



JOSÉ ANTONIO DO VALE SANT'ANA

**DISTRIBUIÇÃO DE RAÍZES DE BANANEIRA
'PRATA-ANÃ' SOB DIFERENTES SISTEMAS
DE IRRIGAÇÃO EM CONDIÇÕES
SEMIÁRIDAS**

LAVRAS – MG

2011

JOSÉ ANTONIO DO VALE SANT'ANA

**DISTRIBUIÇÃO DE RAÍZES DE BANANEIRA 'PRATA-ANÃ' SOB
DIFERENTES SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO EM CONDIÇÕES
SEMIÁRIDAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, para obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Manoel Alves de Faria

Coorientadores

Dr. Eugênio Ferreira Coelho

Dr. Elio Lemos da Silva

LAVRAS-MG

2011

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos
Técnicos da Biblioteca da UFLA**

Sant'Ana, José Antonio do Vale.

Distribuição de raízes de bananeira 'prata-anã' sob diferentes sistemas de irrigação em condições semiáridas / José Antonio do Vale Sant'Ana. – Lavras : UFLA, 2011.

92 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.

Orientador: Manoel Alves de Faria.

Bibliografia.

1. *Musa* spp. 2. Sistema radicular. 3. Imagens digitais. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.587

JOSÉ ANTONIO DO VALE SANT'ANA

**DISTRIBUIÇÃO DE RAÍZES DE BANANEIRA 'PRATA-ANÃ' SOB
DIFERENTES SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO EM CONDIÇÕES
SEMIÁRIDAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 25 de Fevereiro de 2011.

Dr. Elio Lemos da Silva UFLA
Dr. Sérgio Luiz Rodrigues Donato IFBaino

Dr. Manoel Alves de Faria
Orientador

Dr. Eugênio Ferreira Coelho
Coorientador

LAVRAS-MG
2011

AGRADECIMENTOS

A Deus, sempre presente, iluminando os meus caminhos, por todas as bênçãos e realizações concedidas.

À minha família, pela força, apoio e ajuda que sempre me ofereceram nas horas de maiores dificuldades.

À minha companheira Beatriz, pelo incentivo apoio e carinho.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), em especial ao Programa de Pós-graduação Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, pela oportunidade de realização do curso.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos Profs. Dr. Manoel Alves de Faria, Dr. Eugênio Ferreira Coelho e ao Dr. Elio Lemos da Silva pela amizade, ensinamentos e principalmente pela confiança depositada em mim.

Ao Dr. Carlos Elísio Cotrim e ao Dr. Sérgio Luiz Rodrigues Donato por todo o apoio concedido durante esses dois anos.

Ao Dr. Maurício Coelho pela amizade e incentivo.

À Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano (Guanambi/BA) pela concessão da estrutura física e humana na execução do trabalho.

A todos que desenvolvem ou atuam em trabalhos no laboratório de irrigação, em especial a Tarcísio, Ronaldo, Carmem e Beatriz pela cooperação.

Aos meus amigos, Edvaldo, Tarcísio, Torquato, Alisson, André, Julian, Álvaro, Tibério, Artur, Nilo, Maurício, Gian, Flávio, Tiago e João pela convivência e amizade.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para a conclusão desse trabalho.

Aos meus pais: Juvenal Cassemiro de
Sant'Ana (*in memoriam*) e Regina de Jesus
do Vale.

DEDICO

RESUMO

A informação da distribuição radicular de uma planta permite definir áreas do solo ao redor dela mais propícias para aplicação de fertilizantes e instalação de sensores de água no solo para melhor monitoramento da irrigação. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a distribuição do sistema radicular e as possíveis zonas de extração de água no perfil do solo da bananeira 'Prata-Anã', sob diferentes sistemas de irrigação em períodos distintos. O experimento teve como delineamento experimental blocos casualizados com parcelas subdivididas, com três repetições, em que os tratamentos constituíram-se de três sistemas de irrigação (gotejamento, microaspersão e aspersão convencional), seis distâncias da planta (0,15; 0,30; 0,45; 0,60; 0,75 e 1 m) e cinco camadas do solo (0,0 – 0,20; 0,20 – 0,40; 0,40- 0,60; 0,60 – 0,80 e 0,80- 1 m). Houve efeito da profundidade do solo e do sistema de irrigação na variável densidade de comprimento de raízes na fase de floração (F1-I), embora o mesmo resultado não tenha se repetido nos períodos subsequentes, em que as densidades de comprimento de raízes não mostraram resultados significativos para os tratamentos testados, com exceção da camada do solo e da distância da planta no perfil do solo avaliado no final do crescimento dos frutos do primeiro ciclo (F2-D). A maior parte das raízes da bananeira foi localizada na camada de 0,10 a 0,50 m. Os valores máximos encontrados para profundidade efetiva foram de 0,74 m, 0,62 m e 0,61 m para os sistemas de irrigação por gotejamento, microaspersão e aspersão convencional, respectivamente. Os valores máximos encontrados para distância efetiva foram de 0,63 m, 0,66 m e 0,79 m para os sistemas de irrigação por gotejamento, microaspersão e aspersão convencional, respectivamente. A bananeira 'Prata-Anã' apresentou acima de 90% do comprimento total de raízes com diâmetro inferior a 2 mm, para todos os sistemas de irrigação avaliados. As raízes de maior diâmetro tenderam a se concentrar a menores distâncias do pseudocaulo da planta, e em profundidades inferiores a 0,40 m da superfície do solo. As zonas com maior densidade do comprimento do sistema radicular compreendem a região de extração de água em todos os sistemas avaliados. As extrações de água total ocorreram com maior intensidade nos primeiros 0,40 m abaixo da superfície do solo.

Palavras-chave: Imagens digitais. Sistema radicular. *Musa* spp.

ABSTRACT

The information of root distribution allows to define areas of soil around the plant suitable for fertilizer application and for sensor placement in order to improve irrigation schedule. The present work had as objective to evaluate root system distribution and possible zones for water extraction from soil profile under banana cv Prata Anã irrigated by different systems in different phenological phases. The experiment followed a random block design in a split split-plot scheme with three replications in which the treatments consisted of three irrigation systems (drip, microsprinkler and conventional sprinkler), six distances from plant (0.15; 0.30; 0.45; 0.60; 0.75 e 1.0 m) and five soil depths (0.0 – 0.20; 0.20 – 0.40; 0.40- 0.60; 0.60 – 0.80 e 0.80- 1 m). Soil depth and irrigation system affected the dependent variable root length density at the flowering phase, although the same result has not repeated at following phases, where root length density has not affected by variation sources, except for the depth and distance from plant at the end of fruit growth phase. Most of banana roots were located at depths 0.10-0.50 m. Maximum values were found for effective depth of 0.74 m, 0.62 m 0.61 m to irrigation systems, drip and micro sprinkler, respectively. Maximum values were found for the effective distance of 0.63 m, 0.66 m 0.79 m to irrigation systems, drip and micro sprinkler, respectively. Banana Prata Dwarf 'showed over 90% of total root length, diameter less than 2 mm for all irrigation systems evaluated. The roots of larger diameters remained closer to the pseudo stem and at depths less than 0.40 m. The zones of larger root length density were located at same zones of water extraction for all irrigation systems. Total water extraction took place with more intensity at the first 0.40 m below soil surface.

Keywords: Digital image. Root system. *Musa* spp.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Vista da área experimental (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano), <i>Campus</i> Guanambi - BA. UFLA, 2011.....	35
Figura 2	Vista dos sistemas de irrigação utilizados no experimento, Guanambi - BA. UFLA, 2011.....	36
Figura 3	Efeito do vento na dilaceração do limbo em dois estádios de desenvolvimento da bananeira ‘Prata-Anã’, na área experimental, Guanambi - BA. UFLA, 2011.....	38
Figura 4	Sequência de fotografias ilustrando a retirada de amostras de raízes no campo, Guanambi - BA. UFLA, 2011.....	40
Figura 5	Fotografias ilustrativas dos detalhes da separação das raízes do solo, da individualização e distribuição das raízes em filmes de transparências, Cruz das Almas - BA. UFLA, 2011.....	41
Figura 6	Vista do sistema de aquisição de dados no campo, Guanambi - BA. UFLA, 2011.....	42
Figura 7	Detalhe da calibração das sondas de TDR com as hastes inseridas completamente no solo após 48 horas de saturação, Cruz das Almas - BA. UFLA, 2011.....	43
Figura 8	Vista da instalação das sondas de TDR, posicionadas na direção longitudinal à linha de plantio, Guanambi - BA. UFLA, 2011.....	45
Figura 9	Vista da instalação das sondas de TDR, posicionadas em um plano bidimensional radial planta, Guanambi - BA. UFLA, 2011.....	46
Figura 10	Isolinhas de densidade de comprimento de raízes no perfil do solo para os sistemas por gotejamento (a), microaspersão (b) e aspersão convencional (c), na fase da floração da bananeira ‘Prata-Anã’, no Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Guanambi - BA. UFLA,2011.....	56
Figura 11	Isolinhas de densidade de comprimento de raízes no perfil do solo para os sistemas por gotejamento (a), microaspersão (b) e aspersão convencional (c), na fase final do primeiro ciclo da bananeira ‘Prata-Anã’, no Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Guanambi - BA. UFLA, 2011.....	61

Figura 12	Isolinhas de densidade de comprimento de raízes no perfil do solo para os sistemas por gotejamento (a), microaspersão (b) e aspersão convencional (c), na fase final do segundo ciclo da bananeira ‘Prata-Anã’, no Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Guanambi - BA. UFLA, 2011.....	66
Figura 13	Disponibilidade de água (%) no perfil do solo, cultivado com bananeira ‘Prata-Anã’ no tempo (J+1), nos sistemas de irrigação por gotejamento (a), microaspersão (b) e aspersão Convencional (c), Guanambi - BA. UFLA, 2011...	76
Figura 14	Disponibilidade de água (%) no perfil do solo, cultivado com bananeira ‘Prata-Anã’ no tempo (J+2), nos sistemas de irrigação por gotejamento (a), microaspersão (b) e aspersão convencional (c), Guanambi - BA. UFLA, 2011.....	77
Figura 15	Valores de extração total de água no solo ($m^3 m^{-3}$), para os sistemas de irrigação por gotejamento (a), microaspersão (b) e aspersão convencional (c), Guanambi - BA. UFLA, 2011.....	78
Figura 16	Distribuição da densidade de comprimento total de raízes e zonas de extração de água no solo, para os sistemas de irrigação por gotejamento (a), microaspersão (b) e aspersão convencional (c), na fase final do segundo ciclo da bananeira. Linhas tracejadas na cor azul equivalem à extração de água no solo, Guanambi – BA. UFLA, 2011.....	84

LISTAS DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Identificação do tempo no qual foram obtidos os dados de determinação de extração de água, Guanambi - BA. UFLA, 2011.....	47
Gráfico 2	Valores da umidade estimada pelo modelo de regressão linear simples em função da umidade gravimétrica para as profundidades 0,2 m (a) e 0,4 m (b). UFLA, 2011.....	50
Gráfico 3	Valores da umidade estimada pelo modelo de regressão linear simples em função da umidade gravimétrica para as profundidades 0,6 m (a) e 0,8 m (b). UFLA, 2011.....	51
Gráfico 4	Equações de regressão para percentagem de comprimento total das raízes, em função da profundidade do solo, na fase da floração da bananeira ‘Prata-Anã’, sob sistema de irrigação por gotejamento (S1), microaspersão (S2) e aspersão convencional (S3), implantado em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Guanambi - BA. UFLA, 2011.....	54
Gráfico 5	Equações de regressão para percentagem de comprimento total das raízes, em função da distância do pseudocaulo, na fase da floração da bananeira ‘Prata-Anã’, sob sistema de irrigação por gotejamento (S1), microaspersão (S2) e aspersão convencional (S3), implantado em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Guanambi - BA. UFLA, 2011.....	55
Gráfico 6	Equações de regressão para percentagem de comprimento total das raízes, em função da profundidade do solo, na fase final do primeiro ciclo da bananeira ‘Prata-Anã’, sob sistema de irrigação por gotejamento (S1), microaspersão (S2) e aspersão convencional (S3), implantado em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Guanambi- BA. UFLA, 2011.....	59
Gráfico 7	Equações de regressão para percentagem de comprimento total das raízes, em função da distância do pseudocaulo, na fase final do primeiro ciclo da bananeira ‘Prata-Anã’, sob sistema de irrigação por gotejamento (S1), microaspersão (S2) e aspersão convencional (S3), implantado em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Guanambi - BA. UFLA, 2011.....	59

Gráfico 8	Equações de regressão para percentagem de comprimento total das raízes, em função da profundidade do solo, na fase final do segundo ciclo da bananeira ‘Prata-Anã’, sob sistema de irrigação por gotejamento (S1), microaspersão (S2) e aspersão convencional (S3), implantado em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Guanambi - BA. UFLA, 2011.....	64
Gráfico 9	Equações de regressão para percentagem de comprimento total das raízes, em função da distância do pseudocaule, na fase final do segundo ciclo da bananeira ‘Prata-Anã’, sob sistema de irrigação por gotejamento (S1), microaspersão (S2) e aspersão convencional (S3), implantado em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Guanambi - BA. UFLA, 2011.....	65
Gráfico 10	Percentagens do comprimento total de raízes de bananeira ‘Prata-Anã’ em função da profundidade, para as diferentes fases, sob o sistema por gotejamento (a), microaspersão (b) e aspersão convencional (c), no Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Guanambi - BA. UFLA, 2011.....	69
Gráfico 11	Percentagens do comprimento total de raízes de bananeira ‘Prata-Anã’ em função da distância, para as diferentes fases, sob o sistema por gotejamento (a), microaspersão (b) e aspersão convencional (c), no Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Guanambi - BA. UFLA, 2011.....	70
Gráfico 12	Percentagem de comprimento de raízes em diferentes classes de diâmetro relativo ao comprimento total de raízes, avaliado na fase final do segundo ciclo da bananeira ‘Prata-Anã’, em três sistemas de irrigação (microaspersão, gotejamento e aspersão convencional), Guanambi - BA. UFLA, 2011.....	72
Gráfico 13	Percentagens de comprimento de raízes de diferentes diâmetros relativo ao comprimento total de raízes de bananeira ‘Prata-Anã’ sob irrigação por gotejamento, tendo a planta na posição (0, 0, 0), Guanambi - BA. UFLA, 2011.....	73

Gráfico 14	Percentagens de comprimento de raízes de diferentes diâmetros relativo ao comprimento total de raízes de bananeira ‘Prata-Anã’ sob irrigação por microaspersão, tendo a planta na posição (0, 0, 0), Guanambi - BA. UFLA, 2011.....	74
Gráfico 15	Percentagens de comprimento de raízes de diferentes diâmetros relativo ao comprimento total de raízes de bananeira ‘Prata-Anã’ sob irrigação por aspersão convencional, tendo a planta na posição (0, 0, 0), Guanambi - BA. UFLA, 2011.....	74
Gráfico 16	Percentagem acumulada de extração de água pelas raízes de bananeira ‘Prata-Anã’, em relação à profundidade do solo, nos sistemas de irrigação por gotejamento, microaspersão e aspersão convencional, Guanambi - BA. UFLA, 2011.....	79
Gráfico 17	Percentagem acumulada de extração de água pelas raízes de bananeira ‘Prata-Anã’, em relação à distância do solo, nos sistemas de irrigação por gotejamento, microaspersão e aspersão convencional, Guanambi - BA. UFLA, 2011.....	80
Gráfico 18	Valores da extração total de água no solo ($m^3 m^{-3}$) em função da disponibilidade de água no perfil do solo (%) na camada de 0 – 0,4 m até 0,4 m de distância do pseudocaule da bananeira ‘Prata-Anã’, para o sistema por gotejamento, Guanambi - BA. UFLA, 2011.....	81
Gráfico 19	Valores da extração total de água no solo ($m^3 m^{-3}$) em função da disponibilidade de água no perfil do solo (%) na camada de 0 – 0,4 m até 0,4 m de distância do pseudocaule da bananeira ‘Prata-Anã’, para o sistema por microaspersão, Guanambi - BA. UFLA, 2011.....	82
Gráfico 20	Valores da extração total de água no solo ($m^3 m^{-3}$) em função da disponibilidade de água no perfil do solo (%) na camada de 0 – 0,4 m até 0,4 m de distância do pseudocaule da bananeira ‘Prata-Anã’, para o sistema por aspersão, Guanambi - BA. UFLA, 2011.....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Características físico-hídricas do solo da área experimental....	33
Tabela 2	Características químicas do solo da área experimental.....	34
Tabela 3	Valores percentuais do coeficiente de uniformidade (CUC) sobre a superfície do solo (lâmina) e abaixo da superfície do solo (umidade) no sistema de irrigação por aspersão convencional. Guanambi – BA, UFLA, 2011.....	38
Tabela 4	Valores percentuais do coeficiente de uniformidade (CUC) sobre a superfície do solo (lâmina) e abaixo da superfície do solo (umidade) no sistema de irrigação por microaspersão. Guanambi – BA, UFLA, 2011.....	38
Tabela 5	Classes de diâmetro das raízes.....	47
Tabela 6	Ajuste do modelo polinomial cúbico para umidade gravimétrica em função da constante dielétrica, nas diferentes profundidades do Latossolo-Vermelho Amarelo Distrófico da área experimental. Guanambi - BA, UFLA, 2011.....	50
Tabela 7	Médias da densidade de comprimento (cm cm^{-3}) de raízes, em função das camadas de solo na fase da floração da bananeira ‘Prata-Anã’, sob diferentes sistemas de irrigação, implantado em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. Guanambi – BA, UFLA, 2011.....	52
Tabela 8	Médias da densidade de comprimento (cm cm^{-3}) de raízes, em função da distância do pseudocaule na fase da floração da bananeira ‘Prata-Anã’, sob diferentes sistemas de irrigação, implantado em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. Guanambi – BA, UFLA, 2011.....	53
Tabela 9	Médias da densidade de comprimento (cm cm^{-3}) de raízes, em função das camadas do solo na fase final do primeiro ciclo da bananeira ‘Prata-Anã’, sob diferentes sistemas de irrigação, implantado em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. Guanambi – BA, UFLA, 2011.....	57
Tabela 10	Médias da densidade de comprimento (cm cm^{-3}) de raízes, em função da distância do pseudocaule na fase final do primeiro ciclo da bananeira ‘Prata-Anã’, sob diferentes sistemas de irrigação, implantado em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. Guanambi – BA, UFLA, 2011.....	58

Tabela 11	Médias da densidade de comprimento (cm cm^{-3}) de raízes, em função das camadas do solo na fase final do segundo ciclo da bananeira 'Prata-Anã', sob diferentes sistemas de irrigação, implantado em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. Guanambi – BA, UFLA, 2011.....	62
Tabela 12	Médias da densidade de comprimento (cm cm^{-3}) de raízes, em função da distância do pseudocaule na fase final do segundo ciclo da bananeira 'Prata-Anã', sob diferentes sistemas de irrigação, implantado em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. Guanambi – BA, UFLA, 2011.....	63
Tabela 13	Médias da densidade de comprimento (cm cm^{-3}) de raízes de bananeira 'Prata-Ana', para distintos períodos, sob diferentes sistemas de irrigação, implantado em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. Guanambi - BA. UFLA, 2011.....	67

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	Cultura da bananeira.....	19
2.2	Sistemas de irrigação em bananeira.....	21
2.3	Distribuição de água no solo sob irrigação.....	23
2.4	Quantificação da distribuição de água no perfil do solo com o uso da sonda de TDR.....	24
2.5	Sistema radicular da bananeira sob irrigação.....	25
2.6	Métodos de estudo do sistema radicular.....	29
2.7	Análise das imagens do sistema radicular.....	31
3	MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1	Localização e caracterização da área experimental.....	33
3.2	Instalação da cultura.....	34
3.3	Delineamento experimental.....	35
3.4	Caracterização dos sistemas na irrigação.....	36
3.5	Amostragem do sistema radicular.....	39
3.6	Processamento do sistema radicular.....	40
3.7	Sistema de aquisição de dados de umidade do solo.....	41
3.7.1	Calibração da sonda de TDR.....	42
3.7.2	Instalação das sondas de TDR em campo.....	45
3.8	Avaliações.....	46
3.8.1	Distribuição de raízes.....	46
3.8.2	Distribuição de água.....	47
4	RESULTADO E DISCUSSÃO	49
4.1	Calibração da sonda de TDR.....	49
4.2	Distribuição do sistema radicular.....	52
4.2.1	Na emissão floral.....	52
4.2.2	Na fase de maturação dos frutos no primeiro ciclo.....	57
4.2.3	No final da fase de maturação dos frutos no segundo ciclo.....	62
4.2.4	Distribuição das raízes nas fases estudadas.....	67
4.3	Avaliação do diâmetro de raiz da bananeira sob diferentes sistemas de irrigação na fase final do segundo ciclo da cultura.....	71
4.4	Distribuição de água no perfil do solo sob diferentes sistemas.....	75
4.5	Interação entre zonas de extração de água e distribuição das raízes no solo.....	80

5	CONCLUSÕES.....	85
	REFERÊNCIAS.....	86

1 INTRODUÇÃO

A informação da distribuição radicular de uma planta permite definir áreas do solo, ao redor dela, mais propícias para aplicação de fertilizantes e para instalação de sensores de umidade e de potencial para melhor manejo da irrigação. O sistema radicular constitui-se não só como meio de fixação da planta ao solo, mas como a principal via de absorção de água e nutrientes, e deve ser considerado no cálculo da quantidade de água necessária para irrigação, por proporcionar um maior embasamento para o uso e manejo racional da prática da irrigação, possibilitando a obtenção de índices de produtividade maiores.

A situação atual dos recursos hídricos aponta para a necessidade cada vez maior de informações que venham proporcionar e assegurar o aumento da produtividade, sem comprometer a vitalidade dos nossos rios e mananciais. No perfil do solo, a água tem diferentes funções, tais como a influência na temperatura e atuação na resistência e penetração das raízes no solo.

A informação da distância e profundidade das zonas de atuação do sistema radicular permite definir a área na superfície do solo onde deve ser feita a adubação, de modo que o fertilizante aplicado seja eficientemente utilizado pela cultura. As raízes mais finas realizam, em maior intensidade, a extração de água e nutrientes pela planta.

No atual estado da arte, nota-se que os estudos sobre as raízes das plantas têm recebido maior importância por parte dos pesquisadores. Entretanto, ainda há um déficit significativo nos estudos referentes ao sistema radicular quando comparado com o avanço das pesquisas relacionadas à parte aérea das plantas, já que as metodologias que envolvem estudo do sistema radicular são geralmente trabalhosas e pouco difundidas.

No que se refere ao manejo de irrigação, a distribuição das raízes em áreas irrigadas, principalmente em regiões semiáridas, podem diferir dos padrões

de distribuição em condições não irrigadas e suas diferentes formas de aplicação de água tendem a promover diferentes distribuições da mesma no solo, contribuindo, dessa forma, para diferentes padrões de distribuições de raízes, que podem variar conforme a idade da cultura. Portanto, é de se esperar que, dependendo do sistema de irrigação utilizado, ocorrerá maior ou menor desenvolvimento das raízes, influenciando, desta forma, no crescimento vegetativo e na produção da bananeira. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a distribuição do sistema radicular e as possíveis zonas de extração de água no perfil do solo da bananeira 'Prata-Anã', sob diferentes sistemas de irrigação em períodos distintos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cultura da bananeira

A bananeira de frutos comestíveis (*Musa* spp.) é uma monocotiledônea da classe Liliopsida, subclasse Liliidae, superordem Lilinae, ordem Zingiberales (Scitamineae), família Musaceae, subfamília Musoideae, gênero *Musa*, seção Eumusa (SILVA; FLORES; LIMA NETO, 2002). É uma Planta tipicamente tropical, exigindo calor constante, elevada umidade relativa (>80%) e precipitações bem distribuídas (100 a 180 mm mês⁻¹) para o seu bom desenvolvimento e produção. A maioria das cultivares de bananeira originou-se no continente asiático, embora existam centros secundários de origem na África Oriental e nas ilhas do Pacífico (SILVA et al., 2006).

O Brasil é o quarto maior produtor de banana do mundo, sendo a banana uma das frutas mais consumida no país (FOD AND AGRICULTURA ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO, 2010), com uma produção para o ano de 2010 de aproximadamente 7,35 milhões de toneladas, em uma área cultivada de 531.904 mil hectares (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2010). A região Nordeste destaca-se como responsável pela maior produção com 2,99 milhões de toneladas, ocupando uma área de 241.467 ha, correspondente a 40,6% da produção total do país, seguida pelo Sudeste, com 30,4% da produção. Apesar da maior produção, a produtividade média da região nordeste, 12,36 Mg. ha⁻¹, é baixa, enquanto as regiões sudeste e sul apresentam rendimentos médios de 16,05 Mg. ha⁻¹ e 19,08 Mg. ha⁻¹, respectivamente (IBGE, 2010).

No Brasil a banana, constitui parte da alimentação das diversas camadas da população brasileira, como sobremesa e também como uma fonte alimentar

(CAMPOS; VALENTE; PEREIRA, 2003), além de assumir um importante papel na fixação da mão-de-obra rural.

As exportações brasileiras são irrisórias quando comparadas com outros países produtores, como o Equador. O baixo volume de exportação está diretamente relacionado com a grande população do país e o elevado consumo *per capita* e também a falta de técnicas adequadas para o cultivo (LESSA et al., 2010; SILVA; FLORES; LIMA NETO, 2002).

Essa frutífera, por ser um vegetal essencialmente de trópico úmido, pode ser cultivada em todas as zonas agroecológicas localizadas entre 30° de latitude Norte e Sul, onde as temperaturas se situam entre os limites de 10°C e 40°C, sendo a temperatura ótima em torno de 28°(CAYÓN SALINAS, 2004). A bananeira apresenta comportamento botânico e fisiológico diferente para as diferentes altitudes. Segundo Melo et al. (2009) a temperatura e a altitude estão diretamente correlacionadas ao seu crescimento devido exercerem efeito direto sobre a velocidade da maioria dos processos metabólicos, influenciando no ciclo vegetativo, nas atividades fotossintética e respiratória.

A bananeira é uma planta exigente em água e sua produtividade tende a aumentar linearmente com a transpiração (COELHO et al., 2001), sendo sensível tanto ao excesso como ao déficit de água no solo (JAIMEZ et al., 2005; MELO et al., 2009). Segundo Ribeiro et al. (2009), não suporta inundações que durem mais que três dias, nem tampouco déficit hídrico. A região semiárida da Bahia, atualmente, apresenta sérias limitações para o cultivo da bananeira, devido à pequena precipitação anual.

Segundo Rego et al. (2004), o déficit hídrico provoca o fechamento dos estômatos, diminui a assimilação de CO₂ e, conseqüentemente, diminui as atividades fisiológicas das plantas, principalmente a divisão e o crescimento das células no período da fase inicial de crescimento vegetativo. Por outro lado, o excesso hídrico tem como principal consequência a diminuição da concentração

de oxigênio, o que dificulta a respiração radicular e acarreta outros problemas, como: parada do processo ativo de absorção de nutrientes (o qual depende da respiração) e ocorrência de respiração anaeróbia pela planta e pelos microrganismos do solo, causando acúmulo de substâncias tóxicas como metano, etileno e gás sulfídrico.

A água em excesso ou em deficiência pode levar a prejuízos econômicos relevantes. Quando aplicada em excesso, além da sua perda, pode ocorrer o carreamento de nutrientes para zonas do solo não-exploradas pelas raízes, reduzindo a produtividade. A aplicação deficiente nos períodos críticos pode provocar redução na produtividade e riscos de concentração de sais no solo nas zonas onde as raízes ativas se concentram. O volume aplicado de água deve completar as precipitações insuficientes, otimizando a umidade do solo, e evitar perdas vegetativas e produtivas da cultura sem alterar as propriedades físico-químicas do solo.

2.2 Sistemas de irrigação em bananeira

Na agricultura atual um dos desafios é o aumento da produtividade, sem comprometer a vitalidade dos nossos rios e mananciais, mantendo a competitividade associada à preservação do meio ambiente. A irrigação é responsável por cerca de 60% da água total consumida, conforme Christofidis (2006).

Na bananeira, o fechamento dos estômatos ocorre muito antes do esgotamento da água disponível na profundidade do solo em que o sistema radicular se encontra (RAMOS, 2001). Segundo Thorne (1979), 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.

Segundo Coelho, Silva e Miranda (2010), a eficiência do uso da água em irrigação está diretamente relacionada ao seu manejo aplicado à cultura e que, por sua vez, depende de variáveis do sistema de irrigação e do sistema solo-água-planta.

A produção comercial de banana em regiões com baixas precipitações anuais só é possível com o uso da irrigação. Na bananicultura são utilizados os métodos de irrigação localizada, por superfície e por aspersão. Os acréscimos em produtividade devido ao uso da irrigação só serão atingidos em sua totalidade quando o sistema empregado na cultura for utilizado com critérios de manejo que promovam a aplicação da água de acordo com a necessidade da cultura, considerando os diferentes estádios da planta.

A irrigação por aspersão tem como finalidade promover uma precipitação sobre uma determinada área circular, necessitando de sobreposição dos jatos dos aspersores, para aumento da uniformidade da aplicação de água sobre o solo. A irrigação localizada realiza uma aplicação de água pontual, em uma pequena área, diretamente na região radicular, mantendo os teores de água no solo próximo à capacidade de campo. Neste método, além do aumento da eficiência da aplicação de água, podem-se aplicar fertilizantes via água com baixos custos operacionais e de manutenção.

Na irrigação por superfície, particularmente na irrigação por sulco, o mínimo aceitável da eficiência de aplicação é de 60% (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2005). Entretanto, este método de irrigação, quando praticado de forma adequada, pode alcançar “Ea - eficiência de aplicação” maiores que 80% (HOWELL, 2001). Exemplo disto, são os resultados alcançados por Horst et al. (2007), que fizeram uso da técnica “*surge-flow*” na irrigação por sulco e observaram valores de eficiência de aplicação de água próximos a 85%.

Na irrigação por aspersão, fatores como perda de água por evaporação e por arrastamento do vento exercem forte influência sobre a uniformidade de

aplicação de água (PLAYÁN et al., 2005), o que faz com que, a depender das condições a que esteja submetida, o projeto a “Ea” varie de 70 a 90%. Porém, quando um projeto de irrigação por aspersão se encontra devidamente dimensionado e manejado, pode-se verificar alta uniformidade de distribuição de água, com eficiência de aplicação chegando a valores próximos de 90% (HOWELL, 2001).

Os métodos localizados são normalmente apresentados na literatura como os que apresentam maior potencial de uso eficiente da água. Contudo, a “Ea” destes métodos pode variar em função de uma variedade de causas, em particular a configuração destes sistemas no campo, o que faz a Ea destes sistemas variarem de 70 a 95% (HOWELL, 2001).

2.3 Distribuição de água no solo sob irrigação

A água é fator fundamental à produtividade das culturas e seu fluxo do solo para a planta é determinado, basicamente, pela demanda evaporativa da atmosfera. Segundo Bernardo, Soares e Mantovani (2005), a água disponível para as plantas é aproximadamente a diferença entre o conteúdo volumétrico de água na capacidade de campo e o conteúdo da mesma no ponto de murcha permanente. Ainda, segundo o mesmo autor, esse conceito é muito útil, mas deve-se lembrar que o seu valor depende do tipo de solo e que diferentes plantas são capazes de extrair água até diferentes limites.

Coelho et al. (2008) citam que em condições sem irrigação, ou considerando irrigação por aspersão convencional, pivô central ou linear, há predominância de infiltração vertical de água no solo, com certa uniformidade na distribuição espacial nas direções X e Y de um plano tridimensional, uma vez que a água da chuva umedece todo o solo indistintamente, com variação

predominante em profundidade. Por outro lado, na irrigação localizada a infiltração e distribuição de água no solo ocorre de forma multidirecional.

Em uma região semiárida, Nogueira, Coelho e Leão (2000) fizeram comparações entre os bulbos molhados originados da ação de gotejadores localizados na superfície do solo e enterrados, num solo Podzólico Vermelho-Amarelo, sob uma vazão de $2,6 \text{ Lh}^{-1}$. Observaram que a disponibilidade de água (entre 29 a 44%) foi maior no caso do emissor enterrado. A este respeito, Assouline (2002) indica que sob irrigação por gotejamento a zona de encharcamento que se desenvolve em torno do emissor é fortemente afetada pela taxa de aplicação e pelas propriedades do solo. O padrão de molhamento durante a aplicação de água geralmente consiste de duas regiões: (i) região saturada perto do emissor e (ii) região onde o conteúdo de água diminui em direção à frente de molhamento.

2.4 Quantificação da distribuição de água no perfil do solo com o uso da sonda de TDR

Há várias técnicas utilizadas para quantificar o teor de água no solo, entre elas a reflectometria no domínio do tempo (TDR), que tem sido empregada como uma tecnologia confiável para a medição do teor de água volumétrico (θ) em solos, por apresentar características desejáveis. Ferreira (2004) comenta que a adaptação da técnica TDR para medição de umidade foi apresentada por Topp, Davis e Annan (1980), em que a medida do tempo de percurso de uma onda eletromagnética foi relacionada com a umidade do solo (θ , $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$). Segundo Topp, Davis e Annan (1980), o tempo transcorrido $T(\text{s})$ e o retorno do pulso ressonante ao longo da sonda de TDR de comprimento L (m) é representando por:

$$k = \left(\frac{C.T.}{2.L} \right)^2 \quad (1)$$

em que,

C - velocidade da luz no espaço livre ($3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$),

k - constante dielétrica relativa do meio.

Para utilização do equipamento há a necessidade de calibrá-lo para que se obtenham valores acurados, devendo-se sempre respeitar as peculiaridades de cada solo para que o processo de calibração ocorra de forma correta (VILLWOCK; TAVARES; VILAS BOAS, 2004).

Noborio, McLennes e Heilman (1996) determinaram a variação temporal e espacial do volume umedecido e da infiltração acumulada no solo, utilizando sondas curtas, com comprimento ≤ 30 cm, inseridas verticalmente em colunas de solo.

Souza, Matsura e Testezlaf (2001) recomendam a utilização da técnica de TDR para a determinação das dimensões do bulbo molhado e no monitoramento da frente de molhamento da infiltração da água oriunda de um gotejador.

Lacerda et al. (2005) avaliaram o desempenho da TDR TRIME-FM na determinação do conteúdo de água do solo comparando sua performance com a tensiometria. Os autores concluíram que a TDR subestimou o conteúdo de água do solo, encontrando-se um desvio percentual médio da ordem de 24,3%, e que a diferença entre os métodos cresceu com o aumento da profundidade do solo. Os autores ainda comentaram que os resultados obtidos mostram a necessidade de calibração deste equipamento antes de ser utilizado no campo, o que evidenciou que a equação universal de Topp, Davis Annan (1980) não se ajusta ao tipo de solo utilizado no estudo.

2.5 Sistema radicular da bananeira sob irrigação

O conhecimento da distribuição das raízes no perfil do solo é de extrema importância para a condução da lavoura de forma eficiente. Essa informação associada ao conhecimento dos fatores edafoclimáticos é essencial para realização de várias práticas como adubações, monitoramento da irrigação, cultivos intercalares, densidade de plantio e aplicação de fertilizante via água de irrigação, possibilitando, assim, obtenção de índices de produtividade maiores.

O sistema radicular da bananeira segue o arranjo global das outras monocotiledôneas e tem sua origem logo abaixo do córtex do rizoma. 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 variável. 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 nutrientes (RAMOS, 2001). As raízes são produzidas de forma contínua até o florescimento (CARR, 2009). A partir da floração, o desenvolvimento da bananeira dependerá basicamente das reservas nutritivas acumuladas pelo rizoma na fase anterior (LAVIGNE, 1987) e da contribuição do sistema radicular da planta-filha para a planta-mãe (CAVALCANTE; SAMPAIO; CAVALCANTE, 2005).

Uma raiz pode ter várias ramificações. Segundo Lecompte e Pages' (2007), as raízes grossas alongam mais rápido que as mais finas. Lecompte, Pages' e Ozier-Lafontaine (2005) trabalharam com padrões de variabilidade no diâmetro de raízes laterais no sistema radicular de bananeira e constataram que os diâmetros de raízes variam entre 0,09 e 0,52 mm para raízes secundárias e entre 0,06 e 0,27 mm para as raízes terciárias. O diâmetro médio das raízes laterais aumentou com a distância da base da raiz e diminuiu com a densidade de

ramificação. Embora o crescimento da raiz primária tenha sido afetado pela compactação do solo, nenhum efeito sobre o diâmetro das raízes laterais foi observado. Borges et al. (2008), avaliando a distribuição do sistema radicular da bananeira 'Prata-Anã' antes da colheita do 2º ciclo, observaram predominância das raízes de diâmetro acima 0,2 mm, tanto nas camadas superficiais (0 a 0,20 m de profundidade) quanto entre a planta e o microaspersor.

Relacionar os rendimentos das culturas com a arquitetura do sistema radicular é um tema que vem ganhando cada vez mais atenção. No perfil do solo, nutrientes e água não são igualmente distribuídos. Assim, o rendimento é influenciado pela capacidade do sistema radicular para absorção de água e nutrientes do maior volume possível do solo (LYNCH; BROWN, 2001; LEHMANN, 2003). Por outro lado, o desenvolvimento do sistema radicular é determinado pelas características das espécies de plantas e fatores ambientais, tais como o clima e as características físicas, químicas e biológicas do solo (LEHMANN, 2003).

Em relação à irrigação, informações sobre a distância e profundidade efetiva das raízes são importantes, uma vez que uma estimativa errada da profundidade do sistema radicular pode levar a déficit ou a excesso do valor da lâmina de irrigação. De acordo com Coelho et al. (2002), para a irrigação localizada ou microirrigação, tal como a microaspersão, apenas o conhecimento da profundidade efetiva do sistema radicular não é suficiente para inferir sobre as zonas de absorção de água e nutrientes, uma vez que a geometria de distribuição de água é de caráter multidirecional e difere do caráter unidirecional da irrigação por aspersão.

Na irrigação de áreas áridas e semiáridas por gotejamento ocorrem significativas concentrações de raízes na zona molhada (RUIZ-SANCHEZ et al., 2005). Nielsen et al. (2000), comparando a distribuição das raízes em macieiras com 7 anos, utilizando dois sistemas de irrigação, observaram que as árvores

com irrigação por aspersão caracterizaram-se por sistema radicular superficial e que tiveram uma distribuição mais uniforme que as árvores com irrigação por gotejamento. A irrigação por gotejamento resultou em significativa concentração de raízes abaixo do emissor, à profundidade de 40 cm.

Coelho et al. (2002), avaliando distribuição de raízes de laranjeiras sob condições não-irrigada e irrigada, verificaram que o sistema radicular sob irrigação por microaspersão apresentou maior expansão, tanto em profundidade como em distância radial do tronco, comparado ao sistema radicular das plantas sem irrigação. Houve maior porcentagem de raízes finas nos perfis de solo sob microaspersão em relação à condição não irrigada, indicando a possibilidade de maior atividade do sistema radicular nesse sistema de irrigação.

A bananeira, em geral, tem o desenvolvimento radicular pouco profundo. Carr (2009), através de resultados de pesquisa sobre as relações hídricas e necessidade de irrigação de bananeira, que foram reunidos e sintetizados em uma tentativa de vincular os estudos fundamentais sobre a fisiologia das plantas às práticas de irrigação, relata que embora as raízes possam se estender até profundidades de 1,0-1,5 m, a profundidade "eficaz" de enraizamento é normalmente considerado como sendo 0-0,40 m, às vezes estendendo-se até 0,60 m. Bassoi et al. (2004), pesquisando a distribuição e a atividade radicular da bananeira 'Pacovan' (grupo AAB, subgrupo Prata) sob irrigação por microaspersão em um solo de textura média e com plantas espaçadas em 3 x 3 m, verificaram que a profundidade efetiva das raízes foi de 0,4 m até os 91 dias após o plantio (dap), aumentando para 0,6 m aos 370; 510 e 903 dap. Lacerda Filho et al. (2004), avaliando a densidade do sistema radicular da bananeira 'Pacovan' sob irrigação por aspersão, concluíram que ocorreu redução na densidade de comprimento de raízes da bananeira em função da profundidade do solo. Enquanto em relação à distância do pseudocaule da bananeira, a densidade de comprimento de raízes não mostrou resultados

significativos, sendo que a maior e a menor concentração das raízes, com relação à massa fresca e à densidade de comprimento, foi de 40,9% e 36,7% e de 4,6% e 10,0%, respectivamente, nas camadas do solo de 0-0,15 m e 0,45-0,60 m. A massa fresca e a densidade dos comprimentos avaliados entre 30 e 90 cm de distância do pseudocaule não variaram. Coelho, Silva e Miranda (2010), estudando as zonas efetivas de comprimento de raízes e de extração de água, utilizando três diferentes sistemas de irrigação localizada por gotejamento, constataram que a bananeira em fase de produção e irrigada por um sistema que utiliza dois emissores de 4 L h^{-1} por planta, apresentou o valor da profundidade efetiva de raízes (PER) de 0,50 m, e a distância efetiva de raízes (DER) de 0,55 m. Nas plantas irrigadas por um sistema que utiliza quatro emissores de 4 L h^{-1} por planta obtiveram-se a (PER) de 0,60 m e a distância efetiva das raízes “DER” de 0,70 m. Naquelas plantas de bananeira, submetidas a um sistema de irrigação contendo emissores de 4 L h^{-1} , distribuídos em faixa contínua na linha de irrigação, encontrou-se a profundidade efetiva das raízes (PER) de 0,35 m e a DER de 0,7 m.

2.6 Métodos de estudo do sistema radicular

A análise do sistema radicular pode ser realizada por métodos diretos e indiretos. Nos métodos diretos a amostragem do sistema radicular é feita com base em observações das raízes *in situ* ou com retiradas de amostras para posterior análise em laboratório. Os métodos indiretos usam os princípios de determinação das mudanças da umidade ou dos níveis de nutrientes no solo, que ocorrem devido à distribuição das raízes ou pelo uso de traçadores, radioativos ou não, que são aplicados para serem absorvidos pelas raízes ou caule (COELHO et al., 2008).

Um dos problemas para o estudo do sistema radicular ainda é de natureza prática, já que as metodologias que envolvem estudo de raízes de plantas são geralmente trabalhosas e pouco difundidas. Segundo Brasil et al. (2002), tradicionalmente, as técnicas destrutivas de solos+raíz, mediante uso do trado, monólito, escavação do sistema radicular e abertura de trincheiras, têm sido as mais utilizadas na investigação da morfologia radicular.

O método do trado (manual ou mecânico) consiste na extração de amostras com cilindros metálicos de volume conhecido, com ajuda de um trado operado manualmente, ou com uso de amostradores, sem a necessidade de aberturas de trincheiras. O método permite amostragem rápida sem grandes danos às plantas. Em culturas arbóreas existe a dificuldade de cortar as raízes espessas. Após coletadas, as raízes são separadas do solo por meio de lavagem e posterior quantificação (BOHM, 1979). Uma variação desse método é o uso do cilindro amostrador, que consiste de um cilindro de aço, com diâmetro entre 70 e 100 mm, com uma ranhura de largura suficiente para inserção de uma espátula para retirada da amostra de dentro do cilindro (COELHO et al., 2008). Esse método é o mais apropriado em termos de facilidade de execução, possibilitando a coleta de amostra radicular de forma rápida, sem causar grandes prejuízos à cultura.

O método do monólito, em contraste com o da escavação, permite uma análise quantitativa do sistema radicular e consiste na retirada de amostras de solo diretamente no perfil. As raízes são separadas do solo através de lavagem com água e coletadas em peneiras, sendo determinada a massa e/ou o comprimento das raízes, podendo ser coletados com simples ferramentas, como espátulas e pás (BOHM, 1979).

O método da escavação possibilita uma clara visualização de todo ou parte do sistema radicular em sua ocorrência natural. Entretanto, requer muito trabalho físico e demanda bastante tempo (BOHM, 1979).

O método do perfil permite analisar em conjunto o sistema radicular e o perfil do solo, através da 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. Nesse método há possibilidade de se fazer mais de uma repetição em uma mesma trincheira, porém o mesmo fornece apenas uma análise qualitativa das raízes e expõe apenas parte do sistema radicular (BOHM, 1979).

O método da parede ou tubo de vidro (RHIZOTROM) permite um estudo contínuo das raízes de uma ou mais plantas, durante todo o ciclo e por muitos anos. Apesar de este método possibilitar o acompanhamento da decomposição das raízes, sendo o mais adequado para se conhecer a fenologia das raízes das plantas, apresenta certas limitações como alto custo de implantação, além da dificuldade na visualização, em razão da presença de algas e fungos (BOHM, 1979).

Ferreira (2004) relata que o estudo da distribuição radicular auxiliada pela análise de imagens digitais oferece um número significativo de oportunidades de tratamento e análise. Fante Júnior et al. (1994) citam que 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, entretanto, quando comparada com os métodos anteriores, essa amostragem não é das mais complicadas.

2.7 Análise das imagens do sistema radicular

Os sistemas de análise das imagens fornecem uma rápida determinação de parâmetros morfológicos de raízes diversas. Geralmente, um procedimento de teste específico deve ser realizado no início de cada processo de medição (HIMMELBAUER; LOISKANDL, KASTANEK, 2004). Softwares capazes de

medir diâmetros de raízes, a partir de imagens digitais, têm sido amplamente utilizados para medir o comprimento da raiz, mas pouco se sabe da sua eficácia em medições de diâmetro (ZOBEL, 2003).

Himmelbauer, Loiskandl e Kastanek (2004) estudaram o desempenho de dois programas de análise de imagens, utilizando algoritmos de medição diferentes: um WinRhizo pacote comercial e outro ROOTEDGE programa gratuito. Esses autores concluíram que os programas apresentaram valores próximos na estimativa do comprimento radicular, e diferiram pouco na medida do diâmetro. Kaspar e Ewing (1997) desenvolveram o software ROOTEDGE, programa capaz de estimar o comprimento da raiz a partir de imagens do scanner de mesa, e verificaram que esse software estimou o comprimento das raízes de milho com uma variação de 0,98-0,88 para índices das medições de comprimento de raízes comparado a medição manual do comprimento das raízes de milho testadas.

Existem vários aplicativos computacionais usados nas análises de raízes. Dentre eles os SIARCS (Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo), GSRoot, além de outros (COELHO et al., 2008), possibilitando desta forma maior precisão na estimativa de dados referentes ao sistema radicular.

O comprimento da raiz e a distribuição de diâmetro são características importantes a serem consideradas na descrição e comparação dos sistemas radiculares, embora os protocolos de digitalização variem amplamente entre os laboratórios (BOUMA; NIELSEN, KOUTSTAAL, 2000). Por isso é de suma importância que em estudos que envolvam o sistema radicular haja uma boa descrição dos procedimentos adotados.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área experimental

O presente estudo foi conduzido no campo experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, *Campus* Guanambi, Município de Guanambi, BA, região sudoeste da Bahia. Situa-se a 108 km da margem direita do Rio São Francisco e a 90 km da divisa Minas-Bahia com latitude 14°13'30"S, longitude de 42°46'53"W e altitude de 525 m. O clima é considerado como semiárido, fase caatinga hipoxerófila, relevo plano a suave ondulado, com precipitação média anual de 663,69 mm, temperatura média anual de 26°C e umidade relativa média anual do ar de 64%. O solo da área é um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, com horizonte A fraco, textura média (DONATO et al., 2010; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2006).

As características físico-hídricas do solo encontram-se na Tabela 1 e sua caracterização química, antes da implantação da cultura, é apresentada na Tabela 2.

Tabela 1 Características físico-hídricas do solo da área experimental

Características	Camadas do solo (m)		
	0 - 0,20	0,20 – 0,40	0,40 – 0,60
Areia (g kg ⁻¹)	675	662,5	-
Silte (g kg ⁻¹)	75	88,3	-
Argila (g kg ⁻¹)	250	249,2	-
Densidade do solo (Mg m ⁻³)	1,66	1,75	-
Retenção de água -10 kPa (m ³ m ⁻³)	0,2102	0,2308	0,2325
Retenção de água -1500 kPa (m ³ m ⁻³)	0,1340	0,1325	0,1125

Tabela 2 Características químicas do solo da área experimental

Características	Camadas do solo (m)	
	0 – 0,20	0,20 – 0,40
pH em água	7,20	6,95
Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	7,0	1,5
P (mg dm ⁻³)	91,30	26,10
K (mg dm ⁻³)	193,50	183,50
Na (cmolc dm ⁻³)	0,20	0,20
Ca (cmolc dm ⁻³)	3,40	2,20
Mg (cmolc dm ⁻³)	1,25	1,00
Al (cmolc dm ⁻³)	0,00	0,00
H + Al (cmolc dm ⁻³)	0,95	0,95
SB (cmolc dm ⁻³)	5,35	3,90
t (cmolc dm ⁻³)	5,35	3,90
T (cmolc dm ⁻³)	6,25	4,75
V (%)	85,50	81,00
B (mg dm ⁻³)	0,55	0,55
Cu (mg dm ⁻³)	0,70	0,30
Fe (mg dm ⁻³)	16,15	14,65
Mn (mg dm ⁻³)	36,30	16,45
Zn (mg dm ⁻³)	5,25	1,20
Prem (mg L ⁻¹)	12,00	9,30
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	1,20	1,15

3.2 Instalação da cultura

Antes da implantação do pomar, o solo foi cultivado com olerícolas durante seis anos consecutivos, com adição de adubos orgânicos. A frutífera estudada foi a bananeira (*Musa* spp.), cultivar Prata-Anã, plantada em fileiras simples no espaçamento de 3,0 x 2,5 m (Figura 1). As mudas micropropagadas foram cedidas pela Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. A implantação e os tratos culturais seguiram as recomendações para a cultura, conforme Rodrigues et al. (2008).



Figura 1 Vista da área experimental (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano), *Campus* Guanambi - BA. UFLA, 2011

Na cova de plantio, foram feitas adubações química – P e N na forma de fosfato monoamônio, 50 g por cova de P_2O_5 e 10 g de N, e micronutrientes na forma de FTE, 30 g por cova e orgânica com 18L de esterco de bovino por cova, correspondente a 6,84 kg por cova. A cada dois meses, foram realizadas adubações orgânicas em cobertura, num total de seis aplicações, na dose final de 6,84 kg por família, também com esterco bovino. As adubações minerais em cobertura foram constituídas por 6, 6 e 20 g de N, respectivamente aos 30, 60 e 90 dias após o plantio, com sulfato de amônio; 13 e 44 g de N e K_2O , respectivamente, com nitrato de potássio; e 25 g de Mg, com sulfato de magnésio.

3.3 Delineamento experimental

O experimento foi montado num delineamento experimental em blocos casualizados em esquema de parcelas subsubdivididas, com três repetições. As parcelas constituíram-se de três sistemas de irrigação (gotejamento, microaspersão e aspersão convencional), as subparcelas consistiram de seis distâncias da planta (0,15; 0,30; 0,45; 0,60; 0,75 e 1,00 m) e as subsubparcelas de cinco camadas do solo (0,0 – 0,20; 0,20 – 0,40; 0,40- 0,60; 0,60 – 0,80 e 0,80- 1,00 m).

3.4 Caracterização dos sistemas de irrigação

Nesse trabalho foi utilizado sistema de irrigação por gotejamento em faixa contínua com uma linha lateral por fileira de plantas, com emissores sobrelinha modelo Katif (Plastro Brasil Sistemas de Irrigação, Uberlândia, Brasil), com vazão de 4 L/h, e espaçamento entre laterais de 3,00 m e entre emissores de 0,30 m (Figura 2a). Na microaspersão foram usados emissores de modelo autocompensante (Netafim Israel, Kibutz Hatzerim, Israel) com a vazão de 70 L/h, cobrindo um raio de molhamento de 3,00 m, com bocal de 1,33 mm, espaçados de 6,00 m entre linhas laterais e 5,00 m entre microaspersores (Figura 2b). No sistema por aspersão convencional (irrigação em subcopa) foram usados aspersores setoriais Naandan, modelo 427 1/2" (NaanDan Indústria e Comércio de Equipamentos para Irrigação Ltda., Leme, Brasil) macho, com vazão 1.500 L/h, com bocal de 3,2 mm, no espaçamento de 12,00 m entre linhas laterais e 12,00 m entre aspersores (Figura 2c).

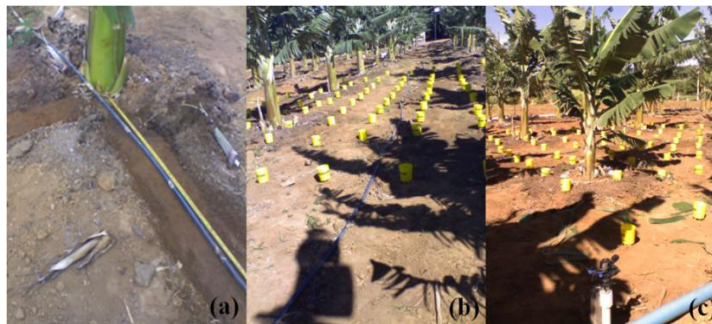


Figura 2 Vista dos sistemas de irrigação utilizados no experimento, Guanambi - BA. UFLA, 2011

A fonte de água utilizada foi a de poço tubular, classificada como C3S1 – água com alta salinidade e baixa concentração de sódio. A análise química da água apresentou pH 6,6; condutividade elétrica de 0,82 dS m⁻¹ e concentrações,

em mg.L^{-1} , de: Ca^{2+} , 3,53; Mg^{2+} , 2,23; K^+ , 0,15; Na^+ , 3,48; Cl^- , 5,20; CO_3^{2-} , 0; HCO_3^- , 4,00.

No manejo da irrigação dos diferentes sistemas adotou-se a lâmina de 5,04 mm por dia, em média. As irrigações foram realizadas com base na evapotranspiração de referência (ET_o), calculada pelo método de Penman-Monteith, a partir de dados diários de uma estação meteorológica, instalada no local do experimento, tendo-se o coeficiente de cultivo para determinação da ET_c definido conforme Doorembos e Pruitt (1977).

A caracterização da uniformidade de distribuição de água pelos sistemas de irrigação foi feita por meio de testes de uniformidade durante o crescimento da cultura, para os sistemas por microaspersão e por aspersão convencional, em que se avaliou a uniformidade de distribuição de água sobre a superfície do solo e na camada de 0,0 - 0,10 m abaixo da superfície do mesmo (Tabela 3 e 4). Os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CHRISTIANSEN, 1942) avaliados foram baixos, devido à presença de ventos fortes na região, que predominam durante boa parte do ano. Durante os meses de maio a setembro de 2009 foram registrados, na área experimental a partir de uma estação meteorológica automática, velocidade de vento com picos na ordem de 60 a 75 km h^{-1} , responsável pela dilaceração do limbo da bananeira 'Prata-Anã' (Figura 3).

Tabela 3 Valores percentuais do coeficiente de uniformidade (CUC) sobre a superfície do solo (lâmina) e abaixo da superfície do solo (umidade) no sistema de irrigação por aspersão convencional. Guanambi – BA, UFLA, 2011

Dias após o plantio	Lâmina	Umidade
	CUC(%)	CUC(%)
140	52,7	79,90
192	55,72	79,43

Tabela 4 Valores percentuais do coeficiente de uniformidade (CUC) sobre a superfície do solo (lâmina) e abaixo da superfície do solo (umidade) no sistema de irrigação por microaspersão. Guanambi – BA, UFLA, 2011

Dias após o plantio	Lâmina	Umidade
	CUC(%)	CUC(%)
143	57,91	77,74
192	58,27	75,79



Figura 3 Efeito do vento na dilaceração do limbo em dois estádios de desenvolvimento da bananeira ‘Prata-Anã’, na área experimental, Guanambi - BA. UFLA, 2011

3.5 Amostragem do sistema radicular

As amostragens das raízes foram feitas em três plantas, com tamanhos similares, para cada sistema de irrigação, em três períodos distintos (no início da floração do primeiro ciclo (F1-I), no final do crescimento dos frutos do primeiro ciclo (F2-I) e no final do crescimento dos frutos do segundo ciclo (F3-II)). As plantas amostradas representavam o desenvolvimento médio do tratamento. A coleta das amostras de raízes no campo foi realizada com uso de uma variação do método do trado, conforme Coelho et al. (2008), através de um cilindro de aço galvanizado com 0,10 m de diâmetro e 1,20 m de comprimento, em que a inserção do cilindro foi feita a cada 0,10 m sendo retirado com o auxílio de um macaco mecânico. As amostras foram retiradas em seis distâncias da planta (0,15; 0,30; 0,45; 0,60; 0,75 e 1 m) até a profundidade de 1 m, sendo as posições de amostragem definidas pela região de maior umidade, para efeito de comparação entre os sistemas. No sistema por gotejamento foram realizadas a partir do pseudocaule da planta, na direção da fileira de plantas, seguindo a linha do gotejo. No sistema por microaspersão as amostragens foram tomadas a partir do pseudocaule da planta em direção ao microaspersor. A coleta da aspersão convencional foi feita na direção da fileira e na direção ortogonal à direção da fileira de plantas (Figura 4).



Figura 4 Sequência de fotografias ilustrando a retirada de amostras de raízes no campo, Guanambi - BA. UFLA, 2011

3.6 Processamento do sistema radicular

As amostras coletadas foram conduzidas ao laboratório de Irrigação e Fertirrigação da Embrapa Mandioca e Fruticultura tropical, onde as raízes foram separadas do solo por dispersão com água corrente, em um sistema de peneira com malha de 0,5 mm. Em seguida, as raízes foram individualizadas e distribuídas em filmes de transparências (Figura 5). Posteriormente foram levadas a um “Scanner” de resolução de 600 dpi, escala 100% (COELHO et al., 1999; KASPAR; EWING, 1997), e as imagens digitalizadas em arquivos TIFF (Tagged Image File Format). Logo depois, os arquivos TIFF foram descompactados e submetidos ao software Rootedge (KASPAR; EWING, 1997) para a determinação das características geométricas: área, comprimento e diâmetro das raízes.



Figura 5 Fotografias ilustrativas dos detalhes da separação das raízes do solo, da individualização e distribuição das raízes em filmes de transparências, Cruz das Almas - BA. UFLA, 2011

Os dados de comprimento de raízes possibilitaram a determinação da densidade de comprimento de raízes (DCR), conforme a equação 2.

$$DCR = \frac{L_r}{V_r} \quad (2)$$

em que,

DCR - densidade de comprimento de raízes (cm cm^{-3}),

L_r - comprimento de raízes (cm), e

V_r - volume da amostra (cm^3).

3.7 Sistema de aquisição de dados de umidade do solo

O sistema de aquisição de dados composto por uma TDR, um datalogger, seis multiplexadores e uma bateria de 12 volts, possibilitou leituras de 16 posições (nas distâncias do pseudocaule da planta de 0,20 m,

0,40 m, 0,60 m e 0,80 m, e nas profundidades de 0,20 m, 0,40 m, 0,60 m e 0,80 m) no perfil do solo e nos três sistemas de irrigação, simultaneamente. As sondas de TDR (guias de onda) foram construídas para atender ao equipamento de TDR 100, da Campbell Scientific, e foram acopladas a um conjunto de multiplexadores de leituras do tipo SMDX, da mesma empresa (Figura 6).



Figura 6 Vista do sistema de aquisição de dados no campo, Guanambi – BA. UFLA, 2011

3.7.1 Calibração da sonda de TDR

As sondas de TDR foram confeccionadas artesanalmente, necessitando de uma calibração, através da relação entre as leituras de constante dielétrica aparente e a umidade do solo, θ ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$). As sondas de TDR utilizadas foram construídas no Laboratório de Irrigação e Fertirrigação da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, com três hastes de 0,003 m de diâmetro e 0,10 m de comprimento efetivo, fora da resina, espaçadas de 0,017 m com cabos coaxiais de 50 ohms e isoladas com resina epóxi no início das hastes de espessura 0,04 m (Figura 7).

Neste trabalho foram utilizadas amostras de solo indeformadas, retiradas a 0,2, 0,4, 0,6 e 0,8 m de profundidade na área experimental, sendo três repetições em cada profundidade, totalizando 12 amostras. Essas amostras foram retiradas com tubo de PVC de 0,15 m de comprimento por 0,110 m de diâmetro nominal, identificados e previamente pesados, com uma das extremidades em bisel, que foram introduzidos no solo nas profundidades especificadas. Concluída a retirada, as amostras tiveram uma das extremidades revestidas por tela de nylon e papel filtro, com a função de permitir apenas a passagem da água para o exterior do tubo. Logo após, saturou-se o solo no interior do tubo por 48 horas, nos quais foram inseridas as guias de onda identificadas e previamente pesadas, até cobrir completamente as hastes (Figura 7).



Figura 7 Detalhe da calibração das sondas de TDR com as hastes inseridas completamente no solo após 48 horas de saturação, Cruz das Almas - BA. UFLA, 2011

As leituras do peso do conjunto tubo – sonda – solo – tela foi feita com balança analítica e a umidade do solo estimada pela TDR. A princípio, as leituras eram feitas de quinze em quinze minutos. Na medida em que ocorria a

redução de umidade, as leituras eram feitas em maiores intervalos de tempo. Quando a umidade do solo atingia valores tais que o peso do conjunto tubo-sonda-solo-tela-papel tornava-se pouco variável, era procedido o seu secamento em estufa a 105°C. Os valores das umidades volumétricas (θ_i) eram determinados a cada pesagem do conjunto, através da equação 3:

$$\theta = \frac{PU - PS}{Vs} \quad (3)$$

em que,

PU – Peso do solo úmido atual + PE, g;

PS – Peso do solo seco + PE, g;

PE – Peso da coluna de PVC + Peso da guia de onda + telas de nylon e papel filtro, g;

Vs – Volume do solo, cm³.

O modelo ajustado aos dados de umidade gravimétrica medida e a constante dielétrica aparente foi o polinomial cúbico, por apresentar melhor desempenho, conforme Milani, Tavares e Clementina (2008). Os resultados de umidade medida por gravimetria e estimada pelos modelos de calibração das sondas de TDR, foram comparados através de uma regressão linear simples do tipo $Y=aX$, em que o coeficiente angular próximo de 1,0 com R^2 elevado, indica maior precisão do modelo ajustado. O teste t de Student foi aplicado ao nível de 5% de significância, para comparar os resultados das médias dos desvios percentuais entre valores estimados.

3.7.2 Instalação das sondas de TDR em campo

Foram abertas trincheiras para os sistemas de gotejamento, microaspersão e aspersão convencional, na direção longitudinal à linha de plantio, e as sondas de TDR instaladas em quatro profundidades (0,20; 0,40; 0,60 e 0,80 m) e em quatro distâncias da planta (0,20; 0,40; 0,60 e 0,80 m), numa malha de 0,20 m x 0,20 m (Figura 8).



Figura 8 Vista da instalação das sondas de TDR, posicionadas na direção longitudinal à linha de plantio, Guanambi - BA. UFLA, 2011

Os sistemas de microaspersão e aspersão convencional, por apresentarem aplicação de água em cerca de 25% e 100% da área, respectivamente, tiveram também sondas posicionadas nas distâncias e profundidades já citadas, instaladas de forma a permitir avaliar um plano bidimensional radial à planta, conforme ilustra a Figura 9, com monitoramento a cada 10 minutos pelo sistema de aquisição de dados.



Figura 9 Vista da instalação das sondas de TDR, posicionadas em um plano bidimensional radial à planta, Guanambi - BA. UFLA, 2011

3.8 Avaliações

3.8.1 Distribuição de raízes

Foram feitas análises de distribuição das raízes em um plano bidimensional, para os três sistemas de irrigação, de forma a gerar gráficos de distribuição de percentagem de raízes totais nas distâncias e profundidades avaliadas. Consideraram-se como profundidade e distância efetiva, as regiões onde se concentraram 80% do comprimento total de raízes, conforme sugeriram Kanber et al. (1996), Santos (2002) e Vieira, Genovez e Gomes (1996). Procedeu-se à análise de variância dos dados, para verificar a diferença entre a densidade de comprimento de raízes nos sistemas e comparou-se o diâmetro relativo de raízes em diferentes classes, conforme a Tabela 5 (BOHM, 1979).

Tabela 5 Classes de diâmetro das raízes

Classif.	Muito finas	Finas	Pequenas	Médias	Grandes	Muito grandes
Diâmetro (mm)	< 0,5	0,5 – 2,0	2,0 – 5,0	5,0 – 10,0	10,0 – 20,0	> 20,0

3.8.2 Distribuição de água

A avaliação da distribuição de água abaixo da superfície do solo foi feita através de coleta de dados de umidade, com o uso da técnica da TDR, com leituras ininterruptas em intervalos de 10 minutos, conforme distâncias (r_i) e profundidades (z_i), citadas anteriormente. Após a obtenção das umidades em cada ponto do perfil (r_i, z_i), entre duas irrigações, calculou-se o volume total de água extraído do perfil, a partir da diferença entre as umidades do solo tomadas em um tempo após a irrigação ($j+1$), correspondente àquele em que a água infiltrada tenha atingido a sonda mais profunda do plano e um tempo antes da próxima irrigação ($j+2$), conforme ilustrado no Gráfico 1.

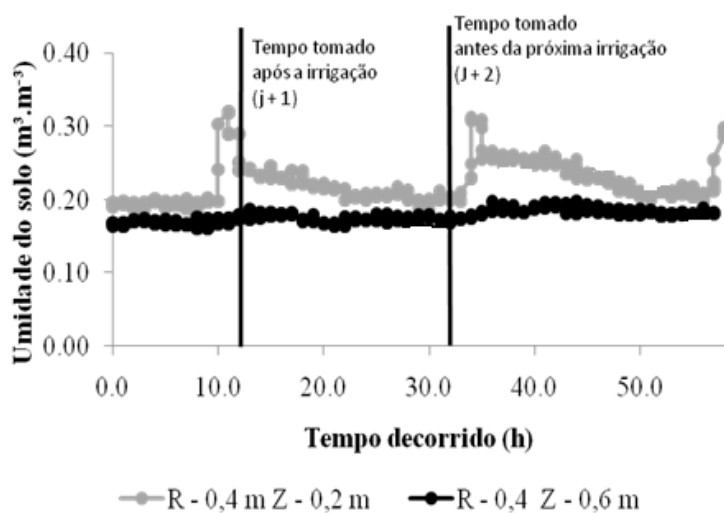


Gráfico 1 Identificação do tempo no qual foram obtidos os dados de determinação de extração de água, Guanambi - BA. UFLA, 2011

De posse dos dados de umidade de todas as sondas, foi possível estimar as regiões de extração de água (EA) pela planta nos diversos pontos da malha, através da equação 4 ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), conforme apresentam Coelho e Or (1997):

$$EA_{(ri,zi)} = \Theta_{(j+1)} - \Theta_{(j+2)} \quad (4)$$

em que,

$\Theta_{(j+1)}$ - umidade do solo após a irrigação, $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$;

$\Theta_{(j+2)}$ - umidade do solo imediatamente antes da irrigação subsequente, $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$.

Os gráficos de isolinhas de distribuição de água foram elaborados com uso do *software Surfer 7.0*. As percentagens de água disponíveis no solo foram determinadas em cada ponto monitorado do perfil (ri, zi), tomando como base a curva característica de água do solo, empregando-se para tal a equação 5:

$$AD_{(ri,zi)} = \left(\frac{\Theta_{(ri,zi)} - \Theta_{\text{PMP}}}{\Theta_{\text{CC}} - \Theta_{\text{PMP}}} \right) * 100 \quad (5)$$

em que;

AD - percentagem de água disponível em um ponto (ri, zi) do perfil do solo;

$\Theta_{(ri,zi)}$ - umidade volumétrica em um ponto (ri, zi) do perfil do solo, $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$;

Θ_{PMP} - umidade referente ao ponto de murcha permanente, $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, e

Θ_{CC} - umidade referente à capacidade de campo, $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Calibração da sonda de TDR

A Tabela 6 ilustra o ajuste do modelo polinomial cúbico, em que as análises de variância da regressão foram significativas para todas as profundidades avaliadas. Os ajustes dos modelos cúbicos aos dados indicaram que acima de 99% das variações da umidade gravimétrica podem ser explicadas pelas variações da constante dielétrica, para todas as profundidades. Esse modelo tem sido adotado por outros autores, como Baker e Allmaras (1990), Milani, Tavares e Clementina (2008), Souza, Matsura e Testezlaf (1999) e Topp, Davis e Annan (1980).

Da análise de variância da regressão entre os dados de umidade medida por gravimetria e umidade estimada pela TDR (modelo de calibração), concluiu-se que o modelo de regressão linear simples explicou significativamente a variável dependente (umidade estimada). A umidade estimada pela regressão linear simples superestimou, em média, a umidade gravimétrica em 0,05%, na profundidade de 0,20 m, enquanto que no caso da profundidade 0,40 m, a umidade estimada subestimou a umidade gravimétrica em 2,5% (Gráfico 2). Nas profundidades 0,60 e 0,80 m, a umidade estimada pela regressão linear simples superestimou, em média, a umidade gravimétrica em 0,05% e 0,08%, respectivamente (Gráfico 3). Diante dos resultados encontrados, a calibração indicou a viabilidade de emprego das sondas manufaturadas, sendo empregada uma equação de calibração para cada profundidade avaliada, conforme apresenta a Tabela 6.

Tabela 6 Ajuste do modelo polinomial cúbico para umidade gravimétrica em função da constante dielétrica, nas diferentes profundidades do Latossolo-Vermelho Amarelo Distrófico da área experimental. Guanambi - BA, UFLA, 2011

Prof.	Modelo	R ²
0,20 m	$Y= 0,00008498 Ka^3 - 0,0045 Ka^2 + 0,0894 Ka - 0,4511$	0,996
0,40 m	$Y= 0,0000890 Ka^3 - 0,0046 Ka^2 + 0,0888 Ka - 0,4411$	0,995
0,60 m	$Y= 0,000065664 Ka^3 - 0,0033 Ka^2 + 0,0674 Ka - 0,3133$	0,998
0,80 m	$Y= 0,000044578 Ka^3 - 0,0025 Ka^2 + 0,0580 Ka - 0,2720$	0,999

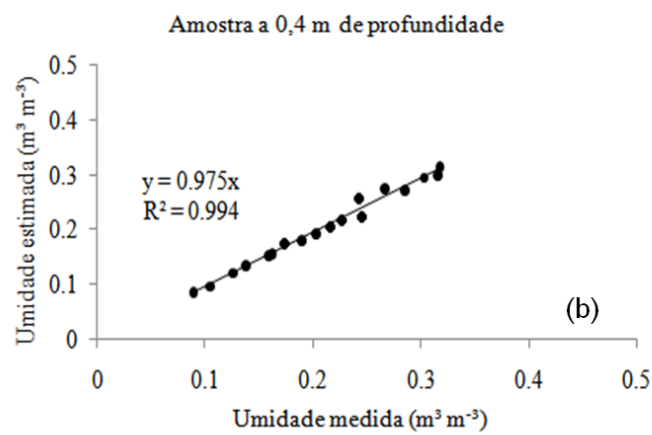
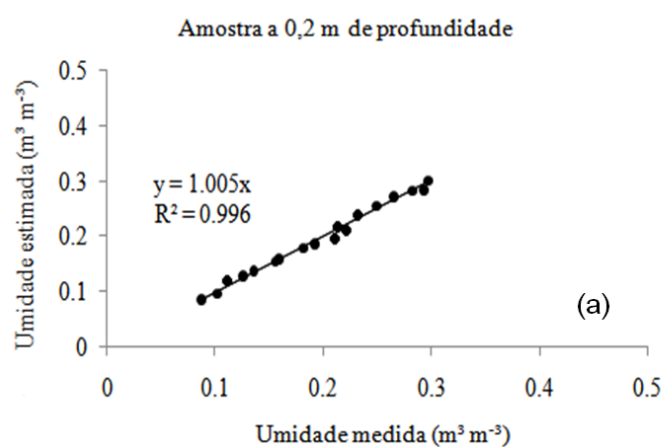


Gráfico 2 Valores da umidade estimada pelo modelo de regressão linear simples em função da umidade gravimétrica para as profundidades 0,2 m (a) e 0,4 m (b). UFLA, 2011

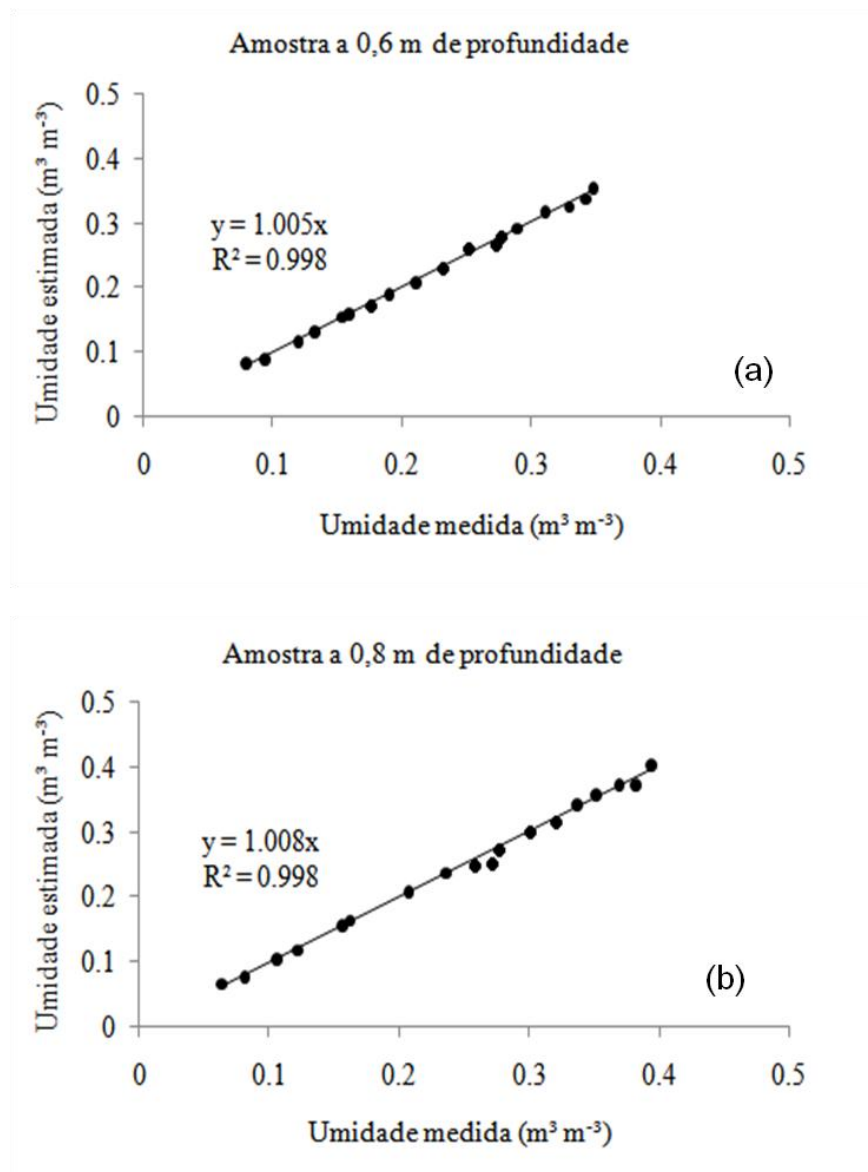


Gráfico 3 Valores da umidade estimada pelo modelo de regressão linear simples em função da umidade gravimétrica para as profundidades 0,6 m (a) e 0,8 m (b). UFLA, 2011

4.2 Distribuição do sistema radicular

4.2.1 Na emissão floral

A análise de variância mostrou efeito das camadas do solo e dos sistemas de irrigação para a variável densidade de comprimento de raízes.

As camadas do solo próximas à superfície (0 – 0,2 m e 0,2 – 0,4 m) diferiram das camadas mais profundas do solo. O sistema de irrigação por gotejamento (S1) diferenciou das médias dos sistemas de irrigação por microaspersão (S2) e aspersão convencional (S3) que não diferiram entre si, exceto para as camadas inferiores a 0,6 m, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade (Tabela 7).

Tabela 7 Médias da densidade de comprimento (cm cm^{-3}) de raízes, em função das camadas de solo na fase da floração da bananeira ‘Prata-Anã’, sob diferentes sistemas de irrigação, implantado em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. Guanambi – BA, UFLA, 2011

Sistemas de irrigação			
Camadas do solo (m)	Gotejamento	Microaspersão	Aspersão
0 – 0,2	2,16 A a	1,23 AB b	1,64 A b
0,2 – 0,4	2,07 A a	1,59 A b	1,29 AB b
0,4 – 0,6	1,08 B ab	1,43 AB a	0,34 BC b
0,6 – 0,8	0,58 B a	0,54 BC a	0,08 C a
0,8 – 1,0	0,62 B a	0,29 C a	0,04 C a

Médias seguidas por letras iguais em coluna (letra maiúscula) e nas linhas (letra minúscula), não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A análise mostrou efeito da distância do pseudocaule na densidade de comprimento de raízes. As menores distâncias do pseudocaule diferiram das maiores distâncias do pseudocaule. Houve efeito dos sistemas de irrigação na densidade de comprimento radicular para as distâncias do pseudocaule no perfil

avaliado, apenas para as distâncias de 0,30 e 0,45 m. O sistema por gotejamento diferiu do sistema por microaspersão (0,45 m) e do sistema por aspersão convencional (0,30 m), pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade (Tabela 8).

Tabela 8 Médias da densidade de comprimento (cm cm^{-3}) de raízes, em função da distância do pseudocaule na fase da floração da bananeira 'Prata-Anã', sob diferentes sistemas de irrigação, implantado em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. Guanambi – BA, UFLA, 2011

Sistemas de irrigação			
Distância (m)	Gotejamento	Microaspersão	Aspersão
0,15	1,93 A a	1,27 AB a	1,26 A a
0,30	2,13 A a	1,52 A a	0,62 AB b
0,45	2,09 A a	0,95 AB b	0,49 AB b
0,60	0,86 B a	0,56BC a	0,57 AB a
0,75	0,55 B a	0,48 BC a	0,25 B a
1,00	0,55 B a	0,21 C a	0,02 C a

Médias seguidas por letras iguais em coluna (letra maiúscula) e nas linhas (letra minúscula), não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A profundidade efetiva (Gráfico 4) ocorreu aos 0,57 m, 0,62 m e 0,37 m para os sistemas S1, S2 e S3, respectivamente, indicando com isso que enquanto o S3 proporcionou uma maior área com disponibilidade de água superficial, o S1 e S2 disponibilizaram água no solo a profundidades maiores, facilitando o desenvolvimento de raízes em maior profundidade. Estes resultados corroboram com Carr (2009) que relata que apesar de as raízes de bananeira se estenderem até profundidades de 1,0-1,5 m, a profundidade "eficaz" de enraizamento é normalmente considerada como sendo 0,0 - 0,40 m, às vezes estendendo-se 0,60 m.

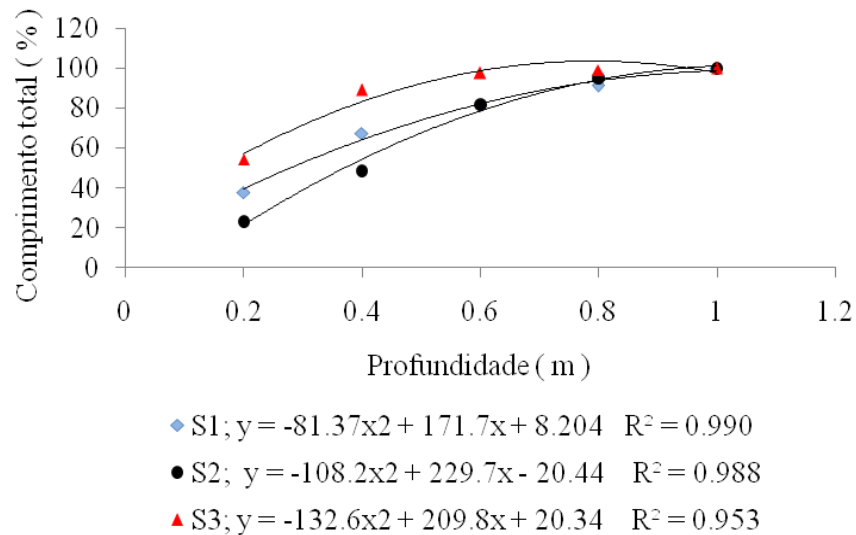


Gráfico 4 Equações de regressão para percentagem de comprimento total das raízes, em função da profundidade do solo, na fase da floração da bananeira 'Prata-Anã', sob sistema de irrigação por gotejamento (S1), microaspersão (S2) e aspersão convencional (S3), implantado em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Guanambi - BA. UFLA, 2011

Quanto à distância efetiva (Gráfico 5), as raízes concentraram-se mais próximo ao pseudocaule das plantas. Para o gotejamento a distância efetiva foi de 0,54 m, microaspersão de 0,48 m e aspersão convencional de 0,50 m. Este resultado ficou um pouco abaixo dos valores encontrados por Coelho et al. (2006), que avaliando sistema radicular da bananeira sob diferentes configurações de sistemas de irrigação localizada, em condições subúmidas, concluíram que nos dois sistemas de irrigação (microaspersão e gotejamento), para todas as configurações avaliadas, 80% do comprimento total das raízes foram detectados a 0,70 m do pseudocaule e, exceto o tratamento com dois emissores de 4 L h^{-1} por planta com uma lateral por fileira de plantas, a profundidade contendo pelo menos 80% das raízes foi a de 0,50 m.

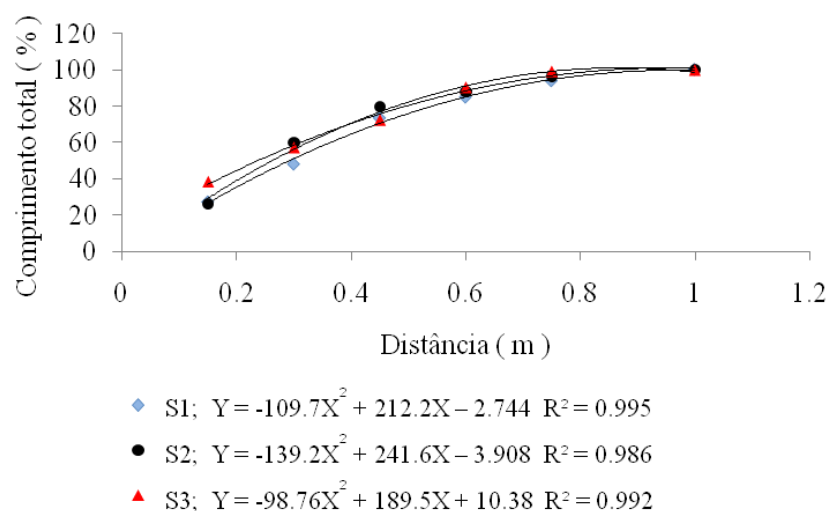


Gráfico 5 Equações de regressão para percentagem de comprimento total das raízes, em função da distância do pseudocaule, na fase da floração da bananeira 'Prata-Anã', sob sistema de irrigação por gotejamento (S1), microaspersão (S2) e aspersão convencional (S3), implantado em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Guanambi - BA. UFLA, 2011

Em geral, a distribuição de raízes no perfil do solo, tanto para os sistemas de irrigação localizada (gotejamento e microaspersão) como para o sistema por aspersão convencional foi próxima a superfície do solo, com maior concentração do sistema radicular localizado entre 0,10 e 0,40 m da superfície do solo.

No gotejamento (Figura 10a) foram verificados altos valores de densidade de comprimento total de raízes ao longo de toda a distância do pseudocaule do perfil avaliado até a profundidade de 0,30 m. Na microaspersão (Figura 10b) a maior parte das raízes da bananeira encontra-se até a profundidade de 0,40 m e a distância de 0,70 m. Na aspersão convencional (Figura 10c) houve um centro de menor concentração na distância de 0,15 m e outro com maior concentração na distância de 0,6 m.

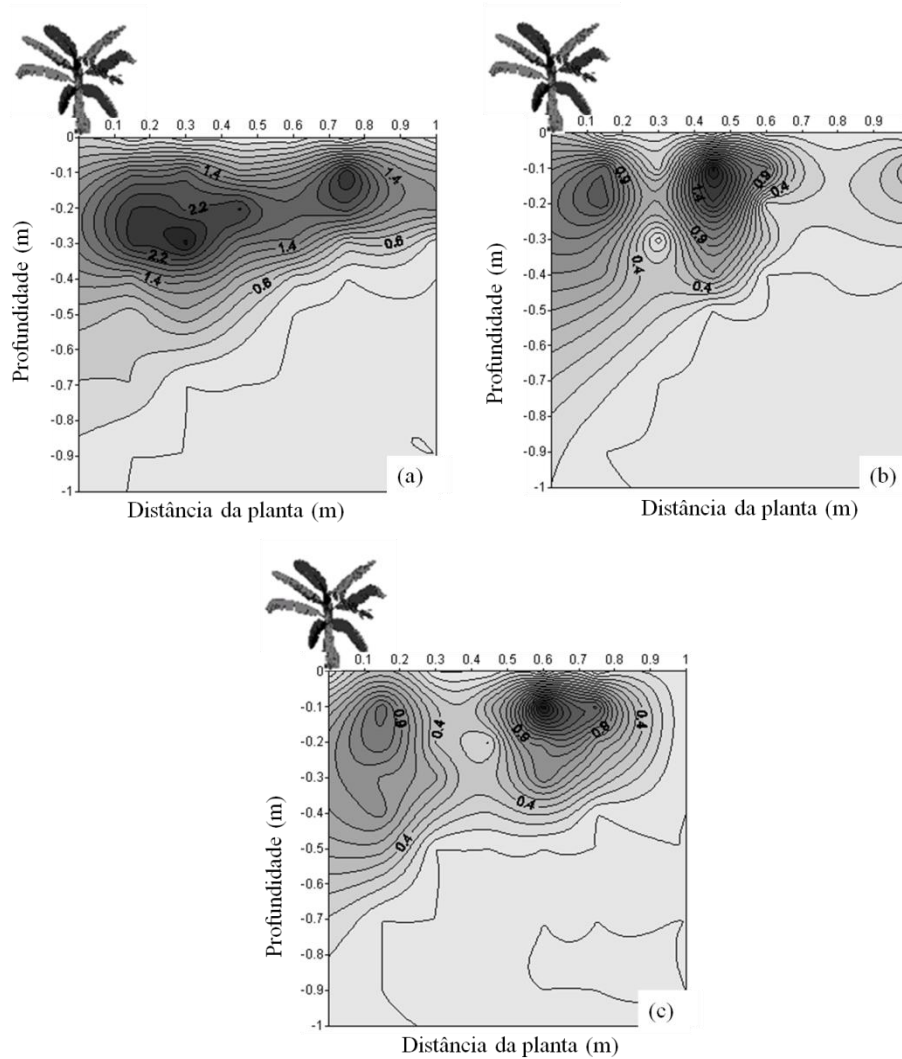


Figura 10 Isolinhas de densidade de comprimento de raízes no perfil do solo para os sistemas por gotejamento (a), microaspersão (b) e aspersão convencional (c), na fase da floração da bananeira 'Prata-Anã', no Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Guanambi - BA. UFLA, 2011

4.2.2 Na fase de maturação dos frutos no primeiro ciclo

De forma geral, os sistemas de irrigação não diferiram estatisticamente para a variável densidade de comprimento radicular, tanto em profundidade do solo quanto em distância do pseudocaule da planta (Tabela 9 e 10). Houve exceção para a camada de 0,6 - 0,8 m, com maior densidade de comprimento radicular para o sistema por gotejamento, comparado aos demais sistemas (Tabela 9).

A densidade de comprimento radicular da banana 'Prata-Anã' foi menor nas camadas de solo de 0,8 – 1,0 m. Houve diferença entre as camadas de 0,2 – 0,4 m e 0,8 – 1,0 m, com o maior valor para primeira camada, nos sistemas de irrigação por gotejamento e aspersão convencional (Tabela 9).

Tabela 9 Médias da densidade de comprimento (cm cm^{-3}) de raízes, em função das camadas do solo na fase final do primeiro ciclo da bananeira 'Prata-Anã', sob diferentes sistemas de irrigação, implantado em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Guanambi - BA. UFLA, 2011

Camadas do solo (m)	Sistemas de irrigação		
	Gotejamento	Microaspersão	Aspersão
0 – 0,2	1,08 A a	0,81 AB a	0,72 A a
0,2 – 0,4	0,72 A a	0,87 A a	0,66 A a
0,4 – 0,6	0,81 A a	0,39 AB a	0,47 A a
0,6 – 0,8	0,66 A a	0,17 AB b	0,24 A b
0,8 – 1,0	0,20 B a	0,10 B a	0,07 B a

Médias seguidas por letras iguais em coluna (letra maiúscula) e nas linhas (letra minúscula), não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

No que se refere à distância do pseudocaule houve diferença entre as distâncias de 0,15 m e 1,0 m, para todos três sistemas. As demais distâncias (0,30 m, 0,45 m, 0,60 m e 0,75 m) não diferenciaram entre si (Tabela 10). Garcia (2000) relata que o comprimento de raízes por volume do solo em função das

distâncias do pseudocaule não exibiu diferenças marcantes entre bananeiras irrigadas com distintos sistemas (microaspersão e aspersão convencional).

Tabela 10 Médias da densidade de comprimento (cm cm^{-3}) de raízes, em função da distância do pseudocaule na fase final do primeiro ciclo da bananeira 'Prata-Anã', sob diferentes sistemas de irrigação, implantado em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. Guanambi – BA, UFLA, 2011

Sistemas de irrigação			
Distância (m)	Gotejamento	Microaspersão	Aspersão
0,15	0,94 A a	0,77 A a	0,66 A a
0,30	0,76 AB a	0,60 AB a	0,55 A a
0,45	0,63 AB a	0,36 AB a	0,42 A a
0,60	0,56 AB a	0,34 AB a	0,26 A a
0,75	0,38 AB a	0,18 AB a	0,15 A a
1,00	0,21 B a	0,10 B a	0,02 B a

Médias seguidas por letras iguais em coluna (letra maiúscula) e nas linhas (letra minúscula), não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O Gráfico 6 apresenta as equações de regressão para percentagem de comprimento total das raízes, em função da profundidade do solo, na fase final do primeiro ciclo da bananeira 'Prata-Anã'. Os sistemas radiculares sob aspersão (S3) e microaspersão, apresentaram maiores percentagens de comprimento próximo à superfície do solo, tendo 80% do comprimento total das raízes, detectado a 0,51 m e a 0,52 m, respectivamente, enquanto o gotejamento (S1), teve 80% do comprimento total das raízes detectado a 0,74 m.

Em relação à distância do pseudocaule da bananeira, os sistemas apresentaram 80% do comprimento total das raízes a 0,53 m (S1), 0,53 m (S2) e 0,50 m (S3). Santos et al. (2006), estudando a distribuição do sistema radicular da bananeira sob diferentes configurações do sistema de irrigação por aspersão, detectaram que a profundidade com pelo menos 80% do total acumulado das raízes está a 0,50 m da superfície do solo (Gráfico 7).

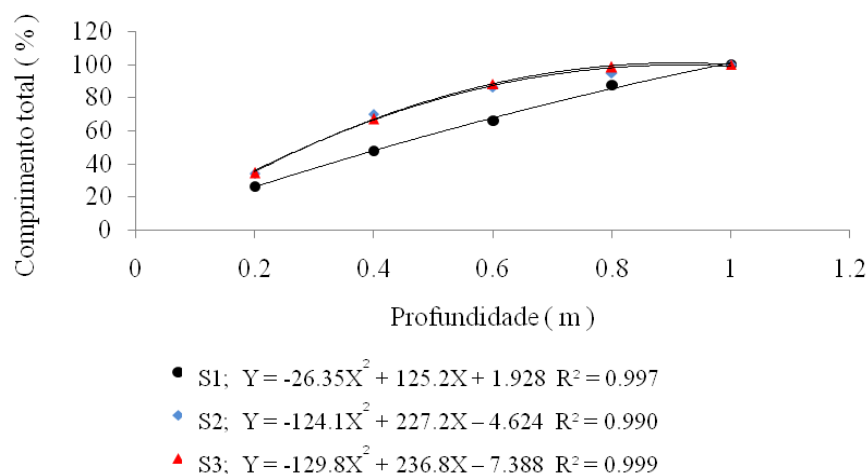


Gráfico 6 Equações de regressão para percentagem de comprimento total das raízes, em função da profundidade do solo, na fase final do primeiro ciclo da bananeira 'Prata-Anã', sob sistema de irrigação por gotejamento (S1), microaspersão (S2) e aspersão convencional (S3), implantado em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Guanambi - BA. UFLA, 2011

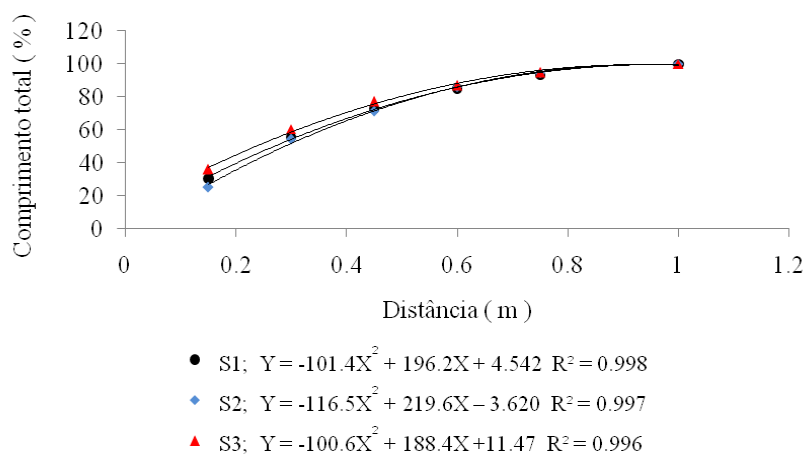


Gráfico 7 Equações de regressão para percentagem de comprimento total das raízes, em função da distância do pseudocaule, na fase final do primeiro ciclo da bananeira 'Prata-Anã', sob sistema de irrigação por gotejamento (S1), microaspersão (S2) e aspersão convencional (S3), implantado em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Guanambi - BA. UFLA, 2011

O sistema por gotejamento foi o que apresentou as maiores densidades de comprimento de raízes nas regiões limitadas pelas distâncias horizontais do pseudocaule de 0,0 a 1,0 m e profundidade até 1 m da superfície do solo. Esse sistema proporcionou dois centros com maior concentração do sistema radicular, a 0,70 e 0,20 m de profundidade da superfície do solo, nas distâncias de 0,15 e 0,60 m do pseudocaule, respectivamente (Figura 11a). A maior concentração de raízes, ou as maiores densidades de comprimento das raízes para sistema por microaspersão, foi verificada próxima ao pseudocaule até 0,40 m de distância, com uma pequena área de atuação radicular a 0,60 m da planta e 0,10 m de profundidade (Figura 11b). A Figura 11(c) mostra que o sistema radicular da bananeira irrigada por aspersão convencional ocupou de forma homogênea todo o plano amostrado, entre 0,10 e 0,50 m de profundidade, sendo que o valor de DCR máximo ficou abaixo de 1 cm cm^{-3} .

Esse maior aprofundamento do sistema radicular, proporcionado pelo gotejamento, sugere uma menor susceptibilidade da planta a possíveis déficits hídricos, por exemplo, pela quebra do sistema de bombeamento. Pois, a secagem do solo ocorre das camadas superficiais para as camadas mais profundas, assim, as plantas sob o sistema por gotejamento teriam ainda condição de extrair água do solo, por conter um maior reservatório para exploração do sistema radicular, comparado às plantas sob sistema por aspersão convencional e microaspersão.

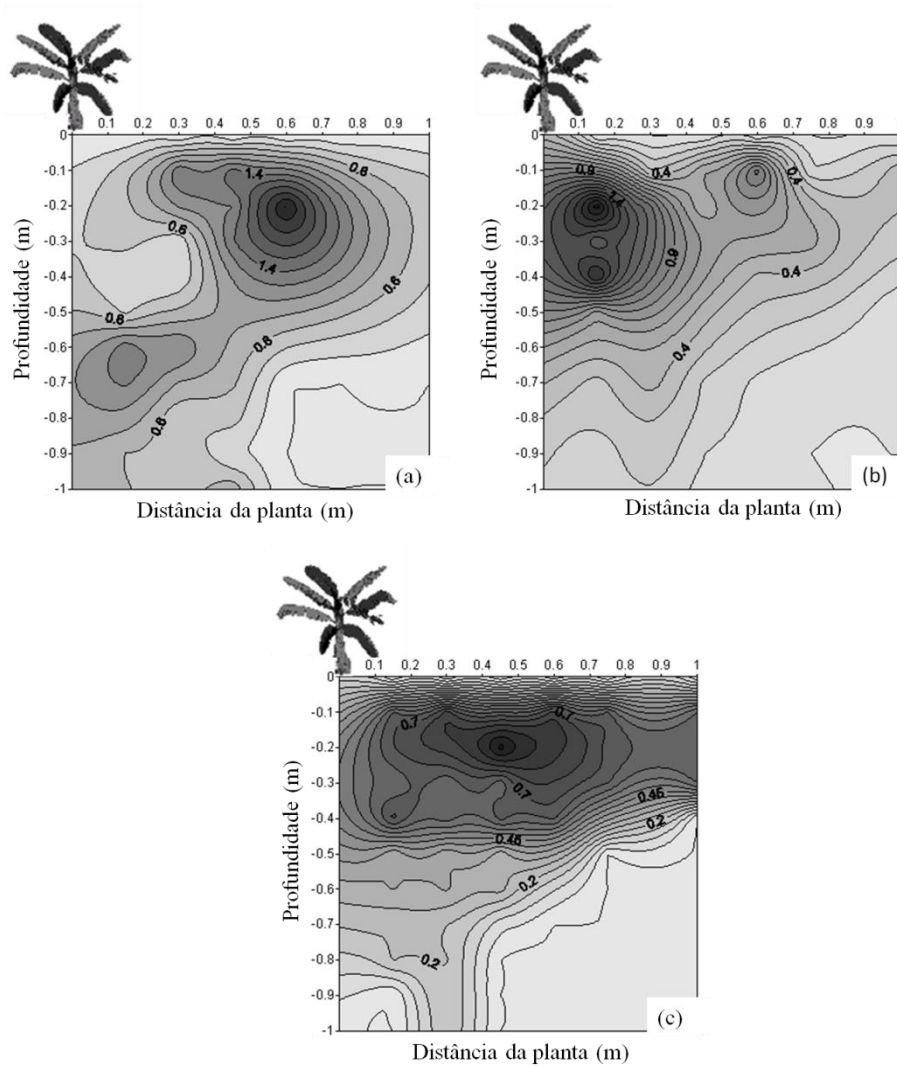


Figura 11 Isolinhas de densidade de comprimento de raízes no perfil do solo para os sistemas por gotejamento (a), microaspersão (b) e aspersão convencional (c), na fase final do primeiro ciclo da bananeira 'Prata-Anã', no Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Guanambi - BA. UFLA, 2011

4.2.3 Na fase de maturação dos frutos no segundo ciclo

Na fase final do segundo ciclo da cultura da bananeira, a variável densidade de comprimento de raízes não foi influenciada pelos sistemas de irrigação nas profundidades avaliadas (Tabela 11). Enquanto para as distâncias do pseudocaule houve exceção para as distâncias de 0,15 e 0,30 m (Tabela 12).

No sistema de irrigação por gotejamento e por microaspersão, a densidade de comprimento radicular foi menor nas camadas mais profundas do solo (0,6 – 0,8 m e 0,8 – 1,0 m). Na irrigação por aspersão convencional as diferenças ocorreram para as camadas de 0,8 – 1,0 m, comparada às camadas menores que 0,6 m (Tabela 11).

Tabela 11 Médias da densidade de comprimento (cm cm^{-3}) de raízes, em função das camadas do solo na fase final do segundo ciclo da bananeira 'Prata-Anã', sob diferentes sistemas de irrigação, implantado em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. Guanambi – BA, UFLA, 2011

Sistemas de irrigação			
Camadas do solo (m)	Gotejamento	Microaspersão	Aspersão
0 – 0,2	1,04 A a	1,17 A a	0,98 A a
0,2 – 0,4	1,13 A a	0,70 AB a	0,86 AB a
0,4 – 0,6	0,64 AB a	0,47 BC a	0,55 AB a
0,6 – 0,8	0,41 B a	0,21 C a	0,37 BC a
0,8 – 1,0	0,32 B a	0,18 C a	0,13 C a

Médias seguidas por letras iguais em coluna (letra maiúscula) e nas linhas (letra minúscula), não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

No sistema por gotejamento, a densidade de comprimento total de raízes foi maior para as distâncias de 0,15 e 0,30 m, comparada às distâncias mais profundas do perfil avaliado (0,60 m, 0,75 m e 1,0 m). Na microaspersão a densidade do comprimento radicular foi maior a 0,15 m do pseudocaule, comparada às distâncias maiores que 0,75 m. Na aspersão convencional a

densidade de comprimento radicular foi similar em todas as distâncias do pseudocaule (Tabela 12).

A 0,15 m de distância do pseudocaule, o sistema por gotejamento apresentou maior densidade do sistema radicular, comparado ao sistema de irrigação por aspersão convencional. A 0,30m a densidade de comprimento radicular foi maior no sistema de irrigação por gotejamento, comparado aos sistemas de irrigação por microaspersão e aspersão convencional (Tabela 12).

Tabela 12 Médias da densidade de comprimento (cm cm^{-3}) de raízes, em função da distância do pseudocaule na fase final do segundo ciclo da bananeira 'Prata-Anã', sob diferentes sistemas de irrigação, implantado em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. Guanambi – BA, UFLA, 2011

Sistemas de irrigação			
Distância (m)	Gotejamento	Microaspersão	Aspersão
0,15	2,12 A a	1,32 A ab	0,99 A b
0,30	2,04 A a	1,06 AB b	0,86 A b
0,45	1,28 AB a	0,89 AB a	0,47A a
0,60	0,26 B a	0,80 AB a	0,35 A a
0,75	0,29 B a	0,18 B a	0,23 A a
1,00	0,24 B a	0,07 B a	0,19 A a

Médias seguidas por letras iguais em coluna (letra maiúscula) e nas linhas (letra minúscula), não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os sistemas de irrigação por gotejamento e aspersão convencional apresentaram valores iguais para profundidade efetiva do sistema radicular da bananeira, na fase final do segundo ciclo, com 80% do comprimento total das raízes detectados a 0,61 m da superfície do solo, enquanto no sistema de irrigação por microaspersão a profundidade efetiva foi a 0,51 m (Gráfico 8). A distância efetiva foi verificada a 0,63 m do pseudocaule da planta para o sistema de irrigação por gotejamento, 0,66 m para o sistema de irrigação por microaspersão e a 0,79 m para o sistema de irrigação por aspersão convencional (Gráfico 9). O sistema por gotejamento apresentou o maior valor de densidade

de comprimento de raízes ($2,12 \text{ cm cm}^{-3}$). Esse resultado corrobora com Coelho et al. (2008) que encontraram valores de densidade máxima de comprimento entre $1,6 \text{ cm cm}^{-3}$ e $2,2 \text{ cm cm}^{-3}$. No sistema por aspersão convencional não foi detectado valor de densidade de comprimento acima de $1,0 \text{ cm cm}^{-3}$. Tais resultados podem ser justificados pelo fato de o sistema de irrigação aplicar uma precipitação sobre uma determinada área, com uma altura calculada de água, possibilitando assim que haja uma maior uniformização ao longo da superfície do perfil do solo, enquanto o sistema por gotejamento apresenta uma aplicação de água pontual, o que limita essa uniformização, promovendo regiões com maiores concentrações radiculares. Isso está de acordo com os resultados de Nielsen et al. (2000) que verificaram que o sistema de gotejamento resultou em significativas concentrações de raízes abaixo do emissor, à profundidade de 0,4 m.

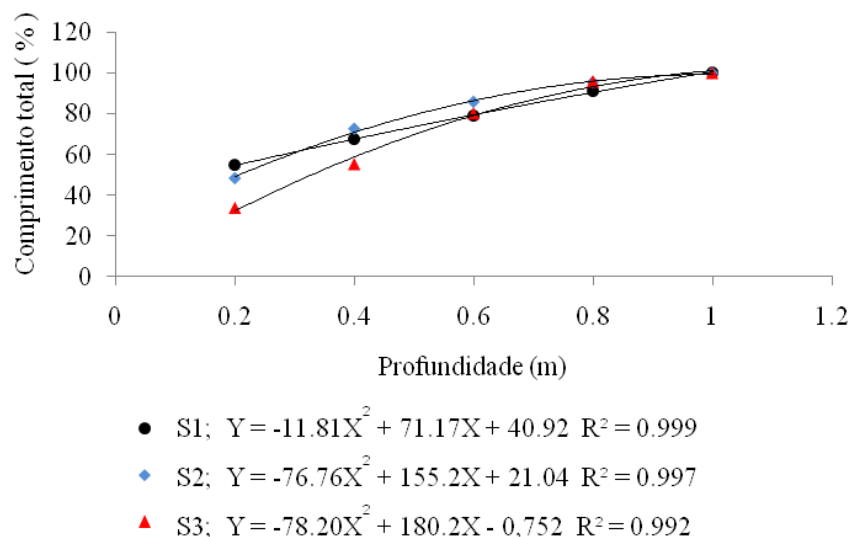


Gráfico 8 Equações de regressão para percentagem de comprimento total das raízes, em função da profundidade do solo, na fase final do segundo ciclo da bananeira 'Prata-Anã', sob sistema de irrigação por gotejamento (S1), microaspersão (S2) e aspersão convencional (S3), implantado em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Guanambi - BA. UFLA, 2011

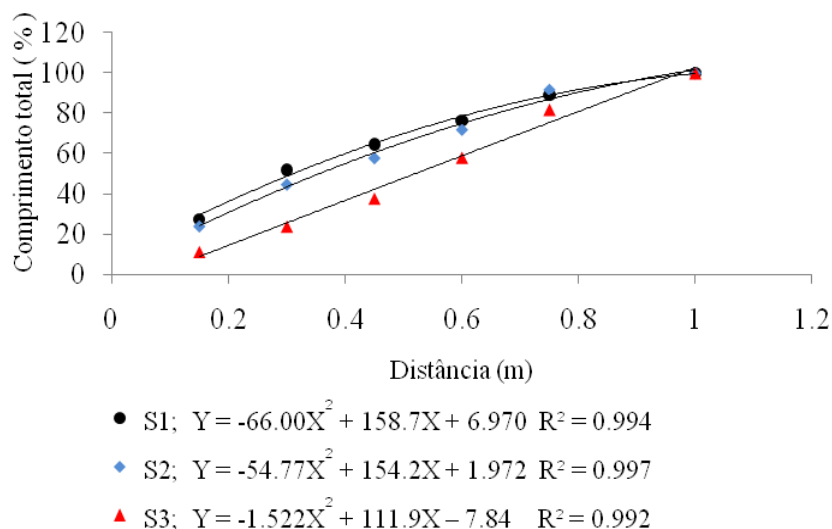


Gráfico 9 Equações de regressão para percentagem de comprimento total das raízes, em função da distância do pseudocaule, na fase final do segundo ciclo da bananeira 'Prata-Anã', sob sistema de irrigação por gotejamento (S1), microaspersão (S2) e aspersão convencional (S3), implantado em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Guanambi - BA. UFLA, 2011

Os valores de densidade de comprimento de raízes totais no perfil do solo estudado mostram que, em relação às profundidades e à distância do pseudocaule, os sistemas por gotejamento, por microaspersão e aspersão convencional tiveram comportamentos diferentes na distribuição radicular abaixo da superfície do solo.

O sistema por gotejamento apresentou uma maior concentração radicular nos primeiros 0,20 m de profundidade até 0,4 m de distância da planta. Entretanto, esse sistema apresentou valores de DCR mais altos que a microaspersão e aspersão convencional, nas profundidades inferiores a 0,20 m (Figura 12a). O sistema por microaspersão concentrou boa parte do sistema radicular a 0,50 m de profundidade, estendendo-se até 0,60 m de distância da

planta (Figura 12b). O sistema por aspersão convencional foi o que apresentou os menores valores de DCR, com alta atividade do seu sistema radicular localizado entre 0,0 - 0,50 m, ao longo de todo perfil avaliado (Figura 12c).

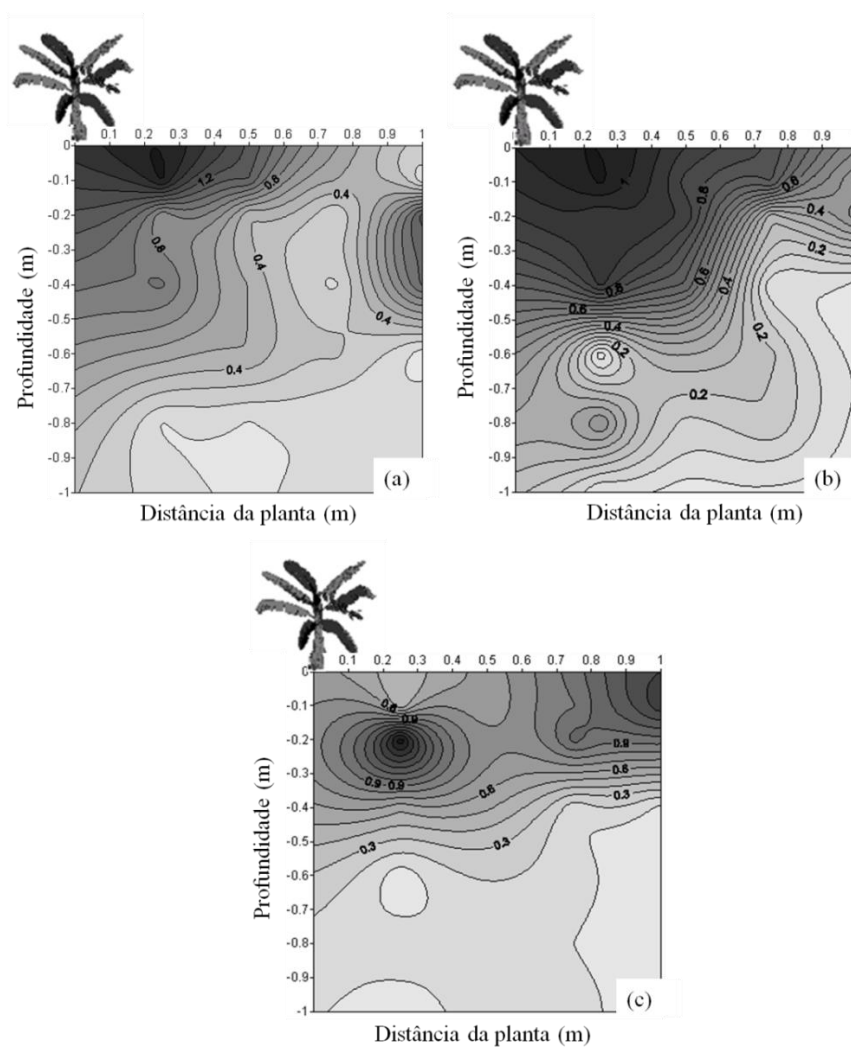


Figura 12 Isolinhas de densidade de comprimento de raízes no perfil do solo para os sistemas por gotejamento (a), microaspersão (b) e aspersão convencional (c), na fase final do segundo ciclo da bananeira 'Prata-Anã', no Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Guanambi - BA. UFLA, 2011

4.2.4 Distribuição das raízes nas fases estudadas

A análise estatística mostrou similaridade nas médias de densidade de comprimento de raízes entre as fases fenológicas, para as distâncias e as profundidades estudadas ($P < 0,05$) pelo teste t. Houve exceção para os sistemas por gotejamento e por microaspersão que tiveram a profundidade na fase de floração (F1- I) diferenciada das demais fases (F2-I e F3-II), onde a média da DCR na F1-I foi superior que a média da DCR na F2-I e F3-II (Tabela 13). Esses resultados corroboram com Bassoi et al. (2001), e também com Carr (2009), que afirmam que as raízes são formadas continuamente até o florescimento das plantas. Segundo Moreira (1987), as raízes de bananeira apresentam uma vida relativamente curta, durando em média de 200 a 300 dias. A partir do florescimento a planta cessa a emissão de raízes e folhas, iniciando o processo de senescência desses órgãos, que culmina com a colheita do cacho.

Tabela 13 Médias da densidade de comprimento (cm cm^{-3}) de raízes de bananeira ‘Prata-Anã’, para distintos períodos, sob diferentes sistemas de irrigação, implantado em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. Guanambi - BA. UFLA, 2011

Sistemas de irrigação						
Período	Gotejamento		Microaspersão		A. convencional	
	Dist	Prof	Dist	Prof	Dist	Prof
F1-I	1,35a	1,30a	0,53a	1,02a	0,83a	0,68a
F2-I	0,58a	0,69b	0,39a	0,47b	0,34a	0,43a
F3-II	1,04a	0,78b	0,72a	0,55b	0,52a	0,58a

Médias seguidas por letras iguais nas colunas, não diferem entre si pelo teste t de student, a 5% de probabilidade.

No Gráfico 10 encontram-se as porcentagens de comprimento total de raízes no perfil do solo em função da profundidade, para os sistemas de irrigação por gotejamento, microaspersão e aspersão convencional, nas fases de floração (F1-I), fase final de preenchimento dos frutos do primeiro ciclo (F2-I) e fase

final de preenchimento dos frutos do segundo ciclo (F3-II). Verifica-se que as maiores percentagens de comprimento de raízes foram registradas na camada 0,0 - 0,2 m e 0,20 - 0,40 m, com redução na percentagem de comprimento de raízes ao longo da profundidade para todos os sistemas avaliados, exceto para a camada 0,60 - 0,80 m, no sistema por gotejamento (Gráfico 10a).

A percentagem de comprimento total da F1 supera a F2 e F3 nas camadas mais superficiais do solo, com exceção da camada de solo de 0,20 - 0,40 m no sistema por gotejamento. Para as camadas mais inferiores do solo, a F1 apresentou menores percentagens de comprimento quando comparado com os demais períodos, indicando dessa forma uma maior uniformidade na distribuição radicular (Gráfico 10) e certo acréscimo na profundidade efetiva com o avanço das fases. Isso também foi verificado por Bassoi et al. (2001) que, avaliando a distribuição do sistema radicular da bananeira cv. Pacovan, observaram que a profundidade máxima das raízes até seis meses de idade foi de 0,60 m e, a partir dos nove meses após o plantio, o sistema radicular atingiu a profundidade de 1m. Bassoi et al. (2004) verificaram que a profundidade efetiva das raízes foi de 0,4 m até os 91 dias após o plantio (dap), aumentando para 0,6 m aos 370; 510 e 903 dap.

A distribuição da percentagem do comprimento total de raízes, em relação ao plano avaliado mostrou maior concentração de raízes próxima ao pseudocaule da planta, apresentando redução com o aumento da distância da planta (Gráfico 11).

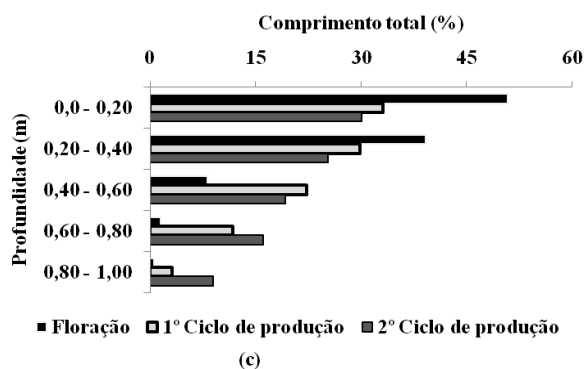
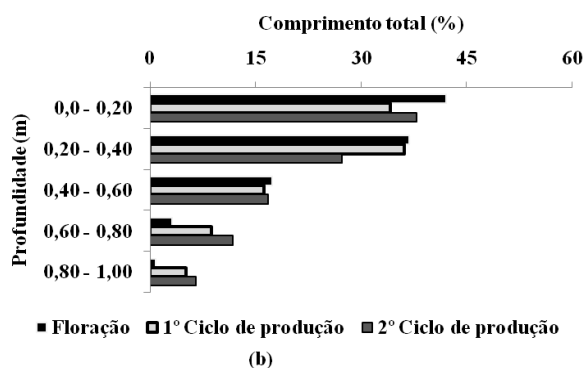
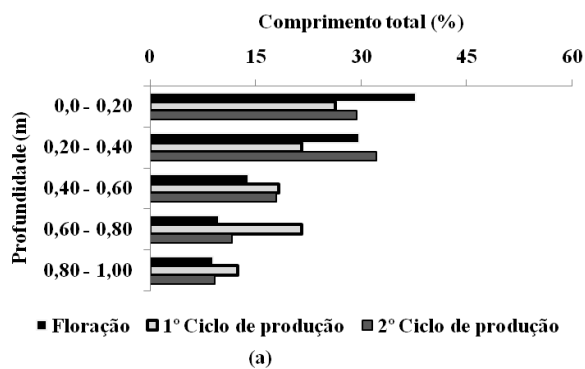


Gráfico 10 Percentagens do comprimento total de raízes de bananeira 'Prata-Anã' em função da profundidade, para as diferentes fases, sob o sistema por gotejamento (a), microaspersão (b) e aspersão convencional (c), no Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Guanambi - BA. UFLA, 2011

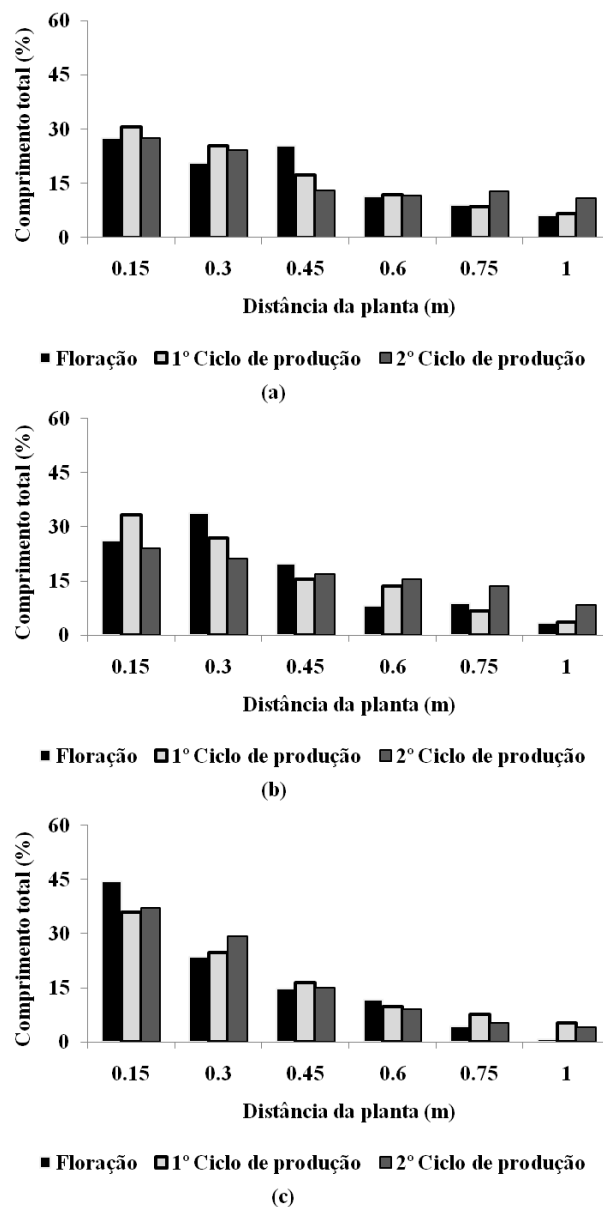


Gráfico 11 Percentagens do comprimento total de raízes de bananeira ‘Prata-Anã’ em função da distância, para as diferentes fases, sob o sistema por gotejamento (a), microaspersão (b) e aspersão convencional (c), no Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Guanambi - BA. UFLA, 2011

4.3 Avaliação do diâmetro de raiz da bananeira sob diferentes sistemas de irrigação, na fase final do segundo ciclo da cultura

O Gráfico 12 mostra as percentagens de comprimento de raízes para diferentes classes de diâmetro, em relação ao comprimento total de raízes dos perfis avaliados, sob sistema de irrigação por gotejamento, microaspersão e aspersão convencional. No caso do gotejamento, 40,85% do comprimento total de raízes pertenceu à classe de diâmetro inferior a 0,5 mm. Na microaspersão, 35,66% e na aspersão convencional 52,33% do comprimento total de raízes pertenceu a essa mesma classe, tendo havido, portanto, maior comprimento de raízes pertencentes às classes de diâmetro maior (acima de 0,5 mm) para a planta sob os sistemas de irrigação por gotejamento e microaspersão. Esses resultados corroboram com os encontrados por Garcia (2000) que constatou que o sistema de irrigação também influenciou na distribuição das raízes em classes de diâmetro, com um predomínio maior de raízes grossas verificado sob microaspersão. Na área sob aspersão convencional foi observada maior proporção de raízes finas e médias, sendo que para isso esse autor diferenciou o diâmetro radicular através da percepção visual.

Esse comportamento indica que a atividade do sistema radicular das plantas sob irrigação por aspersão convencional pode ser mais eficiente que a atividade do sistema radicular das plantas sob gotejamento e microaspersão, pelo fato de as raízes de menor diâmetro apresentaram-se mais ativas quanto à absorção de água e nutrientes.

A bananeira 'Prata-Anã' apresentou acima de 90% do comprimento total de raízes com diâmetro inferior a 2 mm, para todos os sistemas de irrigação avaliados. Lecompte, Pages' e Ozier-Lafontaine (2005) verificaram uma variação entre 0,09 e 0,52 mm para raízes secundárias e entre 0,06 e 0,27 mm para as raízes terciárias. Borges et al. (2008), estudando a distribuição do

sistema radicular da bananeira 'Prata-Anã' em duas frequências de fertirrigação com ureia, observaram predominância de raízes para as classes diâmetro acima de 0,2 mm, tanto nas camadas superficiais quanto entre a planta e o microaspersor.

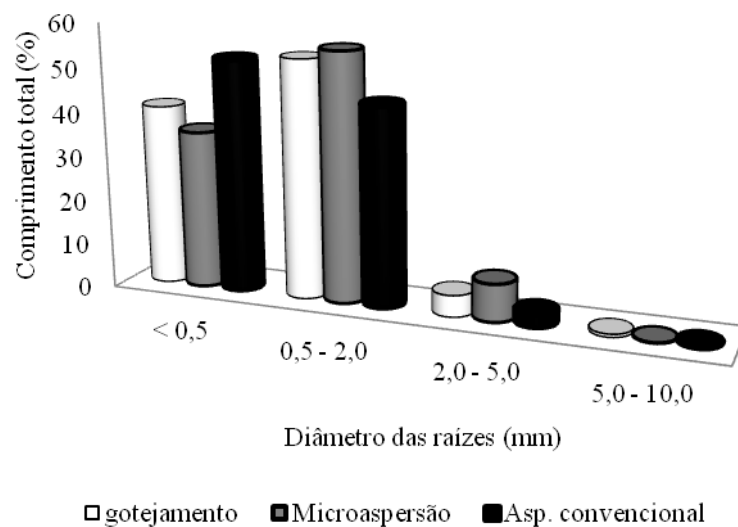


Gráfico 12 Percentagem de comprimento de raízes em diferentes classes de diâmetro relativo ao comprimento total de raízes, avaliado na fase final do segundo ciclo da bananeira 'Prata-Anã', em três sistemas de irrigação (microaspersão, gotejamento e aspersão convencional), Guanambi - BA. UFLA, 2011

O Gráfico 13 ilustra a distribuição das percentagens de comprimentos total de raízes de diferentes diâmetros para as diferentes profundidades e distâncias do pseudocaule da planta. Observa-se que no sistema por gotejamento há certo predomínio de raízes muito finas (< 0,5 mm) para as profundidades menores que 0,60 m e distância da planta inferior a 0,80 m. As raízes pequenas (0,5-2,0 mm) tiveram maior abrangência no perfil para as distâncias superiores a 0,40 m e profundidade de 0,0 - 0,80 m. As raízes de diâmetro de 2,0 a 5,0 mm tenderam a se concentrar a distâncias próximas da planta e nas profundidades

0,0 - 0,50 m, embora com pequena presença para as profundidades acima de 0,50 m. No sistema por microaspersão, as raízes muito finas ($< 0,5$ mm) apresentaram certa uniformidade ao longo do perfil. Entretanto, as maiores percentagens ocorreram para profundidades de 0,0 a 0,6 m e para distâncias horizontais de até 1 m. As raízes finas (0,5 – 2,0 mm) ocorreram com maior incidência até a profundidade de 0,4 m para distâncias horizontais de até 1,0 m. As raízes pequenas (2,0 – 5,0 mm) apresentaram maiores valores para as profundidades próximas à superfície do solo e distâncias horizontais inferiores a 0,4 m (Gráfico 14). No sistema de irrigação por aspersão convencional as raízes muito finas ($< 0,5$ mm) ocuparam todo o perfil limitado pela profundidade de 0,60 m. De modo geral, as raízes de maior diâmetro tenderam a se concentrar a menores distâncias do pseudocaule da planta, e em profundidades inferiores a 0,40 m da superfície do solo (Gráfico 15).

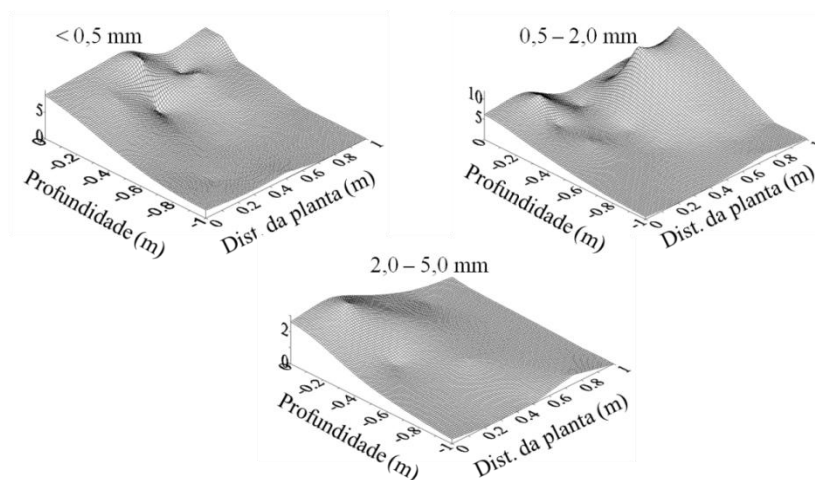


Gráfico 13 Percentagens de comprimento de raízes de diferentes diâmetros relativo ao comprimento total de raízes de bananeira ‘Prata-Anã’ sob irrigação por gotejamento, tendo a planta na posição (0, 0, 0), Guanambi - BA. UFLA, 2011

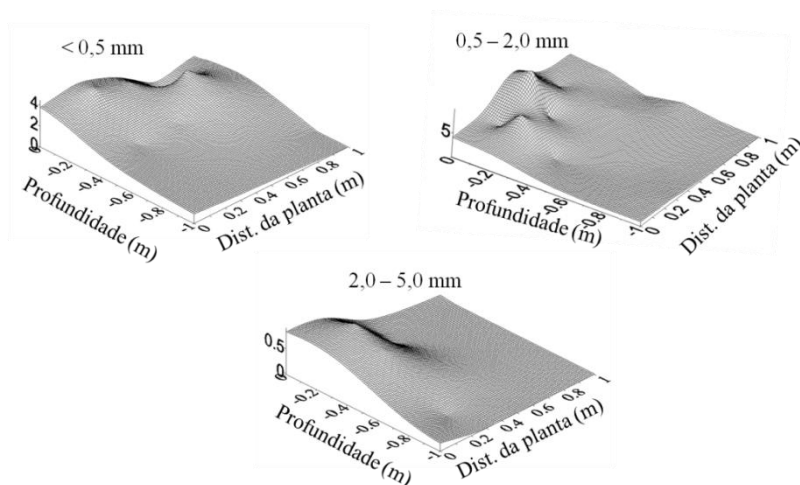


Gráfico 14 Percentagens de comprimento de raízes de diferentes diâmetros relativo ao comprimento total de raízes de bananeira ‘Prata-Anã’ sob irrigação por microaspersão, tendo a planta na posição (0, 0, 0), Guanambi - BA. UFLA, 2011

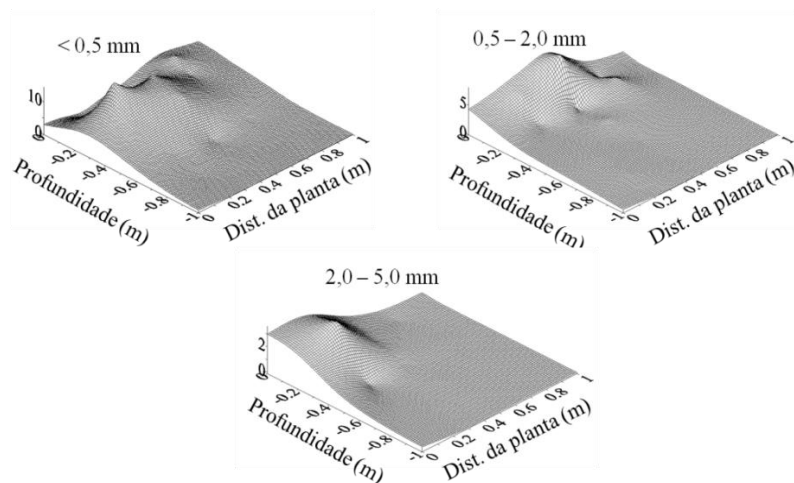


Gráfico 15 Percentagens de comprimento de raízes de diferentes diâmetros relativo ao comprimento total de raízes de bananeira ‘Prata-Anã’ sob irrigação por aspersão convencional, tendo a planta na posição (0, 0, 0), Guanambi - BA. UFLA, 2011

4.4 Distribuição de água no perfil do solo sob diferentes sistemas

Os perfis com a distribuição de água dos diferentes sistemas avaliados são mostrados nas Figuras 13 e 14. Os dados mostram que logo após a irrigação, quando a água infiltrada atingiu a sonda mais profunda do plano, todos os três sistemas apresentaram valores acima da capacidade de campo na profundidade de 0,0 - 0,5 m. Com isso pode-se verificar que mesmo os sistemas por microaspersão e por aspersão convencional, que apresentaram baixos valores para o CUC nos testes realizados na área experimental, tiveram uma boa eficiência na irrigação, o que pode ser atribuído às altas aplicações de água (Figura 13).

A Figura 14 ilustra a distribuição de água (%), no plano avaliado para os sistemas, no momento que antecede a irrigação, onde se observa que a maior disponibilidade de água (%) encontra-se localizada nas camadas mais profundas do solo, indicando que houve maior extração de água total no solo nas profundidades próximas à superfície.

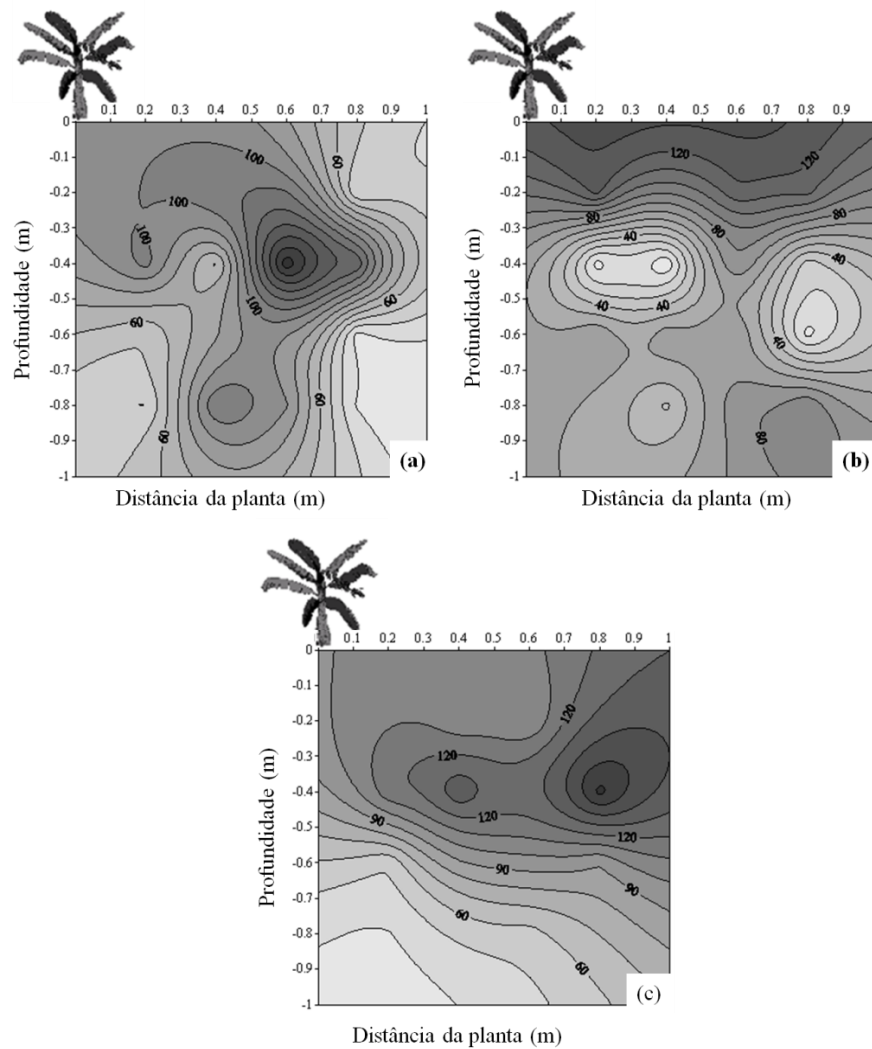


Figura 13 Disponibilidade de água (%) no perfil do solo, cultivado com bananeira 'Prata-Anã' no tempo (J+1), nos sistemas de irrigação por gotejamento (a), microaspersão (b) e aspersão Convencional (c), Guanambi - BA. UFLA, 2011

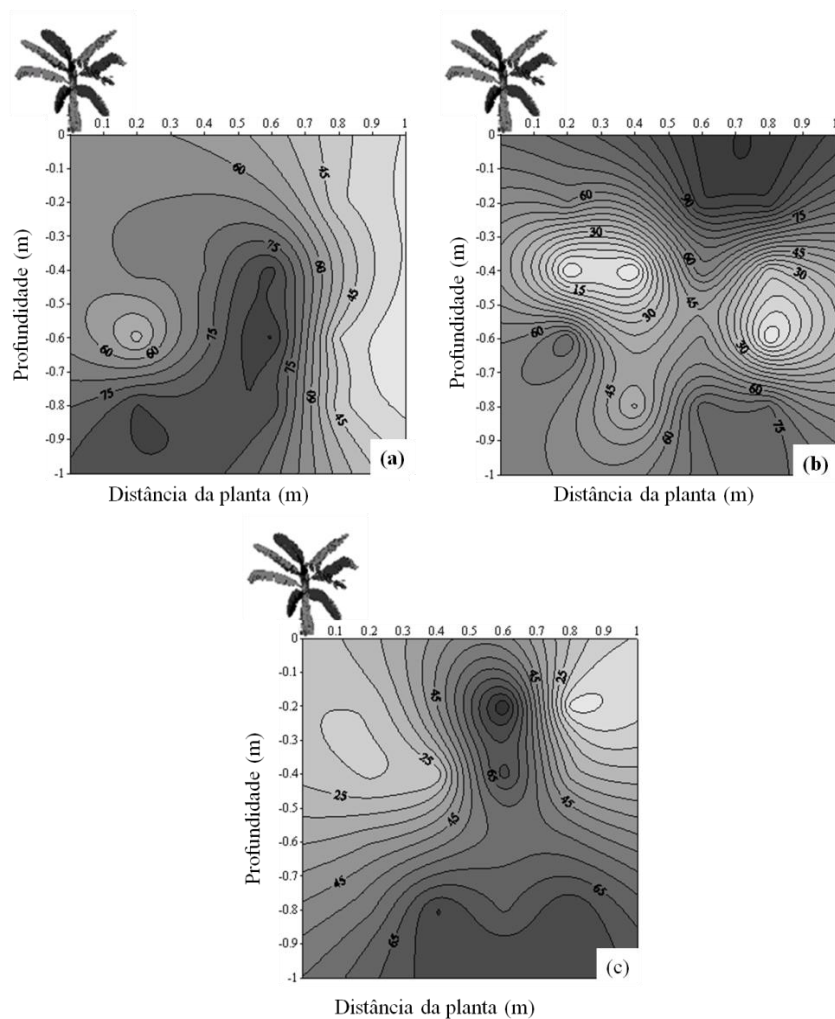


Figura 14 Disponibilidade de água (%) no perfil do solo, cultivado com bananeira ‘Prata-Anã’ no tempo (J+2), nos sistemas de irrigação por gotejamento (a), microaspersão (b) e aspersão convencional (c), Guanambi - BA. UFLA, 2011

Na Figura 15 encontram-se os dados de extração de água no solo na distância de 0 – 1 m do pseudocaule e profundidade até 1 m, para os sistemas de irrigação por gotejamento, microaspersão e aspersão convencional. Pode-se notar que as zonas de extração de água são influenciadas pela distribuição de

água no solo, pois os sistemas avaliados apresentaram elevados valores de umidade no solo para a profundidade inferior a 0,4 m, e nessa região a percentagem de água extraída foi 95%, 69% e 82% para o sistema de irrigação por gotejamento, microaspersão e aspersão convencional, respectivamente (Gráfico 16).

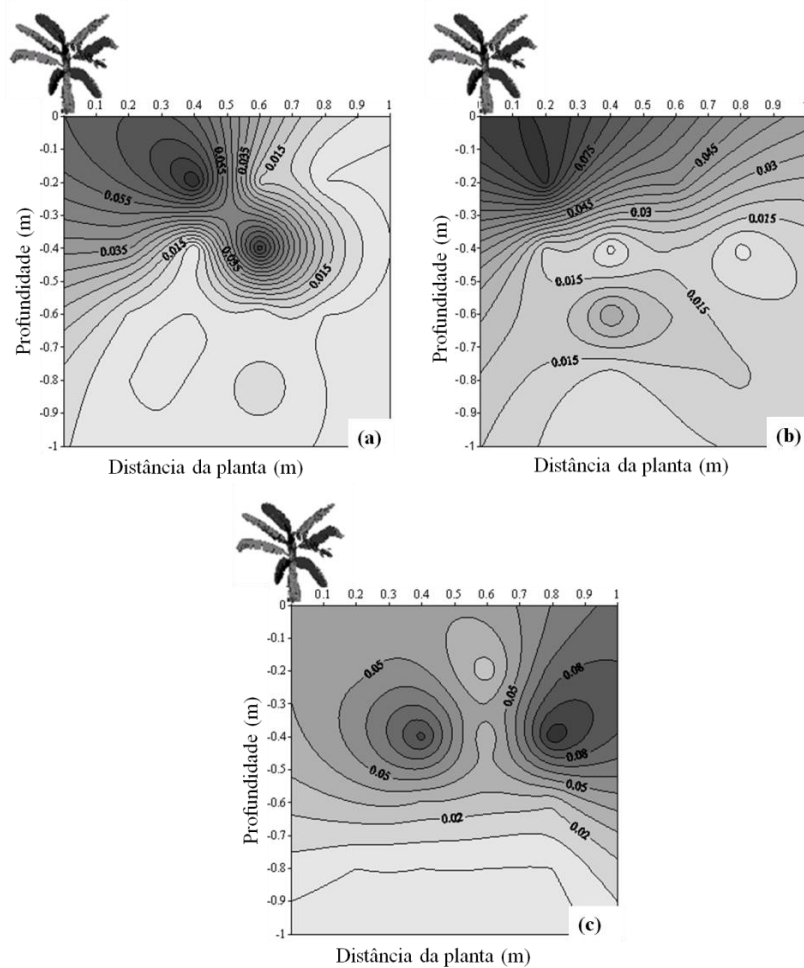


Figura 15 Valores de extração de água no solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), para os sistemas de irrigação por gotejamento (a), microaspersão (b) e aspersão convencional (c), Guanambi - BA. UFLA, 2011

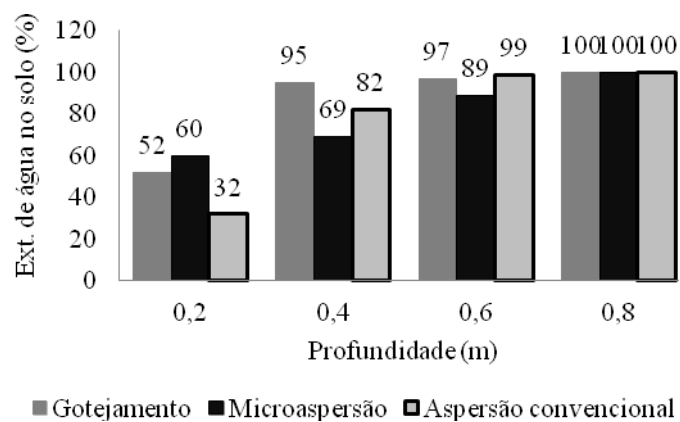


Gráfico 16 Percentagem acumulada de extração de água pelas raízes de bananeira 'Prata-Anã', em relação à profundidade do solo, nos sistemas de irrigação por gotejamento, microaspersão e aspersão convencional, Guanambi - BA. UFLA, 2011

Em relação à distância da planta, o sistema por aspersão convencional demonstrou uma uniformização na distribuição da extração total de água no solo para profundidade inferior a 0,6 m, enquanto os sistemas por microaspersão e gotejamento apresentaram sua zona de maior extração próxima ao pseudocaule da planta (Figura 15), sendo detectado a 0,6 m de distância da planta, 94%, 85% e 64% da percentagem de água extraída do solo para os sistemas de irrigação por gotejamento, microaspersão e aspersão convencional, respectivamente (Gráfico 17).

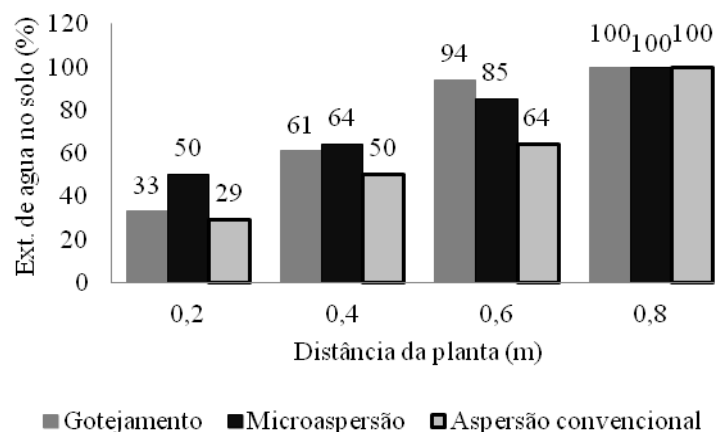


Gráfico 17 Percentagem acumulada de extração de água pelas raízes de bananeira 'Prata-Anã', em relação a distância do pseudocaule da planta, nos sistemas de irrigação por gotejamento, microaspersão e aspersão convencional, Guanambi - BA. UFLA, 2011

4.5 Interação entre zonas de extração de água e distribuição das raízes no solo

A análise de regressão foi significativa, indicando que existe uma relação entre a extração de água no solo e o aumento da sua disponibilidade no perfil do solo. O sistema por gotejamento proporcionou uma alta relação entre as variáveis com R^2 igual a 0,95 (Gráfico 18), enquanto os sistemas por microaspersão e por aspersão convencional apresentaram um R^2 de 0,81 e 0,83, respectivamente (Gráfico 19 e 20). O ajuste dos dados indica que as variações na extração de água total no solo podem ser explicadas pelas variações da disponibilidade de água no solo.

Nota-se, nos Gráficos 18, 19 e 20, que houve um significativo aumento na extração de água com o acréscimo do percentual de água no solo, embora o sistema por aspersão convencional tenha apresentado pequena variação na extração total de água no solo (Gráfico 20). Isso pode ser resultado dos altos

percentuais de água no solo, já que esse sistema apresentou valores acima da capacidade de campo para a profundidade de 0,0 - 0,4 m.

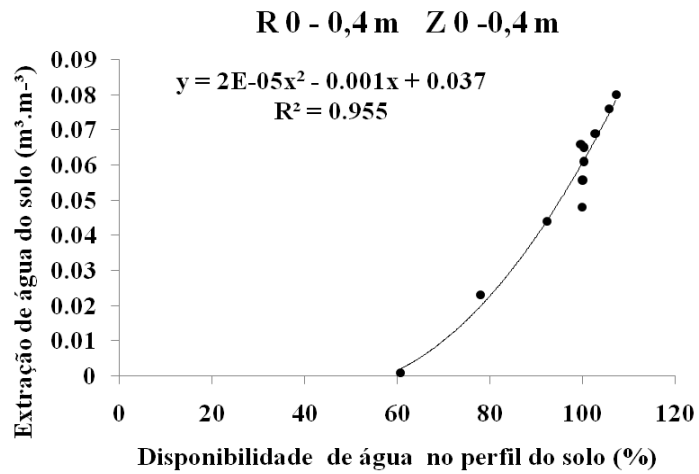


Gráfico 18 Valores da extração total de água no solo ($m^3 m^{-3}$) em função da disponibilidade de água no perfil do solo (%) na camada de 0 – 0,4 m até 0,4 m de distância do pseudocaule da bananeira ‘Prata-Anã’, para o sistema por gotejamento, Guanambi - BA. UFLA, 2011

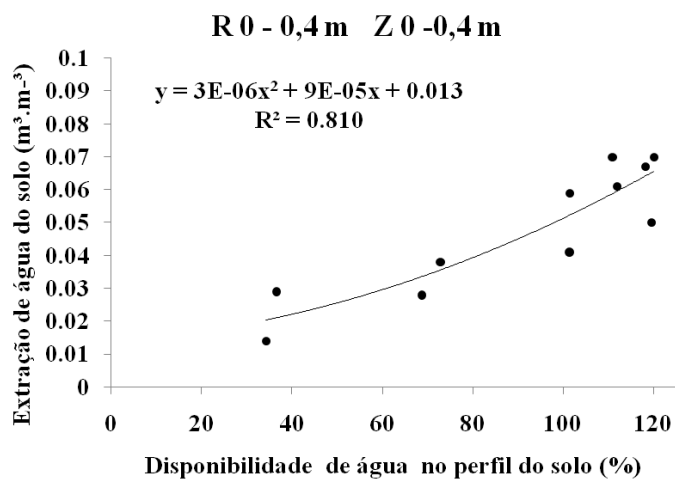


Gráfico 19 Valores da extração total de água no solo ($m^3 m^{-3}$) em função da disponibilidade de água no perfil do solo (%) na camada de 0 – 0,4 m até 0,4 m de distância do pseudocaule da bananeira ‘Prata-Anã’, para o sistema por microaspersão, Guanambi - BA. UFLA, 2011

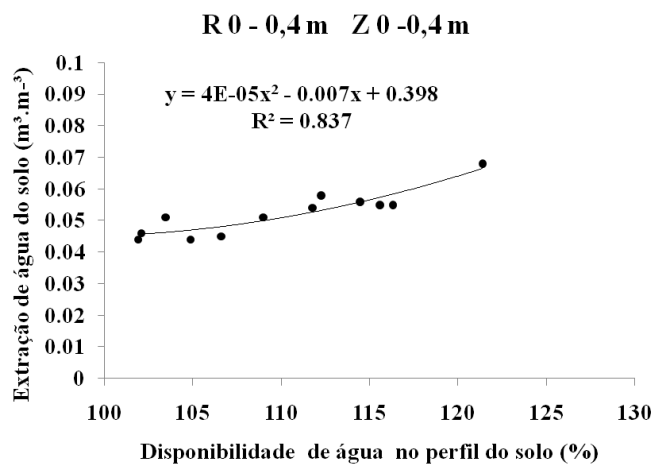


Gráfico 20 Valores da extração total de água no solo ($m^3 m^{-3}$) em função da disponibilidade de água no perfil do solo (%) na camada de 0 – 0,4 m até 0,4 m de distância do pseudocaule da bananeira ‘Prata-Anã’, para o sistema por aspersão convencional, Guanambi - BA. UFLA, 2011

Nas Figuras 16a, 16b e 16c estão dispostas as isolinhas da densidade de comprimento de raízes total, no segundo ciclo da cultura da bananeira 'Prata-Anã', para os sistemas de irrigação por gotejamento, microaspersão e aspersão convencional, respectivamente. Sobrepondo estas isolinhas têm-se as linhas tracejadas em cor azul representando as regiões de extração de água total no solo. As zonas com maior densidade do comprimento do sistema radicular compreendem a região de extração de água (linha tracejada azul) em todos os sistemas avaliados. As extrações de água total ocorreram com maior intensidade nos primeiros 0,40 m abaixo da superfície do solo, o que está de acordo com Coelho et al. (2008), os quais relatam que nas condições subúmidas a maior intensidade da absorção de água pelo sistema radicular da bananeira se concentra basicamente nos primeiros 0,40 m e nas condições semiáridas a zona de maior intensidade de extração ocorre até 0,50 m.

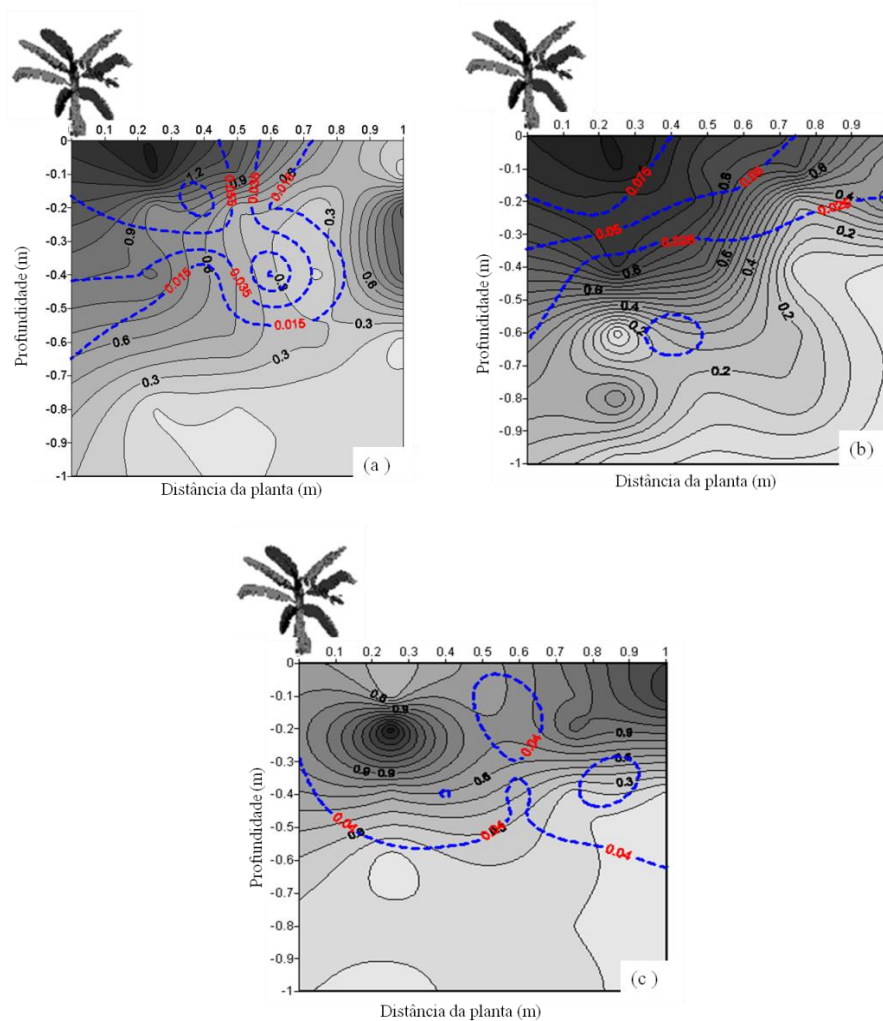


Figura 16 Distribuição da densidade de comprimento total de raízes e zonas de extração de água no solo, para os sistemas de irrigação por gotejamento (a), microaspersão (b) e aspersão convencional (c), na fase final do segundo ciclo da bananeira ‘Prata-Anã’. Linhas tracejadas na cor azul equivalem à extração de água no solo, Guanambi – BA. UFLA, 2011

5 CONCLUSÕES

A maior parte das raízes da bananeira foi localizada na camada de 0,10 a 0,50 m.

Os valores máximos encontrados para profundidade efetiva foram de 0,74 m, 0,62 m e 0,61 m para os sistemas de irrigação por gotejamento, microaspersão e aspersão convencional, respectivamente.

Os valores máximos encontrados para distância efetiva foram de 0,63 m, 0,66 m e 0,79 m para os sistemas de irrigação por gotejamento, microaspersão e aspersão convencional, respectivamente.

A bananeira 'Prata-Anã' apresentou acima de 90% do comprimento total de raízes com diâmetro inferior a 2 mm, para todos os sistemas de irrigação avaliados.

As raízes de maior diâmetro tenderam a se concentrar a menores distâncias do pseudocaule da planta com profundidades inferiores a 0,40 m da superfície do solo.

As zonas com maior densidade do comprimento do sistema radicular compreendem a região de extração de água em todos os sistemas avaliados.

As extrações de água total ocorreram com maior intensidade nos primeiros 0,40 m abaixo da superfície do solo.

Referências

- ASSOULINE, S. The effects of microdrip and conventional drip irrigation on water distribution and uptake. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 66, n. 5, p.1630-1636, Sept./Oct. 2002.
- BAKER, J. M.; ALLMARAS, R. R. System for automating and multiplexing soil moisture measurement by time-domain reflectometry. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 54, n. 1, p. 1-6, Jan./Feb. 1990.
- BASSOI, L. H. et al. Guidelines for irrigation scheduling of banana crop in São Francisco Valley, Brazil: I root distribution and activity. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 459-463, Dec. 2004.
- BASSOI, L. H. et al. Informações sobre a distribuição das raízes da bananeira para o manejo de irrigação. **Comunicado Técnico**, Petrolina, n. 105, p. 1-4, dez. 2001.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa, MG: UFV, 2005. 596 p.
- BOHM, W. **Methods of studying root systems**. New York: Springer-Verlag, 1979. 190 p.
- BORGES, A. L. et al. Distribuição do sistema radicular da bananeira 'Prata-Anã' em duas frequências de fertirrigação com uréia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 259-262, mar. 2008.
- BOUMA, T. J.; NIELSEN, K. L.; KOUTSTAAL, B. Sample preparation and scanning protocol for computerised analysis of root length and diameter. **Plant and Soil**, The Hague, v. 218, n. 1/2, p. 185-196, Jan. 2000.
- BRASIL, F. C. et al. Distribuição vertical de características morfológicas do sistema radicular de *Brachiaria humidicola*. **Revista Pasturas Tropicales**, Cali, v. 24, n. 3, p. 14-20, dez. 2002.
- CAMPOS, R. P.; VALENTE, J. P.; PEREIRA, W. E. Conservação pós-colheita de banana cv. nanica climatizada e comercializada em Cuiabá - MT e região. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 172-174, abr. 2003.

CARR, M. K. V. The water relations and irrigation requirements of banana (MUSA SPP.). **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 45, n. 3, p. 333-371, July 2009.

CAVALCANTE, A. T.; SAMPAIO, E. V. de S. B., CAVALCANTE, U. M. T. Interdependência na absorção e redistribuição de fósforo entre planta mãe e filha de bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 255-259, ago. 2005.

CAYÓN SALINAS, D. G. Ecofisiología y productividad del plátano (Musa AAB Simmonds). In: REUNIÓN INTERNACIONAL PARA COOPERACIÓN EN LA INVESTIGACIÓN DE BANANO EN EL CARIBE Y EN AMÉRICA CENTRAL, 16., 2004, Oaxaca. **Memorias...** San José: Corbana, 2004. p.172-183.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkley: University of California, 1942. 124 p.

CHRISTOFÍDIS, D. **Água: gênese, gênero e sustentabilidade alimentar no Brasil**. Brasília: [s.n.], 2006. p. 18.

COELHO, E. F. et al. Comparação de métodos de obtenção de imagens digitais de raízes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28., 1999, Pelotas. **Anais...** Pelotas: SBEA/UFPEL-FEA, 1999. 1 CD-ROM.

COELHO, E. F. et al. Distribuição de raízes de laranja "Pêra" sob sequeiro e irrigação por microaspersão em solo arenoso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 5, p. 603-611, maio 2002.

COELHO, E. F. et al. **Distribuição de raízes e extração de água do solo em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas: EMBRAPA Mandioca e Fruticultura Tropical, 2008. 80 p.

COELHO, E. F. et al. Distribuição do sistema radicular da mangueira sob irrigação localizada em solo arenoso de tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 250-256, ago. 2001.

COELHO, E. F. et al. Sistema radicular da bananeira sob diferentes configurações de sistemas irrigação localizada. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 16., 2006, Goiânia. **Anais...** Goiânia: ABID, 2006. 1 CD-ROM.

COELHO, E. F.; OR, D. Applicability of analytical solutions for flow from point sources to drip irrigation management. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, n. 5, p. 1331-1341, Sept./Oct. 1997.

COELHO, E. F.; SILVA, A. J. P.; MIRANDA, J. H. de. Definição do posicionamento de sensores para monitoramento da água no solo em bananeira irrigada por diferentes sistemas de irrigação localizada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 608-618, jul./ago. 2010.

DONATO, S. L. R. et al. Estado nutricional de bananeiras tipo Prata sob diferentes sistemas de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 9, p. 980-988, set. 2010.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirement**. Rome: FAO, 1977. 144 p. (Irrigation and Drainage, 24).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

FANTE JÚNIOR, L. et al. Distribuição do sistema radicular do milho em terra roxa estruturada latossólica: I comparação de metodologias. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 51, n. 3, p. 513-518, set./out. 1994.

FERREIRA, M. de N. L. **Distribuição radicular e consumo de água de goiabeira (*Psidium guajava* L.) irrigada por microaspersão em Petrolina-PE**. 2004. 106 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAOSTAT 2010**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 19 out. 2010.

GARCIA, R.V. **Sistema radicular de bananeira irrigada por aspersão convencional e microaspersão no Projeto Jaíba - MG**. 2000. 47 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.

HIMMELBAUER, M. L.; LOISKANDL, W.; KASTANEK, F. Estimating length, average diameter and surface area of roots using two different Image analyses systems. **Plant and Soil**, The Hague, v. 260, n. 1/2, p. 11-120, Mar. 2004.

HORST, M. G. et al. Assessing impacts of surge-flow irrigation on water saving and productivity of cotton. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 87, n. 2, p. 115-127, Jan. 2007.

HOWELL, T. A. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. **Agronomy Journal**, Madison, v. 93, n. 2, p. 281-289, Mar./Apr. 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.
Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA). Disponível em:
<<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/prevsaf/default.asp>>. Acesso em: 19 out. 2010.

JAIMEZ, R. E. et al. Seasonal variations in leaf gas exchange of platain cv. 'Hartón' (Musa AAB) under different soil water conditions in a humid tropical region. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 104, n. 1, p.79-89, Dec. 2005.

KANBER, R. et al. Effects of different irrigation methods on yield, evapotranspiration and root development of young orange trees. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, Ankara, v. 20, n. 2, p. 163-172, Apr. 1996.

KASPAR, T. C.; EWING, R. P. Rootedge: software for measuring root length from desktop scanner images. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, n. 6, p. 932-940, Nov./ Dec. 1997.

LACERDA FILHO, R. et al. Densidade do sistema radicular da bananeira 'Pacovan' sob irrigação por aspersão. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 538-539, dez. 2004.

LACERDA, R. D. de et al. Avaliação de um TDR para determinação do conteúdo de água do solo. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 1-12, 1 sem. 2005.

LAVIGNE, C. Contribution a l'étude du systeme racinaire du bananier: mise au point de rhizotrons et premier résultats. **Fruits**, Cambridge, v. 42, n. 5, p. 265-271, 1987.

LECOMPTE, F.; PAGES', L. Apical diameter and branching density affect lateral root elongation rates in banana. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 59, n. 3, p. 243-251, Apr. 2007.

LECOMPTE, F.; PAGES', L.; OZIER-LAFONTAINE, H. Patterns of variability in the diameter of lateral roots in the banana root system the banana root system. **New Phytologist**, Cambridge, v. 167, n. 3, p. 841-850, Sept. 2005.

LEHMANN, J. Subsoil root activity in tree-based cropping systems. **Plant and Soil**, The Hague, v. 255, n. 1, p. 319-331, Aug. 2003.

LESSA, L. S. et al. Características agrônômica de híbridos diploides de bananeira em três ciclos de produção em Cruz das Almas, Bahia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 1, p. 213-221, mar. 2010.

LYNCH, J. P.; BROWN, K. M. Topsoil foraging: an architectural adaptation to low phosphorus availability. **Plant and Soil**, The Hague, v. 237, n. 2, p. 225-237, Dec. 2001.

MELO, A. S. et al. Alterações das características fisiológicas da bananeira sob condições de fertirrigação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 733-741, maio/jun. 2009.

MILANI, D. I. C.; TAVARES, M. H. F.; CLEMENTINA, S. Calibração de sondas TDR em condições de laboratório. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 3, n. 1, p. 68-75, 2008.

MOREIRA, R. S. **Banana: teoria e prática de cultivo**. Campinas: Fundação CARGIL, 1987. 345 p.

NEILSEN, G. H. et al. Drip-fertigation of apple trees affects root distribution and development of K deficiency. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 80, n. 2, p. 353-361, Apr. 2000.

NOBORIO, K.; MCLNNES, K. J.; HEILMAN, J. L. Measurement of cumulative infiltration and wetting front location by time domain reflectometry. **Soil Science**, Baltimore, v. 161, n. 18, p. 480-483, Aug. 1996.

NOGUEIRA, C. P.; COELHO, E. F.; LEÃO, M. C. S. Características e dimensões do volume de um solo molhado sob gotejamento superficial e subsuperficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p.315-320, set./dez. 2000.

PLAYÁN, E. et al. Day and night wind drift and evaporation losses in sprinkler solid-sets and moving laterals. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 76, n. 3, p. 139-159, Aug. 2005.

RAMOS, C. M. C. **Distribuição do sistema radicular e consumo de água da bananeira irrigada por microaspersão**. 2001. 62 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

RÊGO, J. L. et al. Efeitos de níveis de irrigação sobre a cultura do crisântemo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 35, n. 2, p. 302-308, jul./dez. 2004.

RIBEIRO, R. C. F. et al. Efeito de diferentes lâminas de irrigação sobre a população de meloidogyne javanica e a produtividade de bananeira no norte de minas gerais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 90-95, mar. 2009.

RODRIGUES, M. G. V. et al. Planejamento implantação e manejo do bananal. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 29, n. 245, p. 14-24, jul./ago. 2008.

RUIZ-SANCHEZ, M. C. et al. Spatial root distribution of apricot trees in different soil tillage practices. **Plant and Soil**, The Hague, v. 272, n. 1/2, p. 211-221, May 2005.

SANTOS, D. B. **Extração de água pelo limão ‘Tahiti’ com porta enxerto Citrumelo ‘Swingle’ sob microaspersão nas condições semi-áridas da Bahia**. 2002. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2002.

SANTOS, M. R. et al. Distribuição do sistema radicular da bananeira sob diferentes configurações do sistema de irrigação por aspersão. In: REUNIÃO INTERNACIONAL DA ASSOCIAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO NAS PESQUISAS SOBRE BANANA NO CARIBE E AMERICA TROPICAL: BANANA, 17., 2006, Joinville. **Bananicultura: um negócio sustentável: anais**. Joinville: ACORBAT/ACAFRUTA, 2006. v. 1, p. 352.

SILVA, S. de O. et al. Avaliação de clones de banana Cavendish. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 832-837, set./out. 2006.

SILVA, S. de O.; FLORES, J. C. de O.; LIMA NETO, F. P. Avaliação de cultivares e híbridos de bananeira em quatro ciclos de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 11, p. 1567-1574, nov. 2002.

SOUZA, C. F.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. Desempenho de sondas multihaste segmentada para o monitoramento da umidade do solo por meio da técnica de TDR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28., 1999, Pelotas. **Anais...** Pelotas: SBEA/UFPel, 1999. 1 CD-ROM.

SOUZA, C. F.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. Experiência do laboratório de hidráulica, irrigação e drenagem da Faculdade de Engenharia Agrícola / UNICAMP no uso da técnica do TDR. In: WORKSHOP SOBRE APLICAÇÕES DA TÉCNICA DE TDR (REFLECTOMETRIA NO DOMÍNIO DO TEMPO) NA AGRICULTURA, 1., 2001, Campinas. **Anais...** Campinas: UNICAMP/ FEAGRI, 2001. p. 147-176.

THORNE, D. W. Irrigation and crop production. In: THORNE, D. W.; THORNE, M. D. (Ed.). **Soil, water & crop production**. Westport: Avi Publishing, 1979. chap. 8, p. 96-116.

TOPP, G. C.; DAVIS, J. L.; ANNAN, A. P. Electromagnetic determination of soil water content; measurement in coaxial lines. **Water Resources Research**, Washington, v. 16, n. 3, p. 574-582, 1980.

VIEIRA, D. B.; GENOVEZ, A. M.; GOMES, E. M. Determinação da profundidade efetiva do sistema radicular do milho (*Zea mays* L.) irrigado. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11., 1996, Campinas. **Anais...** Campinas: ABID, 1996. p. 95-106.

VILLWOCK, R.; TAVARES, M. H. F.; VILAS BOAS, M. A. Calibração de um equipamento TDR em condições de campo. **Irriga**, Botucatu, v. 9, n. 1, p. 82-88, jan./abr. 2004.

ZOBEL, R. W. Sensitivity analysis of computer-based diameter measurement from digital images. **Crop Science Society of America**, Madison, v. 43, n. 2, p. 583-591, Mar. 2003.