcelamentos de fertirrigação em solo arenoso do perímetro irrigado do Gortuba no Norte de Minas Gerais. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29, Fortaleza, CE, 2000.

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

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Las necesidades de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 1977. 194 p. (FAO. Riego e Drenaje, 24).

FERERES, E. Papel de la fisiología vegetal en la microirrigación. Recomendaciones para el manejo mejorado. In: **Ponencia** en IV Seminario Latinoamericano de Microirrigación. Barquisimeto, Venezuela, 1981.

MONTEITH, J.L.; UNSWORTH, M.H. **Principles of Environmental Physics**. Edward Arnold. 1990.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Piracicaba: Agropecuária, 2002. 478p.

VIEIRA, R. F; VIANA, P.A.; COSTA, E.F. **Quimigação aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 315 p.

# Manejo de Irrigação

---

*Carlos Elizio Cotrim*

## Introdução

O Estado da Bahia apresentou em 2006 a maior área cultivada com bananeiras (74.210 hectares) e a segunda maior produção (1.059.877 toneladas), após o Estado de São Paulo, maior produtor brasileiro (Agriannual, 2007). A produtividade média da cultura na Bahia é baixa, aproximadamente  $14,2 \text{ t ha}^{-1}$ , similar à brasileira.

No Semi-árido brasileiro destacam-se pólos de produção de bananas em Minas Gerais, localizado em Janaúba e Jaíba; na Bahia, em Juazeiro, Bom Jesus da Lapa, Livramento de Nossa Senhora, Caraíbas e Guanambi (Ceraíma e Estreito); em Pernambuco, Petrolina e Santa Maria da Boa Vista; no Rio Grande do Norte, no Vale do Açú; em Sergipe, no Platô de Neópolis, e no Ceará, na Chapada do Apodi e no Baixo Acaraú.

A bananeira é uma planta exigente em água, sendo que sua produtividade tende a aumentar linearmente com a transpiração. Esta, por sua vez, depende da disponibilidade de água no solo, que pode ser controlada pela irrigação. Ainda não se conhece a total potencialidade de produção da bananeira; mas, em outros países da América Latina, conseguem-se altas produtividades, comparadas as obtidas em nosso país. O uso da irrigação resulta em frutos de melhor qualidade e induz a aumentos na produtividade

da cultura em pelo menos 40%, comparado à situação sem irrigação, em regiões com precipitação superior a 1200 mm.

O conhecimento básico da demanda de água, pelas culturas, consiste no ponto mais importante para se definir critérios de manejo da irrigação. Essa demanda é traduzida através dos coeficientes de cultura ( $K_c$ ), que ajustam a evapotranspiração de referência da grama ( $E_{To}$ ) para as diversas culturas. Os dados de  $K_c$ , disponíveis na literatura, são procedentes de regiões diferentes do nosso país em termos edafo-climáticos (Doorembos e Kassam, 1984; Abreu et al., 1987). Bhattacharyya e Madhava Rao (1985) determinaram valores de  $K_c$  variando de 0,68 a 1,28 para a cv. Robusta, com um consumo de água de 1560 mm. Outros valores de  $K_c$  da bananeira, variando entre 0,48 e 1,68, foram obtidos por Santana et al. (1993), sendo a evapotranspiração da cultura obtida pelo balanço hídrico em lisímetros e a evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith, nas condições das Ilhas Canárias, onde os valores de evapotranspiração durante o ano variaram entre 1,50 e 4,6 mm/dia, com um consumo de água de 1127 mm. Allen et al. (1998) recomendam, para climas subúmidos, valores de  $K_c$  variando de 0,50 a 1,10 no primeiro ano, e de 1,0 a 1,2 no segundo ano de cultivo da bananeira.

Nas condições de Tabuleiros Costeiros da Bahia, Oliveira (1997) avaliou a necessidade hídrica da bananeira, utilizando-se o tanque classe A, e concluiu que o coeficiente de 0,6 ( $K_p.K_c$ ) da evaporação do tanque foi o valor que melhor representou a evapotranspiração da bananeira.

A Tabela 21 a seguir mostra valores de consumo médio diário, de acordo com o número de dias após o plantio, para as bananeiras 'Prata Anã' e 'Grande Naine' na região de Janaúba, norte de Minas (Oliveira et al., 2005).

Dados de pesquisa como os apresentados na Tabela 21 podem ser utilizados no manejo da irrigação em locais onde não há uma estação meteorológica automática e não é possível a utilização de outros métodos de determinação da  $E_{To}$ , como o do Tanque de Evaporação Classe 'A', por exemplo.

**Tabela 21.** Demanda hídrica (L planta<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) para a bananeira ‘Prata Anã’ e ‘Grande Naine’ nas condições do norte de Minas Gerais.

Dias após o plantio	out/nov/dez/jan/fev/mar	abr/mai/set	jun/jul/ago
Até 60	20	15	13
61 a 90	22	17	15
91 a 120	25	19	16
121 a 150	30	23	20
151 a 180	35	27	23
181 a 210	42	33	28
211 a 240	50	39	33
241 a 300	55	43	36
301 a 330	50	39	33
331 a 390	40	31	26
Acima de 390	47	37	31

## O Manejo

O manejo da irrigação é com certeza a fase mais difícil de se empreender com sucesso a prática da agricultura irrigada. Após o sistema projetado e instalado ele requer um manejo capaz de proporcionar a otimização dos fatores de produção, ou capaz de torná-lo economicamente viável, socialmente justo e ambientalmente sustentável, quando se tratar de produção integrada. O manejo da irrigação baseia-se em informações que vão permitir a definição de quando e quanto irrigar. O quanto de água a aplicar é normalmente calculado com base na quantidade consumida pela cultura, dividida pela eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação. A quantidade consumida pela cultura pode ser determinada através da evapotranspiração real, observando sempre que a quantidade de água a ser aplicada por irrigação tem que ser compatível com a capacidade de retenção de água na zona radicular da cultura.

A questão de quando irrigar, que é um dos pontos mais importantes no manejo da irrigação, pode ser determinado pela medição da deficiência de água na planta, pelos sintomas desta deficiência, pela disponibilidade de água no solo, pela evapotranspiração real, pelo turno de rega ou pelo balanço de água no solo (Bernardo et al. 2006).

Entre os métodos de manejo disponíveis, os mais acessíveis ao produtor baseiam-se no turno de rega fixo e em medidas do teor ou potencial de água no solo (Coelho et al., 2001).

## Turno de rega fixo

No turno de rega fixo o cálculo da frequência de irrigação em dias é dado pela razão entre a Lâmina Real Necessária e a Evapotranspiração da Cultura conforme equação 25.

$$TR = \frac{LRN}{ETc} \quad (25)$$

Onde:

TR é o turno de rega, dia;

LRN é a lâmina real necessária, mm;

ETc é a evapotranspiração da cultura, mm dia<sup>-1</sup>.

O valor de LRN pode ser calculado pela equação 26.

$$LRN = (\theta_{CC} - \theta_{PM}) \times Z \times f \quad (26)$$

Onde:

$\theta_{CC}$  é o teor de umidade do solo na capacidade de campo, cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>;

$\theta_{PM}$  é o teor de umidade do solo no ponto de murcha permanente, cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>;

Z é a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura, mm;

f é o fator de disponibilidade de água, decimal.

A disponibilidade real de água no solo é definida como a fração da disponibilidade total de água no solo ( $\theta_{CC} - \theta_{PM}$ ) que a cultura poderá utilizar sem afetar significativamente a sua produtividade, ou seja, sem que ela sofra qualquer tipo de estresse. Esta disponibilidade é determinada pelo fator *f*, que varia entre 0,2 e 0,8, sendo os valores menores utilizados em culturas mais sensíveis ao déficit de água no solo e os maiores nas culturas mais resistentes. As Tabelas 22 e 23 abaixo foram publicadas pela FAO, em seu Boletim nº 33, conforme citado por Bernardo et al. (2006), e informam valores de *f* para grupos de culturas, variando com a demanda evapotranspirométrica da região.

**Tabela 22.** Grupos de culturas de acordo com a resistência ao déficit de água no solo.

Grupo	Culturas
1	Cebola, pimenta e batata
2	Banana, repolho, uva, ervilha e tomate
3	Alfafa, feijão, cítricas, amendoim, abacaxi, girassol, melancia e trigo
4	Algodão, milho, azeitona, açafraão, sorgo, soja, beterraba, cana e fumo.

Fonte: Bernardo et al., 2006.

**Tabela 23.** Fator de disponibilidade de água no solo ( $f$ ) em função do grupo de culturas e da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ).

Grupo de Culturas	$ET_0$ (mm/dia)								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,5	0,42	0,35	0,30	0,25	0,22	0,20	0,20	0,18
2	0,68	0,58	0,48	0,40	0,35	0,33	0,28	0,25	0,22
3	0,80	0,70	0,60	0,50	0,45	0,42	0,38	0,35	0,30
4	0,88	0,80	0,70	0,60	0,55	0,50	0,45	0,42	0,40

Fonte: Bernardo et al., 2006.

A lâmina total necessária (LTN) a ser aplicada na irrigação deve levar em consideração a eficiência do sistema de irrigação bem como a necessidade de lixiviação de sais da área irrigada, se for o caso.

$$LTN = \frac{LRN}{Ea \times (1 - RI)} \quad (27)$$

Onde:

$Ea$  é a eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação, decimal;

$RI$  é a razão de lixiviação, que em solo normal é igual a zero.

O valor de  $ET_c$  pode ser obtido a partir da disponibilidade de valores de coeficientes da cultura e da evapotranspiração da cultura de referência (equação 28).

$$ET_c = ET_0 \times K_c \quad (28)$$

Onde:

$ET_c$  é a evapotranspiração da cultura, mm dia<sup>-1</sup>;

$ET_0$  é a evapotranspiração da cultura de referência, mm dia<sup>-1</sup>;

$K_c$  é o coeficiente da cultura, decimal.

Em irrigação localizada, onde nem sempre toda a área é coberta pelo sistema de irrigação, deve ser considerado o percentual da área molhada e/ou sombreada.

$$ET_c = ET_o \times K_c \times K_l \quad (29)$$

Onde:

$K_l$  é o coeficiente de localização, decimal.

O valor de  $K_l$  pode ser determinado por diversas equações propostas por pesquisadores ligados ao assunto. Bernardo et al. (2006) apresentam uma comparação gráfica dos valores de  $K_l$ , considerando as principais metodologias propostas pela literatura, em função da área molhada pelo sistema de irrigação ou coberta pela cultura, prevalecendo a maior (Figura 17).

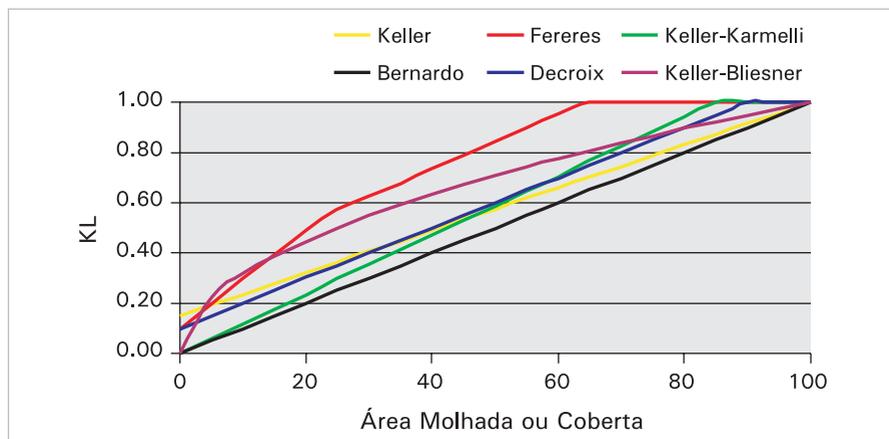


Fig. 17. Representação gráfica dos valores de  $K_l$  em função da percentagem de área molhada ou coberta, por seis metodologias usuais.

Os valores de  $ET_o$  podem ser obtidos através de inúmeras equações disponíveis. A FAO recomenda como padrão a Equação de Penman-Montheith, que é considerada consistente para estimar  $ET_o$  corretamente numa grande variedade de locais e climas justamente pelo fato de se usar

um maior número de variáveis climáticas (Allen et al., 1998). Entretanto para a obtenção de todas as variáveis climáticas necessárias na determinação do ETo padrão faz-se necessário o uso de estações meteorológicas completas. O ideal neste caso é o uso de estações agrometeorológicas automáticas, que medem as variáveis normalmente em base horária e armazenam os dados por um período de tempo. Apesar dos avanços relacionados à simplicidade de manuseio e diminuição dos custos destas estações elas ainda são pouco acessíveis a um grande número de situações e principalmente a pequenas propriedades, devido ao seu ainda elevado custo.

A equação 30 é utilizada para o cálculo da ETo padrão Penman-Monteith.

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (30)$$

em que:

$ET_o$  = evapotranspiração de referência, mm dia<sup>-1</sup>;

$R_n$  = radiação líquida à superfície de cultura, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>;

$G$  = densidade do fluxo de calor do solo, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>;

$T$  = temperatura do ar média diária, °C;

$U_2$  = velocidade do vento a 2 m de altura m s<sup>-1</sup>;

$e_s$  = pressão de vapor de saturação, kPa;

$e_a$  = pressão de vapor atual, kPa;

$e_s - e_a$  = déficit de pressão de vapor, kPa;

$\Delta$  = declividade da curva de pressão de vapor, kPa °C<sup>-1</sup>;

$\tilde{a}$  = constante psicrométrica, kPa °C<sup>-1</sup>.

Outro método para obtenção de ETo é a utilização do Tanque Classe A, que é uma técnica conhecida no mundo todo, porque é um equipamento simples e barato para estimar a evapotranspiração. O evaporímetro consiste de um tanque circular de aço inoxidável ou galvanizado, chapa nº 22, com 121 cm de diâmetro interno e 25,5 cm de profundidade. Deve ser instalado sobre um estrado de madeira, de 15 cm de altura, e ser preenchido com água até 5 cm da borda superior.

Pelo fato de os processos de evaporação da água livre no tanque e da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) serem semelhantes apenas nos seus aspectos físicos, para converter a evaporação em  $ET_o$ , deve-se levar em consideração as condições meteorológicas da região e o local em que o tanque está instalado em relação ao meio circundante (Bernardo, 2006).

Neste método  $ET_o$  é determinada pela correlação da evaporação da água de uma superfície livre, com a evapotranspiração por meio de um coeficiente, conforme apresentado pela equação 31:

$$ET_o = EV \times Kt \quad (31)$$

em que:

$ET_o$  = evapotranspiração de referência, mm dia<sup>-1</sup>;

$EV$  = evaporação de água do TCA, mm dia<sup>-1</sup>;

$Kt$  = coeficiente do TCA (Doorembos e Kassam, 1979).

Em virtude de seu baixo custo e fácil manejo, o Tanque Classe A tem sido empregado em vários projetos de irrigação, entretanto apresenta erro considerável quando utilizado para determinação de evapotranspiração diária (Simão et al., 2004).

O Tanque Classe A pode ser também usado, no manejo da cultura, para uma relação direta entre a lâmina evaporada do tanque ( $EV$ ) e a evapotranspiração da cultura através de um fator de correção como na equação 32.

$$ET_c = EV \times K \quad (32)$$

em que:

$K$  representa o produto do coeficiente do tanque de evaporação ( $Kt$ ) pelo coeficiente da cultura ( $Kc$ ). Para a bananeira foi sugerido inicialmente, por Oliveira (1997), um valor de  $K$  igual a 0,6, que poderá ser ajustado pelo usuário, dependendo da região.

**Exemplo: Área de Banana Escola Agrotécnica Federal de Guanambi**

Idade: 180 dias –  $K_c = 1,27$ ;

$ET_o = 4,40$  (média dos últimos 15 dias);

$f = 0,45$  (Banana, grupo 2 e  $ET_o = 4,4$ )

Microaspersão: Espaçamento entre plantas (3 x 2,5 m);

Espaçamento entre micros: 6 x 5 m;

$K_l = 1,0$ , toda a área coberta pelos microaspersores;

Vazão do micro = 90 L h<sup>-1</sup>;

Capacidade de Campo (CC) = 15,4 % em peso

Ponto de Murcha Permanente (PMP) = 7,10 % em peso

Densidade Aparente do Solo (Dap) = 1,5 g cm<sup>-3</sup>

Eficiência de Aplicação do Sistema = 0,85

Período de Irrigação = 5 dias (sábado e domingo sem atividade)

Z = 40 cm (40 cm até 9 meses – 60 cm entre 12 e 30 meses – Bassoi et al., 2001)

$$ET_c = 4,4 \times 1,27 \times 1 = 5,59 \text{ mm dia}^{-1}$$

$$LTN = \frac{5,59 (\text{mm dia}^{-1}) \times (7/5)}{0,85} = 9,20 \text{ mm dia}^{-1}$$

$$IA = \frac{90 (\text{L h}^{-1})}{6 \text{ m} \times 5 \text{ m}} = 3,0 (\text{L m}^{-2}) / \text{h} = 3,0 \text{ mm h}^{-1}$$

$$TI = \frac{9,20 \text{ mm}}{3,0 \text{ mm h}^{-1}} = 3,06 \text{ horas}$$

Portanto, caso a irrigação seja diária, deve-se funcionar o sistema durante 3,00 horas nos dias de segunda, terça, quarta, quinta e sexta.

$$LRN = (0,154 - 0,071) \times 1,5 \times 400 \times 0,45 = 22,41 \text{ mm}$$

$$TR = \frac{22,41 \text{ mm}}{5,59 \text{ mm dia}^{-1}} = 4,0 \text{ dias}$$

Caso opte por utilizar o turno de rega de 4 dias (que é possibilitado pela capacidade de retenção de água no solo), o agricultor deve aplicar toda a lâmina de 26,36 mm (22,41/0,85) de 4 em 4 dias a partir da 2ª feira. Para isto o sistema terá que funcionar por 8,80 horas (26,36/3) durante um dia e ficar 3 dias parados, sempre na sequência, sem observar domingos e feriados.

## Medida do potencial de água no solo

Nesse caso o momento da irrigação é determinado pelo estado atual da água no solo por meio de sensores, quer na determinação do conteúdo de umidade quer na determinação do potencial de água no solo. Informações sobre o potencial ou estado de energia da água no solo podem auxiliar o produtor a decidir quando irrigar. Dos componentes do estado energético, o potencial matricial é o mais importante no manejo da irrigação. Nesse caso utiliza-se o tensiômetro de mercúrio ou o tensiômetro tipo vacuômetro, que indica o potencial matricial de água no solo  $\varnothing_m$  em função do seu conteúdo de umidade a uma dada profundidade. Existe uma tensão crítica  $\varnothing_{mc}$ , além da qual é imprescindível a irrigação. Conhece-se  $\varnothing_c$  (umidade crítica) a partir de  $\varnothing_{mc}$  com o uso da curva de retenção de água no solo. O  $\varnothing_m$  é expresso em termos de uma altura de coluna de mercúrio (cm Hg) ou outra unidade de pressão como atmosfera e kPa. Os níveis de tensão de água no solo recomendados para bananeira, situam-se entre 25 e 45 kPa para camadas superficiais de solo (até 0,25 m) e entre 35 e 50 kPa para profundidade próxima de 0,40 m (Coelho et al., 2001).

Segundo Oliveira et al. (2005), os tensiômetros devem ser instalados a 40 cm de profundidade do solo, pois nesta camada encontra-se 80% do sistema radicular de absorção da bananeira e a leitura destes aparelhos devem estar oscilando entre 70 e 100% da água disponível no solo (Figura 18).

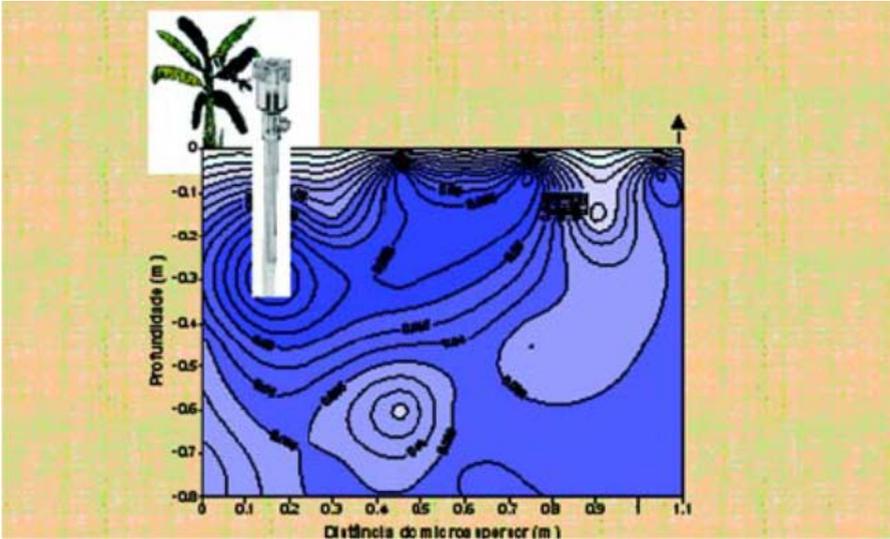


Fig. 18. Posicionamento do tensiômetro em um bananal irrigado por microaspersão (1 microaspersor para 4 plantas), com espaçamento de 3,0 x 2,7 m, com uma frequência de irrigação de 2 dias em Nova Porteirinha, MG.

Fonte: Oliveira et al., 2005.

Quando se utiliza tensiômetro com manômetro de mercúrio, a sua instalação segue a Figura 19 e a tensão com que a água está retida no solo (potencial matricial), em unidade de carga hidráulica, é fornecida pela equação 33 (Reichardt e Timm, 2004).

$$\Psi_m = -12.6 \times h_{Hg} + h_1 + h_2 \quad (33)$$

Onde:

$\varnothing_m$  = tensão de água no solo (potencial matricial), cm de H<sub>2</sub>O;

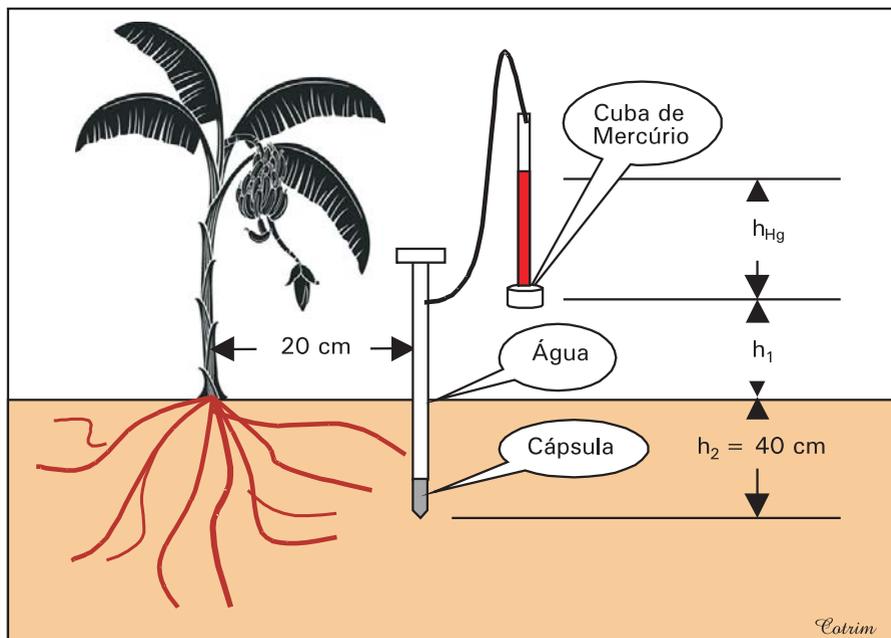
$h_{Hg}$  = altura da coluna de mercúrio a partir do nível da cuba, em cm de Hg;

$h_1$  = altura do nível da cuba em relação à superfície do solo, cm;

$h_2$  = profundidade média da cápsula porosa em relação à superfície do solo, cm.

Quando a água do tensiômetro entra em contato com a água do solo, através dos poros da cápsula porosa, o equilíbrio tende a se estabelecer. A água do solo, que geralmente está a pressões subatmosféricas, exerce uma sucção sobre o instrumento e dele retira certa quantidade de água,

causando queda de pressão hidrostática dentro do mesmo. Estabelecido o equilíbrio, o potencial de água dentro da cápsula do tensiômetro é igual ao potencial de água no solo em torno da cápsula ( $\phi_m$ ) e o fluxo de água cessa.



**Fig. 19.** Esquema mostrando parâmetros utilizados no cálculo da tensão com que a água está retida no solo (potencial matricial), quando se utiliza o tensiômetro com manômetro de mercúrio.

Entre as maiores dificuldades na utilização de tensiômetros no manejo da irrigação está a variabilidade espacial do solo. As diferentes curvas de retenção da água dentro de uma mesma área irrigada em solos diferentes demonstram que uma mesma leitura no tensiômetro ou qualquer outro equipamento poderá indicar diferentes níveis de umidade no solo (Figura 20), o que expõe a verdadeira magnitude do problema. Identificar esta variação espacial nas áreas irrigadas é fundamental e permitirá utilizar de maneira mais racional estes equipamentos. Praticamente em todas as propriedades existem variações de solo. Portanto, os produtores de banana deverão determinar as curvas de retenção dos solos das suas áreas irrigadas de modo a facilitar e orientar o uso dos tensiômetros como

método de manejo da irrigação. Diferentes curvas de retenção permitirão estabelecer diferentes turnos de rega e volumes de água aplicados por irrigação numa mesma propriedade. Para facilitar o manejo da água, recomenda-se utilizar o valor médio das leituras dos tensiômetros nos diversos pontos das áreas irrigadas (Oliveira et al., 2005).

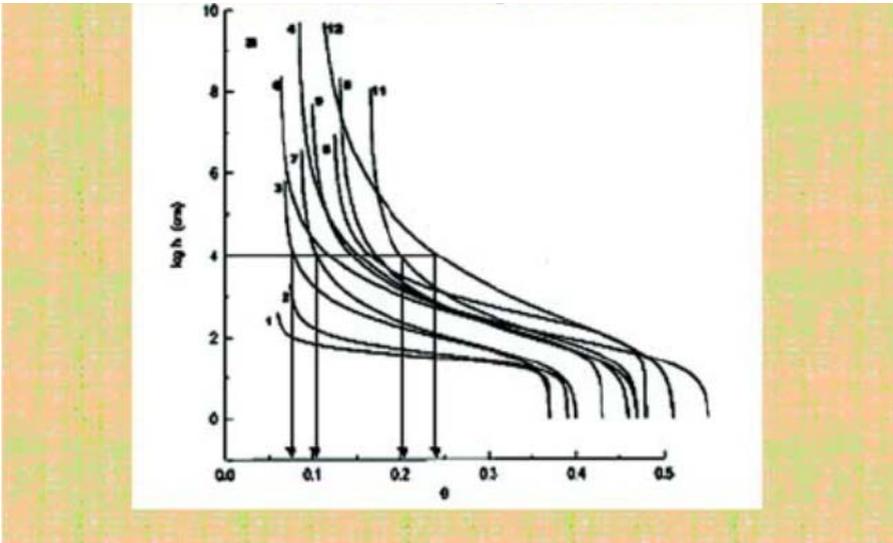


Fig. 20. Curvas de retenção da água para diferentes tipos de solo.  
Fonte: Oliveira et al., 2005.

## Avaliação de Sistemas de Irrigação

Segundo Bernardo et al. (2006), após a instalação do sistema de irrigação e durante o primeiro ciclo de irrigação, é necessário avaliar e calibrar os equipamentos, para garantir uma boa eficiência do sistema.

O acompanhamento, a análise, e a avaliação de um sistema de irrigação são também fundamentais para o seu correto manejo, sendo, portanto necessário realizar avaliações periódicas dos equipamentos para um bom manejo da irrigação. Um dos parâmetros de maior importância para se conduzir um sistema de irrigação é a medição da vazão, tanto a aplicada na irrigação quanto a de escoamento no final da parcela, quando for o caso.

Todo projeto de irrigação que foi calibrado e, em consequência, ajustado para que as demais irrigações sejam conduzidas com eficiência, permite que as operações de programação da irrigação, monitoramento e avaliação dos sistemas sejam de mais fácil execução.

## **Irrigação localizada**

Os sistemas de irrigação por microaspersão e por gotejamento se destacam por apresentarem maior eficiência de aplicação e uniformidade de distribuição de água, quando comparados a outros sistemas de irrigação (Pizarro, 1997).

De acordo com Keller e Karmeli (1975), torna-se necessária a realização periódica de avaliações do sistema de irrigação, pois apesar das inúmeras vantagens apresentadas, existem problemas na irrigação localizada, dentre os quais se destaca a obstrução dos emissores. Esta obstrução é causada por material orgânico em suspensão, por deposição química e por partículas minerais, características hidráulicas, topografia do terreno, pressão de operação, tamanho dos tubos, espaçamento entre emissores, variabilidade de vazão dos emissores e filtragem da água não adequada.

No sistema de irrigação localizada, a uniformidade de aplicação de água ao longo da linha lateral está intimamente relacionada com a variação de vazão dos emissores, a qual é uma consequência das perdas de energia por atrito e pelas inserções dos emissores, do ganho ou perda de energia devido a topografia da superfície do solo, da qualidade da matéria prima e dos processos de fabricação dos emissores (Keller e Karmeli, 1974).

Na avaliação de sistemas de irrigação no campo é preciso conhecer parâmetros como eficiência de aplicação (EA) e coeficiente de uniformidade de distribuição de água (CUD). A uniformidade da irrigação é importante na avaliação do rendimento das culturas, sendo considerada no dimensionamento e na operação dos sistemas. Matos et al. (1996) ressaltam que vários fatores influenciam na uniformidade de distribuição de água de um microaspersor, destacando a posição do suporte, o ângulo de irrigação, o tronco e a folhagem das plantas irrigadas, o elemento distribuidor, a pressão de serviço, os reguladores e amortecedores e a vazão nominal.

Para os sistemas de irrigação localizada, segundo López et al. (1992), é mais frequente o uso do coeficiente de uniformidade de distribuição, pois possibilita uma medida mais restrita, dando maior peso às plantas que recebem menos água. Merriam e Keller (1978) apresentam um critério geral para interpretação dos valores do CUD para sistemas que estejam em operação por um ou mais anos: maior que 90%, excelente; entre 80% e 90%, bom; entre 70% e 80%, regular; e menor que 70%, ruim.

Sempre que possível, durante os trabalhos de avaliação de sistemas de irrigação, devem ser acompanhados dados de temperatura, umidade relativa e velocidade e direção do vento, através de uma estação meteorológica automática, que registra e armazena periodicamente os dados, facilitando o trabalho do avaliador. Caso contrário os mesmos devem ser determinados, durante os testes, utilizando termômetros, psicômetros e anemômetro.

## Microaspersão

Na avaliação da irrigação por microaspersão normalmente são considerados a variação de vazão e pressão ao longo das laterais e em todo o setor.

As medições de vazão e pressão normalmente são efetuadas, no início, a um terço, a dois terços e no final de cada linha lateral e em quatro posições localizadas no início, a um terço, a dois terços e no final da linha de derivação na subárea escolhida, conforme Figura 21. Na determinação da vazão de cada microaspersor, utiliza-se um recipiente para coletar o jato de água por um determinado tempo. Após esta operação determina-se o volume coletado com uma proveta graduada e divide pelo tempo, convertendo em vazão (L h<sup>-1</sup>). Geralmente são efetuadas três repetições em cada microaspersor.

As variações médias de vazão e pressão ao longo das laterais e em todo o setor são determinadas através das equações 34 e 35.

$$\Delta Q = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} \quad (34)$$

Onde:

$\Delta Q$  = variação de vazão na linha lateral, %;

$Q_{\max}$  = valor máximo da vazão, L h<sup>-1</sup>;

$Q_{\min}$  = valor mínimo da vazão, L h<sup>-1</sup>;

$$\Delta P = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{P_{\max}} \quad (35)$$

Onde:

$\Delta P$  = variação de pressão, %;

$P_{\max}$  = valor máximo da pressão, kPa;

$P_{\min}$  = valor mínimo da pressão, kPa;

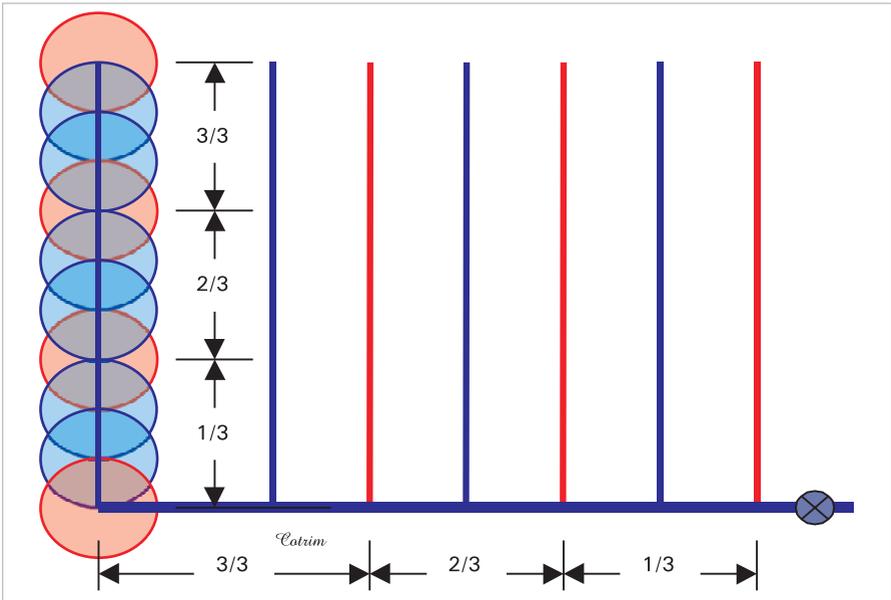


Fig. 21. Esquema ilustrativo mostrando as linhas laterais que serão testadas, dentro da linha de derivação, e os microaspersores, onde serão medidas vazão e pressão, dentro de cada linha lateral.

A partir dos resultados de vazões encontrados podem ser determinados o coeficiente de uniformidade de Christiansen e o coeficiente de uniformidade de distribuição através das equações 36 e 37 (Keller e Karmeli, 1974).

$$CUC = 100 \times \left[ 1 - \frac{\sum_i^n q_i - q_{med}}{n \times q_{med}} \right] \quad (36)$$

Onde:

$CUC$  = coeficiente de uniformidade de Christiansen do setor avaliado, %;

$q_i$  = vazão de cada emissor, L h<sup>-1</sup>;

$q_{med}$  = vazão média dos emissores, L h<sup>-1</sup>;

$n$  = número de emissores.

$$CUC = 100 \times \left[ \frac{q_{25\%}}{q_{med}} \right] \quad (37)$$

Onde:

$CUD$  = coeficiente de uniformidade de distribuição do setor avaliado, %;

$q_{25\%}$  = média de 25 % do total de microaspersores com menores vazões, L h<sup>-1</sup>;

$q_{med}$  = média das vazões coletadas em todos os microaspersores do setor, L h<sup>-1</sup>.

A eficiência de aplicação de água sob irrigação completa pode ser estimada pela equação 38 (Merriam e Keller, 1978).

$$EA = Ka \times CUD \quad (38)$$

Onde:

$EA$  = eficiência de aplicação, %;

$Ka$  = coeficiente de aplicação, geralmente tomado como 90 %;

$CUD$  = coeficiente de uniformidade de distribuição, %;

Pela ASAE (1996), a avaliação da uniformidade de distribuição de água é baseada no método de estimativa da uniformidade em campo, proposto por Bralts e Kesner (1983), citado por Leal et al. (2003), fundamentado no coeficiente de uniformidade estatístico, que pode ser calculado pela equação 39.

$$CUE = (1 - CVT) \times 100 \quad (39)$$

Onde:

$CUE$  = coeficiente de uniformidade estatístico de irrigação, %;

$CVT$  = coeficiente de variação total de vazão no setor, adimensional.

O coeficiente de variação total de vazão ( $CVT$ ) pode ser determinado pela equação 40.

$$CVT = \frac{S_q}{q_{med}} \quad (40)$$

Onde:

$S_q$  = desvio padrão da vazão dos emissores,  $Lh^{-1}$ ;

$q_{med}$  = vazão média dos emissores do setor,  $Lh^{-1}$ .

Os valores dos coeficientes calculados utilizando vazões médias dos emissores retratam a uniformidade de emissão de água da microaspersão e não a uniformidade de distribuição de água.

Em regiões onde a velocidade do vento é acentuada, a uniformidade de distribuição de água dos microaspersores é severamente afetada por este fator, devendo ser adotado na microaspersão, o mesmo procedimento seguido na aspersão convencional, para a determinação deste parâmetro, que será descrito a diante.

#### Exemplo de Aplicação – Experimento Ceraíma (Embrapa/EFAJIT)

analisando apenas os valores de vazão medidos, sem considerar o efeito do vento.

Cultura – Banana: Prata Anã e PA-4244 (Cultivar Prata)

Microaspersor: Netafin, autocompensante com bocal branco

Vazão: 70 l/h

Espaçamento: 6x5 m

**Tabela 24.** Procedimento seguido para o cálculo do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) na microaspersão.

Parcela	No. do Micro	Vazão (L h <sup>-1</sup> )	Abs (Qi-Qm)	Q 25%
Parcela 01	1	75,04	1,18	72,70
	3	79,76	3,54	74,90
	5	76,96	0,74	
	8	75,20	1,02	
Parcela 03	1	76,40	0,18	
	3	78,80	2,58	
	5	72,70	3,52	
	8	74,90	1,32	
		Média = 76,22	Soma = 14,08	Média = 73,80

$$\Delta Q = \left[ \frac{79,76 - 72,70}{79,76} \right] \times 100 \quad CUC = 100 \times \left[ 1 - \frac{14,08}{8 \times 76,22} \right] \quad CUD = 100 \times \left[ \frac{73,80}{76,22} \right]$$

$$\Delta Q = 8,85 \% \quad CUC = 97,70 \quad CUD = 96,82 \%$$

$$EA = 0,90 \times 96,82 \quad EA = 87,13$$

O experimento é constituído de 3 parcelas de microaspersores com duas linhas laterais cada. Foram escolhidas as parcelas de numero 1 e 3 e as linhas laterais de numero 1 em cada parcela, conforme recomendação. Em cada linha lateral foi determinada a vazão dos micros de numero 1, 3, 5 e 8, já que a mesma é composta por 8 unidades.

### Gotejamento

A uniformidade de aplicação de água, em sistemas de irrigação por gotejamento, pode ser expressa através de vários coeficientes, destacando-se o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) (Bernardo et al., 2006; Denículi et al., 1980).

A determinação da uniformidade de distribuição de água, para irrigação por gotejamento deve seguir a metodologia apresentada por Merriam e Keller (1978), com modificação proposta por Denículi et al. (1980). Esta consiste na coleta de dados em oito emissores e em quatro laterais, ou seja, a primeira lateral, a situada a 1/3 da origem, a situada a 2/3 e a última lateral da linha de distribuição. Em cada uma das laterais, devem ser selecionados oito emissores, o primeiro, a 1/7 da origem, a 2/7, a 3/7, a 4/7, a 5/7, a 6/7 e último, conforme Figura 22. Com auxilio de um cronômetro, coletores e uma proveta graduada a vazão de cada um deles pode ser medida. Com os dados coletados estima-se o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD).

A sequência de procedimentos de cálculo bem como as equações utilizadas na avaliação da irrigação localizada por gotejamento são exatamente as mesmas já descritas para microaspersão (Item anterior).

Para verificação do grau de aceitabilidade de distribuição de água dos sistemas de irrigação pode-se utilizar o procedimento de comparação do CUD e do CUE, estabelecido pela ASAE (1996), mostrados na Tabela 25.

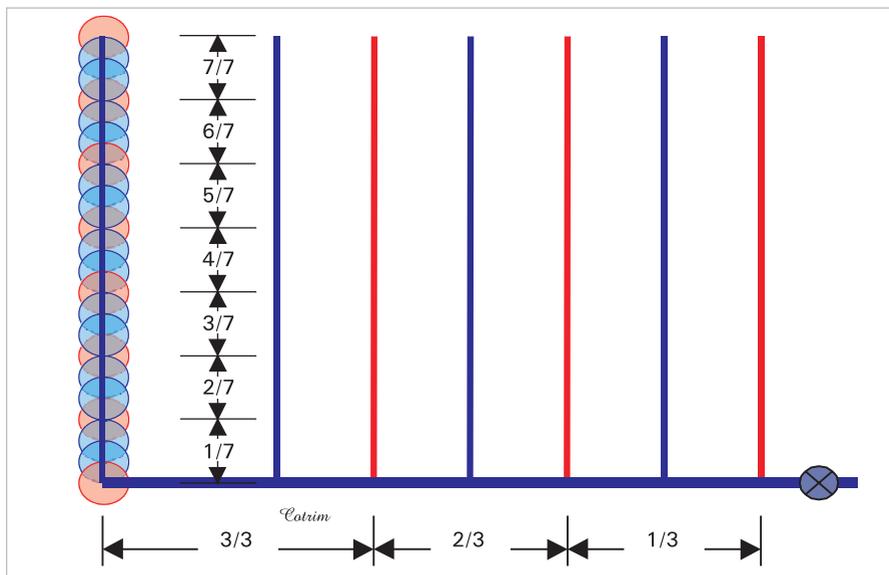


Fig. 22. Esquema ilustrativo mostrando as linhas laterais que serão testadas, dentro da linha de derivação, e os microaspersores, onde serão medidas vazão e pressão, dentro de cada linha lateral.

Tabela 25. Comparação de uniformidades, em percentagem.

Aceitabilidade	CUE	CUD
Excelente	100-95	100-94
Bom	90-85	87-81
Normal	80-75	75-68
Ruim	70-65	62-56
Inaceitável	< 60	< 50

Alguns outros parâmetros de comparação de resultados de avaliação de sistema de irrigação são apresentados a seguir (Keller e Karmeli, 1974): variação da pressão dentro da linha lateral deve ser no máximo 11%; variação de pressão dentro do setor deve ser no máximo de 20%; variação de vazão admitida de 10% na linha e de 20% no setor.

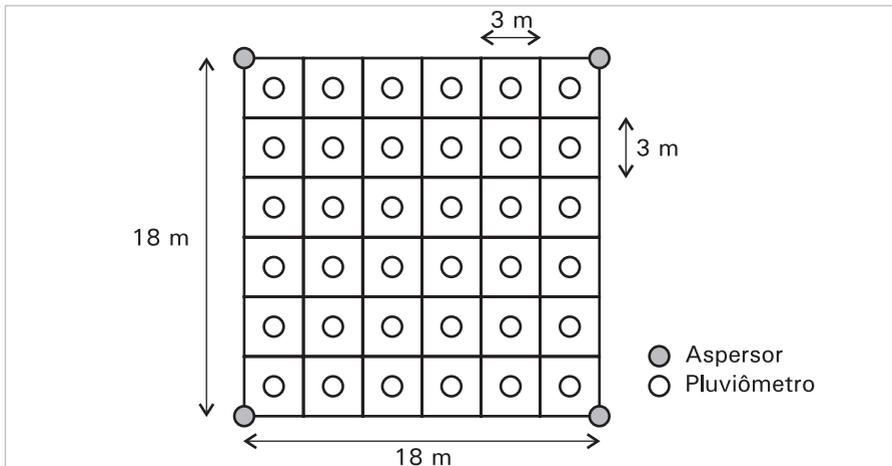
A ABNT (1987) recomenda valores de uniformidade de distribuição (CUD) de até 80% para microaspersão em topografia uniforme e gradiente de declive inferior a 2 %, enquanto Abreu et al. (1987) consideram dentro dos limites aceitáveis de funcionamento, valores de CUD acima de 80 %.

Keller e Blisner (1990) recomendam valores de eficiência de aplicação de água (EA) em torno de 80 %.

## Aspersão convencional

Na avaliação de um sistema de irrigação por aspersão convencional o parâmetro mais importante é a uniformidade de aplicação de água dos aspersores. Consiste em distribuir coletores em uma malha de pontos em torno do aspersor ou da linha lateral. Quando se utiliza apenas um aspersor no teste, os espaçamentos entre aspersores e laterais são simulados, e os dados são sobrepostos convenientemente. No teste com uma linha lateral trabalhando diretamente no campo, o espaçamento entre aspersores é fixo; entretanto, podem-se simular diferentes espaçamentos entre linhas laterais (Bernardo et al., 2006).

A Figura 23 abaixo mostra uma rede de pluviômetros distribuídos em malha de 3 metros, em um sistema de aspersão, com espaçamento de 18 metros entre aspersores por 18 metros entre linhas laterais. Neste caso o teste foi feito no campo com os pluviômetros distribuídos em malha entre os quatro aspersores, sendo, portanto, a sobreposição de lâminas feita diretamente pelos aspersores, não necessitando a sua simulação.



**Fig. 23.** Disposição dos pluviômetros em rede para coletar a lâmina usada na determinação da distribuição de água do sistema de irrigação.

A área entre os aspersores é dividida em subáreas quadradas e os coletores de precipitação são colocados no centro de cada subárea. Assim, o volume ou a lâmina coletada em cada pluviômetro representa a precipitação em cada subárea.

Ao realizar o teste de uniformidade, deve-se tomar nota de todas as características do aspersor, como marca, diâmetro de bocais e condições de operação como altura de elevação, pressão de serviço, vazão, duração e hora de execução do teste e velocidade e direção do vento. Os coletores devem ser colocados em torno do aspersor que represente a pressão média. Para linhas em nível, esse aspersor geralmente está localizado a uma distância de 40% do comprimento total a partir do início da linha.

O tempo ideal de funcionamento em cada teste deve ser igual ou maior do que a metade do tempo que o sistema funcionará por posição, durante as irrigações normais.

Existem diferentes coeficientes para expressar a uniformidade de aplicação de água de um sistema de irrigação por aspersão, sendo o coeficiente de Christiansen, proposto por J.E. Christiansen, o coeficiente de uniformidade de distribuição, recomendado pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos, e o coeficiente estatístico de uniformidade, proposto por Wilcox e Swailes, os três mais usados (Bernardo et al., 2006). O coeficiente de uniformidade de Christiansen pode ser calculado através da equação 41.

$$CUC = 100 \times \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^N [L_i - L_m]^2}{N \times L_m} \right] \quad (41)$$

Onde:

$CUC$  = coeficiente de uniformidade de Christiansen do setor avaliado, %;

$L_i$  = lâmina coletada no ponto "i", mm;

$L_m$  = lâmina média de todas as observações, mm;

$N$  = número de coletores.

O coeficiente de uniformidade de distribuição é calculado através da equação 42.

$$CUD = 100 \times \left[ \frac{I_q}{L_m} \right] \quad (42)$$

Onde:

$CUD$  = coeficiente de uniformidade de distribuição do setor avaliado, %;  
 $I_q$  = média de 25 % das observações com menores valores, mm;

E o coeficiente estatístico de uniformidade pode ser calculado pela equação 43.

$$CUE = 100 \times \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - L_m)^2}{(n-1) \times L_m^2}} \right] = 100 \left[ 1 - \frac{S}{L_m} \right] = 100 - CV \quad (43)$$

Onde:

$S$  = desvio padrão dos dados de precipitação;  
 $L_i$  = precipitação observada em cada pluviômetro, mm;  
 $L_m$  = média das precipitações, mm;  
 $n$  = número de pluviômetros;  
 $CV$  = coeficiente de variação das precipitações.

Outro parâmetro utilizado na avaliação de sistemas de aspersão convencional é a eficiência de aplicação em potencial, que reflete aquelas perdas por evaporação e arrastamento pelo vento, que aumentam com a temperatura do ar, com a velocidade do vento, com o fracionamento do jato d'água, com a pressão de operação do aspersor, e com a redução da umidade relativa. Ela pode ser calculada pela equação 44.

$$EAp = \frac{Lmc \times S1 \times S2}{qa \times ti \times 36} \quad (44)$$

Onde:

$EAp$  = eficiência de aplicação em potencial, %;  
 $Lmc$  = lâmina média coletada, mm;  
 $qa$  = vazão média do aspersor, L s<sup>-1</sup>;  
 $ti$  = tempo de irrigação, h;  
 $S1$  = espaçamento entre aspersores, m;  
 $S2$  = espaçamento entre laterais, m;

A perda por evaporação e arrastamento pelo vento ( $P_v$ ), em porcentagem, pode ser determinada pela equação 45.

$$P_v = 100 - EAp \quad (45)$$

### Exemplo de Aplicação – Experimento Ceraíma (Embrapa/EFAJIT)

Cultura: Banana Prata Anã e PA-4244 (Cultivar Prata).

Irrigação: Aspersão convencional

Aspersor: Setorial

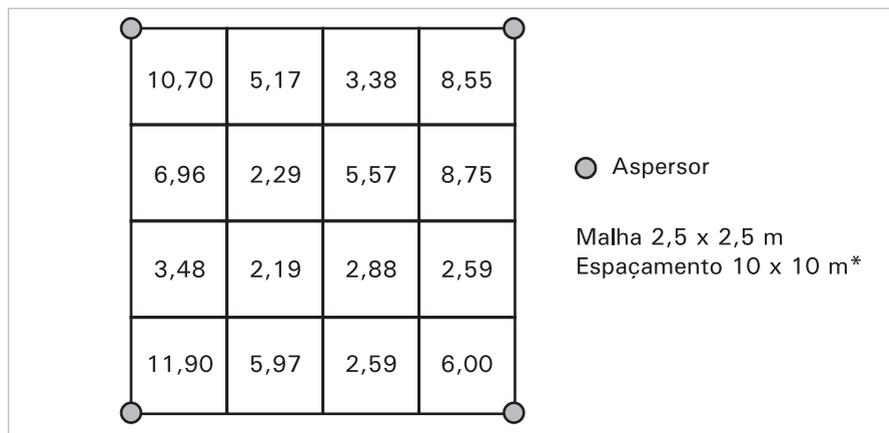
Bocal = 3,6 mm

Pressão de Serviço = 30 mca

Vazão = 1400 L h<sup>-1</sup>

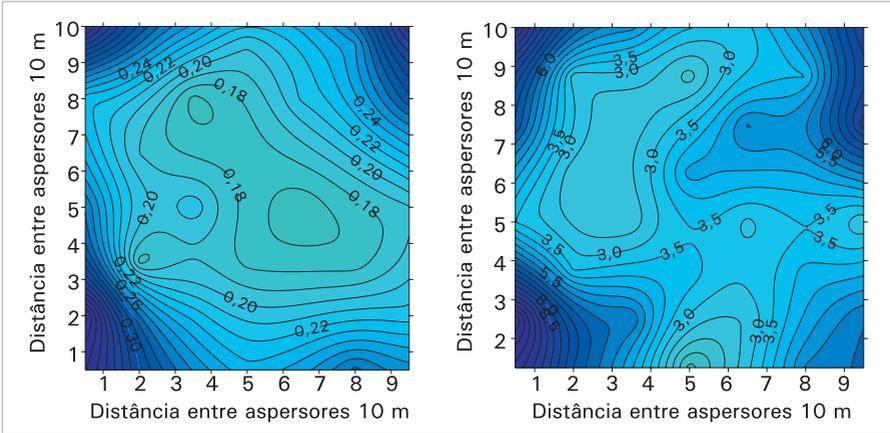
Diâmetro irrigado = 23 m

Espaçamento recomendado = 12x12 m



**Fig. 24.** Distribuição da lâmina de água coletada (mm) entre os quatro aspersores testados para uniformidade de distribuição de água (CUC e CUD).

\*Obs.: O espaçamento recomendado é 12x12 m e o utilizado foi 10x10 m (Devido muito vento).



**Fig. 25.** Isolinhas de distribuição da umidade no solo ( $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ) e da lâmina coletada (mm) entre os quatro aspersores testados para uniformidade de distribuição de água (CUC e CUD).

### *Cálculo de CUC e CUD*

**Tabela 26.** Procedimento seguido para o cálculo do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) na aspersão convencional.

Nº do Coletor	Lâmina (Li) (mm)	Abs [Li-Lm]	Lq (25% < Lâminas) (mm)
1	10,70	5,179	2,19
2	6,96	1,399	2,29
3	3,48	2,083	2,59
4	11,90	6,372	2,59
5	5,17	0,392	
6	2,29	3,276	
7	2,19	3,376	
8	5,97	0,404	
9	3,38	2,182	
10	5,57	0,006	
11	2,88	2,680	
12	2,59	2,978	
13	8,55	2,990	
14	8,75	3,189	
15	2,59	2,978	
16	6,00	0,404	
<b>Média = 5,56</b>		<b>Soma = 39,89</b>	<b>Média = 2,41</b>

$$CUC = 100 \times \left[ 1 - \frac{39,89}{16 \times 5,56} \right]$$

$$CUC = 55,20\%$$

$$CUD = 100 \times \frac{2,41}{5,56}$$

$$CUD = 43,35\%$$

### *Cálculo da Eficiência de Aplicação em Potencial*

Lâmina média coletada = 5,56 mm

Vazão média do aspersor = 0,39 L s<sup>-1</sup>

Tempo de irrigação = 0,50 h

Espaçamento entre aspersores = 10 m

Espaçamento entre fileiras = 10 m

$$EAp = \frac{5,56 \times 10 \times 10}{0,39 \times 0,50 \times 36}$$

$$EAp = 79,21\%$$

### *Perda por evaporação e arrastamento pelo vento (Pv)*

$$Pv = 100 - 79,21$$

$$Pv = 20,79\%$$

## Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistema de irrigação localizada: Avaliação do desempenho**. Rio de Janeiro. 11p, 1987. Projeto 12: 02-08-20.

ABREU, J.M.H.; LOPEZ, J.R.; REGALADO, A.P.; HERNANDEZ, F.G. **El riego por goteo**. Madrid, Espanha:(s.n.), 1987. 317p.

AGRIANUAL. Anuário da Agricultura Brasileira, 2007. São Paulo: PROL, 2007. 516p.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements.** Rome: FAO, 1998. 330 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

ASAE – AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Field Evaluation of Microirrigation Systems.** St. Joseph, p. 792-797. 1996

BASSOI, L.H.; MOURA e SILVA, J.A.; SILVA, E.E.G.; RAMOS, C.M.C.; TARGINO, E.L; MAIA, J.L.T.; FERREIRA, M.N.L. **Informações sobre a distribuição das raízes da bananeira para o manejo de irrigação.** Petrolina, PE: Embrapa Semi-árido, 2001. 4p. il. (Comunicado Técnico, 105).

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação.** 8ª. edição, Viçosa: Ed. UFV, 2006. 625P.

BHATTACHARYYA, R. K., MADHAVA RAO, V. N. Water requirement, crop coefficient and water-use efficiency of 'Robusta' banana under different soil covers and soil moisture regimes. **Scientia Horticulturae**, The Netherlands, n.3, v.25, p. 263-269, 1984.

COELHO, E.F.; OLIVEIRA, S.L.; COSTA, E.L. Irrigação da Bananeira. In SIMPÓSIO NORTE MINEIRO SOBRE CULTURA DA BANANA, 1. 2001, Nova Porteirinha. **Anais...** Montes Claros: Unimontes, 2001. p.91-101.

DENÍCULI, W., BERNARDO, S., THIÁBAUT, J. T. L., SEDIYAMA, G. C. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Ceres**, Viçosa, v.27, n.50, p.155-162, 1980.

DOOREMBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas.** Trad: GHEYI, H.R., SOUZA, A.A.; DAMASCENO, F.A.V.; MEDEIROS, J.F. Campina grande: UFPB, 1984. 306p. (Estudos FAO; Irrigação e Drenagem, 33)

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design parameters.** Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.17, n.4. 1974.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design.** S.1: Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975. 133p.

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 625p

LEAL, I.G.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; MONTENEGRO, A.A.A. Avaliação de um sistema de irrigação por microaspersão em área de agricultura familiar. In. XIII CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 2003, 13, Juazeiro, 2003, **Anais...** Juazeiro: ABID, 2003. (CD-ROM).

LOPES, J.R.; ABREU, J.M.H.; REGALADO, A.P.; HERNANDEZ, J.F.G. **Riego Localizado**. 2. ed. Madrid: Centro Nacional de Tecnologia de Gegadios, 1992. p.217-229.

MATOS, J.A.; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, H.M.; AZEVEDO, C.V.A. Características hidráulicas do microaspersor Dan Sprinkler 2001. **Irriga**, Botucatu, v.1, n.3, p.30-44. 1996

MERRIAN, J.L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation**. Engineering Department, Utah State University. 1978.

OLIVEIRA, S.L. Irrigação. In **A cultura da banana: Aspectos Técnicos Socio-Economicos e Agroindustriais**. Brasília: Embrapa Produção e Informação. p.317-334.1997.

OLIVEIRA, S.L.; BORGES, A.L.; COELHO, E.F.; COELHO FILHO, M.A.; SILVA, J.T.A. **Uso da irrigação e da fertirrigação na produção integrada de banana no Norte de Minas Gerais**. Cruz das Almas: Embrapa-CNPMPF, 2005. 7p. (EMBRAPA-CNPMPF. Circular Técnica, 77).

PIZARRO, F. **Riegos Localizados de Alta Freqüência**. Ediciones Mundi Prensa, 3ª edicion, Madri,1997.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, Planta e Atmosfera: conceitos, Processos e Aplicações**. Barueri, SP: Manole, 2004. 478 p.

SANTANA, J.L., SUAREZ, C.L., FERRERES, E. Evapotranspiration and crop coefficients in banana. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON IRRIGATION OF HORTICULTURAL CROPS, 1992, Almeria. **Proceedings...**, Almeria: F.I.A.P.A.-S.EC.H.-I.S.H.S. 1992, p.341- 348.

SIMÃO, A.H.; MANTOVANI, E.C.; SIMÃO, F. R. Irrigação e fertirrigação na cultura da mangueira. In. ROZANE, D.E.; DAREZZO, R.J.; AGUIAR, R.L.; AGUILERA, G.H.A.; ZOMBOLIM, L. (Editores). **Manga – produção integrada, industrialização e comercialização**. EJA. Viçosa, UFV, 2004. p. 233-302.

# Fertirrigação

---

*Eugênio Ferreira Coelho*

*Ana Lúcia Borges*

*Otávio Alvares de Almeida*

## Sistemas para Fertirrigação

Os métodos de irrigação mais recomendados para a cultura da bananeira têm sido os métodos pressurizados, isto é, a irrigação por aspersão e localizada. Dentre os sistemas de irrigação por aspersão, a aspersão subcopa (Figura 26) tem sido o sistema mais utilizado. Dentre os sistemas de irrigação localizada, o gotejamento e a microaspersão vêm sendo os mais utilizados.

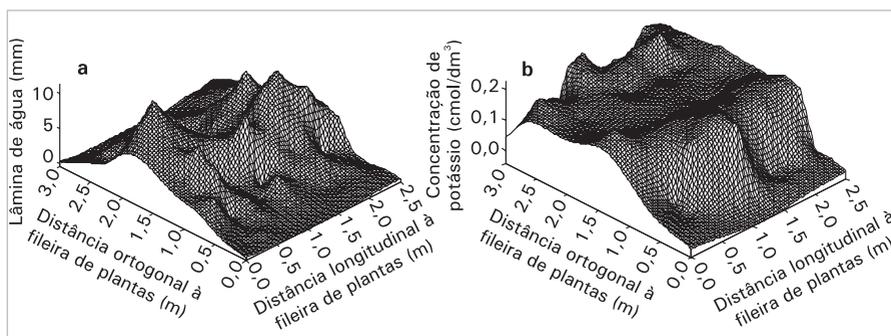
Foto: Eugênio Ferreira Coelho



**Fig. 26.** Sistema pressurizado de aspersão subcopa na cultura da bananeira.

A fertirrigação é praticada com todos os sistemas, entretanto, deve-se ater ao fato de que, na aspersão, a água é aplicada para uma área molhada de solo de 100%, o que significa aplicação de fertilizantes para as bananeiras e também para as plantas invasoras. Outro ponto a ponderar é o fato de que a uniformidade de distribuição de água e a aplicação correta que basicamente compõem a eficiência de irrigação, proporcionam níveis mais baixos para a irrigação por aspersão comparado à irrigação localizada. A eficiência da irrigação por aspersão situa-se próximo ou abaixo de 75%, indicando uma uniformidade de distribuição de fertilizantes deficiente na área, além de maior possibilidade de lixiviação dos nutrientes de maior mobilidade.

Em se tratando de sistemas de irrigação localizada, a fertirrigação por microaspersão deve levar em conta a distribuição de água pelo microaspersor, que segue um padrão conforme a Figura 27, onde a maior quantidade de água cai próximo do emissor reduzindo-se na medida em que se afasta deste. A concentração de íons da água de irrigação é uniforme, isto é, apresenta pequena variação na área molhada pelo microaspersor, contudo, a distribuição do fertilizante é desuniforme, isto é, a região mais próxima do emissor recebe maior quantidade de fertilizante comparada as regiões mais afastadas do emissor devido a maior quantidade de água que cai naquela região.



**Fig. 27.** Padrões de distribuição de água (a) e íons (b) por sistemas de irrigação por microaspersão.

O aspecto prático desta situação para a bananeira, principalmente nos primeiros meses, é a influência da microaspersão, principalmente da desuniformidade de aplicação de fertilizante, uma vez que se adota uma linha lateral de irrigação entre fileiras simples de plantas. No caso de plantas novas com sistema radicular pouco desenvolvido, elas não conseguem absorver boa parte dos fertilizantes que caem próximo dos emissores. Isso pode ser minimizado com uso de microaspersores de maior raio de ação (acima de 2,5 m).

O sistema de irrigação por gotejamento é o mais adequado à fertirrigação. No gotejamento os fertilizantes diluídos em água são depositados junto ao sistema radicular da cultura aumentando-se a eficiência do uso dos nutrientes, principalmente para o fósforo, que é localizado na zona radicular.

A eficiência da fertirrigação, de modo análogo a da irrigação deve se referir à razão do fertilizante efetivamente utilizado pelas plantas e a quantidade aplicada. Os sistemas de irrigação de baixa eficiência, como os de superfície serão de baixa eficiência de fertirrigação, ao passo que os sistemas de irrigação de alta eficiência serão também de alta eficiência de fertirrigação. A Tabela 27 mostra valores da eficiência de fertirrigação para diversos sistemas de irrigação localizada para os nutrientes mais comumente usados em fertirrigação.

**Tabela 27.** Eficiência (%) do uso de nitrogênio, fósforo e potássio para diferentes sistemas de irrigação.

Sistemas de irrigação	Nitrogênio	Fósforo	Potássio
Superfície	40-60	10-20	60-75
Aspersão (pivô central)	60-70	15-25	70-80
Gotejamento	75-85	25-35	80-90

Fonte: Papadoupoulos (1999).

A eficiência de fertirrigação é maior para o potássio, por ser menos móvel que o nitrogênio. O fósforo é o de menor eficiência dada sua baixa mobilidade.

## Resposta da Bananeira à Fertirrigação

Uma pergunta comum relativa a prática da fertirrigação diz respeito à resposta das plantas a esta prática. Sabe-se que a produtividade da bananeira depende das dosagens de nutrientes e de água isoladamente e a fertirrigação é preconizada como de maior eficiência que a adubação convencional, pois reúne água e nutrientes numa mesma prática. Assim, fica a expectativa de melhor aproveitamento dos nutrientes na fertirrigação, o que poderia significar respostas diferentes da cultura a doses de nutrientes aplicados em fertirrigação. Resultados de Coelho et al. (2006) que avaliaram o efeito de lâminas de irrigação e de doses de nitrogênio e de potássio sobre a produtividade da bananeira 'Prata Anã' em dois ciclos subsequentes, mostraram que o N incrementou a produtividade da bananeira 'Prata Anã', seguindo uma tendência quadrática, passando de 29,3 t.ha<sup>-1</sup> por ano para 32,9 t.ha<sup>-1</sup> por ano, para doses de N de 72,9 e 230,9 kg.ha<sup>-1</sup> por ano, respectivamente (Figura 28a) no primeiro ciclo de produção. No segundo ciclo, o acréscimo de N proporcionou aumento na produtividade até a aplicação de 370 kg.ha<sup>-1</sup>, além dos quais começou ocorrer redução na produtividade (Figura 29).

Os autores verificaram que o potássio também contribuiu para o aumento da produtividade da bananeira 'Prata Anã', de forma quadrática (Figura 28b), proporcionando produtividade máxima de 32,3 t.ha<sup>-1</sup> por ano com a aplicação de 431,7 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> por ano. A redução na produtividade a partir de 431,7 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> por ano mostra que a aplicação do potássio isolado foi benéfica até um certo valor, para uma aplicação fixa de 170,1 kg de N ha<sup>-1</sup> por ano.

Nas condições de Teresina, Piauí, Souza et al. (2004) também avaliaram a resposta da bananeira cultivar Grande Naine a doses de N e K<sub>2</sub>O via fertirrigação, observando produtividades máximas para aplicação de 665 a 770 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O no primeiro e segundo ciclo, respectivamente, contudo não observaram efeito das doses de N na produtividade da cultura.

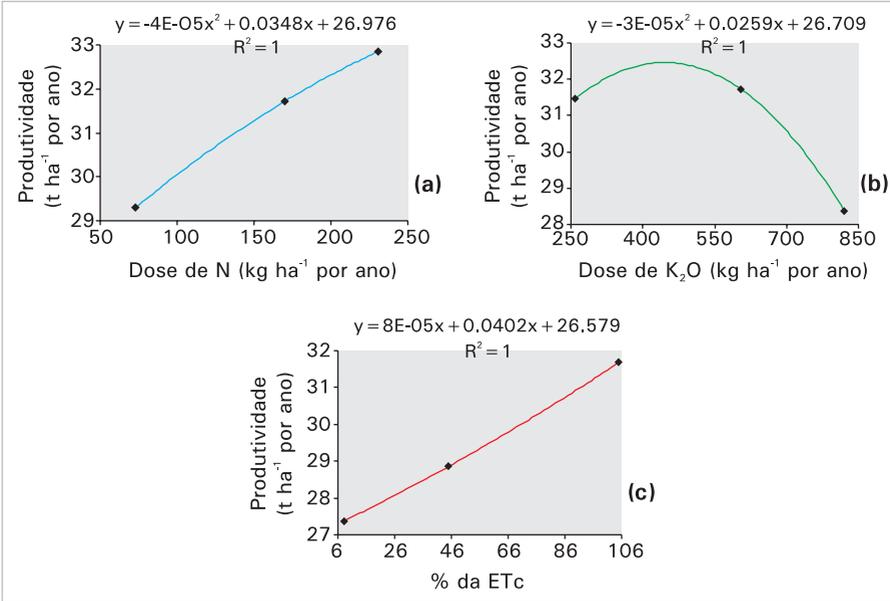


Fig. 28. Produtividade da banana ‘Prata Anã’ em resposta ao N (a), ao K<sub>2</sub>O (b) e à irrigação (c) no primeiro ciclo de produção.

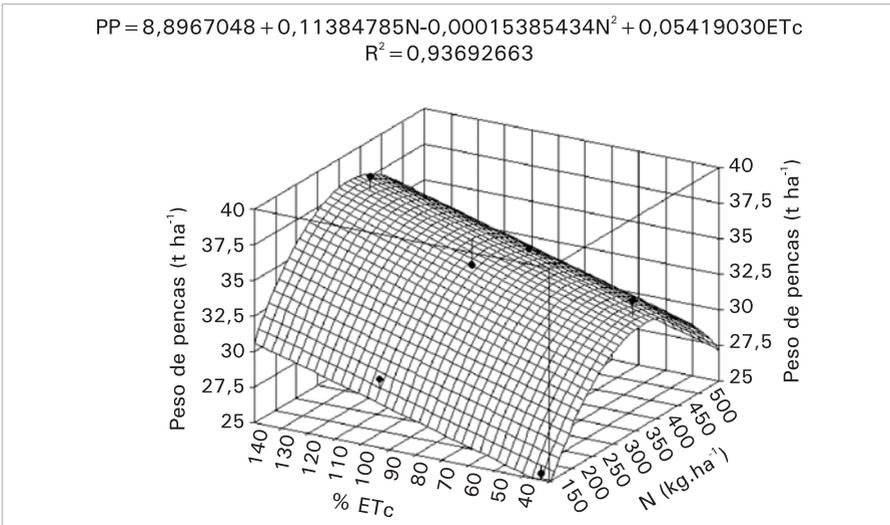


Fig. 29. Produtividade de banana ‘Prata Anã’ (t de pencas/ha) em função de doses de nitrogênio e de níveis de irrigação, no segundo ciclo de produção.

Borges et al. (2002) objetivando avaliar os efeitos de doses de nitrogênio e potássio, via água de irrigação, na produção do primeiro ciclo da bananeira cv. Grande Naine nas condições semi-áridas do Norte de Minas Gerais verificaram que a aplicação de 300 kg de N e 550 kg de  $K_2O$ .ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> proporcionou produtividade máxima de 81 t.ha<sup>-1</sup>.

No caso da bananeira cv. Prata Anã, sob aplicação convencional, Silva et al. (2003) avaliaram o efeito do N e  $K_2O$  com aplicação de 0 até 1.600 kg.ha<sup>-1</sup> por ano para cada nutriente sobre a produtividade. Os resultados mostraram não ter havido efeito do N no primeiro e quarto ciclos e no segundo e terceiro ciclos houve um decréscimo da produtividade com o aumento da dose de N. Nas regiões produtoras de banana em todo mundo, as doses de N recomendadas para a bananeira variam de 100 a 600 kg.ha<sup>-1</sup> por ano, a depender do solo, da cultivar e das condições climáticas de cada área, sendo que trabalhos realizados na Costa Rica, mostraram que as maiores produtividades de banana foram obtidas com a aplicação de 300 a 320 kg.ha<sup>-1</sup> por ano (Silva et al., 2003).

O efeito positivo do K na produtividade da bananeira 'Prata Anã' irrigada também foi encontrado por Silva et al. (2003). A produtividade máxima obtida por esses autores (36,6 t.ha<sup>-1</sup> por ano) em condições convencionais de aplicação do K correspondeu à aplicação de 962,5 kg.ha<sup>-1</sup> por ano de  $K_2O$ .

Brasil et al. (2000) estudaram a resposta da bananeira a doses de nutrientes aplicados por via sólida na cultivar Pioneira nas condições do estado do Pará e verificaram que a aplicação de 336 kg de N ha<sup>-1</sup> e a aplicação de 370 kg de  $K_2O$  ha<sup>-1</sup> foram suficientes para maximização da produtividade da cultivar naquelas condições.

Em se tratando de resposta da bananeira a diferentes fontes de nutrientes aplicados por fertirrigação, o menor custo das fontes amoniacais e amídicas faz com que esses fertilizantes sejam mais cogitados pelos produtores rurais, o que leva a indagar sobre as possibilidades de impacto no solo pelo uso dos mesmos em função de possível redução do pH do solo. O uso das fontes amoniacais traz, apesar da vantagem do menor custo, uma desvantagem da possível redução no pH e na saturação por bases do solo.

Uma forma de contornar esse problema é o uso de uma fonte amoniacal conjugada com uma fonte nítrica.

## Nutrientes para Fertirrigação

A técnica de aplicação de fertilizantes via água de irrigação proporciona o uso racional de fertilizantes na agricultura irrigada, uma vez que aumenta a eficiência de uso dos mesmos, além de reduzir a mão-de-obra e o custo com máquinas e flexibilizar a época de aplicação, podendo as doses recomendadas serem fracionadas conforme a necessidade da cultura.

### Nitrogênio

O nitrogênio (N) é importante para o crescimento vegetativo da planta, principalmente nos três primeiros meses, quando o meristema está em desenvolvimento (Warner & Fox, 1977). Esse nutriente favorece a emissão e o desenvolvimento dos perfilhos, além de aumentar consideravelmente a quantidade de matéria seca (Lahav & Turner, 1983).

É o nutriente mais aplicado via água de irrigação, pois apresenta alta mobilidade no solo, principalmente na forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Pela fertirrigação, parcela-se o N de acordo com a demanda da bananeira, reduzindo as perdas do nutriente, por lixiviação e volatilização, principalmente em solos arenosos.

No Brasil, as recomendações variam de 90 a 400 kg de N/ha/ano, dependendo da textura do solo, teor de matéria orgânica, manejo adotado, idade da planta e produtividade esperada. Em geral, os solos mais argilosos e com maior teor de matéria orgânica requerem menores quantidades de N (Borges & Costa, 2002).

A aplicação de N pode, para o primeiro ano, ser distribuída da seguinte forma: 10% nos primeiros três meses do plantio, 75% daí até o florescimento (7<sup>o</sup>-9<sup>o</sup> mês) e 15% deste até a colheita (Tabela 28). Para os ciclos seguintes, pode-se adotar a mesma distribuição recomendada a partir do quarto mês do plantio.

**Tabela 28.** Distribuição percentual de nitrogênio (N) e potássio (K<sub>2</sub>O) no ciclo fenológico da bananeira.

Época	N	K <sub>2</sub> O
	-----(%)-----	
1 <sup>o</sup> ao 3 <sup>o</sup> mês	10	0
4 <sup>o</sup> mês ao florescimento (7 <sup>o</sup> ao 9 <sup>o</sup> mês)	75	90
Florescimento à colheita	15	10

Fonte: Borges & Costa (2002).

Entre as principais fontes de N, o nitrato de amônio é o mais solúvel, seguido pelo nitrato de cálcio e pela uréia; o sulfato de amônio é o de maior mobilidade. Trabalho conduzido na *Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical*, estudando-se as fontes de N sulfato de amônio e uréia, em solo com pH ácido (5,5), após três ciclos de cultivo, não mostrou diferença significativa na produtividade da bananeira 'Prata Anã' entre as fontes, podendo-se então optar pela uréia, por ter um preço menor por unidade de nutriente.

## Fósforo

O fósforo (P) é o macronutriente menos absorvido pela bananeira; contudo, aproximadamente, 50% são exportados pelos frutos. Este nutriente favorece o desenvolvimento vegetativo e o sistema radicular.

As doses de P recomendadas nas regiões bananeiras do mundo variam de 80 a 690 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/ano. Segundo Borges (2004), as recomendações de P variam de 40 a 120 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/ano, dependendo dos teores no solo. Teores no solo acima de 30 mg/dm<sup>3</sup> dispensam a adubação fosfatada.

Quando indicado, o P deve ser aplicado na cova de plantio, por ser um elemento com alto poder de fixação e pouca mobilidade no solo, aumentando assim sua eficiência de absorção. Deve ser misturado à terra de enchimento da cova, junto com o adubo orgânico. Se necessário, deve-se repetir a adubação fosfatada anualmente, em cobertura, após análise química de solo.

Diferentemente do nitrogênio, o fósforo (P) é um nutriente pouco utilizado em fertirrigação, devido à sua baixa difusão no solo. A adubação fosfatada apresenta efeito residual de longa duração, pois o P não se move a longas distâncias de onde é colocado e a lixiviação do nutriente no perfil do solo é pequena (Borges & Costa, 2002).

Contudo, Villas Boas et al. (1994) citam trabalho sobre o movimento do P no solo aplicado na forma de MAP (fosfato monoamônico), em gotejamento, mostrando que o P caminhou no solo, vencendo a sua capacidade de fixação.

O uso do fósforo na fertirrigação se dá, principalmente, nas formas de fosfato monoamônico (MAP), fosfato diamônico (DAP) e ácido fosfórico. Este, apesar do risco de corrosão em condutos metálicos, não causa problemas de entupimentos nos emissores. Quando se aplicam fontes inorgânicas de fósforo, existe a probabilidade de precipitação do fosfato, se a água apresentar cálcio e o pH for superior a 6,5. Contudo, se o pH da água for inferior a 7,0, não há limitação para o uso do DAP; se for superior a 7,0, deve-se utilizar o MAP (Vilas Boas et al., 1994).

## Potássio

O potássio (K) é considerado o elemento mais importante para a nutrição da bananeira, na qual está presente em quantidade elevada. Corresponde aproximadamente a 62% do total de macronutrientes e 41% do total de nutrientes da planta. Além disso, mais de 35% do K total absorvido são exportados pelos frutos.

É um nutriente importante não só na translocação dos fotossintatos e no balanço hídrico, mas também na produção de frutos, aumentando a resistência destes ao transporte e melhorando a sua qualidade, pelo aumento dos teores de sólidos solúveis totais e açúcares e decréscimo da acidez da polpa (Langenegger & Du Plessis, 1980).

As quantidades de K recomendadas nas regiões bananeiras do Mundo variam de 228 a 1.600 kg de  $K_2O$ /ha/ano. No Brasil, variam de 0 a 750 kg

de  $K_2O$ /ha/ano, dependendo dos teores no solo. No entanto, respostas a até 1.600 kg de  $K_2O$ /ha/ano foram obtidas em áreas irrigadas do Norte de Minas Gerais; contudo, deve-se sempre considerar o preço do insumo e do produto, para avaliar a economicidade (Borges & Costa, 2002).

A aplicação de K ( $K_2O$ ) pode, a princípio, ser conduzida com frequência semanal ou a cada 15 dias, sendo a quantidade para o primeiro ano distribuída da seguinte forma: considerando-se a maior exigência do nutriente a partir do 4º mês, inicia-se a sua aplicação nessa época, adicionando-se 90% da quantidade recomendada até o florescimento (7-9º mês) e 10% deste até a colheita. Nos ciclos seguintes, pode-se distribuir a quantidade de K como recomendada a partir do quarto mês do plantio (Borges & Costa, 2002).

Entre as principais fontes de K, o cloreto de potássio é o mais solúvel e utilizado, seguido pelo nitrato de potássio e pelo sulfato de potássio.

## **Cálcio, magnésio e enxofre**

Quanto aos macronutrientes cálcio (Ca) e magnésio (Mg), são normalmente supridos pela calagem que, entre outros benefícios, equilibra a relação K:Ca:Mg e eleva a saturação por bases.

O Ca é constituinte estrutural dos pectatos de cálcio da lamela média das células. Participa dos processos e no funcionamento das membranas, além da absorção iônica (Malavolta et al., 1989), favorecendo também o desenvolvimento do sistema radicular. O nitrato de cálcio é a fonte mais solúvel, podendo ser utilizado também o cloreto de Ca e as formas quelatizadas.

O Mg é integrante da molécula de clorofila, é ativador de enzimas e participa nos processos de absorção iônica, na fotossíntese e na respiração (Malavolta et al., 1989).

Devido às quantidades elevadas de potássio exigidas pela bananeira, a aplicação de Mg é importante para manter a relação K:Ca:Mg ( $cmol_c/dm^3$ )

de 0,5:3,5:1,0 a 0,3:2,0:1,0. Na Costa Rica, foram encontradas respostas favoráveis à aplicação de 100 kg de MgO/ha/ano, normalmente via solo (Borges & Costa, 2002).

Os adubos formulados NPK apresentam, em geral, o inconveniente de não conterem enxofre, já que, na sua composição, entram normalmente uréia, superfosfato triplo e cloreto de potássio. Por conseguinte, recomenda-se, sempre que possível, alternar as fontes de nitrogênio com sulfato de amônio, via água de irrigação, e de fósforo com superfosfato simples, em aplicação sem fertirrigação. Acredita-se que a aplicação de sulfato de amônio seja suficiente para suprir o enxofre necessário à bananeira. Caso contrário, recomenda-se a aplicação de 30 a 50 kg de S/ha/ano.

## **Micronutrientes**

Normalmente, o boro (B) e o zinco (Zn) são os micronutrientes encontrados em deficiências na bananeira. No entanto, pode ser colocada uma mistura de todos os micronutrientes no plantio, para prevenir futuras deficiências de todos eles.

A disponibilidade de B é reduzida em solos com pH elevado, altos teores de Ca, Al, Fe e areia e baixo teor de matéria orgânica. Para suprir a falta do nutriente, pode-se aplicar 2 kg de boro/ha/ano.

Quanto ao Zn, a sua disponibilidade é reduzida em solos neutros ou alcalinos, com altos teores de P e argila. Para suprir a deficiência desse nutriente, recomenda-se a aplicação de 6 a 10 kg de zinco/ha/ano.

Os quelatos e os sulfatos são os compostos geralmente utilizados para corrigir as deficiências de micronutrientes na fertirrigação. O Zn, o ferro (Fe), o cobre (Cu) e o manganês (Mn) podem reagir com os sais da água de irrigação e favorecer a precipitação, causando entupimento dos gotejadores. Por esta razão, os quelatos são preferíveis, por evitar precipitação, além de apresentar maior mobilidade (Vilas Boas et al., 1994). Estes autores citam trabalho com Zn, onde verificaram maior aprofundamento do nutriente quando aplicado na forma de quelato, em relação à aplicação de sais.

## Equipamentos para Fertirrigação

### Tanque de derivação de fluxo ou tanque fertilizante

Consiste em um depósito onde se coloca a solução que se quer incorporar ao solo e que, uma vez fechado, alcança em seu interior a mesma pressão que a rede de irrigação. Por isso o tanque deve ser capaz de suportar a pressão estática e dinâmica da rede. O normal é que resistam a cerca de 300 kPa, como mínimo, ainda que se recomenda que suportem uma pressão de trabalho a cerca de 600 kPa (Rodrigo López et al., 1997). Geralmente são metálicos, ainda que existam modelos em plástico reforçado com fibra de vidro, porém, em qualquer caso, devem ser capazes de suportar a ação corrosiva das substâncias que se utilizem. Seu volume varia entre 20 e 200 litros e o dimensionamento pode ser calculado, segundo Keller & Karmeli (1975), utilizando-se a equação:

$$V = \frac{C_i \times A_s}{C_f} \quad (46)$$

em que:

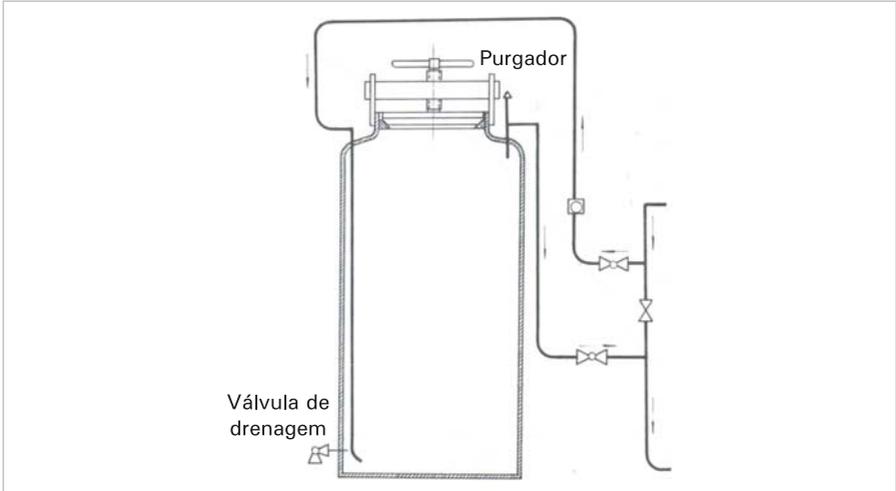
V = volume do tanque de fertilizante, em litros;

C<sub>i</sub> = quantidade de nutrientes a ser aplicada por irrigação, em kg ha<sup>-1</sup>;

A<sub>s</sub> = área que o sistema irriga por vez, em ha;

C<sub>f</sub> = concentração do fertilizante, em quilo de nutriente por litro de água (kg L<sup>-1</sup>).

Estes dispositivos se colocam em paralelo com relação à tubulação de irrigação, sendo que a diferença de pressão da ordem de 10 e 50 kPa, entre a entrada e a saída do tanque de fertilizante, causadora do fluxo através do tanque, é conseguida por intermédio da instalação de um registro na linha principal do sistema, entre os pontos de saída para o tanque e de retorno do tanque (Figura 30).



**Fig. 30.** Tanque diferencial de fertilizante.

Fonte: Rodrigo López et al. (1997).

A quantidade de fertilizante ( $C$ ) que permanece no interior do tanque, depois de transcorrido um tempo ( $T$ ), é dada pela equação:

$$C = C_0 * e^{-\frac{qT}{V}} \quad (47)$$

em que:

$C_0$  = quantidade inicial de fertilizante;

$q$  = fluxo que circula através do tanque, em  $L h^{-1}$ ;

$V$  = volume do tanque, em litros;

$T$  = tempo transcorrido de aplicação, em hora.

$e$  = base do logaritmo neperiano

De acordo com a equação (47), quando houver circulado pelo tanque um volume de água igual a sua capacidade (1 ciclo;  $q * T = V$ ), a quantidade de fertilizante que permanece no interior do tanque ( $C$ ), será de aproximadamente 37% ( $e^{-1} = 0,3679$ ), com relação à quantidade inicial ( $C_0$ ). Ou seja, haverá incorporado ao solo cerca de 63% do fertilizante que continha o tanque inicialmente. Quando circulam 2 volumes do tanque (2

ciclos;  $q * T = 2V$ ), a quantidade incorporada será de 86% ( $e^{-2} = 0,1353$ ); se forem 3 a incorporação será de 95% e quando houver circulado 4 ciclos, a quantidade incorporada se supõe de 98% do fertilizante inicial (Figura 6). Na prática, a concentração de fertilizante restante no tanque ao final da fertirrigação deve ser inferior a 2%.

O tempo transcorrido será:

$$T = -\frac{V}{q} * \ln \frac{C}{C_0} \quad (48)$$

A vazão,  $q$  ( $L h^{-1}$ ), que deve passar através do tanque para aplicar todo o fertilizante, ou seja, para 4 ciclos, pode deduzir-se da equação:

$$q = \frac{4V}{tr * ta} \quad (49)$$

onde:  $tr * ta$  = tempo útil de aplicação de fertilizante, sendo:

$tr$  = relação entre o tempo de aplicação de fertilizante e o tempo de aplicação da irrigação, usualmente 0,8 (segundo Keller e Karmeli, 1964, citado por Rodrigo López, 1997), para permitir a lavagem da instalação.

$ta$  = tempo de aplicação da irrigação, em h.

Assim, o tempo mínimo de aplicação da irrigação quando se está fazendo fertirrigação pode ser determinado pela equação:

$$ta = \frac{5V}{q} \quad (50)$$

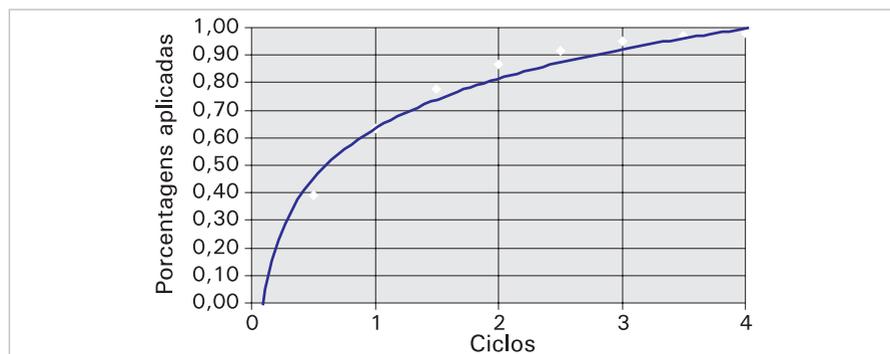


Fig. 31. Porcentagem de fertilizante aplicado por ciclo.

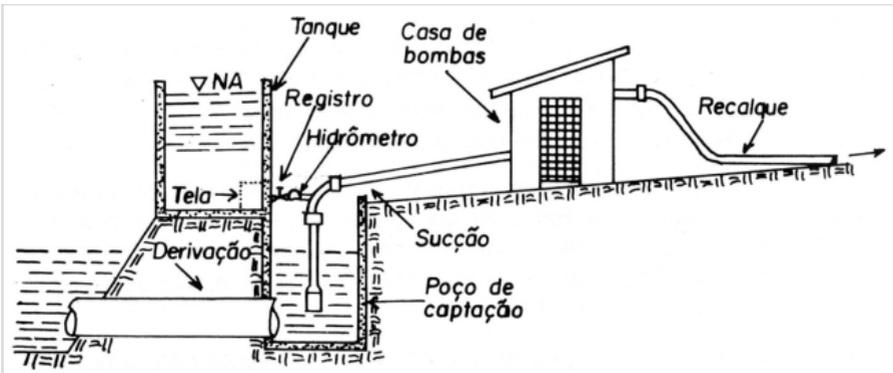


**Fig. 32.** Detalhe de instalação no campo de um tanque de fertirrigação.

Fonte: Andrade & Gornat, 1992.

## Pressão negativa

Nesse método, a injeção da solução fertilizante na linha de irrigação é feita utilizando-se a pressão negativa ou vácuo criado no interior da tubulação de sucção da unidade de bombeamento (Figura 33). A calibração e o controle da entrada da solução fertilizante são efetuados mediante um registro, o qual permite a entrada de maior ou menor quantidade da solução contida no reservatório de dissolução, sendo que o volume introduzido é controlado por um hidrômetro (Costa & Brito, 1994).



**Fig. 33.** Esquema de um sistema de injeção por pressão negativa.

Fonte: Costa & Brito, 1994.

Esse tipo de instalação, sempre que possível, deve ser evitada, uma vez que apresenta uma série de inconvenientes e limitações, além de haver a disponibilidade de outras opções de métodos mais simples e operacionalmente menos agressivos ao meio ambiente. A primeira limitação diz respeito ao aspecto ambiental, em função de uma possível contaminação da fonte de água pela solução fertilizante, devido ao refluxo ocasionado por uma eventual parada do sistema de bombeamento. Outro aspecto é o desgaste que as soluções fertilizantes altamente corrosivas provocam nas partes internas da bomba centrífuga, as quais apresentam, na sua maioria, rotores metálicos.

### Injetor tipo Venturi

Ao contrário do tanque diferencial de pressão, a concentração da solução fertilizante no injetor tipo Venturi é constante no decorrer do tempo de aplicação. Seu princípio de funcionamento consiste no estrangulamento do fluxo da água de irrigação, de modo a provocar um aumento muito alto na sua velocidade, criando-se uma pressão negativa que provoca a aspiração da solução fertilizante (existente em um depósito à pressão atmosférica) e sua injeção na rede (Almeida, 2002). Na Figura 34 está apresentado o detalhe do sistema hidráulico de um Venturi, partindo-se do pressuposto que a vazão no ponto 1 é igual à vazão no ponto 2, de acordo com a equação da continuidade:

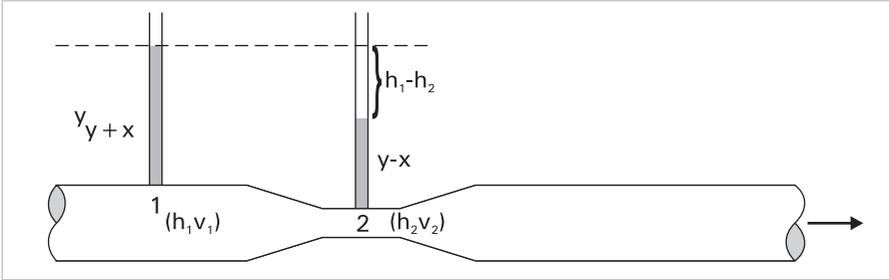
$$Q_1 = Q_2 = A_1 x V_1 = A_2 x V_2 \quad (51)$$

em que:  $Q$  = vazão da linha de irrigação, em  $m^3 s^{-1}$

$A$  = área da seção transversal da tubulação, em  $m^2$ ;

$V$  = velocidade do fluxo da água, em  $m s^{-1}$ .

A área  $A_1$  (tubulação) é bastante superior à área  $A_2$  (Venturi). Para que a equação da continuidade seja observada é necessário que a velocidade do fluxo  $V_2$  seja infinitamente superior à velocidade do fluxo  $V_1$  (tubulação), ou seja  $V_2 \gg V_1$ . É justamente esta transformação de energia cinética que provoca o diferencial de pressão entre os pontos 1 e 2, provocando uma pressão negativa ou sucção no ponto 2, onde se encontra conectado o depósito com a solução fertilizante.

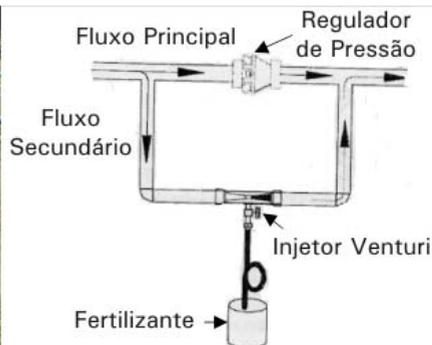


**Fig. 34.** Detalhe do sistema hidráulico de um Venturi.

Fonte: Costa & Brito, 1994.

Este tipo de injetores ou dispõem de um bocal de vazão constante com a qual a vazão do fertilizante injetado é constante, ou em caso contrário, segundo a pressão de entrada e a perda de carga produzida na tubulação principal se obtenham diferentes vazões de injeção, as quais são indicadas pelo fabricante.

A maior vantagem destes injetores (Figura 35) de fertilizantes é a simplicidade do dispositivo, bem como seu preço, manutenção e durabilidade, além de não necessitar uma fonte de energia especial. Como limitação, pode-se citar a grande perda de carga provocada pelo estrangulamento da tubulação, podendo variar de 10 a 50% da pressão de entrada (Pascual, 1996; Valverde, 1996), dependendo do modelo.



**Fig. 35.** Instalação do Venturi em "by pass".

## Instalação do injetor com uma bomba auxiliar

Quando uma bomba auxiliar é instalada para proporcionar o diferencial de pressão necessário para injeção do fertilizante através do Venturi (Figura 36), tem como desvantagem o custo mais elevado de instalação do sistema. Em muitos casos, quando se quer evitar grandes perdas de carga, se instala um pequeno equipamento de bombeamento antes do Venturi.

O cálculo da pressão que deve fornecer o equipamento de bombeamento é feito por meio da equação:

$$H' = H * \frac{\Delta p}{1 - \Delta p} \quad (52)$$

em que,

$Dp$  = perda de carga do Venturi, em decimal.

$H$  = pressão da rede.

$H'$  = pressão a fornecer pelo equipamento de bombeamento.

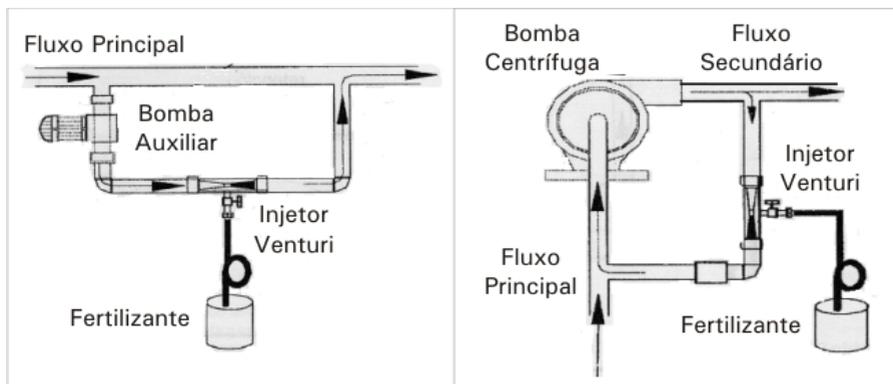


Fig. 36. Instalação de Venturi utilizando bomba auxiliar.

Fonte: Vidal (2003), modificado por Otavio A. de Almeida.

## Bombas injetoras com motor elétrico

As bombas injetoras com motores elétricos estão muito desenvolvidas porque são utilizadas não somente para a injeção de fertilizantes, como também nos tratamentos de águas, na indústria petroquímica, na orgânica e inorgânica etc. Consiste em bombas de deslocamento positivo, que podem ser de pistom ou de membrana, acionadas por um motor elétrico de

baixa potência (0,25 – 1 kw), fabricadas com materiais não corrosivos (Figura 37). Nos modelos mais usados a pressão de injeção varia entre 4 e 12 atmosferas e os volumes injetados variam entre 1 e 1.500 L.h<sup>-1</sup> (Pascual, 1996; Valverde, 1996; Pizarro, 1996; Rodrigo Lopez et al. 1997).

A vazão teórica injetada por uma bomba injetora elétrica de pistão é dada por:

$$Q = \pi N R^2 C \quad (53)$$

em que: Q = vazão da bomba em L h<sup>-1</sup>

N = número de ciclos aspiração-impulsão, em 1 hora

R = Raio do pistom, em dm

C = Velocidade do pistom ou deslocamento horizontal, em dm.

A vazão real é praticamente igual à teórica, desde que o rendimento volumétrico está muito próximo de 100%.

Para modificar a vazão se pode variar a velocidade C do pistom ou o numero N de ciclos por hora. O usual é o primeiro: as bombas injetoras têm um comando exterior para regular a vazão (parafuso micrométrico), que atua deslocando a excêntrica, modificando a velocidade do pistom, o qual regula a vazão. A regulagem pode ser feita com a bomba parada ou em funcionamento. As bombas injetoras são definidas por sua vazão nominal e a regulagem se estabelece como uma porcentagem dela, geralmente entre 10 e 100%.



Fig. 37. Bomba injetora com motor elétrico de uma e duas entradas.

Fonte: Vidal (2003).

## Bombas injetoras com acionamento hidráulico

Um dosificador hidráulico é uma bomba constituída por uma pequena câmara que alternativamente se enche e esvazia, acionada pela pressão da rede de irrigação. Quando a câmara se enche, o dosificador succiona o fertilizante de um depósito e quando se esvazia, o injeta na rede (Figura 38). São instalados em paralelo com a rede de irrigação, preferentemente entre dois pontos onde haja uma diferença de pressão (regulador de pressão, filtro etc.). A pressão mínima de funcionamento varia de 50 a 200 kPa (Pizarro, 1996; Pascual, 1996; Rodrigo López et al. 1997), e a pressão máxima oscila entre 600 e 1000 kPa e sua capacidade máxima de injeção costuma estar entre os 20 e 300 L.h<sup>-1</sup>, segundo o modelo.

O volume injetado está definido pela expressão:

$$V = v * n * t \quad (54)$$

em que:

V = volume injetado no tempo t, em L.

v = volume injetado em um movimento do êmbolo, em L.

n = número de movimento do êmbolo por unidade de tempo.

t = tempo de funcionamento.

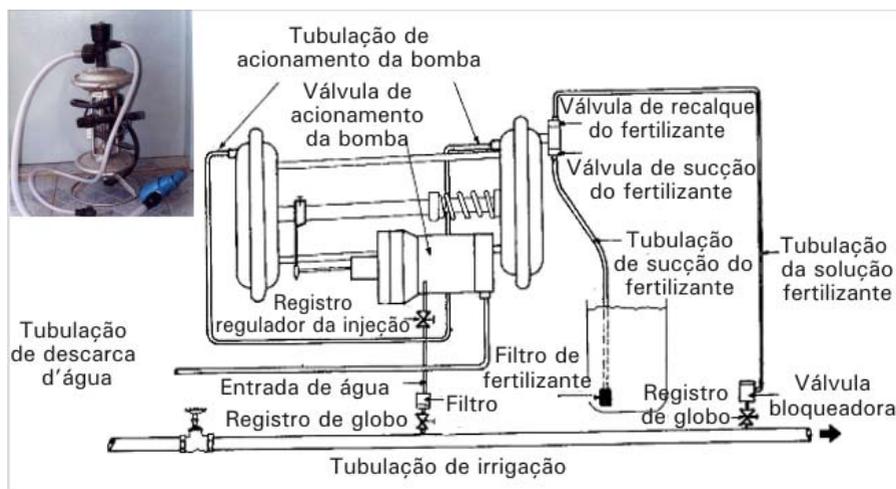


Fig. 38. Esquema de instalação e funcionamento de uma bomba injetora de ação hidráulica por diafragma.

Fonte: Santos & Lima (2000).

Para controlar a dosificação se varia “n” ajustando a pressão de entrada na bomba mediante uma válvula. Para cada modelo, o fabricante deverá proporcionar um gráfico ou tabela que relacione a pressão de entrada com o número de movimento do êmbolo por unidade de tempo.

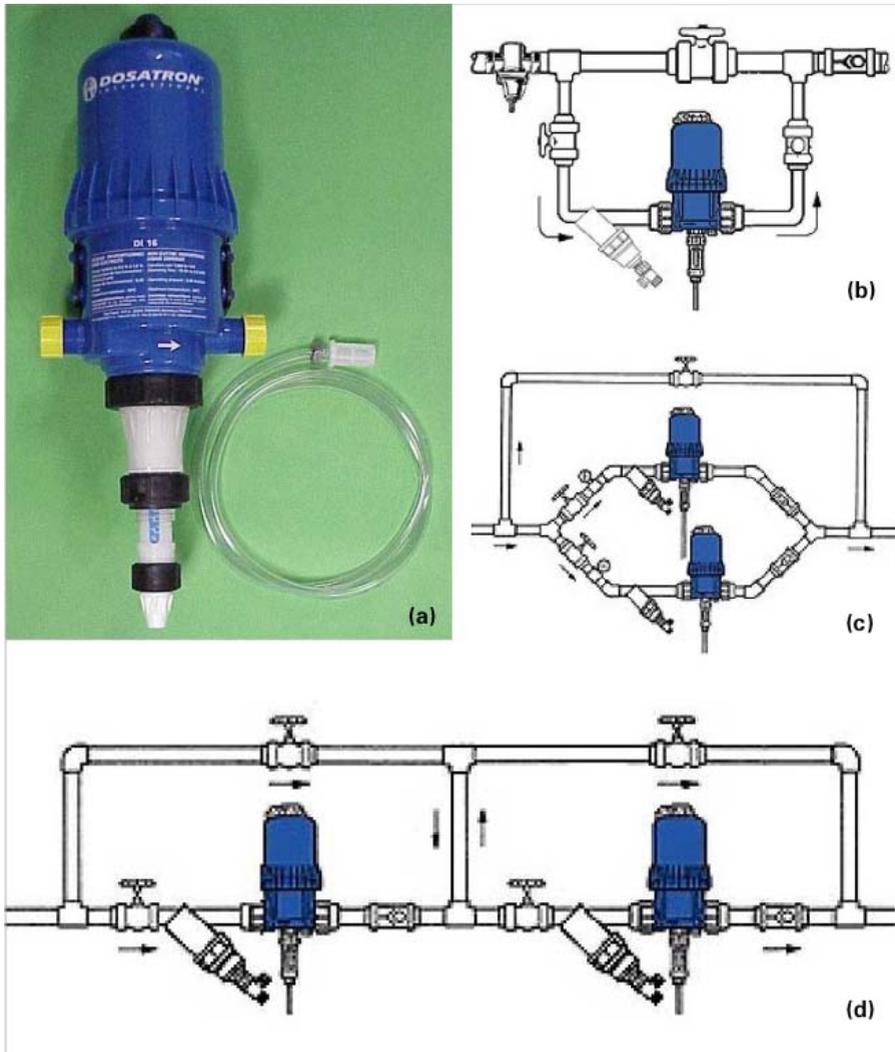
As bombas de acionamento hidráulico são, normalmente, de pistão ou diafragma e o consumo de água para seu funcionamento costuma ser de duas a três vezes o volume de líquido injetado. A principal vantagem destes dispositivos é que não necessita aporte de energia exterior à instalação e que não produzem perda de carga adicional.

### **Bomba injetora de ação hidráulica por pistão**

Como a bomba injetora por acionamento hidráulico por diafragma ou membrana, o dosificador hidráulico acionado por pistão também não requer energia elétrica para o seu funcionamento. Sua instalação se dá da mesma forma que o injetor Venturi, sendo indicados em instalações comunitárias, donde a água é fornecida com pressão muito superior à necessária, ou bem, quando se dispõe de um reservatório que se encontra em uma cota muito elevada. Devida à complexidade do equipamento, por possuir numerosas peças móveis, a qualidade da água é de fundamental importância já que, qualquer impureza pode afetar o bom funcionamento do injetor.

Na Figura 39 (A-D) se apresenta o modelo comercial Dosatron e os modos de instalação do equipamento. Este tem a capacidade de injetar soluções fertilizantes uniformemente na faixa de 0,02 a 250 L h<sup>-1</sup> em uma razão de diluição de 1:500 a 1:50 ou seja de 0,2 a 2%.

Foto: Francisco José de Seixas Santos.



**Fig. 39.** Bomba injetora de ação hidráulica por pistão (A); instalada em “by pass” (B); instalada em paralelo (C); instalada em série (D).

Fonte: Vidal (2003).

## Manejo da Fertirrigação

O procedimento da fertirrigação deve ser previamente programado, definindo-se a partir da quantidade total do fertilizante a ser aplicado, as quantidades e as épocas de aplicação (parcelamento) via água de irrigação. Isso implica em se conhecer a marcha de absorção dos nutrientes pela cultura e a frequência de irrigação mais adequada. Conhecendo-se a quantidade de fertilizante a ser aplicada em cada fertirrigação, calcula-se o volume de água para a solução a ser injetada no sistema de irrigação.

### Frequência de fertirrigação

Na recomendação da frequência de fertirrigação da bananeira, deve-se levar em consideração o fato de que a cultura é de ciclo longo e a recomendação de adubação existente refere-se a mais de um ano de cultivo. Dessa forma, verifica-se que a dinâmica de uso de nutrientes da bananeira é diferente da de culturas de ciclos curtos onde todo o fertilizante necessário deve ser administrado em alguns meses. Por outro lado, a bananeira apresenta um consumo relativamente elevado de nutrientes comparado a outras culturas, o que leva a aumentar a frequência de aplicação de forma a manter uma concentração adequada da solução aplicada ao solo.

Trabalhos conduzidos no Norte de Minas Gerais, com bananeira 'Prata Anã' mostraram no primeiro ciclo, tanto em solo arenoso quanto em argiloso, que a frequência de fertirrigação quinzenal proporcionou melhor desenvolvimento vegetativo e produção da bananeira (Costa et al., 2001) em relação a mensal e semanal, apesar de não ter havido diferença significativa entre as variáveis dependentes de crescimento e produção. No Estado da Bahia, em Latossolo Amarelo, em três ciclos de cultivo, não houve diferença estatística entre as variáveis de produção para as frequências de fertirrigação estudadas de 3, 7, 11 e 15 dias (Santos Junior et al., 2003). Deve-se considerar que intervalos maiores implicam em maiores quantidades de fertilizantes sendo aplicados por vez, principalmente para culturas de elevada demanda nutricional como a bananeira, podendo acarretar elevação do potencial osmótico do solo ou da salinidade do solo. Assim, recomenda-se uma frequência de fertirrigação de 3 a 7 dias.

## Cálculo e preparo da solução de injeção

A solução a ser injetada no sistema de irrigação deve ser preparada de tal forma que a água na saída dos emissores tenha uma concentração que permita a aplicação da quantidade desejada de fertilizantes sem causar impactos negativos ao solo como elevação de seu potencial osmótico. A recomendação da concentração da solução tem variado de 0,7 a 2,0 g L<sup>-1</sup>; entretanto, em condições de campo, usam-se valores superiores a estes dependendo do tempo e dos recipientes disponíveis na fazenda. Quanto maior a concentração na saída dos emissores, estes estarão mais sujeitos a entupimentos a médio e longo prazo e o solo poderá ficar sujeito a variações de sua condutividade elétrica.

A quantidade de nutrientes a ser aplicada por fertirrigação será obtida seguindo-se os passos, com um exemplo relativo a aplicação de 550 kg de K<sub>2</sub>O durante o primeiro ano da bananeira:

1. A quantidade total anual recomendada (TAR) deve ser inicialmente parcelada conforme a Tabela 29, isto é, multiplica-se o total necessário no ano pela percentagem demandada na fase especificada (PDF);

$$QRF = TAR \cdot \frac{PDF}{100} \quad (55)$$

em que QRF é a quantidade recomendada na fase da cultura (kg), TAR é dada em kg.

No exemplo, obtém-se a Tabela 29:

**Tabela 29.** Determinação da quantidade recomendada na fase da bananeira (QRF).

Dias após plantio	TAR (kg)	PDF (%)	QRF (kg)
0 – 90	550	0	0
91 – 270	550	90	495
271 – 360	550	10	55

2. Define-se a frequência de fertirrigação (FF) e divide-se o período total de fertirrigação (PTF) dentro de cada fase selecionada pela frequência adotada resultando no número de fertirrigações no dado período (NFF);

$$NFF = \frac{PTF}{FF} \quad (56)$$

em que NFF é o número de fertirrigações de cada fase da cultura, PTF e FF são expressos em dias. No exemplo, considera-se a FF = 3 dias, obtendo-se a Tabela 30:

**Tabela 30.** Determinação do número de fertirrigações por fase da cultura da bananeira.

Dias após plantio	PTF	FF	NFF
0 – 90	90	3	30
91 – 270	180	3	60
271 – 360	90	3	30

3. Divide-se a quantidade a ser aplicada na fase da cultura pelo número de fertirrigações daquela fase obtendo-se a quantidade a ser aplicada por fertirrigação.

$$QAF = \frac{QRF}{NFF} \quad (57)$$

Em que QAF é a quantidade de nutriente a ser aplicada por fertirrigação (kg).

O valor de QAF deve ser corrigido, conforme a fonte disponível (Tabela 31).

**Tabela 31.** Determinação da quantidade de nutriente a ser aplicada por fertirrigação da bananeira.

Dias após plantio	QRF (kg)	NFF	QAF (kg)
0 – 90	0	30	0
91 – 270	495	60	8,250
271 – 360	55	30	1,833

4. Determina-se o volume de água referente a concentração desejada da água de irrigação durante a aplicação do fertilizante. Transforma-se QAF para a fonte correspondente, por exemplo, no caso de  $K_2O$ , para cloreto de potássio, dividindo por 0,52 dado que o cloreto de potássio possui 52% de  $K_2O$ .

A massa do fertilizante a ser colocada no tanque de solução fertilizante ou injetora será função da vazão do sistema e da vazão ou taxa de injeção da solução fertilizante, podendo ser determinada pela equação:

(58)

$$V_{\text{água}} = \frac{QAF_c \cdot q_b \cdot 1000}{q_i \cdot c_i \cdot 0,001}$$

em que:

$QAF_c$  – massa do fertilizante, fonte do nutriente, kg;

$q_b$  – vazão de injeção por bomba, tanque diferencial ou venturi,  $L \cdot h^{-1}$ ;

$q_i$  – vazão do sistema de irrigação,  $L \cdot h^{-1}$ ;

$V_{\text{água}}$  - volume de água da solução fertilizante ou injetora, L;

$C_i$  - concentração da água na saída dos emissores,  $mg \cdot L^{-1}$ .

O valor de  $q_b$  depende do equipamento de injeção (venturi, bomba dosadora elétrica ou hidráulica),  $q_i$  é determinado, tomando-se o número de emissores em funcionamento na área fertirrigada e multiplicando este numero pela vazão de cada emissor.  $C_i$  pode ser tomado entre 700 e 2000  $mg \cdot L^{-1}$ .

No exemplo, as quantidades a serem aplicadas para a fonte cloreto de potássio (52% de  $K_2O$ ) por fertirrigação e os volume de água correspondentes, para uma concentração de 1,5  $g \cdot L^{-1}$  de água de irrigação durante a aplicação de fertilizante, com uma bomba injetora hidráulica de vazão de 60  $L \cdot h^{-1}$ , para uma vazão do sistema de irrigação de 3000  $L \cdot h^{-1}$  está descrita na Tabela 32.

**Tabela 32.** Determinação do volume da solução a ser injetada na água de irrigação.

Dias após plantio	NFF	QAF (kg)	QAFc (kg)	Volume de água (Litros)
0 – 90	30	0	0	0
91 – 270	60	8,250	15,865	211
271 – 360	30	1,833	3,519	47

O preparo da solução de injeção requer atenção em alguns pontos no momento do preparo, para que a mesma possa ser injetada na linha de irrigação de forma adequada.

Os fertilizantes líquidos tendem a aumentar a temperatura da solução e devem ser adicionados à água no recipiente de mistura após a adição dos fertilizantes sólidos que normalmente abaixam a temperatura da solução. Não se deve usar sulfatos junto a fertilizantes com cálcio na solução, pois o sulfato de cálcio resultante é de baixa solubilidade. Fertilizantes contendo fosfatos não devem ser misturados a outros contendo cálcio ou magnésio. Os fertilizantes incompatíveis devem ser aplicados separadamente. Evitar uso de fertilizantes que misturados resultam em outros menos solúveis que os que foram misturados, como o sulfato de amônio e o cloreto de potássio, que misturados resultam no sulfato de potássio, menos solúvel.

A solução de injeção poderá ser preparada em baldes, caixas de 500 ou 1000 litros, ou mesmo em tanques de alvenaria revestidos (azulejo, lona plástica, manta de polietileno, de PVC, além de outros tipos) preparados para esse fim. A injeção da solução deve ser feita no cabeçal de controle, antes do filtro, de modo que partículas causadoras de entupimentos nos emissores possam ser retidas. A condutividade elétrica (CE) da água de irrigação após a adição da solução de fertilizantes não deve ultrapassar 2,0 dS.m<sup>-1</sup> e a sua pressão osmótica deve ficar entre 70 e 100 kPa.

## Referências

ALMEIDA, O.A. de. Equipamentos de injeção de fertilizantes. In: BORGES, A.L.; COELHO, E.F.; TRINDADE, A.V. **Fertirrigação em Fruteiras Tropicais** (org) Cruz das Almas.: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2002. p. 28 – 42.

ALVES, M.S.; COELHO, E.F.; SANTANA, J.A.V.; ANDRADE NETO, T.M.. Crescimento e produtividade de bananeira sob diferentes fontes de nitrogênio no 1º ciclo. In: XXVI CONIRD - Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 2007, Mossoró - RN. Agricultura irrigada no semi-árido, 2007a.

ALVES, M. S.; COELHO, E. F.; SANTANA, J. A. V.; ANDRADE NETO, T. M.; SILVA, A. J. P.; PINHO, R. E. C.. Parâmetros químicos do solo sob duas fontes nitrogenadas aplicadas via fertirrigação em bananeira cv. Grand Naine no 1 ciclo de produção. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2007, Gramado - RS. Conquistas & Desafios da Ciência do Solo brasileira, 2007b.

ANDRADE, C.L.T.; GORNAT, B. **Calibração e operação de um tanque de fertirrigação**. Parnaíba: Embrapa - CNPAI, 1992. 17p. (Embrapa - CNPAI. Circular Técnica, 3).

BORGES, A. L.; BISPO, L. D.; SANTOS JÚNIOR, J. L. C. dos. Propriedades químicas do solo fertirrigado com duas fontes nitrogenadas após três anos de cultivo com bananeira. In: XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2005, Recife, PE. Anais do XXX CBCS. Recife, PE: SBSCS, 2005. v. CD Rom.

BORGES, A. L.; COSTA, E. L. da. Requerimentos de nutrientes para fertirrigação - banana. In: Ana Lúcia Borges; Eugênio Ferreira Coelho; Aldo Vilar Trindade. (Org.). **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. 1a ed. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2002, v. único, p. 77-84.

BRASIL, E. C.; OEIRAS, A. H. L.; MENEZES, J.E. A.; VELOSO, C. A. C. Desenvolvimento e produção de frutos de bananeira em resposta à adubação nitrogenada e potássica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 12, p. 1-14, 2000.

COSTA, E. F. da; BRITO, R. A. L. Aplicador portátil de produtos químicos via água de irrigação. Sete Lagoas, EMBRAPA/CNPMS, 1988. 19p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 13).

COELHO, E. F.; SILVA, A. J. P. da; PACHECO, D. D.; SANTOS, Marcelo Rocha dos; COSTA, E. L. da. Monitoramento do pH e da condutividade elétrica do solo sob fertirrigação na cultura da bananeira. In: Workshop Manejo e Controle da Salinidade na Agricultura Irrigada, 2007, Recife-PE.

COELHO, E. F.; SANTANA, G. S.; SANTOS, M. R.; COSTA, E. L.. Níveis de nitrogênio, potássio e água para a bananeira cv. prata anã cultivada no norte de Minas Gerais. In: XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2006, João Pessoa. Agroenergia e desenvolvimento tecnológico, 2006.

COSTA, E. L.; SILVA, J. T. A. da; SOUTO, R. F.. Frequência da fertirrigação e profundidade de irrigação no desenvolvimento e produção da bananeira (Musa spp.) Prata Anã. In: Ciência Para o Desenvolvimento - Mostra de trabalhos da Fapemig, 2001, Belo Horizonte. FAPEMIG, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (Embrapa – CNPS. Documentos, 1).

PAPADOPOULOS, I. **Fertirrigação: situação atual e perspectivas para o futuro**. In: Folegatti, M.V. (coord.). Workshop de Fertilização, 1, 1999. Piracicaba. **ertirrigação: citrus, flores, hortaliças**. Guaíba: ed. Agropecuária, 1999, p 11-67.

PASCUAL, B. (1990). **El riego. Principio y prácticas**. UPV-DPV-ETSIA- SPUPV. Valencia. 395 p.

PIZARRO, F. (1996). **Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF). goteo, microaspersión y exudación**. 3ª ed. rev. amp. Madrid, MUNDI-PRENSA. 513p.

RODRIGO LOPEZ, J.; HERNANDEZ, J.M.; PEREZ, A. y GONZALEZ, J.F. (1997). Riego localizado. 2ª ed rev. Ediciones Mundi-Prensa, MAPA, Madrid. 405 p.

SANTOS JÚNIOR, J. L. C. dos; BORGES, A. L.; CALDAS, R. C.. Fontes e frequências de aplicação de nitrogênio na fertirrigação da bananeira 'Prata Anã', no terceiro ciclo. In: V Simpósio Brasileiro de Bananicultura, 2003, Paracatu, MG. Anais do V Simpósio Brasileiro sobre Bananicultura. Cruz das Almas, BA: Nova Civilização, 2003. v. único. p. 224-227.

SILVA, J. T. A. da; BORGES, A. L.; CARVALHO, J. G.; DAMASCENO, J. E. A.. Adubação com potássio e nitrogênio em três ciclos de produção da bananeira cv. Prata-Anã. **Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, SP**, v. 25, n. 1, p. 152-155, 2003.

SILVA, J. T. A.; BORGES A. L.; MALBURG, J. L. Solos, adubação e nutrição da bananeira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 196, p 21 – 36, jan/fev. 1999.

SOUZA, V.F. de S.; VELOSO, M.E. da C.; VASCONCELOS, M.L.F.L.; RIBEIRO, V.Q.; SOUZA, V.A.B. de; D'ALBUQUERQUE JR., B.S. Nitrogênio e potássio via água de irrigação nas características de produção da Bananeira 'Grand Naine'. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.9, p.865-869, 2004.

VALVERDE, J.A. Riego localizado. Universidad Politécnica de Valencia-Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos -DIRA. SPUPV, Valencia. 468 p. 1996.

VIDAL, I. Cálculos de soluciones y manejo de la fertirrigación. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FERTIRRIGAÇÃO, 1., 2003, João Pessoa. **Minicurso...** João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba/Centro de ciências Agrárias/Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Centro de Pesquisa do Semi-árido, 2003. 74p.

# Fitossanidade

---

*Marcelo Fialho de Moura*

O Brasil possui a maior área plantada do mundo com banana (518 mil hectares), ocupando, no entanto, a segunda colocação no ranque dos maiores produtores mundiais (5,6 milhões de toneladas ao ano) (Oliveira e Souza, 2003). Vários fatores levam a diminuição da produtividade nos bananais brasileiros, entre os quais se destaca a incidência dos fatores bióticos: clorose infecciosa (vírus do mosaico do pepino, CMV), do nematóide cavernícola (*Radopholus similis*), da Broca da Bananeira: (*Cosmopolites sordidus*), do Mal-do-panamá (*Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense*) e da Sigatoka amarela (*Mycosphaerella fijiensis*) (Ventura & Hinz, 2002; Carlier et al. 2003; Cordeiro & Kimati, 2005).

Aprender a manejar esses fatores de perda é condição básica para se obter sucesso na produção comercial de banana. Este texto, apesar de sucinto, tem por objetivo tentar subsidiar os produtores com informações técnicas necessárias à identificação e manejo da Clorose infecciosa, do nematóide cavernícola, da Broca da bananeira, do Mal-do-panamá e da Sigatoka amarela.

## Clorose Infecciosa

É uma virose causada pelo vírus do mosaico do pepino (*Cucumber mosaic virus* - CMV) família *Bromoviridae* gênero *Cucumovirus* (Eiras et al., 2001; Cordeiro & Kimati, 2005).

O CMV é dependente das células de seus hospedeiros para se multiplicar, vivendo dentro das células dos tecidos parenquimatosos da bananeira. Sua dispersão, de uma planta a outra, é dependente de um vetor, que tenha se alimentado uma planta infectada e depois venha a se alimentar de outra sadia (Moreira, 1999). Existem relatos na literatura mostrando que os Pulgões (Homoptera: Aphididae) são os principais vetores do CMV a bananeiras. Entretanto existe carência de informações sobre as espécies e seu percentual de transmissão.

Este fato é de suma importância na viabilidade do controle das viroses em bananeiras, pois se não houver hospedeiros infectados, a presença de vetores no bananal será importante apenas como causador de dano direto e não como vetor, por não ter o que transmitir (Moreira, 1999), a não ser que migrem de áreas infectadas.

Uma outra forma de dispersão do CMV é através da aquisição de material propagativo, contaminado. Essa consideração é um alerta para os produtores tomarem muito cuidado na escolha da muda a ser usada na formação de seu bananal.

Nas plantas afetadas pelo CMV, as bananas normalmente são curtas, magras e em pequeno número, as quais estão distribuídas pelas poucas pencas produzidas. O engaço é longo e fino assim como o coração. A roseta foliar se apresenta comprimida e desordenada e há frequentes quebras de engaço. Pode também ocorrer casos em que a bananeira não emita sua inflorescência (Moreira, 1999; Cordeiro & Kimati, 2005).

A identificação do CMV é mais facilmente feita nas folhas já formadas, por meio da presença de pequenas estrias verde claro, dispostas paralelamente às nervuras secundárias, com contornos bem definidos, dispostas esparsamente em qualquer parte da folha, mas com uma maior frequência em sua base, onde os lóbulos foliares começam a se expandir (Ventura & Hinz, 2002; Cordeiro & Kimati, 2005).

As plantas com sintomas devem ser eliminadas. Posto isto, elas devem ser apenas repicadas, no mesmo local, para acelerar sua decomposição. Com isto, nos próximos dias, elas já estarão com sua seiva desidratada e coagulada, deixando de ter qualquer atratividade para os insetos vetores.

Estando a bananeira morta, pode-se plantar outra no mesmo local, sem que seja necessário fazer-se aí uma quarentena ou qualquer desinfecção (Ventura & Hinz, 2002; Cordeiro & Kimati, 2005).

Este vírus, como o próprio nome indica, já foi detectado em plantas da família Cucurbitaceas como: abóbora (*Cucurbita* spp.); chuchu (*Sechium edule*); maxixe (*Cucumis anguria*); melancia (*Citrullus lanatus*); melão (*Cucumis melo*) e pepino (*Cucumis sativus*); além do milho (*Zea mays*); feijão comum (*Phaseolus vulgaris*); tomate (*Lycopersicon esculentum*); maracujá (*Passiflora* spp.) e diversas ervas daninhas como as trapoerabas (*Tradescantia* spp.); carurus (*Amarantus* spp.); guanxumas (*Sida* spp.); picão preto (*Bidens pilosa*), rubim (*Leonurus sibiricus*) e outras, totalizando mais de 850 espécies de plantas hospedeiras (Moreira, 1999).

Devido a enorme lista de ervas daninhas hospedeiras do CMV o plantio de banana deve ser feito e permanecer no limpo sem ervas daninhas.

## Mal-do-panamá

Entre os principais problemas fitossanitários da bananeira está o mal-do-panamá ou murcha-de-fusário, causado pelo fungo de solo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. Este fungo infecta diversas variedades de bananeira e causa prejuízos aos bananicultores, por seu grande potencial destrutivo e pela dificuldade de aplicação de medidas de controle (Borges & Trindade, 2007).

Inicialmente o *Fusarium* invade o sistema radicular, principalmente através das raízes secundárias, alcançando, posteriormente, o xilema e daí segue para as bainhas foliares (Ventura & Hinz, 2002; Cordeiro & Kimati, 2005).

Em seguida as folhas apresentam uma clorose amarelada. As folhas podem também apresentar faixas listradas de amarelo-canário, com largura de 2 a 4 cm, ligando a nervura principal com a do bordo. Quando isto ocorre, geralmente aparece um fendilhamento vertical no pseudocaule, com profundidade de 2 a 4 bainhas. Esse pode se alongar por algumas dezenas de centímetros de comprimento com vários de largura aparecendo sempre a partir de 10 a 20 cm acima do colo do rizoma. Isto ocorre porque as bainhas externas param de crescer, enquanto que as de dentro continuam. Nesta ocasião, ao serem realizados cortes transversais ou longitudinais do pseudocaule de plantas em estágios mais avançados da doença, podem ser observadas pontuações pardo-avermelhadas, provavelmente, surgidas pela oxidação de fenol. (Cordeiro & Kimati, 2005). Decorridas algumas semanas, estas manchas avançam pelo pseudocaule acima, até atingirem a roseta foliar. Em estágio mais avançado da infecção, as manchas formadas nos tecidos semi-desidratados também se expandem lateralmente e formam um anel escuro, um pouco distante da bainha da folha mais nova. Essa região escurecida e seca, geralmente, apresenta forte odor de material fermentado (Cordeiro & Kimati, 2005).

As nervuras principais das folhas quebram-se na altura do primeiro quarto do seu comprimento, ficando penduradas e em seguida secam.

Os cachos das bananeiras atacadas, independentemente de sua idade, paralisam seu desenvolvimento e as bananas entram em fase de desidratação e apodrecimento.

Sua permanência em uma área é garantida pela sua capacidade de formar um órgão de resistência chamado de clamidosporo, que o possibilita permanecer nesse solo por longos anos (Cordeiro & Kimati, 2005).

Por não haver meios de se combater ou controlar efetivamente o mal-do-panamá, a única solução segura é o plantio de clones de cultivares resistentes (Alves, 1985). Entre os grupos de variedades resistentes podem ser destacados: (1) grupo AAA - Nanica, Nanicão, Grande-Naine e Yangambi, sendo as três primeiras suscetíveis à raça 4 do patógeno; (2) grupo AAB – cultivares Terra, Terrinha, D'Angola e Mysore; (3) grupo AAAB - destaca-se a cultivar Ouro-da-Mata, (Cordeiro & Kimati, 2005).

## Sigatoka-amarela

A Sigatoka amarela é um dos grandes problemas da bananicultura nacional. Doença fungica endêmica (Ferreira et al., 2003), que, ao infectar as folhas, provoca a morte prematura das mesmas, causando perdas superiores a 50% na produção (Martinez, 1970). É causada pelo fungo *Mycosphaerella musicola*, Leach, forma perfeita ou sexuada de *Pseudocercospora musae* (Zimm) Deighton. Estão envolvidos, portanto, dois tipos de esporos, um de origem sexuada (ascósporo) e outro de origem assexuada (conídio) (Ventura & Hinz, 2002).

Inicialmente a sigatoka-amarela manifesta-se como pequenas pontuações descoloridas, distribuídas ao acaso, as quais correspondem ao local de penetração do fungo. Passado algum tempo, estas manchas descoloridas se acentuam e provocam a formação de pequenas manchas lineares de coloração amarelo-pálida, com cerca de 1 a 2 mm de comprimento, sempre dispostas paralelamente às nervuras secundárias da página superior (Moreira, 1999; Ventura & Hinz, 2002).

Nos bananais novos, as manchas crescem um pouco mais, ficando com um aspecto oval (algumas vezes quase circular), com 8 a 10 mm de diâmetro, com coloração marrom-escuro e com o centro acinzentado. Ao redor destas necroses, a semelhança do que ocorre no bananal adulto, nota-se, em algumas ocasiões, uma área um pouco oleosa formando um halo amarelado. Este halo constitui uma reação dos tecidos sadios da folha às toxinas produzidas pelo fungo. No centro da mancha podem ser notados os órgãos de frutificação do fungo (Moreira, 1999).

Seus conídios são transportados pela água contaminada que escorre das plantas mais altas para as situadas abaixo delas, podendo ainda provocar contaminações nas vizinhas, pelo borrifamento dessa água sobre suas folhas. Este modo de disseminação, quer por conídios quer por ascósporos, é limitado, pois restringe-se a pequenas distâncias. A disseminação a grandes distâncias se dá apenas quando os ascósporos são transportados pelo vento e, neste caso, a distribuição das manchas sobre as folhas é mais homogênea (Moreira, 1999; Ventura & Hinz, 2002).

O controle do mal de sigatoka é feito com o uso de cultivares resistentes; com o emprego de produtos químicos e com a utilização de práticas culturais de manejo (Ventura & Hinz, 2002).

Algumas práticas culturais merecem destaque: a drenagem do solo e o combate às plantas daninhas; a eliminação de folhas atacadas ou parte delas; deve-se atentar, também, em relação à densidade populacional das plantas na área de cultivo e adubação balanceada (Moreira, 1999).

As cultivares dos grupos genômicos AA (cv. Ouro) e AAA (cvs. Gros michel, Lakatan e cvs. do grupo Cavendish) são suscetíveis à doença, entretanto, no grupo AAA, cv. Yangambi km 5, subgrupo Ibotá Bota é resistente. No subgrupo Terra, AAB, todas as cultivares mostram resistência à doença, quando testadas ao nível do mar, mas mostram-se suscetíveis quando avaliadas em altitudes superiores a 500 m (Ventura & Hinz, 2002).

## Nematóides

O nematóide cavernícola, *Radopholus similis* Thorne, 1949, tem assumido grande importância por destruir raízes primárias, debilitar o sistema de ancoragem da planta, favorecendo o tombamento da mesma. A absorção de água e nutrientes também é prejudicada, levando a um desenvolvimento anormal da planta (Gowen & Quénéhervé, 1990; Sarah, et al., 1996). Em plantações comerciais, perdas de produção de 10 a 50% foram documentadas (Pinochet, 1986; Davide, 1996).

*R. similis* movem-se, por si, dois a três metros por ano (Blake, 1969). A sua disseminação a longas distancia é feita, principalmente, por interferência do homem através de: solo infestado com nematóides aderidos aos implementos agrícolas, águas de irrigação, escoamento superficial e plantio de mudas contaminadas (Marin et al., 1998).

O nematóide cavernícola causa, nas raízes, lesões marrom-avermelhadas que progridem para necrose, podendo estender-se para todo o córtex, sem, contudo, atingir o cilindro central (O'bannon, 1977; Gowen & Quénhervé, 1990; Sarah, et al., 1996). Ao movimentar-se e ferir os tecidos das raízes e rizomas, *R. similis*, pode favorecer a entrada de fungos, como *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Blake, 1969; Stover, 1972). Na cultivar 'Nanicão', suscetível a *R. similis* e resistente ao mal-do-panamá, a infecção causada pelo fungo aumenta significativamente na presença do nematóide (Bárbara, et al., 1999).

A principal forma de evitar o aparecimento de nematóides em locais onde não ocorrem é utilizar mudas sadias de comprovada idoneidade técnica.

Uma das formas de controlar *R. similis* em bananais em produção, apesar de muito onerosa, é aplicar produtos químicos com ação nematicida. A primeira aplicação do nematicida no bananal deverá ser feita logo após a colheita do primeiro cacho, quando então ele já é considerado adulto.

Após a colheita aproveita-se o pseudocaule da planta colhida para aplicar o nematicida. Para isso deve-se abrir com a "lurdinha", um buraco no pseudocaule da planta colhida, a 40 cm do solo, com uma inclinação de cerca de 45° com a vertical. Ela deve ser aprofundada no pseudocaule até atingir o "palmito", sem contudo haver necessidade de o transpassar. Retirando-se a ferramenta, fica aberto um buraco com 10 a 15 cm de profundidade, dentro do qual se introduz 20 g de um nematicida sistêmico (Moreira, 1999).

A segunda aplicação do nematicida no bananal para o combate aos nematóides é feita por ocasião do primeiro desbaste, após a colheita. Da mesma forma que se procedeu durante a fase de formação, se o desbaste de filhos for feito com a "lurdinha", o nematicida será aplicado dentro dos buracos abertos por ela (Moreira, 1999).

## Broca-das-bananeiras

O adulto da “broca-das-bananeiras” *Cosmopolites sordidus*, Germar, 1824, (Coleóptera: Curculionidae) é um inseto de cor escura, de hábitos noturnos, cujos adultos vivem: na serapilheira que se acumula junto aos pseudocaulos, nos rizomas das plantas velhas ou de preferência nos primeiros 50 a 60 cm da base dos pseudocaulos que já produziram, mas que ainda permanecem em pé (Moreira, 1999; Gallo et al., 2002).

A fêmea fertilizada faz com sua “tromba” um pequeno orifício no colo do pseudocaulo e aí deposita seus ovos. Após 5 a 8 dias da postura, nascem pequenas larvas brancas que, alimentam-se do rizoma onde abrem galerias (Gallo et al., 2002).

Tendo a larva completado seu ciclo de desenvolvimento, que varia de 12 a 25 dias, ela começa a escavar o salão onde irá se encasular (Moreira, 1999; Gallo et al., 2002).

Em bananais atacados pela broca, frequentemente encontram-se plantas tombadas, que já estavam com os cachos lançados, as quais caíram por não ter conseguido sustentar seu peso devido à destruição do seu sistema radicular. Há casos em que a bananeira cai seccionando seu rizoma, tais são as galerias nele existentes (Moreira, 1999; Gallo et al., 2002).

Além dos danos diretos, o ataque do *C. sordidus* propicia condições à entrada de fungos e outros parasitos que vivem no solo.

O controle do *C. sordidus* em bananais é feito através de:

- Uso de mudas isentas da praga;
- Mergulho de mudas em solução inseticida;
- Limpeza e desbaste do bananal em condução;
- Monitoramento, e tomada de decisão de controle usando iscas tipo telha e preferencialmente tipo queijo;
- Ao atingir os índices de tomada de decisão aplicar inseticidas registrados no Ministério da Agricultura para tal fim;

A isca tipo “telha” consta de pedaços de pseudocaule de 50 cm, cortados ao meio longitudinalmente, sendo colocada a parte cortada voltada para o solo e próxima à touceira. A isca “queijo” é preparada através da secção transversal do pseudocaule, na base, de onde retira-se uma fatia de 5 a 10 cm de altura; em seguida o pedaço é recolocado sobre o pseudocaule original que se manteve junto à touceira. Para ambas as iscas, o pico de atratividade vai até os 15 dias. No período de excesso de chuva e altas temperaturas a vida útil da isca é menor. Estabelecer um nível de controle de 5 adultos/isca/mês (Moreira, 1999).

Outra opção para o monitoramento é o emprego de armadilha tipo alçapão (4 armadilhas/ha), contendo o feromônio de agregação denominado cosmolure. O feromônio deverá ser substituído a cada 30 dias (Raga & Oliveira, 1996).

Em bananais onde *C. sordidus* atinge uma densidade populacional capaz de ocasionar danos econômicos a aplicação do fungo entomopatogenico: *Beauveria bassiana*, pode ajudar a reduzir e manter a população da praga em densidades aceitáveis (Batista Filho et al., 1991; Fancelli & Mesquita, 200). Essa diminuição populacional ao se traduzir em menor número de pulverizações com inseticidas conduz a uma redução do risco de contaminação dos frutos e ambiente por resíduos tóxicos (Dazoto & Uhry, 2009).

A suspensão do inóculo contendo os conídios de *B. bassiana* deve ser distribuída por meio de pincelamento ou pulverização das iscas de pseudocaule, à razão de 50 iscas por hectare (Fancelli & Mesquita, 2008).

É pertinente salientar que o controle biológico apresenta um efeito mais lento do que o químico, sendo necessárias, portanto, mudanças na implementação das táticas de manejo do inseto-praga. O combate com defensivos químicos normalmente é feito em momentos em que o dano está se consolidando e é preciso uma resposta rápida. No controle biológico procura-se manter os insetos-praga em baixo número, exigindo monitoramento e ações antecipadas (Dazoto & Uhry, 2009).

## Referências

Alves, E.J. A Variabilidade Genética e o Melhoramento da Banana e de outras Plantas Cultivadas. Revista Brasileira de Fruticultura. v. 7, n. 1, p. 7-29, 1985.

Bárbara, A. L.; Cares, J. E.; Tenente, R. C. V. Influência do nematóide cavernícola sobre a fusariose das cultivares de bananeira maçã e nanicão. Fitopatologia Brasileira, Brasília, v. 24, p. 343, 1999. Resumo.

Blake, C. D. Nematodes parasites of bananas and their control. Nematodes of tropical crops. 1969. p. 109-132.

Borges, A. J. da S.; Trindade, A. V.; Matos, A. P. de; Peixoto, M. de F. da S. Redução do mal-do-panamá em bananeira-maçã por inoculação de fungo micorrízico arbuscular. Pesquisa Agropecuária Brasileira; v.42, n.1, p.35-41, 2007.

Carlier, J.; Dewaele, D.; Escalant, J. V. Global evaluation of Musa germplasm for resistance to Fusarium wilt, Mycosphaerella leaf spot diseases and nematodes, 2003, 57 p.

Cordeiro, Z.J.M.; Kimati, H. doenças da bananeira (*Musa* sp.). In: kimati, H.; amorim, I.; bergamin filho, a.; camargo, I.e.a.; rezende, j.a.m. (Eds.) Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas. 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, v. 2, 2005, p. 215-222.

Dalzoto, P. R.; Uhry, K. F. Controle biológico de pragas no Brasil por meio de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. Biológico, São Paulo, v.71, n.1, p.37-41, 2009.

Davide, R. G. Overview of nematodes as limiting factor in Musa production. In: Frison, E.A.; Horry, J.P.; De Waele, D. (Eds.). New frontiers in resistance breeding for nematode, fusarium and sigatoka., Montpellier:Inibap, 1996, p. 27-31.

Eiras, M., Colariccio, A. Y Chaves, A. L.R. Isolado do vírus do mosaico do pepino obtido de bananeira no Estado de São Paulo pertence ao subgrupo Ia. Fitopatologia Brasileira, v.26, n.1, p.53-59, 2001

Fancelli, M.; Mesquita A. L. M. Manejo de pragas. Informe Agropecuário: Belo Horizonte, v.29, n.245, p.66-76, 2008.

Ferreira, D. M. V.; Cordeiro, Z. J. M; Matos, A. P. de. Sistema de pré-aviso para o controle da sigatoka-amarela da bananeira no recôncavo baiano. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 25, n. 3, p. 429-431, 2003.

Gallo, D.; Nakano, O.; Silveira Neto, S.; Carvalho, R.P.L.; Baptista, G.C.; Berti Filho, E.; Parra, J.R.; Zucchi, R.A.; Alves, S.B.; Vendramin. J.D.; Marchini. J.D.; Lopes, J.R.S. Manual de Entomologia Agrícola. 2002, 722.

Gowen, S., Quénéhervé, P. Nematodes parasites of bananas, plantains and abaca. In: Luc, M., Sikora, R. A., Bridge, J. (Eds.) Plant parasitic nematodes in subtropical e tropical agriculture. Wallingford, Oxon, UK. CAB International, 1990, p. 431-460.

Marin, D. H.; Sutton, T. B.; Barker, K. R. Dissemination of bananas in Latin América and Caribbean and its relationship to de occurrence of *Radopholus similis*. Plant Disease, v. 82, n. 9, p.964-974, 1998.

Martinez, J. A. O mal-de-sigatoka e sua importância para a bananicultura do Estado de São Paulo. O Biológico, v.36, n.1, p.271-280, 1970.

Moreira, R.S. Banana: Teoria e prática de cultivo. Campinas: Fundação Cargill, 1999. CD-ROM.

O'bannon, J. H. Worldwide dissemination of *Radopholus similis* and its importance in crop production. Journal of Nematology, v. 9, n. 1, p.16-25, 1977.

Oliveira, C.A.P. De & Souza, C. M. de. Influência da cobertura morta na umidade, incidência de plantas daninhas e de broca-do-rizoma (*Cosmopolites sordidus*) em um pomar de bananeiras (*Musa* spp.). Revista Brasileira de Fruticultura, v. 25, n. 2, p. 345-347, 2003.

Pinochet, J. A note on nematode control practice on bananas in Central América. Nematropica, v. 16, n. 2, p. 197-203, 1986.

Raga, A., Oliveira, J.A. Ação de inseticidas sobre a broca da bananeira *Cosmopolites sordidus* (Coleoptera: Curculionidae) no Vale do Ribeira, Arquivos do Instituto Biológico v. 63, n. 1, p. 81-84, 1996.

Sarah, J. L., Pinochet, J; Stanton, J. The burrowing nematode of bananas, *Radopholus similis* Cobb, 1913. Musa Pest Fact Sheet, n. 1, 1996. Disponível em: <<http://bananas.bioversityinternational.org/files/files/pdf/publications/pest1.pdf>>. Acesso em julho de 2008.

Stover, R. H. Banana, plantain and abaca diseases. Kew: Commonwealth Mycological Institute, 1972, 316p.

Ventura, J. A.; Hinz, R. H. Controle das doenças da bananeira. In: Laercio Zambolim; Francisco Xavier Ribeiro do Vale; Ademir José Abranches Monteiro; Hécio Costa. (Org.). Controle de doenças de plantas fruteiras. Viçosa-MG: UFV, v. 2, 2002, p. 839-937.



---

*Mandioca e Fruticultura Tropical*

Ministério da Agricultura,  
Pecuária e Abastecimento

