

CLÓVIS MANOEL CARVALHO RAMOS

**DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA RADICULAR E CONSUMO  
DE ÁGUA DA BANANEIRA IRRIGADA  
POR MICROASPERSÃO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2001

CLÓVIS MANOEL CARVALHO RAMOS

**DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA RADICULAR E CONSUMO  
DE ÁGUA DA BANANEIRA IRRIGADA  
POR MICROASPERSÃO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 22 de junho de 2001.

---

Prof. Mauro A. Martinez  
(Conselheiro)

---

Pesq. Luís Henrique Bassoi  
Co-orientador

---

Prof. Fernando Pruski

---

Prof. Márcio Mota Ramos

---

Prof. Gilberto C. Sedyama  
(Orientador)

A Deus, que ilumina minha vida.

À minha esposa *Anamaria*, que se sacrificou tanto quanto eu até a conclusão deste trabalho.

Aos meus pais, que ofertaram boa parte de suas vidas ao sucesso de seus filhos.

A todos os Mestres que contribuíram para a minha formação.

## AGRADECIMENTO

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), pelos ensinamentos e pelo grande apoio.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa – Semi-Árido), pela confiança em ceder a estrutura para a realização do experimento.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de estudo.

Aos pesquisadores José Moacir Pinheiro Lima Filho e Antônio Heriberto de Castro Teixeira, pelo apoio e pela confiança em dispor seus equipamentos para a realização de medidas fundamentais para este trabalho, e aos bolsistas do CNPq José Antônio Moura e Silva e Emanuel Elder Gomes da Silva, pelo apoio durante a condução do experimento.

Um agradecimento especial ao Professor Gilberto C. Sediya e ao Pesquisador Luís Henrique Bassoi, ambos de enorme sobriedade na orientação deste trabalho, pelo rigor, pela amizade e pela confiança que em mim depositaram.

À Nova Fronteira Agrícola S/A, que, com a sensibilidade de seus dirigentes, me permitiu a conclusão deste trabalho.

## BIOGRAFIA

CLÓVIS MANOEL CARVALHO RAMOS, filho de Sebastião Ávila Ramos e Suzanila Carvalho Nascimento, nasceu no dia 4 de junho de 1970.

Entre 1990 e 1995, cursou Engenharia Agrônoma na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife – PE.

Durante a graduação, foi bolsista do Programa Especial de Treinamento (PET) da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Entre 1996 e janeiro de 1998, foi bolsista do CNPq na Embrapa Sementes Básicas, escritório de Petrolina.

Em março de 1998, iniciou o curso de Mestrado em Irrigação e Drenagem na Universidade Federal de Viçosa.

Desde setembro de 1999 atua como Engenheiro-Agrônomo na Nova Fronteira Agrícola, em Juazeiro – BA, empresa que trabalha com fruticultura irrigada (manga e uva).

## ÍNDICE

RESUMO .....	vii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS .....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
3.1. Importância do manejo da irrigação no pólo Petrolina/Juazeiro .	4
3.2. Métodos de estudo de sistemas radiculares .....	5
3.3. Estimativa de evapotranspiração.....	10
3.4. Características morfológicas e anatômicas e necessidade de água na cultura da bananeira.....	14
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	21
4.1. Instalação do experimento .....	21
4.2. Avaliação da distribuição do sistema radicular da bananeira	25
4.3. Determinação da área foliar e parâmetros fisiológicos .....	26
4.4. Determinação do consumo de água pelo método do balanço hídrico.....	28
4.5. Determinação do coeficiente de cultura .....	32

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	35
5.1. Avaliação da distribuição do sistema radicular .....	35
5.2. Estudo do crescimento da área foliar .....	40
5.3. Estudo da resistência estomática e transpiração na folha.....	43
5.4. Estudo do consumo de água.....	51
6. CONCLUSÕES .....	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	58

## RESUMO

RAMOS, Clóvis Manoel Carvalho. M.S., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2001. **Distribuição do sistema radicular e consumo de água da bananeira irrigada por microaspersão.** Orientador: Gilberto Chohaku Sedyama. Co-orientador: Luís Henrique Bassoi. Conselheiro: Mauro Aparecido Martinez.

O semi-árido nordestino é uma região propícia ao desenvolvimento da agricultura irrigada, em particular a fruticultura. Na região do Sub-médio São Francisco, o cultivo da bananeira vem crescendo nos últimos anos. Com o objetivo de obter dados para maximizar a eficiência do manejo da irrigação, foi instalado, em 1999, experimento com a cultura da bananeira (*Musa AAB*, subgrupo Prata, var. Pacovan), irrigada por um sistema de microaspersão, na estação experimental da Embrapa - Semi-Árido, em Petrolina - PE, onde foi avaliada a distribuição radicular e quantificadas a área foliar e a evapotranspiração real da cultura durante o primeiro ciclo. A avaliação do sistema radicular das plantas foi feita através da análise de imagens digitais, para determinação de área e comprimento das raízes. As determinações da área foliar da bananeira foram realizadas aos 65, 123 e 184 dias depois do plantio (DAP), quando as plantas entraram em plena floração. A evapotranspiração real (ET<sub>r</sub>) foi



calculada pelo método do balanço hídrico da água no solo, realizado em determinados períodos ao longo do ciclo da cultura. Aproximadamente 80% das raízes da bananeira distribuíram-se até 0,80 m de distância do pseudocaule no sentido da entrelinha, enquanto 88% da área total das raízes se concentrou até a profundidade de 0,60 m, em um solo de textura arenosa, aos 371 DAP. A área foliar da “planta-mãe” da bananeira, no primeiro ciclo, teve sua maior taxa de crescimento entre os 120 e 180 DAP, totalizando uma área de 11,3 m<sup>2</sup> aos 245 DAP. O consumo de água da bananeira foi calculado entre o primeiro mês depois do plantio das mudas até a colheita e observou-se consumo de 1.401 mm, com evapotranspiração diária máxima de 6,2 mm/dia e média de 3,3 mm/dia no período, para uma colheita equivalente a 10,8 t/ha. Os valores de Kc, determinados para os dados de ETo do modelo de Penman-Monteith FAO, foram de 0,6; 0,5; 1,2; e 0,9, respectivamente para as fases de desenvolvimento vegetativo I, desenvolvimento vegetativo II, floração e desenvolvimento dos frutos e colheita. Para os dados de ETo calculados pelo tanque classe A, os valores de Kc foram de 0,6; 0,6; 1,0; e 0,9, para as mesmas fases descritas anteriormente.

## ABSTRACT

RAMOS, Clóvis Manoel Carvalho, MS, Universidade Federal de Viçosa, June 2001. **Root system distribution and consumptive use of water from banana crop cultivated under micro irrigation.** Adviser: Gilberto Chohaku Sedyama. Co-adviser: Luís Henrique Bassoi. Committee member: Mauro Aparecido Martinez.

In the semi-arid land of the northeastern Brazil, irrigated fruit cropping has been developed in the last three decades. Particularly in the San Francisco Valley, banana crop has been cultivated and its growing area reaches about 30% of total irrigated area. To improve irrigation schedule on this crop, an experiment was carried out at Brazilian Agriculture Research Corporation (Embrapa), in Petrolina county, to evaluate the root distribution, the leaf area, and the water consumption along the growing season, from planting (January 1999) to first harvest (March 2000). Root system distribution was evaluated by digital image analysis, while leaf area was estimated by direct measurement of leaf samples. Actual evapotranspiration was estimated by water balance in situ from 30 days after planting (DAP) to harvest (430 DAP). Around 80% of total roots were distributed until 0,8 m distance from the plant row, and 88% of them were found in the upper 0,6 m soil depth at 371 DAP. Leaf

area growing rate was higher between 120 DAP and 180 DAP, and total leaf area was 11,3 m<sup>2</sup> at 245 DAP. Total water required by plants in the first growing season was 1,401 mm, with the maximum daily evapotranspiration at 6.2 mm, and the average value of 3.3 mm/day. The first harvest yielded 10,8 t/ha. Crop coefficient (Kc) estimated with reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) based on Penman-Monteith FAO procedure was 0.6, 0.5, 1.2 and 0.9, respectively during vegetative growth I, vegetative growth II, flowering and fruit development, and harvest. The Kc values estimated on ET<sub>o</sub> based on evaporation pan was 0.6, 0.6, 1.0 and for the same growth stages already described.

## 1. INTRODUÇÃO

Em regiões onde a irrigação é a única fonte de água para as culturas, o controle da fisiologia de algumas plantas só é possível através do manejo da água; assim, pode-se programar a colheita. A região do Submédio São Francisco, em especial o pólo Petrolina/Juazeiro, caracteriza-se por apresentar condições favoráveis ao desenvolvimento da fruticultura irrigada, principalmente em razão da sua baixa precipitação anual, da ordem de 400 mm/ano, com chuvas que se concentram nos meses de outubro a março, altas temperaturas, baixa umidade relativa do ar, que diminui a incidência de pragas nas culturas, e por ter o rio São Francisco como recurso hídrico com grande potencial de exploração. Atualmente a região conta com cerca de 100 mil hectares irrigados.

A produtividade e a qualidade dos produtos agrícolas dependem, entre outros fatores, do potencial genético das culturas e das condições climáticas da região. A irrigação torna possível a agricultura no semi-árido nordestino, porém atualmente existe grande preocupação com a escassez dos recursos hídricos e o uso eficiente da água torna-se um fator crucial, principalmente nessa região. Assim, o conhecimento das relações água-solo-planta-atmosfera é essencial para um adequado manejo da

irrigação e do solo. Dessa forma, a determinação do padrão de distribuição do sistema radicular da cultura da bananeira irrigada pode fornecer parâmetros regionais para o manejo de solo e de água. O conhecimento das necessidades hídricas da cultura, nas suas diferentes fases fenológicas, permite manejo de água mais preciso e com maior eficiência de aplicação, além de auxiliar no dimensionamento dos sistemas de irrigação.

No pólo irrigado de Petrolina/Juazeiro, a bananeira é cultivada principalmente pelos pequenos agricultores, sendo sua produção direcionada para o mercado interno, especialmente para o Nordeste. Neste mercado, a variedade Pacovan tem grande aceitação, razão pela qual foi escolhida para o desenvolvimento do trabalho.

## 2. OBJETIVOS

O presente trabalho, realizado durante o primeiro ciclo da cultura da bananeira, teve como objetivos:

- avaliar a distribuição de raízes da cultura;
- estimar o consumo de água; e
- determinar o coeficiente de cultura nas diferentes fases do seu desenvolvimento.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### **3.1. Importância do manejo da irrigação no pólo Petrolina/Juazeiro**

O pólo Petrolina/Juazeiro, no Nordeste brasileiro, caracteriza-se por apresentar condições favoráveis à fruticultura irrigada, sendo uma das regiões mais desenvolvidas do País neste setor, chegando a fornecer frutas como uva, manga, banana, goiaba, coco e acerola aos mercados nacional e internacional. Nesse contexto, a área ocupada com a cultura da bananeira vem crescendo nos últimos cinco anos na região do Submédio São Francisco, chegando atualmente a ocupar 30% do total da área irrigada nesta região.

A alta qualidade dos produtos, aliada a custos compatíveis com o mercado, tem sido a principal meta dos produtores agrícolas, sobretudo com a globalização da economia, que vem provocando a concorrência dos produtos nacionais com os estrangeiros dentro do mercado brasileiro. Existe atualmente também grande preocupação com a escassez dos recursos hídricos, e o uso eficiente da água se torna um aspecto crucial, principalmente em regiões semi-áridas.

Em razão disso, necessita-se de bom emprego da irrigação, pois a água não é apenas um importante insumo na formação dos custos, mas um componente imprescindível na produção agrícola de regiões semi-áridas. O conhecimento das relações água-solo-planta-atmosfera é essencial para um adequado manejo da irrigação e do solo. Nessas relações, a caracterização da distribuição do sistema radicular e do estado da água no solo e a demanda hídrica da cultura são informações importantes desse sistema dinâmico. Isso contribui para a determinação da profundidade do solo em que a água de irrigação deverá ser manejada e para o conhecimento das necessidades hídricas da cultura nas diferentes fases fenológicas, permitindo assim um manejo de água mais preciso e uma maior eficiência na sua aplicação. Essas informações também podem fornecer subsídios para o adequado dimensionamento dos sistemas de irrigação.

Numa irrigação ideal, o suprimento de água umedece o solo até a capacidade de campo em toda a zona radicular. A eficiência de aplicação da água é um dos fatores importantes para monitorar a irrigação, sendo esta eficiência definida pela relação entre a quantidade de água armazenada na profundidade efetiva do sistema radicular e a quantidade de água aplicada na área irrigada. Em locais onde o suprimento de água é limitado e o custo de água é alto, a melhoria de práticas agrícolas é justificada por uma aplicação de água mais eficiente. O intervalo de tempo entre as irrigações e a quantidade de água a ser aplicada em cada irrigação para uma cultura dependem, entre outros fatores, da capacidade de retenção de água no solo e da profundidade de enraizamento das plantas (THORNE, 1979).

### **3.2. Métodos para o estudo do sistema radicular**

Entre os vários métodos para o estudo do sistema radicular das culturas, podem ser citados o da escavação, do monolito, do trado, do perfil



de solo, da parede ou tubos de vidros, os métodos indiretos e o de análise de imagens digitais.

O método da escavação foi utilizado em 1926 por Weaver e possibilita uma clara visualização de todo ou parte do sistema radicular em sua ocorrência natural, ou seja, o comprimento, o tamanho, a forma, a cor e a sua distribuição, porém, como todos os métodos de estudo *in situ*, requer grande quantidade de trabalho físico e de tempo (KÖPKE, 1981). Esse fato inviabiliza o uso do método quando se deseja fazer uma avaliação estatística, pois deve-se analisar mais de uma planta. Para minimizar o número de trincheiras, pode-se utilizar simultaneamente o método da escavação com outros mais adaptáveis à análise estatística. Este método é mais recomendado para estudos envolvendo árvores e arbustos, pois suas raízes lenhosas são mais resistentes à quebra (BOHM, 1979).

O método do monolito, em contraste com o da escavação, permite uma análise quantitativa do sistema radicular, uma vez que amostras de solo de diferentes tamanhos são removidas do perfil. As raízes são separadas do solo por meio de lavagem com água e coletadas com peneiras, sendo determinados a massa e o comprimento das raízes. Como o trabalho requerido é extremamente grande, esse procedimento não é recomendado para uma investigação de rotina (KÖPKE, 1981). Este método pode ser complementado com observações visuais (BOHM, 1979).

O método mais indicado para a coleta de amostras volumétricas de solo e raiz é o do trado (manual ou mecânico). Sem a necessidade de abertura de trincheiras, as raízes são separadas do solo, pesadas e/ou medidas, como no método do monolito (KÖPKE, 1981), entretanto não se consegue conservar a posição natural das raízes e o tamanho das amostras é menor que o daquelas do método do monolito. Este método permite amostragem rápida sem grandes danos às plantas, podendo ser feita em parcelas experimentais pequenas, quando se utilizam trados manuais. Segundo KÖPKE (1981), este

método pode fornecer informações precisas quanto à distribuição quantitativa das raízes em culturas com sistema radicular fibroso e quando sua distribuição for relativamente uniforme no perfil do solo. O pequeno volume das amostras é desvantajoso quando se trabalha em culturas com baixa densidade radicular, e pequeno número de repetições pode não representar com exatidão a distribuição radicular da cultura estudada. O método do trado não é adaptado para estudos morfológicos de raízes e o volume da amostra de solo não é determinado com exatidão, pois ocorre a compactação desta no momento da coleta e o volume do solo pode variar com a profundidade. Em culturas arbóreas há a dificuldade de cortar as raízes espessas (BOHM, 1979).

O método do perfil consiste na exposição das raízes em uma trincheira ou em uma parede vertical com a ajuda de ferramentas mecânicas, água ou ar pressurizado, podendo-se visualizar o número e o comprimento das raízes (KÖPKE, 1981). Este método permite analisar em conjunto o sistema radicular e o perfil do solo, possibilita a interpretação e comparação de dados de diferentes locais e adapta-se a quase todos os tipos de solo, inclusive os pedregosos, porém podem ocorrer problemas tanto em solo muito argiloso quanto no muito arenoso. Pode-se fazer mais de uma repetição em uma mesma trincheira, mas isso fornece apenas uma análise qualitativa das raízes e expõe apenas parte do sistema radicular (BOHM, 1979).

O método de paredes ou tubos de vidro permite um contínuo estudo das raízes de uma ou mais plantas, durante todo o ciclo e por muitos anos, sendo os rizotrons a modificação mais desenvolvida dessa técnica. Algumas limitações deste método são: existência de lacunas de ar, devido ao movimento do solo junto à parede de vidro; possibilidade de um crescimento radicular muito maior no primeiro ano após a instalação; dificuldade na visualização, em razão da presença de algas e fungos e da condensação da água do solo em pequenas galerias criadas por microrganismos; presença

excessiva de húmus na parede de vidro, causando crescimento radicular excessivo; dificuldade na contagem de raízes de um ciclo sem se confundir com as do ciclo anterior; elevação da temperatura próximo à parede de vidro, em relação ao solo como um todo; limitação do comprimento máximo das raízes, devido à presença do vidro; pequeno número de repetições para tratamentos; e alto custo. No entanto, este método permite a visualização da decomposição das raízes, sendo o mais adequado para se conhecer a fenologia das raízes das plantas (BOHM, 1979).

O alto consumo de tempo e o trabalho requerido para se obter informação sobre as raízes no solo por observação direta ou por método de amostragem levaram ao desenvolvimento de métodos indiretos. Estes métodos são baseados na determinação de alterações de parâmetros físicos correlatos, como variação no teor de água e de nutrientes e no deslocamento de traçadores radioativos detectado em sucessivas amostragens. A partir dessas mudanças, pode-se inferir a distribuição radicular no perfil do solo. Estes métodos são relativamente mais rápidos e indicados quando se deseja conhecer a atividade absoluta das raízes, porém seu sucesso depende de várias suposições (BOHM, 1979; KÖPKE, 1981).

CRESTANA et al. (1994) afirmam que o atual estágio das técnicas de análise de imagens digitais oferece número expressivo de oportunidades de tratamento e análise, entre as quais avaliar a distribuição de raízes que ocorrem em um perfil de solo numa trincheira, em substituição à usual quantificação visual, feita mediante quadrados reticulados. A determinação da densidade de raízes pode ser obtida por meio de algumas etapas de filtragem de imagem e calibração do SIARCS (Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo), especialmente desenvolvido para posterior cálculo em função do nível de cor de cada pixel. Desse modo, o emprego desse método permite a quantificação de raízes em perfis de solos em trincheiras de forma muito menos trabalhosa, mais rápida e detalhada,

viabilizando mais repetições experimentais. Com isso, abrem-se novas perspectivas de estudo mais completos e precisos das interações raiz-solo, da influência de diferentes práticas culturais e da presença de organismos vivos, entre outros, no campo.

A amostragem para obtenção de imagens, por meio de abertura de trincheiras e preparo do perfil do solo a ser filmado ou fotografado, não é tão simples e é feita de maneira destrutiva. Por outro lado, comparada com os métodos anteriores, essa amostragem não é das mais complicadas (FANTE JR. et al., 1994). A depleção da umidade do solo, medida pela técnica de moderação de nêutrons, e a presença de fluxo ascendente de água no solo, estimada pelo sentido do gradiente do potencial total medido por tensiometria, apresentam boa concordância com a presença radicular determinada pela análise de imagens digitais (BASSOI et al., 1994).

Comparando o método do monolito e o método do perfil auxiliado pela análise de imagens digitais em videira, BASSOI et al. (2000) obtiveram correlações de 0,744 e 0,873 ( $p < 0,05$ ) entre comprimento de raízes dentro do volume de solo ou monolito ( $L_m$ ) e área de raiz na face do monolito ou perfil de solo ( $A_p$ ) para irrigação por microaspersão e gotejamento, respectivamente. Já para correlação entre área de raiz no perfil ( $A_p$ ) e peso seco de raiz no monolito ( $D_w$ ) esses autores obtiveram um valor de 0,913 ( $p < 0,05$ ) para a microaspersão e de 0,741 ( $p < 0,05$ ) para o gotejamento. Em se tratando da tamareira, as correlações foram de 0,676 ( $p < 0,05$ ) entre  $L_m$  e  $A_p$  e de 0,870 ( $p < 0,05$ ) entre  $A_p$  e o  $D_w$ , enquanto a correlação entre área de raiz obtida pelo método do monolito ( $A_m$ ) e  $A_p$  foi de 0,850 ( $p < 0,05$ ).

Análises realizadas para a cultura do aspargo mostraram correlações de 0,873 entre a área no perfil do solo e o comprimento das raízes no monolito; já entre o peso de matéria seca de raízes no monolito e a área de raízes no perfil do solo a correlação foi de 0,908, e, considerando a correlação entre

área de raízes no monolito e no perfil do solo, a correlação foi de 0,877 (BASSOI et al., 1999a). Para a cultura da pupunha, BASSOI et al. (1999a) observaram correlações acima de 0,900 entre a área de raízes no perfil e o comprimento das raízes no monolito, entre a matéria seca de raízes no monolito e a área de raízes no perfil e entre a área de raízes no monolito e a área de raízes no perfil.

### **3.3. Estimativa da evapotranspiração**

O estudo da evapotranspiração sempre mereceu destaque durante a história do homem. Apesar de existirem comentários acerca do assunto em tempos pré-filosóficos, os estudos formais na área da evaporação remontam aos anos de 600 a 500 a.C. O trabalho de Dalton, em 1802, representou grande avanço no estudo da evaporação, pela relação que fez entre o vento, o conteúdo de umidade da atmosfera e as características físicas da superfície de evaporação. Com base nos trabalhos que surgiram no início do século XIX sobre o crescimento das plantas e suas exigências hídricas, Köeppen desenvolveu a sua classificação climática. Ainda no século XIX, as relações entre evaporação e radiação solar e outros comportamentos do fluxo de calor foram incorporados ao conhecimento científico e, então, iniciaram-se as medições quantitativas das relações solo-água (SEDIYAMA, 1996).

O maior marco no estudo da evapotranspiração se deu em 1948, com a publicação dos trabalhos de Warren Thornthwaite e Howard Penman. Daí por diante diversos estudiosos elaboraram propostas para explicar e medir a evapotranspiração, até que a FAO (Food and Agriculture Organization), no Boletim FAO-24 (DOORENBOS e PRUITT, 1984), sugeriu o método Penman-FAO, com base na equação de Penman (1956), com ajustes na função devido ao vento, um fator de ajuste baseado nas condições locais de clima e a hipótese de o balanço do fluxo de calor no solo ser igual a zero para um período de 24 horas.

Em 1991, a FAO publicou o resultado de um estudo que sugere uma nova definição para evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), baseada numa cultura hipotética, e um modelo para cálculo da ET<sub>o</sub> com base na equação combinada de Penman e Monteith, denominada equação de Penman-Monteith FAO (SEDIYAMA, 1996). A evapotranspiração de referência consiste na taxa de evapotranspiração ocorrida em uma cultura hipotética de grama (superfície de referência) sem restrições hídricas, com características específicas, como resistência da superfície de 70 s/m, albedo de 70% e altura da grama de 12 cm (FAO-56, 1998). O método de Penman-Monteith para determinação da evapotranspiração leva em consideração os aspectos termodinâmico e aerodinâmico, a resistência ao fluxo de calor sensível e de vapor de água no ar e a resistência da superfície à transferência de vapor de água. Utilizando o modelo de Penman-Monteith para determinação de evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), ALLEN et al. (1989) encontraram a melhor relação entre a estimativa deste modelo e a observada em lisímetro. Valancogne, citado por ANGELOCCI (1996), encontrou boas relações entre a lâmina média de água transpirada, obtida a partir do balanço de calor, e a estimada pelo método de Penman-Monteith.

Dos parâmetros utilizados por Penman-Monteith, as estimativas da resistência foliar à difusão de vapor ( $r_f$ ) e da resistência da camada-limite da folha ( $r_a$ ) são os mais difíceis de obtenção, pois dependem de modelos específicos para cada pomar ou cultura com a qual se está trabalhando. Já o saldo de radiação da copa por unidade de área foliar ( $R_{nf}$ ) foi estimado por ANGELOCCI (1996) pela relação radiométrica, em que a relação entre  $R_{nf}$  e o saldo de radiação medido acima do pomar é igual à razão entre a radiação global absorvida pelas folhas ( $R_{gf}$ ) e a radiação solar diminuída da radiação refletida ( $r$  - albedo do pomar).

Assim, os métodos agrometeorológicos são de suma importância na determinação de um padrão de comparação para a evapotranspiração de uma

cultura (ETc); no entanto, na determinação da evapotranspiração real é necessária aparelhagem sofisticada, além de dados e parâmetros de difícil obtenção. Dessa forma, os métodos de campo, como o balanço hídrico do solo, apesar de menos precisos para determinados períodos de tempo, são bastante eficazes e de relativa facilidade de trabalho.

A infiltração, redistribuição, evaporação e absorção de água pelas plantas envolvem o fluxo de água no solo; esses processos são interdependentes e, na maioria das vezes, ocorrem simultaneamente. Para estudar o ciclo da água em uma cultura, de maneira geral, é necessário considerar-se o balanço hídrico, que está intimamente ligado ao balanço de energia, pois os processos que os envolvem requerem energia. Do ponto de vista agrônomo, o balanço hídrico é fundamental, pois define as condições hídricas sob as quais uma cultura se desenvolveu (REICHARDT, 1996).

ROSEMBERG et al. (1983) afirmaram que, tendo em vista o fato de que toda a água que cai na superfície da terra retorna à atmosfera pelos processos de evaporação e transpiração, torna-se importante o estudo do balanço hídrico dessas superfícies.

Para conhecimento da dinâmica da água no solo, é de fundamental importância o conhecimento da umidade e dos potenciais da água do solo. A umidade é apenas um índice que quantifica a água que o solo possui, enquanto os potenciais da água dizem respeito aos diferentes tipos de energia potencial que atuam no sistema e podem dar indicação de como a água se encontra no solo, se parada ou em movimento (LIBARDI, 1995).

A precisão do método do balanço hídrico no solo depende da precisão com que são medidos os componentes da equação de conservação de água. A maior dificuldade reside na determinação da drenagem. VAN BAVEL et al. (1968) e WRIGHT (1971) mostraram que as medições da drenagem no solo são difíceis, pelo fato de os fluxos de vapor e de líquido ocorrerem em função dos gradientes térmico e hidráulico. Uma vantagem desse método,

quando comparado com outros que utilizam medições agrometeorológicas acima da superfície para estimativa do fluxo de vapor, é a facilidade de processamento dos dados. As desvantagens são o menor nível de precisão e as dificuldades de obtenção da evapotranspiração nos períodos chuvosos. Contudo, com medições precisas, é difícil detectar variações de umidade no solo com uma precisão melhor que 2 mm de água. Este método não é apropriado para estimativas de evapotranspiração em base diária, porém, se a drenagem for bem avaliada, o método é aceitável para intervalos de dois ou três dias. Quando aplicado em grandes áreas, o maior problema não é propriamente o método, mas a falta de boa representatividade, devido à variação espacial das chuvas e à falta de homogeneidade na topografia e nos solos.

Segundo LIBARDI (1995), o balanço hídrico pode ser estudado em várias escalas, como em uma bacia hidrográfica ou em uma cultura agrícola. Nesse último caso, pode-se alcançar maior detalhamento, podendo o balanço hídrico ser definido como a contabilização das entradas e saídas de água em um dado volume de solo, durante certo período de tempo.

O volume de solo considerado depende da cultura em estudo, pois deve englobar seu sistema radicular. Assim, considera-se como limite superior desse volume a superfície do solo e como limite inferior a profundidade do sistema radicular da cultura. Se a quantidade de água que entra neste volume de solo num período de tempo for maior que a quantidade de água que dele sai, o saldo de água no solo será positivo, e se sair mais do que entrar, negativo. Esse saldo de água no solo é obtido pela variação da armazenagem de água do perfil do solo ( $\Delta A$ ). A quantidade de água que entra pode se constituir de precipitação (P) e, ou, irrigação (I), e a quantidade de água que sai pode ser por drenagem interna (D), evapotranspiração (ET) e escoamento superficial (R). A drenagem interna, neste caso, representa a perda de água para fora da zona radicular através do limite inferior do volume de solo



considerado. No entanto, dependendo das condições, ao invés de sair, a água pode entrar através desse limite, isto é, ter-se-ia uma drenagem positiva. O escoamento superficial também pode se constituir de um incremento de água negativo ou positivo.

Cada componente do balanço hídrico é de considerável importância dentro de um determinado ramo da ciência, onde pode ser estudado com o nível de detalhe de interesse. Para o propósito de obtenção do componente ET, os detalhamentos de estudo de P, I e R não são de interesse porque são de medida relativamente fácil, em relação à  $\Delta A$  e à drenagem interna. BASSOI e CARVALHO (1992) e BASSOI e REICHARDT (1995) utilizaram a equação do balanço hídrico para a estimativa do componente drenagem interna em solos irrigados, enquanto ANDRADE et al. (1988) e OLIVEIRA et al. (1993) a utilizaram para estimativa da evapotranspiração real.

#### **3.4. Características morfológicas e anatômicas e necessidade de água na cultura da bananeira**

A bananeira é uma planta herbácea que possui o caule verdadeiro subterrâneo e emite ramificações laterais (perfilhos), que dão origem a outras plantas. No início do desenvolvimento, o perfilho passa por uma fase de emissão de folhas estreitas não-funcionais, e, ao se separar da “planta-mãe”, emite sua primeira folha funcional, entrando numa nova fase do seu desenvolvimento. Depois de produzir certo número de folhas funcionais, o meristema apical diferencia-se em uma gema reprodutiva, e a planta inicia o desenvolvimento do talo verdadeiro, que conduz a inflorescência em formação pelo interior do pseudocaule até sua extremidade superior, quando ocorre a abertura da inflorescência. Logo após a diferenciação da gema apical, o rizoma pára de emitir raízes e a planta entra numa nova fase do seu desenvolvimento. A partir da diferenciação floral, o desenvolvimento da

bananeira dependerá basicamente das reservas nutritivas acumuladas pelo rizoma na fase anterior (CHAMPION, 1968). Em virtude desse fato, autores como KRISHNAN e SHANMUGAVELU (1979) afirmam que o suprimento de água na bananeira, na fase do desenvolvimento vegetativo, é fundamental para uma boa produção.

As folhas da bananeira são formadas por bainha foliar, pseudopecíolos, nervura e limbo foliar. As bainhas foliares de uma planta organizam-se uma sobre as outras para formar o pseudocaule da planta, que é uma estipe que suporta os limbos foliares e o cacho. O limbo foliar apresenta-se como uma lâmina delgada de coloração verde intensa na sua parte superior, que corresponde à face de menor número de estômatos. Já na face inferior a densidade estomática é maior que a da face superior, sendo essa informação confirmada por ROBINSON e BOWER (1988), que encontraram uma taxa de transpiração três vezes maior na face inferior da folha.

Definido morfológicamente como caule, o rizoma da bananeira desenvolve as folhas a partir das gemas localizadas na sua parte superior, enquanto as gemas laterais que originam novas plantas e as gemas localizadas na sua parte inferior originam as raízes adventícias. À medida que a planta se aproxima da fase do florescimento, quando a gema apical se diferencia em gema florífera e inicia a formação e emissão da inflorescência, a parte central do rizoma necrosa da base para o ápice, inativa as raízes basais e limita a emissão de novas raízes.

As raízes da bananeira têm origem logo abaixo do córtex do rizoma, por um processo de diferenciação, seguindo o crescimento do meristema, e aparecem em percentual cada vez maior quanto mais próximo à base do rizoma. A diferenciação prossegue até o momento em que o talo verdadeiro se torna aéreo e a emissão cessa pouco depois do florescimento. Inicialmente, as raízes são codiformes, brancas e tenras, mas amarelecem ligeiramente com o tempo. Seu diâmetro pode variar entre 5 e 8 mm, e seu

comprimento é muito diverso. Em toda a extensão das raízes primárias existe uma abundante “cabeleira” de raízes secundárias de 2 mm de diâmetro, com fraco poder de penetração, mas responsáveis pela absorção de água e de nutrientes. Também, na porção distal das raízes há presença de radicelas (CHAMPION, 1968; ALVES, 1997). A água é absorvida mais rapidamente pelas partes jovens das raízes, mas ela também passa através dos tecidos radiculares mais velhos a uma taxa apreciável. O solo, o clima e a cultivar têm grande influência no desenvolvimento do sistema radicular da bananeira (ARAYA et al., 1998; ALVES, 1997; TURNER, 1998).

O sistema radicular da bananeira é, em geral, pouco profundo. MOURA et al. (1986), trabalhando em solo aluvial eutrófico do Rio Grande do Norte com bananeiras cv. Nanica plantadas em um espaçamento de 2 x 2 m, sob irrigação localizada e 10 meses após o plantio, verificaram que 59,2% de massa de raízes encontrava-se na profundidade de 15 cm e a uma distância horizontal de 30 cm do rizoma, enquanto a 90 cm do rizoma encontraram-se apenas 15,4% das raízes. ARAYA et al. (1998) afirmam que em bananeiras cv. Valery, 40,1% das raízes se encontravam a 15 cm de profundidade, e 65,1%, até os 30 cm. SOBHANA et al. (1989) observaram que as atividades das raízes de bananeiras var. Nendran foram concentradas entre 15 e 30 cm de profundidade e até 40 cm de distância do pseudocaule. ECKSTEIN e ROBINSON (1996) observaram em bananeiras do subgrupo Cavendish que, ao se aplicar estresse hídrico às plantas do experimento, a depleção de água ocorreu apenas na camada de 0 a 30 cm.

A absorção de água do solo pelo sistema radicular depende da taxa de transpiração da planta, do comprimento das raízes, da taxa de absorção de água por unidade de comprimento de raiz e da diferença de potencial de água entre um ponto no solo e algum ponto na planta ou na atmosfera (TAYLOR e KLEPPER, 1978).

A água se move através da planta no sentido do decréscimo do potencial total da água no solo, com resistências internas, como o movimento estomatal, que podem afetar o fluxo. Enquanto as relações hídricas das plantas são reguladas principalmente por processos físicos, a absorção de nutrientes é feita sob um elaborado controle metabólico. A transferência de nutrientes através das raízes pelos tecidos condutores requer o consumo de energia fornecido pela respiração, sendo um dos motivos pelo qual um adequado suprimento de oxigênio é essencial para a função das raízes (RUSSEL, 1981).

A bananeira apresenta elevada e constante necessidade de água principalmente durante o desenvolvimento vegetativo, podendo o consumo a pleno sol atingir a faixa de 40 a 50 mg/dm<sup>2</sup> min. Essa transpiração só ocorre durante as horas diurnas de forte iluminação, quando os estômatos estão amplamente abertos. A transpiração é menor nas folhas mais velhas, que se encontram mais ou menos sombreadas pelas mais novas. A resistência da bananeira à seca não é grande. O fechamento dos estômatos ocorre muito antes do esgotamento da água disponível, e, após o consumo de 60% dessa água, a planta se encontra em estado de pré-secamento. Uma das conseqüências de uma seca é que o fechamento temporário dos estômatos durante o dia diminui a atividade fotossintética, retardando o crescimento vegetativo, a emissão de folhas e o crescimento dos órgãos foliares e florais, seguido de secamento das folhas mais velhas, que parecem não resistir ao déficit hídrico temporário. Ao contrário, o bulbo resiste facilmente a uma seca prolongada e conserva a capacidade de produzir folhas muito depois do desaparecimento do pseudocaule (CHAMPION, 1968).

SANTANA et al. (1992), nas Ilhas Canárias, estimaram a evapotranspiração da bananeira *Nanica Anã* entre novembro de 1988 e junho de 1990, pela equação do balanço hídrico empregado em lisímetros. Os valores médios durante o ano variaram entre 1,5 e 4,6 mm/dia. Os valores mínimos

coincidiram com o período de inverno e com o valor mínimo da área sombreada no início do ciclo da cultura; os máximos ocorreram entre julho e agosto e em março, devido ao aumento da velocidade de vento e temperatura e ao decréscimo da umidade relativa. ROBINSON e BOWER (1988) confirmam as diferenças sazonais da transpiração na bananeira, mas observaram também que a taxa de transpiração é extremamente dependente da capacidade de absorção do sistema radicular, uma vez que durante o inverno as plantas sofreram o mesmo estresse que as plantas que ficaram sem irrigação durante o verão. ROBINSON e BOWER (1988) constataram que a taxa de transpiração em plantas submetidas a estresse hídrico foi pouco afetada pelo déficit de pressão de vapor. Os dois fatores anteriores mostram a dependência da transpiração aos fatores do solo: o primeiro, em relação à capacidade de absorção das raízes, e o segundo, em relação ao conteúdo de água no solo.

Shmueli, citado por SILVA et al. (1977), observou que a taxa de evapotranspiração da bananeira foi fortemente condicionada à porcentagem de água disponível na zona radicular, podendo alcançar 6 a 7 mm quando essa porcentagem era alta, ou apenas 2 ou 3 mm quando a umidade do solo se encontrava abaixo de um terço dessa capacidade. O mesmo foi confirmado por TURNER (1998), que comenta sobre a rápida resposta dos estômatos a variações no potencial de água no solo, sendo que a informação da raiz para fechamento dos estômatos ocorre antes de uma variação do nível de água na folha.

No perímetro irrigado de São Gonçalo, na Paraíba, em um aluvião de textura leve sobre textura média, SILVA et al. (1977) não observaram diferenças expressivas nas bananeiras cv. Nanicão quanto a produtividade, número de frutos por cacho e peso médio de cachos, mediante a aplicação de água por sulco, em função da evapotranspiração do tanque classe A em períodos de dez dias e com coeficientes de cultura iguais a 0,55; 0,70; 0,85; e

1,00. Assim, o valor de 0,55 apresentou-se como o recomendado, devido à economia de água de irrigação. Nos meses de maior evaporação, a umidade do solo apresentou variações entre 50 e 60% da água disponível; nos meses de maior pluviosidade e menor evaporação, a umidade esteve acima dos 70% dessa disponibilidade. OLIVEIRA et al. (1993), em Cruz das Almas - BA, estimaram, para bananeiras irrigadas por gotejamento a uma frequência de dois dias e com lâmina de água calculada com base na evaporação do tanque classe A, que o coeficiente de 0,60 proporcionou aumento de produção de 41% em relação às plantas sem irrigação; entretanto, esse tratamento não diferiu expressivamente daqueles em que a aplicação de água era baseada em coeficiente igual a 0,8, 1,0 e 1,2. Sua recomendação, portanto, se deve ao menor custo de produção.

Em Israel, a quantidade de água aplicada em bananeira irrigada por gotejamento foi determinada em função da evaporação do tanque classe A e com coeficientes de cultura iguais a 0,8; 1,0; 1,2; e 1,4. A produtividade obtida com o coeficiente de 0,8 foi inferior às obtidas com os demais valores, mas acima de 1,0 não houve aumento significativo de produtividade (LAHAV e KALMAR, 1988).

SANTANA et al. (1992) observaram que o consumo anual na bananeira foi de 1.127 mm, para uma produção média de 24,2 kg/planta e uso de água de 233 L/kg de fruto. O coeficiente de cultura variou entre 0,6 e 1,2 para a relação evapotranspiração/evaporação do tanque classe A; entre 0,7 e 1,5, para a relação evapotranspiração/evapotranspiração de referência (tanque classe A); e entre 0,6 e 1,5 para relação evapotranspiração/evapotranspiração de referência (método de Penman-Monteith).

ZEINAB e BEHAIRY (1993) verificaram que um crescimento vigoroso, expresso em comprimento e circunferência do pseudocaule, número de folhas verdes, cachos mais pesados, maior comprimento de fruto, maior peso do fruto, maior diâmetro da polpa e maior espessura da casca, foi

obtido com irrigação a 75% da água disponível no solo, seguido pela aplicação de água a 50 e 25% dessa capacidade, com coeficientes de cultura de 0,96; 0,84; e 0,67, respectivamente. Em Piracicaba - SP, MANICA et al. (1978) verificaram para a bananeira cv. Nanicão que, procedendo-se à irrigação quando a umidade do solo encontrava-se a 75 e 50% da água disponível às plantas, o número de pencas por cacho e o número de frutos por cacho foram expressivamente maiores que o da irrigação efetuada a 25% dessa capacidade; entretanto, não houve diferenças significativas entre peso médio do cacho e produção, apesar do maior valor para a irrigação a 75% da água disponível.

HEDGE e SRINIVAS (1989) constataram que a produção de bananas cv. Robusta foi maior quando a irrigação foi manejada mantendo-se potencial matricial de água no solo em torno de - 25 kPa, embora não fosse maior que a produção obtida com a irrigação a -50 kPa. No entanto, irrigações realizadas com um potencial matricial de -65 e -85 kPa reduziram a produção de frutos expressivamente. ECKSTEIN e ROBINSON (1996) observaram que plantas submetidas a um potencial de água no solo de -30 kPa não apresentaram redução severa no potencial de assimilação e de trocas gasosas durante o dia.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Instalação do experimento

O experimento foi instalado no Campo Experimental de Bebedouro, pertencente à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (Embrapa Semi-Árido), em Petrolina, PE (latitude de 9° 9' S, longitude de 40° 22' N e altitude de 365 m). Os dados foram coletados entre 26 de fevereiro de 1999 e 31 de março de 2000. A região do Submédio São Francisco, onde se encontra o município de Petrolina, caracteriza-se por um clima semi-árido, com precipitação média anual de 400 mm e médias diárias de umidade relativa em torno de 64% e temperatura de 26°C (Embrapa Semi-Árido).

O experimento foi montado em um solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média (PEREIRA e SOUZA, 1968). Para a caracterização físico-química do solo, foram coletadas amostras nas profundidades de 0,20 a 1,00 m, com intervalos de 0,20 m. Foram determinados textura, densidade do solo, curva de retenção de água no solo, pH, percentual de matéria orgânica, condutividade elétrica e teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, sódio, alumínio e hidrogênio, de acordo com os métodos descritos por EMBRAPA (1997). Os resultados encontram-se nos Quadros 1 e 2.



Quadro 1 - Características físicas do Latossolo Vermelho-Amarelo do campo experimental de Bebedouro, em Petrolina – PE

Profundidade	Granulometria			Argila natural	Massa específica		Umidade	
	Areia	Silte	Argila		Partícula	Solo	1/3 atm	15 atm
m	%			g/cm <sup>3</sup>		%		
0,00-0,20	90	4	6	3	2,61	1,60	4,83	2,12
0,20-0,40	84	8	8	5	2,59	1,44	6,98	3,34
0,40-0,60	78	8	14	8	2,65	1,24	8,97	4,66
0,60-0,80	76	10	14	7	2,71	1,27	8,71	4,09
0,80-1,00	82	2	16	7	2,61	1,23	9,89	5,31

Quadro 2 - Características químicas do Latossolo Vermelho-Amarelo do campo experimental de Bebedouro, em Petrolina – PE

Profundidade	pH H <sub>2</sub> O	C.E. <sup>1/</sup>	Complexo sortivo (meq/100 g solo)								M.O. <sup>2/</sup>	P
			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	H + Al	Al <sup>3+</sup>	V			
m	1:2,5		%								ppm	
0,00-0,20	6,1	0,13	1,2	0,6	0,01	0,19	0,33	0,05	86	0,49	15	
0,20-0,40	5,5	0,08	1,2	0,2	0,01	0,18	0,83	0,20	66	0,27	8	
0,40-0,60	5,0	0,11	0,8	0,4	0,02	0,12	1,98	0,85	40	0,17	4	
0,60-0,80	4,7	0,18	0,8	0,8	0,03	0,10	2,15	1,15	45	-	-	
0,80-1,00	4,6	0,09	0,7	0,3	0,02	0,10	2,31	1,10	33	-	-	

<sup>1/</sup> Condutividade elétrica a 25°C mmhos/cm no extrato de saturação.

<sup>2/</sup> Matéria orgânica (M.O.) = C (%) x 1,725.

A adubação para o cultivo da bananeira foi realizada de acordo com a interpretação da análise química do solo. Antes do plantio, foram aplicados 20 L/cova de esterco curtido, 100 g/cova de calcário dolomítico, 45 g/cova de uréia, 445 g/cova de superfosfato simples, 80 g/cova de sulfato de potássio e 50 g/cova de FTE BR-12. Durante o crescimento vegetativo da cultura foram aplicados 90 g/planta de uréia e 85 g/planta de sulfato de potássio, aos 90 e aos 180 DAP; aos 270 DAP aplicaram-se 180 g/planta de uréia e 170 g/planta de sulfato de potássio. A cultivar de bananeira foi a Pacovan (*Musa AAB*, subgrupo Prata), sendo as mudas propagadas no Laboratório de Biotecnologia da Embrapa Semi-Árido pela multiplicação de meristema. O plantio foi realizado no dia 26 de janeiro de 1999, em uma área de 25 x 40 m e espaçamento de 3 x 3 m, o que resultou em um total de 104 plantas. As duas fileiras de plantas externas foram utilizadas como bordadura (Figura 1).

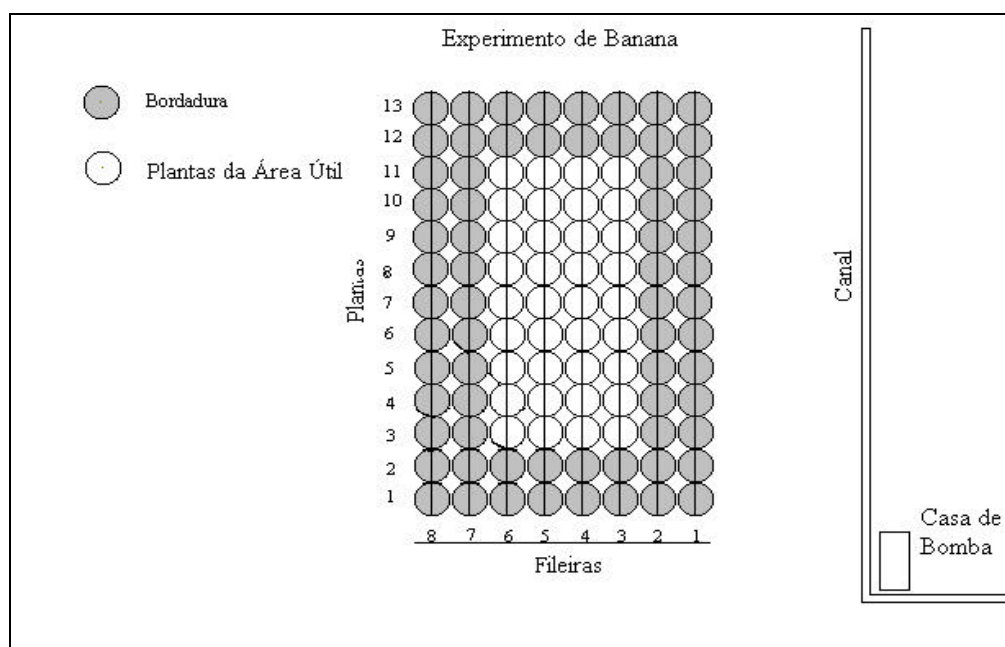


Figura 1 - Croqui do experimento.

A cultura foi manejada para conduzir duas plantas por touceira. Dessa forma, foram realizados os desbastes de perfilhos em julho de 1999 (aos 174 DAP), para a escolha das plantas para o segundo ciclo da cultura.

A irrigação foi manejada por meio de tensiometria, de forma a manter um nível de água disponível no solo, com potencial mínimo de água no solo em torno de 30 kPa. O sistema de irrigação utilizado foi o de microaspersão, com um emissor por planta, com vazão unitária de 46 L/h e pressão de trabalho de 130 kPa (resultado de testes no campo). Todo o experimento foi conduzido com uma percentagem de área molhada de 100%.

O teste de uniformidade de emissão foi obtido coletando-se a vazão de 12 emissores escolhidos em três linhas, com a pressão de serviço igual a 130 kPa na entrada do sistema. Em ambas as condições aplicou-se o teste de menor quartil para determinação do coeficiente de uniformidade e da uniformidade de distribuição. Os resultados encontram-se no Quadro 3.

Quadro 3 - Resultado do teste de uniformidade de distribuição de vazão

Data do teste	09/04/99	Veloc. do Vento	1,3 m/s
Vazão Média	46,2 L/h	Pressão no Micro	130 kPa
Distribuição de vazão			
Menor Quartil	45,5 L/h	CUC	98%

UD = uniformidade de distribuição da lâmina aplicada de irrigação; CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen.

## **4.2. Avaliação da distribuição do sistema radicular da bananeira**

Para a análise da distribuição do sistema radicular da bananeira, foram abertas trincheiras, paralelas à linha das plantas, com 1,0 m de profundidade e 3,0 m de comprimento. Foram realizadas quatro medições durante o crescimento das plantas, nos meses de abril, julho e novembro de 1999 e janeiro de 2000 (respectivamente aos 91, 176, 286 e 371 DAP). Em cada uma dessas amostragens foram avaliadas duas plantas.

O preparo do primeiro perfil do solo consistiu na escarificação da parede da trincheira para a retirada de 1 a 2 cm de solo, para melhor visualização do sistema radicular. A seguir foi realizada a pintura das raízes com tinta látex branca, a fim de realçar o contraste destas com o solo.

Para delimitar a área a ser fotografada, foi utilizado um reticulado de 1 x 1 m, subdividido em pequenos quadrados de 0,2 x 0,2 m. Cada um dos quadrados foi identificado segundo o perfil e sua localização horizontal e vertical, e a imagem correspondente a cada um foi obtida com uma câmara digital com resolução de 640 x 480 pixels. Para a aquisição de fotos de um segundo perfil, uma camada de solo de 0,2 m de espessura foi retirada, assim como um novo perfil de solo, onde o preparo deste para a coleta de imagens foi novamente realizado. Esse procedimento foi repetido até a distância de 0,2 m da planta.

Foram avaliados cinco perfis de solo aos 91 e 176 DAP (1,0; 0,8; 0,6; 0,4; e 0,2 m de distância da planta) e sete perfis de solo aos 286 e 371 DAP (1,4; 1,2; 1,0; 0,8; 0,6; 0,4; e 0,2 m de distância da planta). O aumento do número de perfis nas duas últimas análises deveu-se à previsão do crescimento radicular além de 1 m de distância da planta, no momento da realização das duas primeiras amostragens.

As imagens digitais das raízes presentes no perfil do solo foram analisadas pelo SIARCS 3.0 - Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo (CRESTANA et al., 1994; BASSOI et al., 1999a). Foram medidos os parâmetros área (cm<sup>2</sup>) e comprimento (cm) das raízes

expostas em cada quadrado de 0,2 x 0,2 m. Os valores desses parâmetros foram integralizados em cada perfil e em cada profundidade de solo considerados, e sua distribuição percentual foi obtida em função das direções verticais e horizontais e do tempo (DAP).

#### 4.3. Determinação da área foliar e dos parâmetros fisiológicos

A área foliar da bananeira foi medida aos 65, 123 e 184 DAP, com três repetições. Na mesma ocasião foram medidos dados de resistência estomática, transpiração e umidade relativa sobre a folha e potencial hídrico na folha.

Para a medida da área foliar, todas as folhas foram retiradas e identificadas, sendo o limbo foliar separado da nervura principal. As lâminas das folhas foram mensuradas pelo medidor de área foliar Li-Cor modelo LI-3100, no Laboratório de Fisiologia Vegetal da Embrapa Semi-Árido (Figura 2).

A identificação das folhas da bananeira foi realizada a partir da folha apical, ainda fechada, que é chamada de folha zero; as demais foram numeradas de acordo com a seqüência de abertura.



Figura 2 - Folha identificada e separada do limbo principal e "scanner" utilizado para medir a área das folhas.

Na determinação da folha representativa para a estimativa da área foliar da planta, foram testadas regressões lineares que relacionavam a área da 4<sup>a</sup>, 5<sup>a</sup>, 6<sup>a</sup> e 9<sup>a</sup> folhas e a área foliar total da planta. A 4<sup>a</sup> folha foi a que apresentou a melhor correlação com a área foliar total da bananeira (Figura 3).

Aos 245 DAP (setembro de 1999), quando as plantas estavam em pleno florescimento, a área foliar da bananeira foi estimada com o uso da equação linear que relaciona a área da 4<sup>a</sup> folha com a área foliar total.

As medidas de resistência estomática, transpiração e umidade relativa na folha foram realizadas com um porômetro manual, fabricado pela Li-Cor Inc., modelo LI-1600, sendo tomadas em três plantas da área experimental escolhidas ao acaso, em cada época de amostragem (65, 123, 184 e 245 DAP). Os dados foram tomados a cada duas horas, entre 6 e 18 horas. Para determinação do potencial hídrico na folha foram retirados de cada planta três discos do limbo foliar, que foram colocados em câmara psicrométrica C-52, para medição em microvoltímetro HR-33T (fabricado pela Wescor, Logan, Utah, USA), utilizando a metodologia do ponto de orvalho. A escolha das plantas e os horários da retirada das amostras seguiram a metodologia descrita anteriormente.

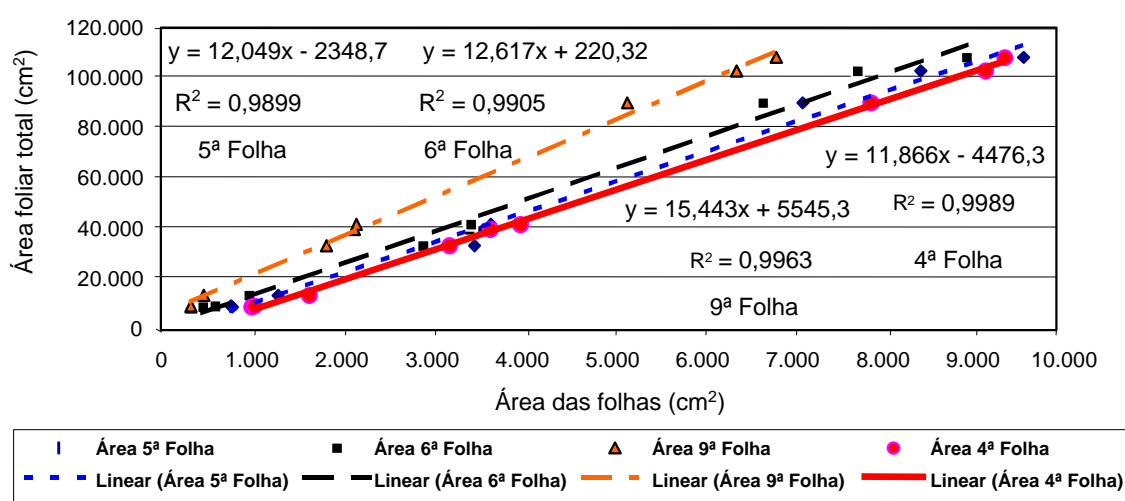


Figura 3 - Regressões lineares obtidas da relação entre a área das folhas 4, 5, 6 e 9 da bananeira var. Pacovan e sua área foliar total.

#### 4.4. Determinação do consumo de água pelo método do balanço hídrico

O consumo de água pela bananeira foi estimado entre 26 de fevereiro de 1999 e 31 de março de 2000 (respectivamente 31 e 430 DAP), pelo método do balanço hídrico no solo. Realizou-se o balanço hídrico no solo por meio da contabilização da precipitação pluvial (P), da irrigação (I), da variação do armazenamento de água no solo ( $\Delta A$ ), da drenagem profunda ou ascensão capilar (D) e da evapotranspiração real (ET<sub>r</sub>):

$$P + I \pm R \pm \Delta A \pm D - ET_r = 0 \quad \text{Eq. 1}$$

Devido à topografia plana da área, o componente de escoamento superficial (R) foi desconsiderado. Os dados de precipitação pluvial foram obtidos por meio de pluviômetro instalado na estação meteorológica do Campo Experimental de Bebedouro. A lâmina de irrigação foi calculada pela equação:

$$I = (Q / a) * \Delta t \quad \text{Eq. 2}$$

em que

I = lâmina de irrigação, mm;

Q = vazão do emissor, m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>;

a = área molhada pelo emissor, m<sup>2</sup>; e

$\Delta t$  = tempo de irrigação, h.

Foram instaladas três baterias de tensiômetros de mercúrio no dia 1<sup>o</sup> de fevereiro de 1999 (6 DAP). Cada bateria dispunha de cinco tensiômetros instalados a partir de 0,20 m profundidade, em intervalos de 0,20 m, até a profundidade de 1,00 m. As medidas de altura da coluna de mercúrio dos tensiômetros foram feitas três vezes por semana, às 8 horas da manhã. Por meio dessas medidas foram estimados o potencial matricial da água no solo ( $\Psi_m$ ) e o potencial total ( $\Psi_h$ ) da água no solo:

$$\psi_m = -12,6h_{Hg} + h_1 + h_2 \quad \text{Eq. 3}$$

$$\psi_h = -12,6h_{Hg} + h_1 \quad \text{Eq. 4}$$

em que

$h_{Hg}$  = altura da coluna de mercúrio em relação ao nível do reservatório de mercúrio, cm;

$h_1$  = altura do nível do reservatório de mercúrio em relação ao solo, cm; e

$h_2$  = profundidade da cápsula, cm.

O gradiente do potencial total ( $\nabla\psi_h$ ) para uma determinada profundidade foi calculado pela diferença entre o potencial da profundidade de solo 0,2 m acima e 0,2 m abaixo desta, dividido pela espessura da camada (0,4 m). Gradientes negativos e positivos corresponderam ao fluxo de água ascendente e descendente, respectivamente (LIBARDI, 1995):

$$\nabla\psi_h = (\psi_{\text{superior}} - \psi_{\text{inferior}}) / \Delta z \quad \text{Eq. 5}$$

Nas mesmas profundidades de instalação dos tensiômetros, foram coletadas amostras deformadas de solo, para determinação da curva de retenção de água no solo pelo método da placa de Richards, no Laboratório de Solos da Embrapa Semi-Árido. Utilizou-se o modelo de van Genuchten (1980) para a representação matemática da curva do potencial matricial da água no solo, em função da umidade do solo ( $\theta$ ,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ):

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + |\alpha\psi_m|^n]^m} \quad \text{Eq. 6}$$

em que

$\theta_r$  = umidade residual,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ;

$\theta_s$  = umidade de saturação, em  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ;

$\psi_m$  = potencial matricial, em cm de coluna de água; e

$\alpha$ ,  $n$ ,  $m$  = parâmetros empíricos dependentes do solo.



Os parâmetros da equação foram estimados através do uso do *software* Curvaret (DOURADO NETO e VAN LIER, 1993).

Assim, conhecendo-se  $\psi_m$ , determinou-se o valor de  $\theta$  a 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; e 1,0 m de profundidade e estimou-se para cada camada de solo de 0,2 m de espessura a umidade média ( $\theta_m$ ,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ). Para a camada de 0,0-0,2 m, considerou-se a umidade do solo à profundidade de 0,2 m como o valor médio de toda a camada.

Por meio da integração de  $\theta_m$  obteve-se o armazenamento de água no solo (A, mm):

$$A = \int_0^1 \theta m(z) dz \quad \text{Eq. 7}$$

em que dz é a espessura da camada de solo, mm.

A variação do armazenamento de água no solo ( $\Delta A$ , mm) foi calculada pela diferença do armazenamento de água no perfil do solo no tempo final (t) e inicial (t-1) de cada intervalo de tempo considerado ao longo do ciclo da cultura:

$$\Delta A = A_t - A_{t-1} \quad \text{Eq. 8}$$

A determinação da condutividade hidráulica do solo não-saturado ( $K_{(\theta)}$ ) foi feita pelo método da umidade, proposto por LIBARDI et al. (1980), de acordo com o modelo:

$$K(\theta) = K_o e^{\beta(\theta - \theta_o)} \quad \text{Eq. 9}$$

em que

$K_o$  = condutividade hidráulica do solo saturado,  $\text{cm.dia}^{-1}$ ;

$\beta$  = constante dependente do solo;

$\theta$  = umidade do solo,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ; e

$\theta_o$  = umidade do solo saturado,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ .

Para isso, foi saturada uma parcela de solo de  $100 \text{ m}^2$  ( $10 \times 10 \text{ m}$ ), de maneira que os processos, em seu centro, não fossem afetados pelos seus limites. Na porção central dessa parcela foram instaladas três baterias de tensiômetros, a 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; e 1,0 m de profundidade. A superfície

do solo foi mantida com uma lâmina de água para umedecimento do perfil do solo; depois da constatação da não-variação das leituras dos tensiômetros com o tempo, o solo foi coberto com uma lona plástica, para evitar a evaporação direta e a entrada de água através da superfície. Durante a redistribuição da água no solo pelo processo de drenagem interna, foram efetuadas medidas periódicas dos tensiômetros, por um período de 41 dias. Inicialmente, essas medidas foram realizadas em menor frequência (intervalo de duas horas no 1<sup>o</sup> e 2<sup>o</sup> dias); à medida que a água do solo se redistribuiu de forma mais lenta, o intervalo de leituras aumentou (Figura 4).

O fluxo de água no solo ( $q$ ,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ) foi determinado pela equação de Darcy-Buckingham:

$$q = -K(\theta)\nabla\psi_h \quad \text{Eq. 10}$$

Integrando os valores de  $q$  para o período de tempo considerado, determinou-se o valor da drenagem profunda ou ascensão capilar.

Assim, contabilizando os parâmetros  $P$ ,  $I$ ,  $\Delta A$  e  $D$  da equação do balanço hídrico, em períodos de tempo preestabelecidos, determinou-se o valor da evapotranspiração real ( $E_{Tr}$ , mm) da cultura da bananeira.



Figura 4 - Baterias de tensiômetros utilizadas para determinação da condutividade hidráulica do solo não-saturado em campo, utilizando o método da umidade proposto por LIBARDI et al. (1980).

#### 4.5. Determinação do coeficiente de cultura

A estimativa da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) foi obtida pelos métodos de Penman-Monteith e do tanque classe A (FAO 56, 1998).

Na estação meteorológica do campo experimental, foram coletadas as temperaturas máxima e mínima, as horas de brilho solar, a umidade relativa e velocidade do vento a 2,0 m de altura. O valor da resistência estomática considerada foi de  $70 \text{ s m}^{-1}$ , e a altura da grama, de 0,12 m (FAO 56, 1998):

$$ET_{o \text{ PM-FAO}} = \{0,408 \cdot (R_n - G) + [900/(T+273)] \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)\} / [1 + (1 + 0,34 \cdot u_2)] \quad \text{Eq. 11}$$

em que

$ET_o$  = evapotranspiração de referência,  $\text{mm dia}^{-1}$ ;

$R_n$  = saldo de radiação na superfície da cultura,  $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ;

$G$  = fluxo de calor no solo,  $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ;

$T$  = temperatura média diária a 2 m de altura,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$u_2$  = velocidade do vento a 2 m de altura,  $\text{m s}^{-1}$ ;

$e_s$  = pressão de saturação de vapor,  $\text{kPa}$ ;

$e_a$  = pressão atual de vapor,  $\text{kPa}$ ;

$e_s - e_a$  = déficit da pressão de vapor,  $\text{kPa}$ ;

$\gamma$  = tangente à curva pressão de saturação de vapor,  $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ; e

$\Delta$  = constante psicrométrica,  $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}$ .

Para estimativa de  $ET_o$  pelo tanque classe A também instalado na estação meteorológica, foram utilizados os coeficientes de tanque ( $K_p$ ) propostos por FAO-56 (1998), com base no tamanho da bordadura de grama, na velocidade do vento a 2 m de altura e na umidade relativa do ar (equação 12).

$$ET_o = K_p \cdot E_{pan} \quad \text{Eq. 12}$$

O coeficiente de cultura ( $K_c$ ) foi determinado pela equação 13, sendo utilizado o valor de  $ET_o$  estimado pelo modelo de Penman-

Monteith e pelo método do tanque classe A, propostos por FAO-56 (1998). Assim, foram obtidos os valores de Kc para cada um dos modelos de estimativa de Eto: Kc-TCA baseado na ETo calculada pelo método do tanque classe A e Kc-FAO-PM baseado na ETo calculada pelo método de Penman-Monteith.

$$Kc = ETr / ETo \qquad \text{Eq. 13}$$

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Distribuição do sistema radicular

A área (Figura 5) e o comprimento (Figura 6) de raízes, medidos ao longo do ciclo da bananeira, foram totalizados em cada época de amostragem, e seu percentual foi obtido em relação à última análise, realizada aos 371 DAP, durante o período de colheita, e considerada como o valor máximo para ambos os parâmetros. Os percentuais de área e comprimento em cada época de avaliação apresentam similaridade, e esse comportamento está em conformidade com BASSOI et al. (1999a) e BASSOI et al. (2000), que relataram alta correlação entre a área e o comprimento de raízes expostas no perfil do solo e medidas pela análise de imagem digital.

As maiores taxas de crescimento de área e comprimento de raízes da bananeira foram observadas entre 91 e 176 DAP (10,54 cm<sup>2</sup>/dia e 51,42 cm/dia) e entre 176 e 286 DAP (6,22 cm<sup>2</sup>/dia e 26,80 cm/dia), e nesse último período o florescimento ocorreu aos 211 DAP. Entre 286 e 371 DAP (período de colheita), as taxas foram bem menores (2,20 cm<sup>2</sup>/dia e 9,09 cm/dia). Esses resultados mostram rápido crescimento das raízes no período vegetativo, com redução acentuada após o florescimento, e estão

de acordo com CHAMPION (1968) e ALVES (1997). Deve-se ressaltar que aos 174 DAP (julho de 1999) foram selecionados os perfilhos para o segundo ciclo, o que provavelmente contribuiu para o crescimento das raízes.

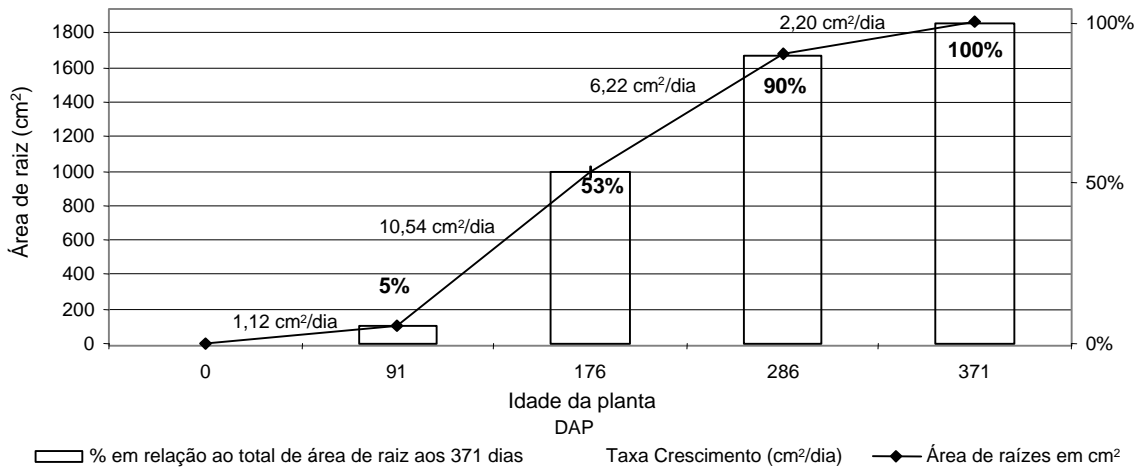


Figura 5 - Crescimento da área de raízes e taxa de crescimento para cada período entre medidas para a bananeira var. Pacovan.

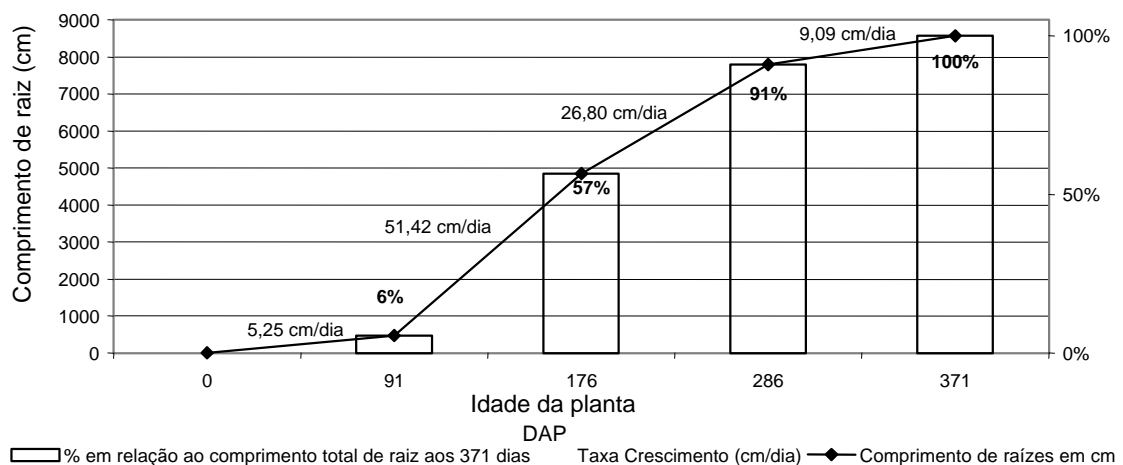


Figura 6 - Crescimento em comprimento e taxa de crescimento de raízes para os períodos entre medidas para a bananeira var. Pacovan.

O crescimento do sistema radicular na direção horizontal, analisado nos vários perfis de solo, foi maior até 0,6 m de distância da planta, sendo o crescimento relativo maior entre 91 e 176 DAP e entre 176 e 286 DAP. As plantas atingiram a distância de 1,4 m aos 286 DAP, fato esse até então não observado. Após esse período, a taxa de crescimento foi bem menor (Figuras 7 e 8). O crescimento na direção vertical, analisado nas diversas profundidades dos perfis de solo, também apresentou maior crescimento nos mesmos períodos, e a maior parte do sistema radicular se concentrou até 0,6 m de profundidade. Aos 286 DAP, em uma das plantas analisadas, observaram-se raízes até a profundidade de 1,4 m, mas em pequena quantidade (Figuras 9 e 10).

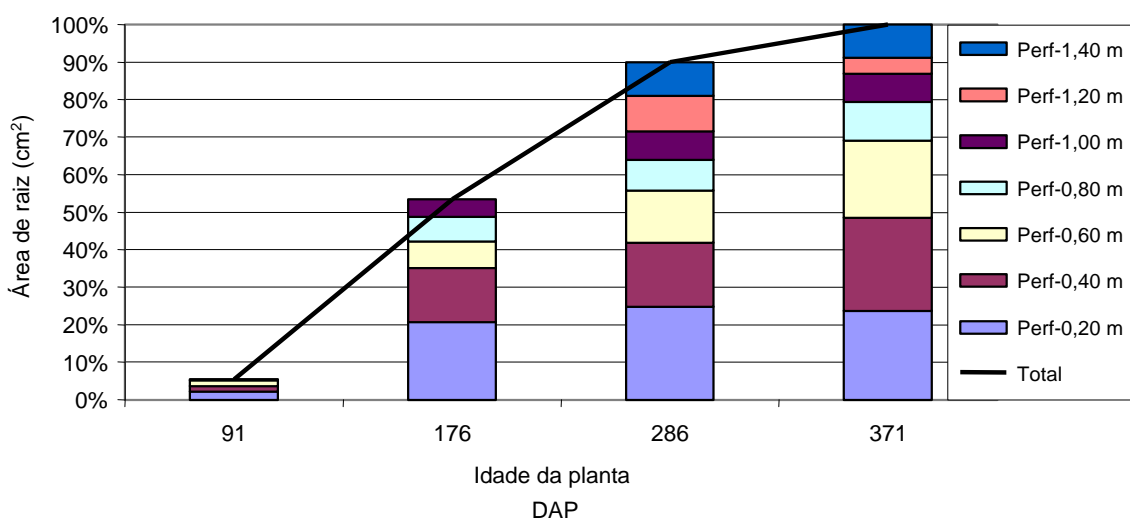


Figura 7 - Crescimento horizontal relativo da área de raízes para a bananeira var. Pacovan em Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média, em Petrolina - PE.

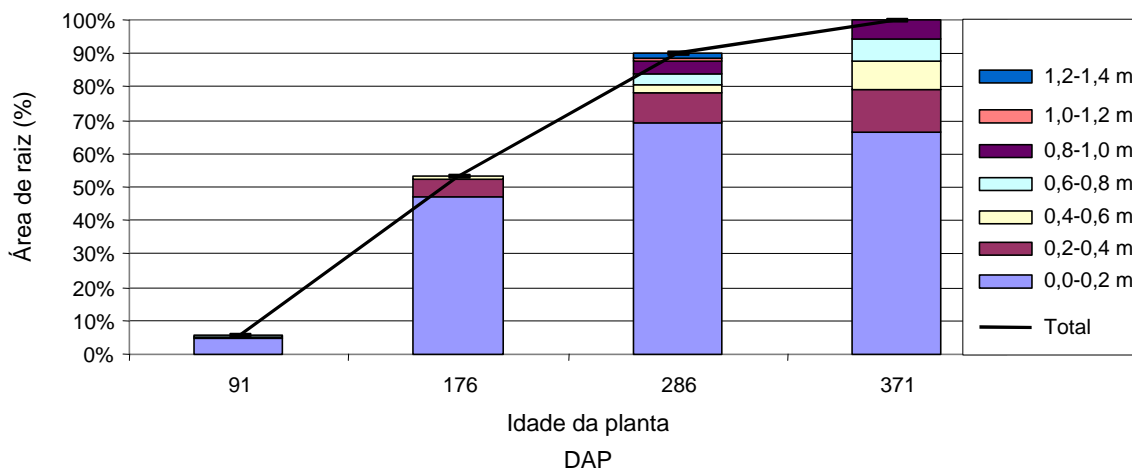


Figura 8 - Crescimento vertical relativo da área de raízes para a bananeira cv. Pacovan do Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média, em Petrolina - PE.

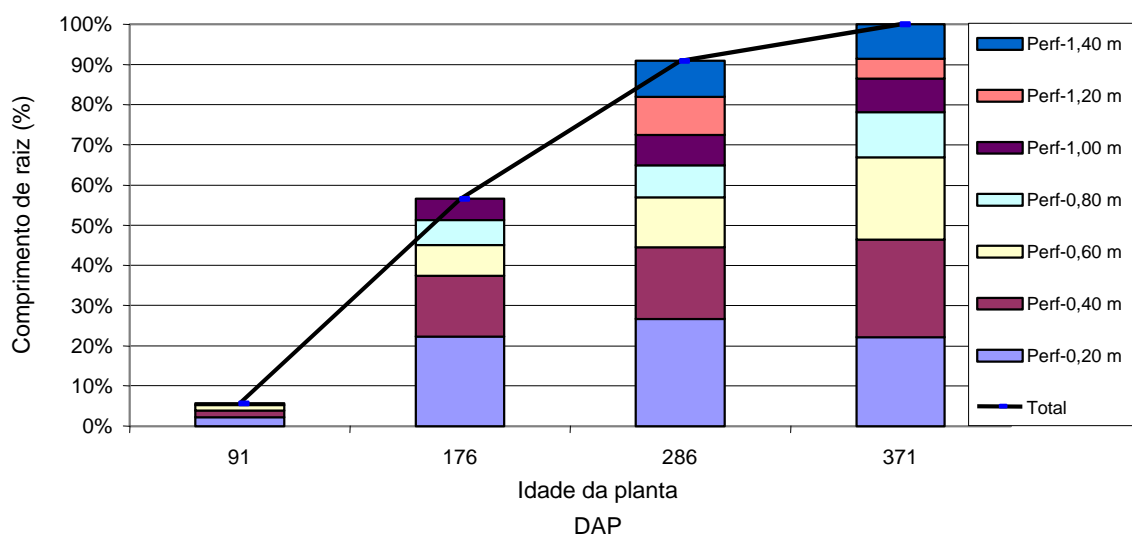


Figura 9 - Crescimento horizontal relativo do comprimento de raízes para a bananeira cv. Pacovan em Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média, em Petrolina - PE.



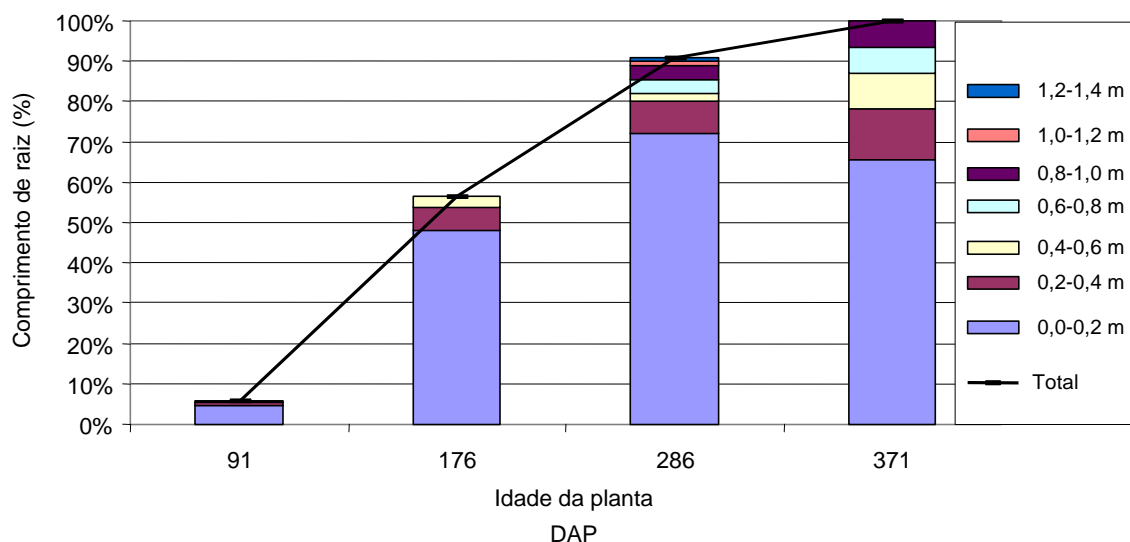


Figura 10 - Crescimento vertical relativo do comprimento de raízes para a bananeira cv. Pacovan em Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média, em Petrolina - PE.

O Quadro 4 apresenta a contribuição percentual de cada camada do solo na variação do armazenamento de água, para períodos de tempo em que houve apenas a evapotranspiração, sem a ocorrência de precipitação, e com predominância de fluxos ascendentes. Observa-se que a maior contribuição para o processo de perda de água do solo foi da camada de 0,00 a 0,60 m de profundidade, onde se concentrou a maior parte do sistema radicular. No período entre 304 e 323 DAP (26 de novembro e 15 de dezembro de 1999), a contribuição da camada de 0,60 a 0,80 m foi maior, o que pode ser explicado pela ascensão de água desta camada para a camada superior, pois o potencial total do solo nesse período foi menor que o da camada de 0,40 - 0,60 m de profundidade (Figura 11). Observa-se, através do gráfico de gradiente do potencial total (Figura 12), a confirmação desse fato, uma vez que, para esta camada, o gradiente se manteve negativo.

Quadro 4 - Contribuição percentual das profundidades do solo na variação do armazenamento de água no solo ( A), em períodos com predominância de fluxo ascendente de água no Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média, cultivado com bananeira cv. Pacovan, em Petrolina - PE

Período DAP		Profundidade do solo (m)				
Início	Fim	0,00-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60	0,60-0,80	0,80-1,00
----- % -----						
279	294	19	30	25	13	12
297	302	10	32	30	13	15
304	323	7	13	27	31	22
328	351	21	27	22	15	16
353	360	35	32	19	9	4
377	406	27	31	23	12	7
416	430	30	27	19	15	9

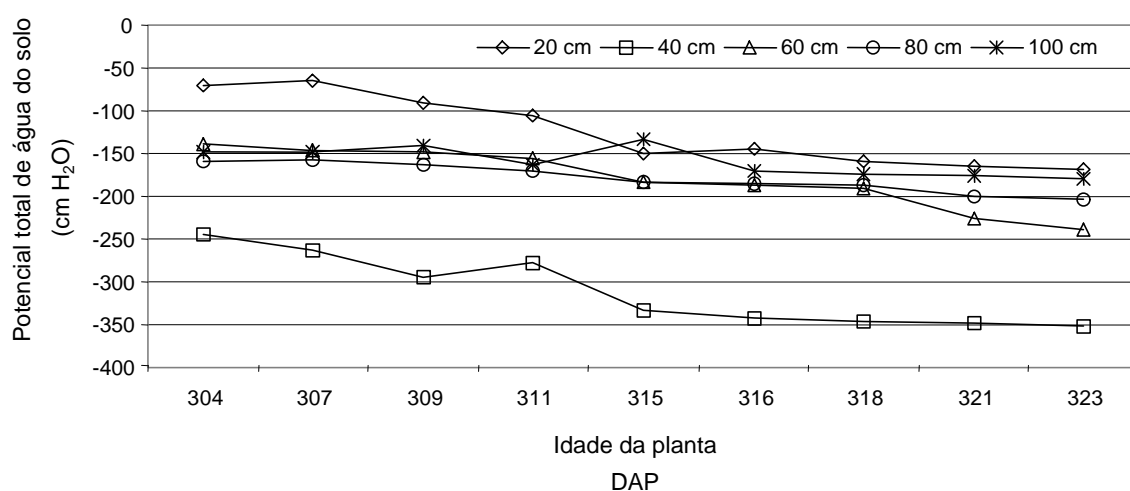


Figura 11 - Potencial total da água no Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média.

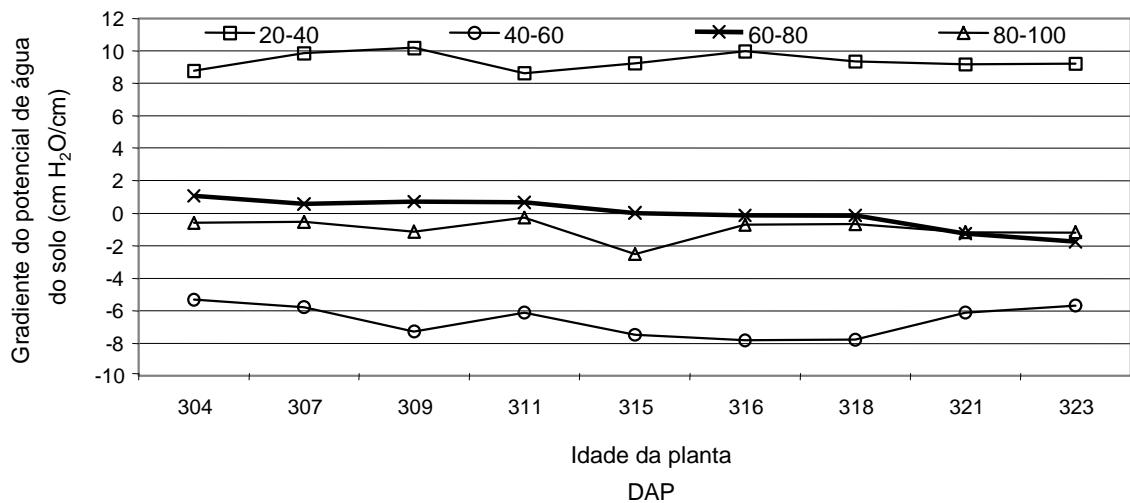


Figura 12 - Gradiente do potencial total da água em um Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média.

## 5.2. Estudo do crescimento da área foliar

Os dados de área foliar na bananeira foram obtidos até a época do florescimento, quando ela não mais emite folhas (CHAMPION, 1968). A área foliar e o índice de área foliar (Quadro 4) tiveram comportamento semelhante, com rápido crescimento no período vegetativo e uma taxa de crescimento menor posteriormente.

A área foliar da muda da bananeira foi considerada igual a zero na data de plantio e dividiu o crescimento da área foliar em quatro períodos: desenvolvimento vegetativo I (26/02 a 26/05/99), desenvolvimento vegetativo II, floração e desenvolvimento de frutos (25/08/1999 a 26/01/2000) e colheita (27/01/2000 a 31/03/2000). Esses períodos foram compreendidos entre duas avaliações, para o cálculo da taxa de crescimento de cada um deles. Dessa forma, no primeiro período observa-se a menor taxa de crescimento da área foliar, com 154 cm<sup>2</sup>/dia, enquanto entre 123 e 184 DAP verifica-se a maior taxa de crescimento, com

1.018 cm<sup>2</sup>/dia (Quadro 5 e Figura 13). Assim, a taxa de crescimento da área foliar foi crescente até os 183 DAP e diminuiu entre esta data e a última avaliação, aos 245 DAP. Esses dados confirmam as observações de diversos autores quanto ao intenso crescimento da bananeira no início do seu desenvolvimento. As menores taxas de crescimento da área foliar coincidiram com a fase do desenvolvimento vegetativo I (até os 120 DAP), enquanto a maior taxa de crescimento ocorreu no período vegetativo II (121 aos 210 DAP). No período do florescimento e desenvolvimento do fruto (211 aos 430 DAP), entre 211 e 245 DAP observou-se taxa de crescimento de 444,8 cm<sup>2</sup>/dia. A partir de então a taxa de crescimento da área foliar para a “planta-mãe” tendeu a zero, como foi observado por TURNER (1998) e ALVES (1997), que comentam sobre a emissão de folhas da bananeira até o início do florescimento, quando ocorre a diferenciação da gema apical de vegetativa para reprodutiva e não há mais formação de folhas.

Tabela 5 - Dados de crescimento de área foliar da bananeira var. Pacovan (Petrolina - PE)

Data	Idade	Área foliar média da data	Taxa de crescimento	Desvio-padrão	% Área foliar em relação aos 245 dias	Índice de área foliar
	(DAP)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> /dia)			
26/01/99	0	0	-	-	0%	0
30/03/99	63	9.725,12	154,37	2.468,48	9%	0,10
29/05/99	123	37.439,08	461,90	4.475,47	33%	0,40
29/07/99	183	99.541,02	1.018,06	9.190,48	88%	1,06
28/09/99 <sup>1/</sup>	245	113.330,77	226,06	4.094,31	100%	1,21

<sup>1/</sup> (28/09/99) Dado estimado por regressão linear a partir da folha 4 ( $y = 11,86.x - 4476,3$ ).

Comparando o crescimento da área foliar com o crescimento da área de raízes, verifica-se que ambos apresentam aumento até o florescimento, momento em que tendem a apresentar taxa de crescimento bem reduzida (Figura 14).

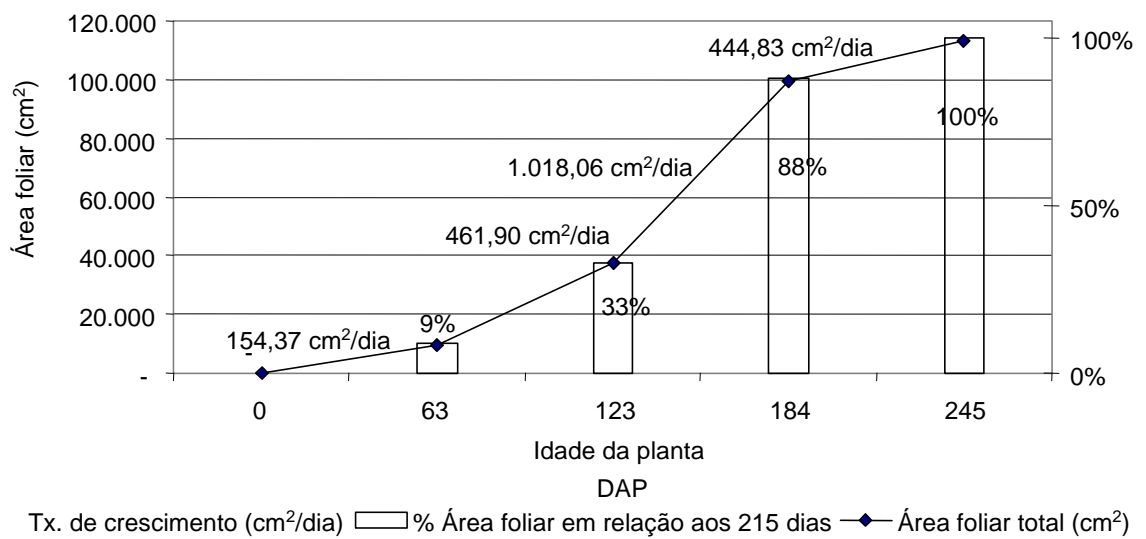


Figura 13 - Crescimento da área foliar com o tempo e taxa de crescimento para cada período, para a bananeira var. Pacovan.

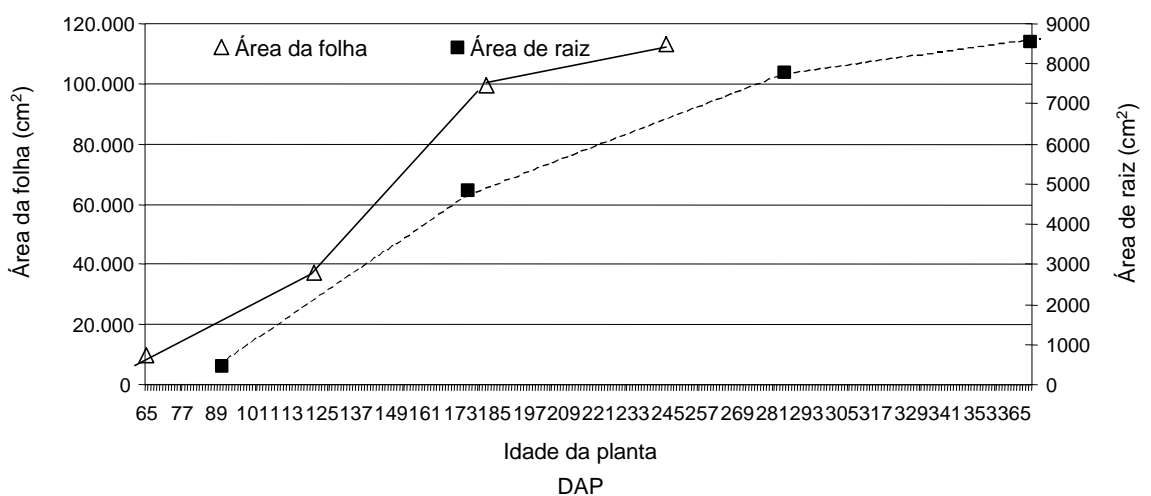


Figura 14 - Análise comparativa entre a taxa de crescimento de raiz e a de folha para a bananeira var. Pacovan.

### **5.3. Estudo da resistência estomática e transpiração na folha**

A diferença relativa à resistência estomática e transpiração entre a face inferior e a face superior da folha da bananeira (Figuras 15 a 22) corrobora as afirmações de ROBINSON e BOWER (1988) sobre a diferença no número de estômatos entre as duas faces da folha de bananeira. Estes autores observaram maior transpiração na face inferior da folha de bananeira, devido à maior presença de estômatos. Observando as duas faces da folha com relação à resistência estomática e à transpiração, nota-se que no período da tarde são registrados os menores valores de transpiração e os maiores valores de resistência estomática.

Observando as Figuras 15 a 18, verifica-se que na face inferior da folha a resistência estomática foi sempre baixa no início da manhã, coincidindo com o horário de maior valor da umidade relativa. No decorrer da manhã, observou-se crescimento da transpiração e diminuição da umidade relativa, porém no horário entre 10 e 14 horas, apesar da diminuição da umidade relativa, houve queda da transpiração por conta do aumento da resistência estomática. Provavelmente isso ocorreu pelo fato de a demanda evapotranspirativa da atmosfera ter sido maior que a capacidade de absorção de água da planta, desencadeando o processo de fechamento dos estômatos. Esse processo continua durante a tarde e ao final do dia é auxiliado pela diminuição da luminosidade. Na face inferior, observa-se que o ciclo de fechamento e abertura dos estômatos é influenciado também pela luminosidade, uma vez que se verificou a menor abertura dos estômatos nas primeiras horas da manhã e ao entardecer. SALISBURY e ROSS (1969) confirmam que para a maioria das plantas o ciclo de fechamento e abertura dos estômatos é influenciado pela luminosidade. No entanto, para a bananeira houve dominância maior do estado hídrico da planta, uma vez que o início do processo de fechamento dos estômatos se deu entre 10 e 14 horas, quando se verificaram os menores valores de potencial hídrico na folha (Figuras 23 a 26).

Com base nas observações de ROBINSON e BOWER (1987) e TURNER (1998), que relacionaram o aumento da resistência estomática na bananeira com a deficiência hídrica no solo, fica claro que entre 10 e 14 horas e no decorrer da tarde a bananeira foi submetida a um maior estresse hídrico, devido ao aumento da demanda hídrica acima da capacidade de absorção de água pelas raízes e não devido ao déficit de água no solo, pois após o início do fechamento dos estômatos o potencial hídrico da folha cresce e retoma o valor das primeiras horas da manhã (Figuras 23 a 26), indicando que a planta continua absorvendo água do solo. Dessa forma, observa-se que para a bananeira da variedade Pacovan, cultivada nas condições de clima e solo do experimento, houve melhor aproveitamento das condições de ambiente para a fotossíntese no período da manhã, uma vez que a diminuição da transpiração e o fechamento de estômatos são fatores que indicam baixa atividade fotossintética para a bananeira (ROBINSON e BOWER, 1987; ECKSTEIN et al., 1995; ECKSTEIN e ROBINSON, 1996), podendo se estender até as 14 horas, dependendo das condições climáticas e hídricas do solo.

Já na face superior da folha observa-se variação muito grande da resistência estomática decorrente do menor número de estômatos e a maior exposição às variações do ambiente; no entanto, observa-se também nesta face diminuição da transpiração quando há aumento da resistência estomática.

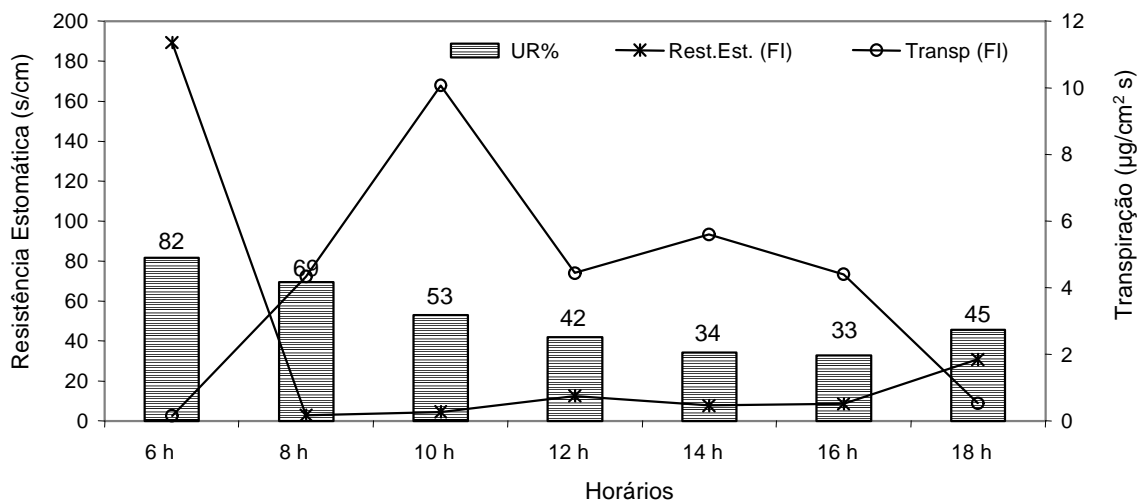


Figura 15 - Umidade relativa sobre a folha, medida pelo porômetro, transpiração e resistência estomática na face inferior (FI) da folha de bananeira aos 65 DAP (30/03/99) para var. Pacovan.

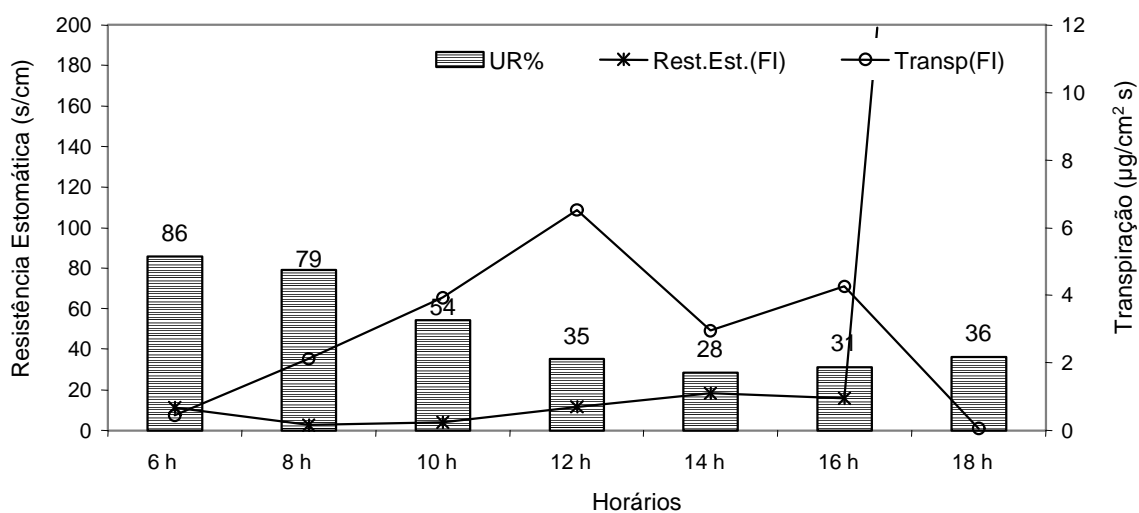


Figura 16 - Umidade relativa sobre a folha, medida pelo porômetro, transpiração e resistência estomática na face inferior (FI) da folha de bananeira aos 123 DAP (29/05/99) para var. Pacovan.



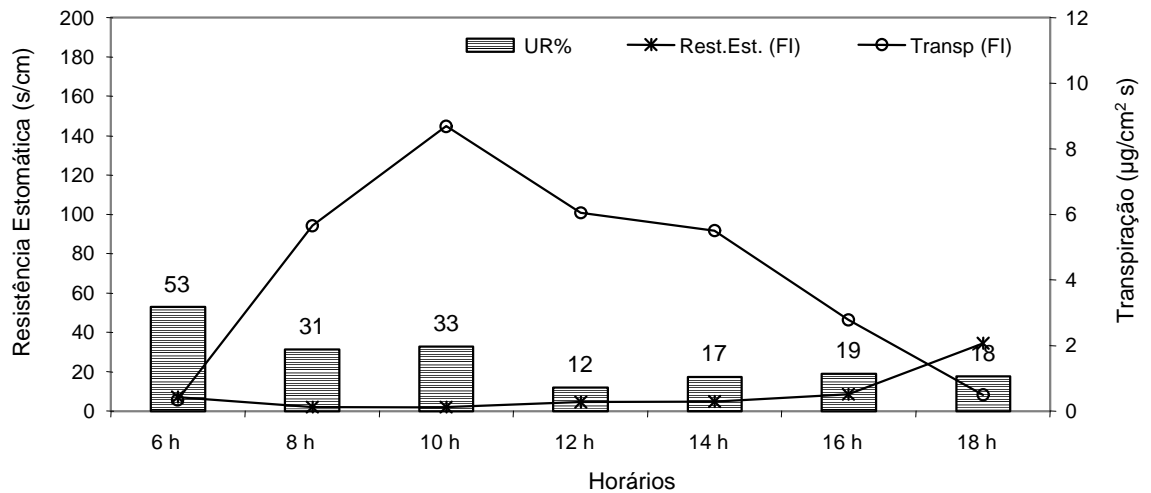


Figura 17 - Umidade relativa sobre a folha, medida pelo porômetro, transpiração e resistência estomática na face inferior (FI) da folha de bananeira aos 184 DAP (29/07/99) para var. Pacovan.

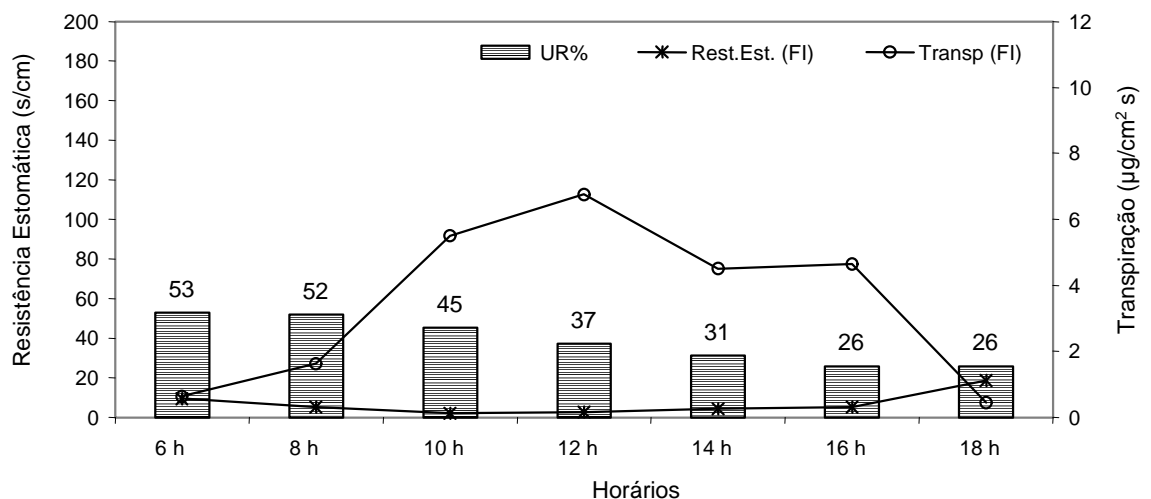


Figura 18 - Umidade relativa sobre a folha, medida pelo porômetro, transpiração e resistência estomática na face inferior da folha (FI) de bananeira aos 245 DAP (28/09/99) para var. Pacovan.

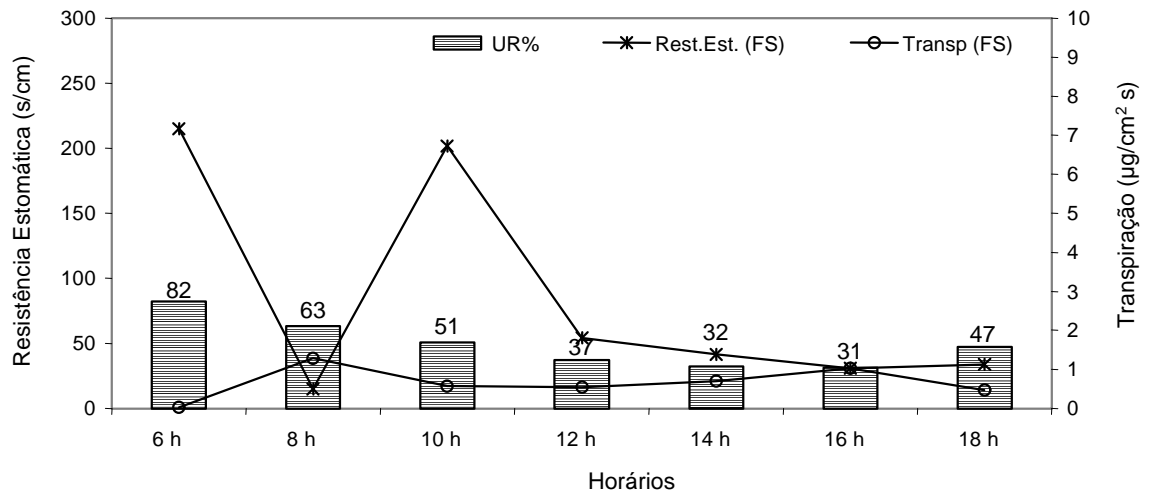


Figura 19 - Umidade relativa sobre a folha, medida pelo porômetro, transpiração e resistência estomática na face superior (FS) da folha de bananeira aos 65 DAP (30/03/99) para var. Pacovan.

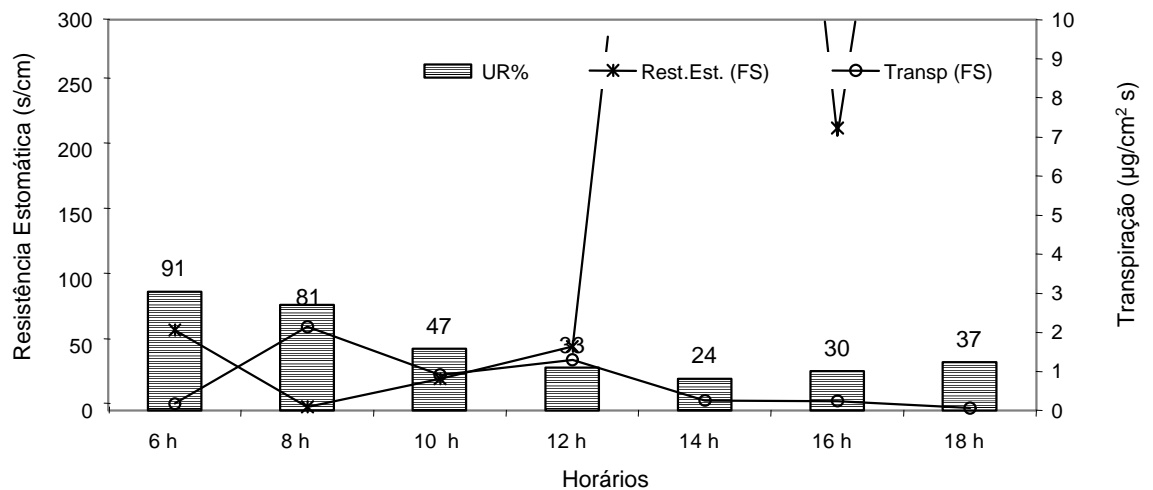


Figura 20 - Umidade relativa sobre a folha, medida pelo porômetro, transpiração e resistência estomática na face superior (FS) da folha de bananeira aos 123 DAP (29/05/99) para var. Pacovan.

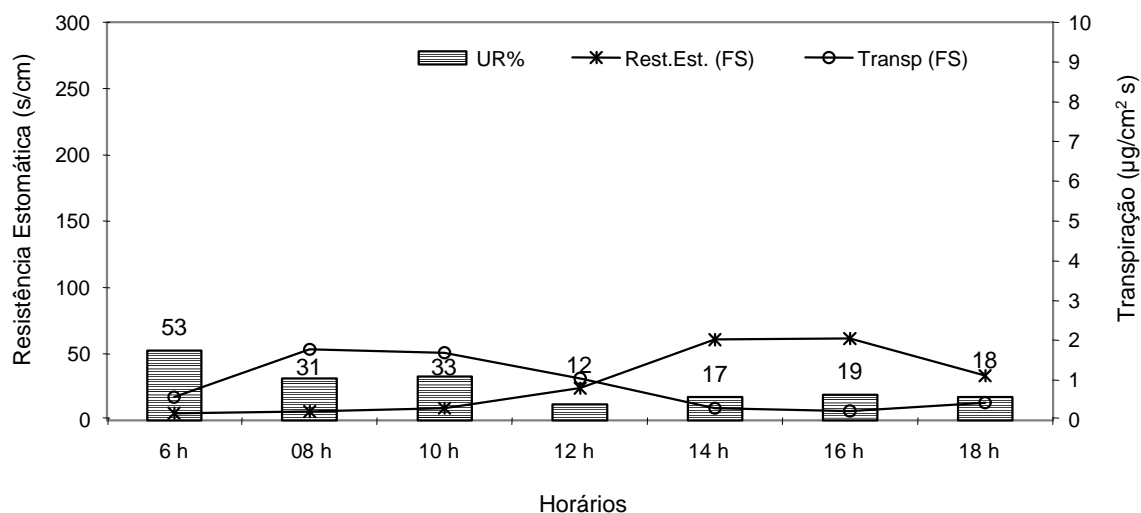


Figura 21 - Umidade relativa sobre a folha, medida pelo porômetro, transpiração e resistência estomática na face superior (FS) da folha de bananeira aos 184 DAP (29/07/99) para var. Pacovan.

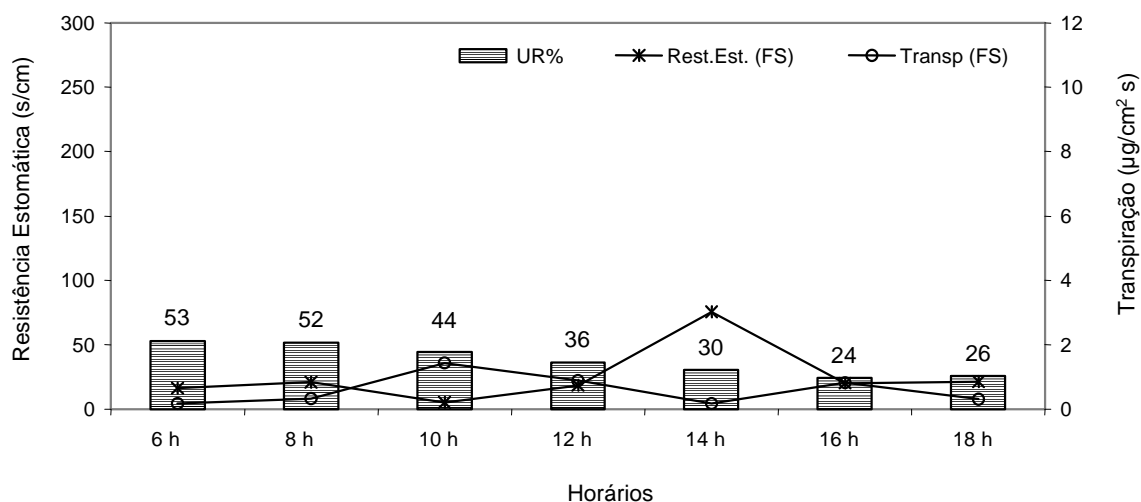


Figura 22 - Umidade relativa sobre a folha, medida pelo porômetro, transpiração e resistência estomática na face superior (FS) da folha de bananeira aos 245 DAP (28/09/99) para var. Pacovan.

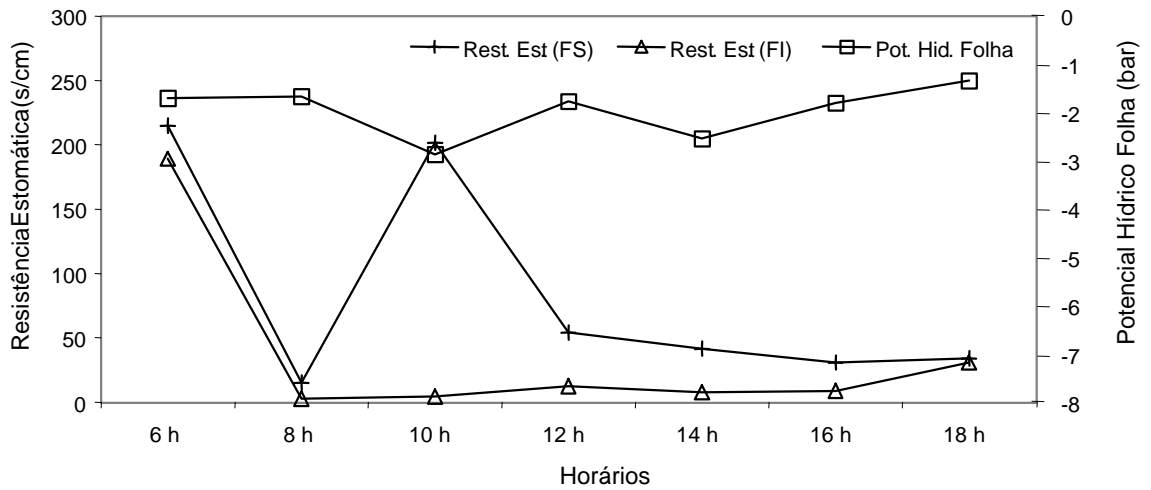


Figura 23 - Potencial hídrico e resistência estomática nas faces inferior (FI) e superior (FS) da folha de bananeira aos 65 DAP (30/03/99) para var. Pacovan.

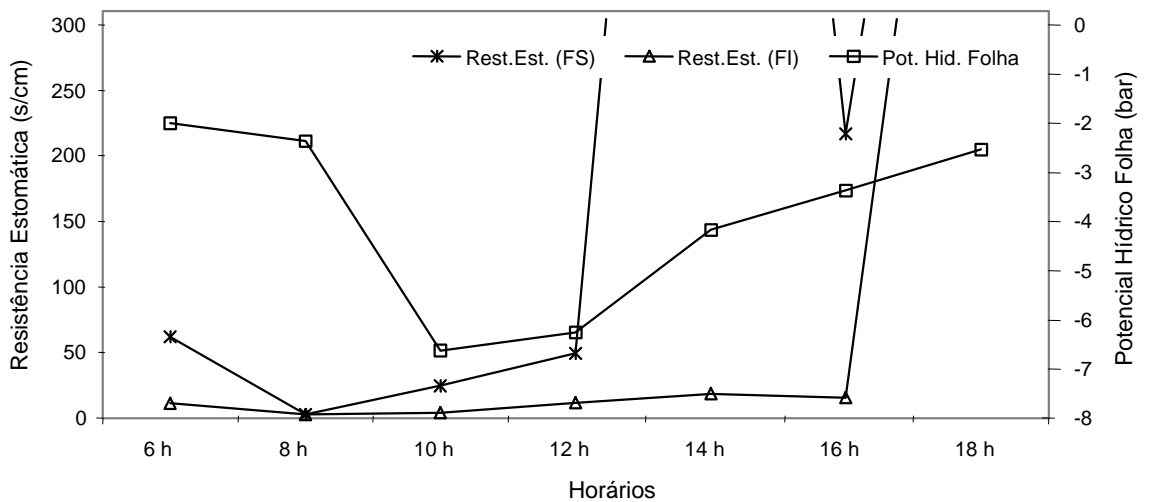


Figura 24 - Potencial hídrico e resistência estomática nas faces inferior (FI) e superior (FS) da folha de bananeira aos 123 DAP (29/05/99) para var. Pacovan.

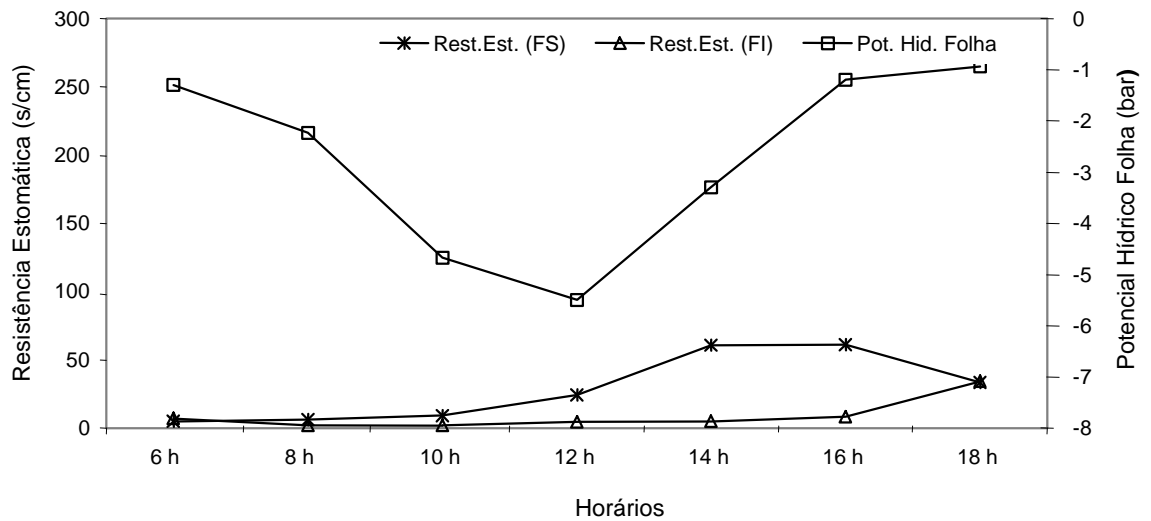


Figura 25 - Potencial hídrico e resistência estomática nas faces inferior (FI) e superior (FS) da folha de bananeira aos 184 DAP (29/07/99) para var. Pacovan.

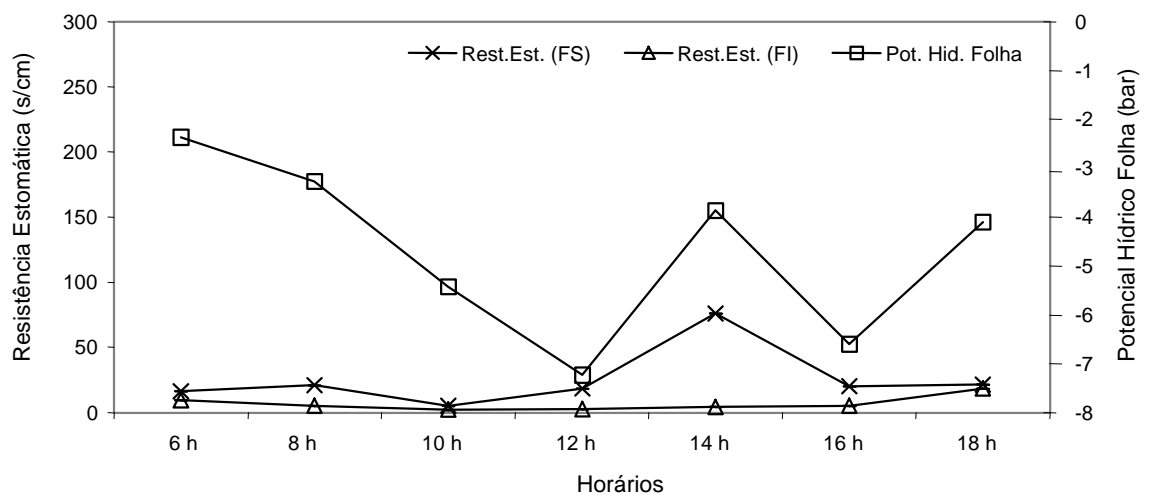


Figura 26 - Potencial hídrico e resistência estomática nas faces inferior (FI) e superior (FS) da folha de bananeira aos 245 DAP (28/09/99) para var. Pacovan.

Nas Figuras 15, 19 e 23, alguns valores de resistência estomática atingiram uma magnitude maior que a representada na escala, em razão do fechamento dos estômatos, ocasionado pela presença de nuvem. A manutenção da escala em valores menores que o registrado nessas ocasiões foi necessária para a visualização das diferenças entre os demais valores de menor magnitude.

#### **5.4. Estudo do consumo de água**

O consumo total de água da bananeira no período entre 31 e 430 dias após o plantio (26/02/1999 a 31/03/2000) foi de 1.401 mm, resultando em consumo médio de 107 mm/mês e 3,3 mm/dia. A produção da bananeira no primeiro ciclo foi de 839,3 kg (produtividade de 10.834,4 kg/ha). Barreto et al., citados por CORDEIRO (2000), afirmam que o consumo da bananeira para região semi-árida do Nordeste do Brasil é de 120 mm/mês nos meses de inverno e de 150 mm/mês no verão, em condições de irrigação por sulco ou bacia. O consumo foi superior ao encontrado neste experimento, uma vez que o sistema de irrigação utilizado pelo autor tem eficiência bem menor do que a irrigação localizada.

O primeiro ciclo da bananeira foi separado em quatro fases distintas (Quadro 6). Destas, duas correspondem ao desenvolvimento vegetativo I e II; a primeira fase corresponde ao período em que a área foliar da planta era menor que 30% da área total no final do ciclo e o índice de área foliar era menor que 0,4 (até 120 DAP, 26 de maio de 1999). A fase de desenvolvimento vegetativo II foi dos 120 DAP até próximo do florescimento (210 DAP, 24 de agosto de 1999). Os maiores valores de horas de radiação diária e temperatura (Quadro 6) provavelmente contribuíram para que o consumo de água na fase de desenvolvimento vegetativo I fosse próximo ao observado na fase de desenvolvimento vegetativo II, apesar de esta segunda fase demandar quantidade maior de

água, em razão da maior área foliar e maior taxa de crescimento. Deve-se ressaltar que na primeira fase do desenvolvimento vegetativo a contribuição da evaporação na superfície do solo deve ter ocorrido em maior parte no processo de evapotranspiração. O menor consumo diário ocorreu entre os 127 e 138 DAP (2 e 13 de junho de 1999), com média de 1,4 mm/dia.

Durante a fase de floração e desenvolvimento dos frutos ocorreu o maior valor da ETr e também a fase de maior demanda diária média, 6,2 mm/dia, entre 241 e 254 DAP (24 de setembro e 7 de outubro de 1999), fato este esperado, em razão da maior necessidade da planta, associada às maiores médias diárias de radiação e temperatura média do período (Quadro 6). Durante a colheita observa-se pequena queda no consumo de água, devido ao início da senescência da planta-mãe, uma vez que os fatores climáticos do período foram muito semelhantes aos do período anterior.

Quadro 6 - Evapotranspiração da bananeira nas suas fases e médias climáticas para o período

Fases	Período	Total de dias	ETr do período (mm)	Consumo (mm/dia)	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Horas de Sol	Radiação (ly/dia)
Desenvolvimento vegetativo I	26/02/99 a 26/05/99	90	250,1	2,8	26,9	66,6	7,1	395,0
Desenvolvimento vegetativo II	27/05/99 a 24/08/99	90	264,5	2,9	24,6	62,5	7,8	368,5
Floração e desenvolvimento dos frutos	25/08/99 a 26/01/00	155	729,2	4,7	25,4	74,2	7,0	437,1
Colheita	27/01/00 a 31/03/00	65	249,9	3,8	25,0	74,3	6,9	436,9
Total	26/02/99 a 31/03/00	400	1.494	3,7	25,5	69,9	7,2	412,2

Os valores de Kc estimados utilizando o método do tanque classe A (Kc TCA) e o método do Penman-Monteith (Kc FAO-PM) encontram-se no Quadro 7, com valores médios para cada uma das quatro fases fenológicas descritas no Quadro 6. Observa-se que os valores de Kc-TCA e de Kc-FAO-PM são semelhantes nas fases de desenvolvimento vegetativo I e II e na fase de colheita, enquanto na fase de floração e desenvolvimento de frutos o coeficiente de cultura calculado pelo modelo de Penman-Monteith foi maior que o calculado com base nos dados do tanque classe A. De acordo com o Boletim 56 da FAO (1998), para a bananeira, trabalhando com o modelo Penman-Monteith e dividindo sua fenologia em três fases, indica-se o Kc com seguintes valores: 0,5, 1,2 e 1,0, para plantas no primeiro ano de desenvolvimento e com no máximo 3 m de altura. Já no Boletim 24 da FAO (DOORENBOS e PRUITT, 1984), recomendam-se para a bananeira cultivada em clima tropical valores de Kc que variam entre 0,4 a 1,1.

As Figuras 27 e 28 apresentam os valores de ETr e Kc nas diferentes fases fenológicas, com base na estimativa de ETo pelo tanque classe A e pelo modelo Penman-Monteith, respectivamente.

Quadro 7 - Valores de Kc nas diferentes fases da bananeira

Fases	Período	Kc	
		FAO-PM	TCA
Desenvolvimento vegetativo I	26/02/99 a 26/05/99	0,6	0,6
Desenvolvimento vegetativo II	27/05/99 a 24/08/99	0,5	0,6
Floração e desenvolvimento dos frutos	25/08/99 a 26/01/00	1,2	1,0
Colheita	27/01/00 a 31/03/00	0,9	0,9
Média	26/02/99 a 31/03/00	0,8	0,8



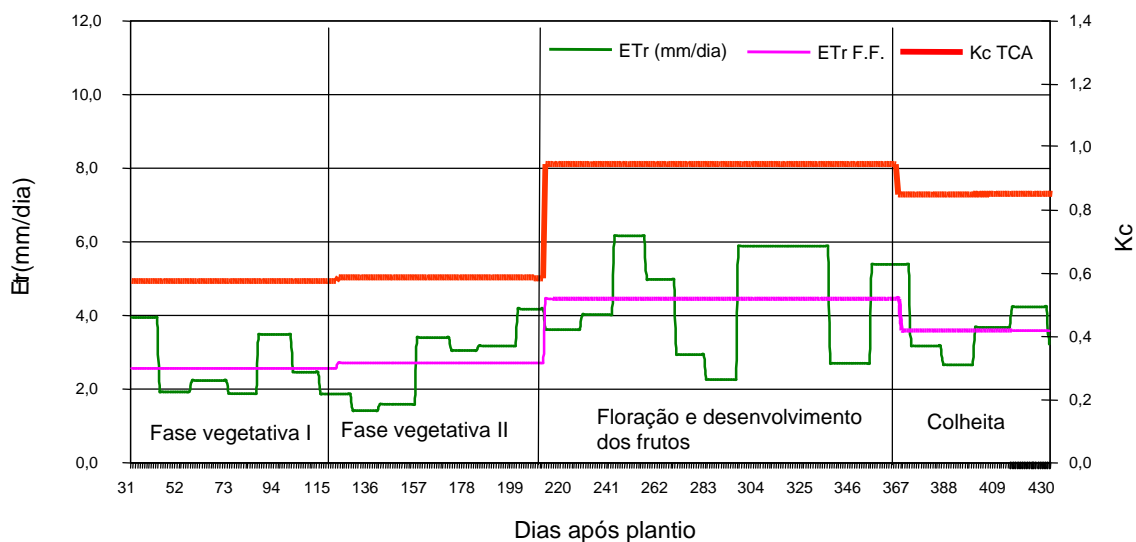


Figura 27 - Dados de Evapotranspiração Real (ETr), pelo método do balanço hídrico; e média de ETr para as fases fenológicas (ETr FF) e Kc médio para as fases fenológicas com ETo calculado pelo Tanque Classe A (Kc TCA).

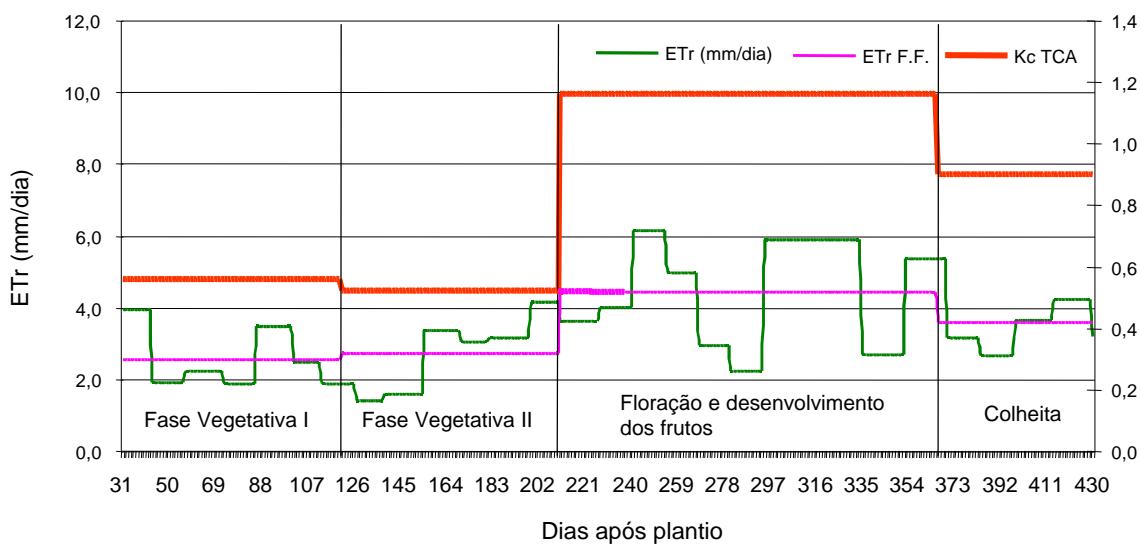


Figura 28 - Dados de evapotranspiração real (ETr), pelo método do balanço hídrico; e média de ETr para as fases fenológicas (ETr FF) e Kc médio para as fases fenológicas com ETo calculado pelo modelo de FAO-PM (Kc FAO-PM).

## 6. CONCLUSÕES

O estudo, realizado em um cultivo de bananeira cv. Pacovan, com espaçamento de 3 x 3 m (primeiro ciclo de produção) e irrigada por microaspersão em Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média, em Petrolina - PE, permitiu as conclusões que se seguem.

### **Crescimento e distribuição das raízes**

- O desenvolvimento radicular ocorre até a distância de 0,8 m do pseudocaule, na direção da entrelinha, e até a profundidade de 0,6 m, aos 371 DAP.
- Entre 91 e 176 DAP, a maior parte das raízes esteve presente até a profundidade de 0,2 m, e aos 286 DAP, até 0,6 m, em relação à distância da planta.
- O sistema radicular se concentrou até 0,2; 0,4; e 0,6 m de profundidade, respectivamente aos 91, 176 e 286 DAP.
- As maiores taxas de crescimento radicular ocorreram entre 91 e 286 DAP, e o florescimento ocorreu aos 211 DAP.

Assim, essas dimensões definem o volume de solo, ao longo do ciclo da cultura, onde se encontra a maior parte do sistema radicular e que deve ser umedecido pela irrigação.

### **Crescimento da área foliar**

- A área foliar total da bananeira, aos 245 DAP, foi de 11,3 m<sup>2</sup>.
- As maiores taxas de crescimento ocorreram entre 123 e 184 DAP.

### **Resistência estomática e transpiração na folha**

- A transpiração foi maior durante o período da manhã, enquanto entre 10 e 14 horas o aumento da resistência estomática proporcionava diminuição desse processo.

### **Consumo de água**

- O consumo total de água entre 30 e 430 DAP foi de 1.401 mm.
- O consumo máximo diário foi de 6,2 mm na fase de floração e desenvolvimento do fruto, enquanto a taxa mínima foi de 1,4 mm/dia e, a média, de 3,3 mm/dia.

Podem ser feitas as seguintes recomendações:

- Durante a fase de desenvolvimento vegetativo I (até 120 DAP): valores de Kc de 0,6 (para ETo segundo Penman-Monteith) e 0,6 (para ETo segundo tanque classe A) e profundidade de manejo de irrigação de 0,2 m.
- Durante a fase de desenvolvimento vegetativo II (de 121 a 210 DAP): valores de Kc de 0,5 (ETo segundo Penman-Monteith) e 0,6 (ETo segundo tanque classe A) e profundidade de manejo de irrigação de 0,4 m.

- Durante a fase de florescimento e desenvolvimento de fruto (211 a 365 DAP): valores de  $K_c$  de 1,2 (ET<sub>o</sub> segundo Penman-Monteith) e 1,0 (ET<sub>o</sub> segundo tanque classe A) e profundidade de manejo de irrigação de 0,6 m.
- Durante a fase de colheita (366 a 430 DAP): valores de  $K_c$  de 0,9 (ET<sub>o</sub> segundo Penman-Monteith) e 0,9 (ET<sub>o</sub> segundo tanque classe A) e profundidade de manejo de irrigação de 0,6 m.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; JESEN, M.E.; WRIGHT, J.L.; BURMAN, R.D. Operational Estimates of Evapotranspiration. **Agron. J.**, 81:650-662, 1989.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements.** Roma, FAO, 1998. 300p. (Boletim 56)
- ALVES, E.J., org. **A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais.** Brasília, Embrapa-SPI/EMBRAPA-CNPMPF, 1997. 585p.
- ANDRADE, C.L.T.; SEDIYAMA, G.C.; COUTO, L.; SANS, L.M.A.; FERREIRA, P.A. Balanço hídrico num latossolo vermelho escuro álico cultivado com milho com irrigação por aspersão. **R. Ceres**, Viçosa, 35(197):89-104, 1988.
- ANGELOCCI, L.R. **Estimativa da transpiração máxima de macieiras (*Malus* spp.) em pomares pelo modelo de Penman-Monteith.** Piracicaba, 1996. 95p. (Tese de Livre Docência, ESALQ).
- ARAYA, M.; VARGAS, A.; CHEVES, A. Changes in distribution of banana (*Musa* AAA cv. Valery) roots with plant height, distance from the pseudotem and soil depth. **Acta Horticulturae**, 490, 201-207, 1998.

- BASSOI, L. H. & REICHARDT, K. Lixiviação de nitrato em terra roxa estruturada latossólica cultivada com milho fertirrigado. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, 19(3):1-7, 1995.
- BASSOI, L.H. & REICHARDT, K. Lixiviação de nitrato em terra roxa estruturada latossólica cultivada com milho fertirrigado. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, 19(3):1-7, 1995.
- BASSOI, L.H.; ALENCAR, C.M.; RAMOS, C.M.C.; JORGE, L.A.C.; HOPMANS, J.W. Digital image analysis of root distribution towards improved irrigation water and soil management. **ASAE/CSAE-SCGR Annual Interantional Meeting**, Toronto, 1999a.
- BASSOI, L.H.; ALENCAR, C.M.; JORGE, L.A.C.; HOPMANS, J.W. Digital image analysis of root distribution towards improved irrigation water and soil management: grapes and date palm study cases. **ASAE/CSAE-SCGR Annual Interantional Meeting**, Wiscosin, 2000.
- BASSOI, L.H.; CARVALHO, A.M. Lixiviação de macronutrientes em um solo cultivado com milho (*Zea mays* L.) com e sem irrigação suplementar. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, 16 (3):283-287, 1992.
- BASSOI, L.H.; FANTE JÚNIOR, L.; JORGE, L.A.C.; CRESTANA, S. Distribuição do sistema radicular do milho em terra roxa estruturada latossólica: II - Comparação entre cultura irrigada e fertirrigada. **Scientae Agricola**, Piracicaba, 51(3):541-548, 1994.
- BASSOI, L.H.; FLORI, J.E.; ALENCAR, C.M. DE; SILVA, .J.A.M. E; RAMOS, C.M.C. Distribuição espacial do sistema radicular da pupunheira em solos irrigados no vale do São Francisco. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, 19(2):163-176, 1999b.
- BOHM, W. **Methods of studying root systems**. New York, Springer-Verlag, 1979. 194p.
- CHAMPION, J. **El platano**. Editorial Blume, Barcelona. 1968. 247p.
- CORDEIRO, Z.J.M., org. **Banana**. Produção: aspectod técnicos. Brasília, Embrapa, 2000. 143p.
- CRESTANA, S.; GUIMARÃES, M.F., JORGE, L.A.C., RALISCH, R., TOZZI, C.L., TORRE, A.; VAZ, C.M.P. Avaliação da distribuição de raízes no solo auxiliada por processamento de imagens digitais. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, 18(3):365-371, 1994.

- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Crop water requirement: guidelines for crop water requirements**. Roma, FAO, 1984. 144p. (Boletim 24)
- DOURADO NETO, D; van LIER, Q.J. Estimativa de armazenamento de água no solo para realização do balanço hídrico. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v.17, n.1, p.9-15, 1993.
- ECKSTEIN, K., ROBINSON, J.C. Physiological responses of banana (Musa AAA; Cavendish sub-group) in the subtropics. VI. Seasonal responses of leaf gas exchange to short-term water stress. **Journal of Horticultural Science**, 71(5):679-692, 1996.
- ECKSTEIN, K., ROBINSON, J.C., DAVIE, J. Physiological responses of banana (Musa AAA; Cavendish sub-group) in the subtropics. III. Gas exchange, growth analysis and source-sink interaction over a complete crop cycle. **Journal of Horticultural Science**, 70(1):169-180, 1995.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise do solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo, 1997. 212p.
- FANTE JR., L.; REICHARDT, K.; JORGE, L.A.C.; CRESTANA, S. Distribuição do sistema radicular do milho em terra roxa estruturada latossólica: I - Comparação de metodologias. **Scientae Agricola**, Piracicaba, 51(3):513-518, 1994.
- HEDGE, D.M. & SRINIVAS, K. Irrigation and nitrogen fertility influences on plant water relations, biomass, and nutrient accumulation and distribution in banana cv. Robusta. **J. Hortic. Sci.**, 64(1):91-98, 1989.
- KOPKE, U. Methods for studying root growth. In: THE SOIL/ROOT SYSTEM IN RELATION TO BRAZILIAN AGRICULTURE, Londrina, 1980. **Proceedings...** Londrina, IAPAR, 1981. p.303-318.
- KRISHNAN, B.M.; SHANMUGAVELU, K.G. Studies on water requirements of banana cv. 'Robusta': Effect on morphological characters, crop duration, yield and quality of fruits. **J. Agric. Sci.**, Mysore, 13:433-441, 1979.
- LAHAV, E. & KALMAR, D. Response of banana to drip irrigation, water relations amounts and fertilization regimes. Commun. in **Soil Sci. Plant Anal.**, New York, 19(1):25-46, 1988.

- LIBARDI, P.L. **A dinâmica da água no solo**. Piracicaba, O autor, 1995. 497p.
- LIBARDI, P.L.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Simple field for estimating soil hydraulic conductivity. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, 44(1):3-7,1980.
- MANICA, I.; KOLLER, O.; MANSUR, J.N.; SIMÃO, S.; SCARDUA, R. Influência da irrigação em sulcos e altura de corte do pseudocaulo da planta matriz (1º ciclo) da bananeira Nanicao na produção da planta filha (2º ciclo). **R. Bras. Frutic.**, Cruz das Almas, 1(3):51-58, 1978.
- MOURA, A.R.B.; ARAÚJO FILHO, O.S.; TAVARES, J.C. & OLIVEIRA, M. Estimativa da densidade radicular da bananeira Nanica submetida a um sistema não convencional de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 8., Brasília, DF. **Anais...** Brasília, EMBRAPA-DDT/CNPq, 1986. p.83-86.
- OLIVEIRA, S.L.; ALVES, E.J.; CALDAS, R.C. Coeficiente de cultura para irrigação da bananeira. **R. Bras. Frutic.**, Cruz das Almas, 15(3):15-20, 1993.
- PEREIRA, J.M.; SOUZA, R.A. **Mapeamento detalhado da área da Barra de Bebedouro**. Petrolina, SUDENE, 1968. 57p. (mimeografado).
- REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. Piracicaba, USP/ESALQ, 1996. 505p.
- ROBINSON, J.C.; BOWER, J.P. Transpiration characteristics of banana leaves (Cultivar "Williams") in response to progressive depletion of available soil moisture. **Sci. Hortic.**, Amsterdam, 30:289-300, 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. **Sci. Hortic.**, Amsterdam, 37:129-143, 1988.
- ROSEMBERG, N.J.; BLAD, B.L. & VERMA, S.B. **Microclimate: The biological environment**. sec. edition. John Wiley & Sons. New York, 495p., 1983.
- RUSSEL, R.S. Plant root systems - their function and interaction with the soil. In: THE SOIL/ROOT SYSTEM IN RELATION TO BRAZILIAN AGRICULTURE, Londrina, 1980. **Proceedings...** Londrina, IAPAR, 1981. p.3-19.



- SALISBURY, F.B.; ROSS C. **Plant physiology**. Belmonte, Wadsworth Publishing Copany, 1969. 747p.
- SANTANA, J.L.; SUAREZ, C.L.; FERRERES, E. Evapotranspiration and crop coeficients in banana. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON IRRIGATION OF HORTICULTURAL CROPS, Almeria, 1992. **Proceedings...** Almeria, F.I.A.P.A.- S.E.C.H.-I.S.H.S., 1993. p.341-348.
- SEDIYAMA, G.C. Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. **R. Bras. Agrometeor.**, Santa Maria, 4(1):i-xii, 1996.
- SILVA, J.F.; CAMPOS, G.M.; MENDES, W.C.R. & GOEL, S. Estudo da evapotranspiração em bananeira, cultivar Nanicao (Musa cavendishii LAMBERT). **Fruits D'Outre-Mer**, Paris, 32(12):731-737, 1977.
- SOBHANA, A.; ARAVINDAKSHAN, M.; WAHID, P.A. Root activity parttern of banana under irrigated and rainfed conditions. **Agric. Biol.**, 18:117-123, 1989.
- TAYLOR, H.M. & KLEPPER, B. The role of rooting characteristics in the supply of water plants. **Adv. Agron.**, New York, 30:99-125, 1978.
- THORNE, D.W. **Irrigation and crop production**. In. THORNE, D.W. & THORNE, M.D., eds. Soil, water & crop production. Westport, Avi Publishing Company, Inc., 1979. ch.8, p.96-116.
- TURNER, D.W. Ecophysiology of bananas: the generation and functioning of the leaf canopy. **Acta Horticulturae**, 490:211-221, 1998.
- VAN BAVEL, C.H.M.; BRUST, K.J.; SKIRK, G.B. Hidraulic properties of a clay loam soil and the field measurement of water uptake by roots: II.The water balance of the root zone. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v.32, p.317-321, 1968.
- WIGHT, J.R. Comparison of lysimeter and neutron scatter techhniques for measuring evapotranspiration from semiarid rangelands. **J. Range Management.**, v.24, p.390-393. 1971.
- ZEINAB, H.B.; BEHAIRY, H. Studies on water and nutritional requirements of banana. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL FRUITS, 1., 1993, Vitória. Program and Abstracts... Vitória, ENCAPA, p.22.