

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO  
MESTRADO EM AGRONOMIA – SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS**

**ALAN ANTONIO MIOTTI**

**DESEMPENHO DE BANANEIRAS IRRIGADAS EM RESPOSTA A DIFERENTES  
PROFUNDIDADES EFETIVAS DO SOLO NA CHAPADA DO APODI - CE**

**FORTALEZA  
2011**

**ALAN ANTONIO MIOTTI**

**DESEMPENHO DE BANANEIRAS IRRIGADAS EM RESPOSTA A DIFERENTES  
PROFUNDIDADES EFETIVAS DO SOLO NA CHAPADA DO APODI - CE**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Agronomia.

Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Doutora Mirian Cristina Gomes Costa

**FORTALEZA  
2011**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

---

M63d

Miotti, Alan Antonio.

Desempenho de bananeiras irrigadas em resposta a diferentes profundidades efetivas do solo na Chapada do Apodi - CE / Alan Antonio Miotti. – 2011.

61 f. : il. color., enc. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Ciências do Solo, Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas, Fortaleza, 2011.

Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

Orientação: Profa. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa.

1. Solos – Estudo – Apodi, Chapada do (CE). 2. Bananeira – Irrigação. I. Título.

---

CDD 631.4

**ALAN ANTONIO MIOTTI**

**DESEMPENHO DE BANANEIRAS IRRIGADAS EM RESPOSTA A DIFERENTES  
PROFUNDIDADES EFETIVAS DO SOLO NA CHAPADA DO APODI - CE**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Agronomia. Área de concentração Solos e Nutrição de Plantas.

Aprovada em: 03/03/2011.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Doutora Mirian Cristina Gomes Costa (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará - UFC

---

Prof. Doutor Tiago Osório Ferreira  
Universidade Federal do Ceará - UFC

---

Doutor Lindbergue Araújo Crisóstomo  
Embrapa Agroindústria Tropical

## AGRADECIMENTOS

À Deus, em primeiro lugar, por ter me dado saúde, força e iluminado meu caminho durante todo este percurso, diante das dificuldades e das alegrias;

Aos meus maiores amores, pai e mãe, pelo apoio incondicional, infinito amor e atenção durante toda a minha vida. À minha irmã pelo amor e por todas as ajudas financeiras em viagens e móveis para a casa e, meu irmão pela compreensão e amizade;

À minha orientadora Prof. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa, pela ajuda e confiança em todos os meus trabalhos durante o curso, pela compreensão, incentivo e conselhos que ajudaram na minha formação profissional e pessoal;

Aos Professores da banca avaliadora, Doutor Tiago Osório Ferreira e Doutor Lindbergue Araújo Crisóstomo, por confiarem no meu trabalho e pelas sugestões;

Aos meus queridos amigos inesquecíveis Hugo Mota, Robson Souza, Lydia Helena, Jaime Henrique, Prof. Gustavo Valladares, Gustavo Henrique e Diego Borges por todas as conversas alegrias e pela motivação durante estes anos;

Aos companheiros de laboratório, acadêmicos Davi e Isabela, ao Antonio José da FUNCEME, à Samia pela ajuda e pelas brincadeiras que fizemos juntos, aos companheiros de Viçosa Lula e Brás. Valeu pela amizade, pela troca de conhecimentos e por todos os momentos divididos, favorecendo sempre a convivência no ambiente de trabalho;

Ao companheiro João Paulo Cajazeira que nos auxiliou no experimento, levando-me com sua moto na Fazenda todas as vezes que precisei, seja com poeira, chuva e sol;

Ao Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero, coordenador do curso, pelo incentivo do início ao fim dos trabalhos;

Ao Prof. Dr. Eduardo de Sá Mendonça (UFES) e ao Prof. Dr. Ivo Ribeiro da Silva (UFV), pelo apoio e disponibilização do Laboratório para as análises químicas em Viçosa – MG;

Às equipes dos Laboratórios de Manejo e Física do Solo do DCS/UFC;

Ao CNPq pela concessão de bolsa de estudo e

À minha namorada Patrícia de Melo Rodrigues, por todo o apoio e o amor prestado durante todo esse tempo.

## RESUMO

A bananeira é uma planta que pode ter sua produção prejudicada se cultivada em locais com limitações físicas, como aquelas associadas a solos rasos. O objetivo deste trabalho foi verificar se o desempenho da bananeira irrigada é afetado pela profundidade efetiva, de modo que, para isso, foram avaliados atributos físicos e químicos do solo, bem como o estado nutricional, o sistema radicular e atributos relacionados à produtividade da bananeira. O estudo foi realizado na Chapada do Apodi – CE, com avaliação de dois tratamentos: solo raso e solo profundo. Amostras de solo (indeformadas e deformadas) e de raízes foram coletadas em seis profundidades (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 e 50-60 cm) e cinco repetições. Nas amostras indeformadas foram determinados atributos físicos do solo como: curva de retenção de água (CR), densidade (Ds) e porosidade (PT). Nas amostras deformadas foram feitas análises granulométricas, densidade de partículas (Dp), além das determinações químicas para fins de fertilidade. A resistência do solo à penetração foi avaliada diretamente no campo, utilizando penetrômetro de impacto, com cinco repetições em profundidade de até 60 cm. Para o estudo de raízes a amostragem foi por meio de sonda e, após a coleta, foi feita lavagem para separação de raízes e solo. A partir de imagens das raízes lavadas foram avaliados atributos como comprimento, área e volume total, além de diferentes classes de diâmetro de raízes. Para a avaliação do estado nutricional e produtividade da bananeira foram amostradas 30 plantas em cada tratamento, totalizando 60 indivíduos na área experimental. Para avaliar o estado nutricional foram coletadas folhas no período do florescimento e determinados os teores de macro e micronutrientes no tecido vegetal. Os atributos físicos avaliados não diferiram em função da profundidade efetiva dos solos, exceto a resistência à penetração que, a partir dos 30 cm de profundidade, tornou-se maior no solo raso com pico de 5,1 MPa. No solo profundo a fertilidade e as condições nutricionais da bananeira foram melhores. Os atributos radiculares, como número de classes de diâmetro e diâmetro máximo, foram maiores no solo profundo e o diâmetro mínimo foi menor neste solo. O peso de cachos e a produtividade foram significativos, apresentando-se maior no solo profundo. Em geral, os atributos químicos, físicos, nutricionais e radiculares da bananeira foram melhores no solo profundo, refletindo em maior produtividade da cultura e possibilitando maior renda econômica nessa área.

**Palavras-chave:** Profundidade do solo; Sistema radicular; bananicultura.

## ABSTRACT

The production of banana can be affected whether plants are cropped in sites with physical impedances, as those found in shallow soils. The aim of this research was to verify if irrigated banana plants performance is affected by effective soil depth, and for this purpose were evaluated both soil physical and chemical attributes, as well as plants nutritional condition, root system, and attributes related with banana plants yield. The study was carried out at Apodi Plateau (CE), by evaluation of two treatments: shallow and deep soils. Soil samples (undisturbed and disturbed) and roots were collected in six soil depths (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 e 50-60 cm) and five replications. In undisturbed samples were determined soil physical attributes like water retention curve (CR), soil bulk density (Ds), and porosity (PT). In the disturbed samples were analyzed soil texture, particles density (Dp), besides chemical determinations for soil fertility purposes. Soil penetration resistance was evaluated directly in the field, using an impact penetrometer, with five replications and until soil depth of 60 cm. To root studies the sampling was done using a probe, and after collecting, samples were washed to separate roots from soil. From washed root images were evaluated attributes like root length, area and total volume, besides root diameter classes. To evaluate banana plants nutritional status and yield were sampled 30 plants in each treatment, totalizing 60 individuals in the experimental area. To evaluate nutritional status leaves were collected in the flowering period, and the amounts of macro and micronutrients were determined in plant tissue. The evaluated physical attributes did not differ as a function of soil depth, except penetration resistance that, from depth of 30 cm became higher in the shallow soil, with highest value of 5.1 MPa. In the deep soil, fertility and nutritional status of plants showed better values. Roots attributes like number of diameter classes and maximum diameter were higher in deep soil, and minimal diameter was higher in the deep soil also. The bunch weight and yield were higher in deep soil. In general, chemical and physical attributes, root system attributes and nutritional status of banana plants were better in deep soil, reflecting in better crop yield and enabling greater economic rentability in the site.

**Keywords:** Soil depth; Root system; Banana plantation

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	5
<b>ABSTRACT</b> .....	6
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	8
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	10
2.1 A bananicultura no Brasil .....	10
2.1.1 Importância do Nordeste e do Ceará na bananicultura nacional .....	10
2.1.2 Importância da Chapada do Apodi na produção de bananas no Ceará .....	10
2.1.3 Solos da Chapada do Apodi e a aptidão para a bananicultura.....	11
2.2 Fatores que influenciam o desenvolvimento da bananeira.....	12
2.2.1 Fatores relacionados ao clima.....	12
2.2.2 Fatores relacionados à profundidade do solo .....	13
2.2.3 Fatores relacionados à nutrição mineral .....	15
2.3 Distribuição do sistema radicular da bananeira.....	15
2.4 Estudos do sistema radicular .....	17
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	18
3.1 Área de estudo .....	18
3.2 Delineamento experimental.....	23
3.3 Determinação de atributos físicos do solo.....	23
3.3.1 Curva de retenção de água no solo (CR) .....	23
3.3.2 Densidade de partículas (Dp) .....	24
3.3.3 Densidade do solo (Ds).....	24
3.3.4 Resistência à penetração (RP) .....	24
3.3.5 Porosidade .....	24
3.3.6 Granulometria.....	25
3.4 Avaliação da fertilidade do solo .....	25
3.5 Avaliação do estado nutricional da bananeira .....	26
3.6 Determinação de atributos radiculares da bananeira .....	26
3.7 Determinação de atributos de produtividade da bananeira.....	27
3.8 Análises estatísticas .....	27
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	28
4.1 Atributos físicos do solo .....	28
4.2 Fertilidade do solo .....	35
4.3 Estado nutricional das bananeiras.....	43
4.4 Atributos radiculares da bananeira .....	48
4.5 Atributos de produtividade da bananeira.....	50
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	53
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	54



## 1 INTRODUÇÃO

A banana (*Musa sp*) é uma fruta cultivada na maioria das regiões tropicais e subtropicais. Seu centro de origem é a Ásia tropical, mas apresenta também centros de origem secundários como a África e ilhas do Oceano Pacífico. Dentre os principais países produtores destacam-se a Índia (16,8 milhões de toneladas anuais), seguida pelo Brasil (7 milhões de toneladas anuais), China (6,5 milhões de toneladas anuais) e Equador (5 milhões de toneladas anuais). A banana apresenta grande importância para o Brasil, sendo considerado alimento de alto valor nutritivo que, nas áreas de produção agrícola, desempenha significativo papel socioeconômico por mobilizar grande contingente de mão-de-obra e permitir rápido retorno de capital aos produtores.

No Brasil, a região Nordeste é a maior produtora de bananas, sendo o Estado do Ceará o segundo maior produtor nordestino. O perímetro irrigado da Chapada do Apodi colocou o Ceará na lista dos principais exportadores mundiais de frutas com bananeiras que apresentam produtividade alta quando comparados à média estadual e nacional. No entanto, a fruticultura irrigada da Chapada desenvolve-se sobre Cambissolos com características físicas, químicas e mineralógicas distintas, implicando na necessidade de manejo diferenciado.

A bananeira pode ter sua produção prejudicada se cultivada em solos que oferecem uma profundidade efetiva (profundidade de uso) inadequada ao desenvolvimento de suas raízes. As baixas produtividades muitas vezes estão associadas à utilização de solos de baixa fertilidade e ao suprimento inadequado de nutrientes durante o ciclo da cultura. Trata-se de uma planta sensível aos fatores de crescimento ligados à física do solo, tais como: compactação, aeração, disponibilidade de água, temperatura e resistência mecânica ao crescimento das raízes. Solos rasos podem limitar o desenvolvimento do sistema radicular, prejudicar a sustentação das plantas e seu potencial de absorver água e nutrientes.

Os estudos referentes ao sistema radicular não têm avançado tanto quanto aqueles referentes à parte aérea das plantas. Um dos motivos para esta situação é que os estudos que envolvem as raízes são geralmente trabalhosos e as metodologias pouco conhecidas. A avaliação da profundidade do solo, quantidade de raízes e distribuição do sistema radicular em condições de diferentes sistemas de manejo de uma cultura são de grande interesse prático para nortear o manejo sustentável dos solos.

Neste contexto, foi levantada a hipótese de que a profundidade efetiva do solo interfere no potencial produtivo de bananeiras irrigadas submetidas aos mesmos tratamentos.

culturais e ao mesmo manejo. O objetivo deste trabalho foi verificar se o desempenho da bananeira irrigada é afetado pela profundidade efetiva. Para isso, foram avaliados atributos físicos e químicos do solo, bem como o sistema radicular, o estado nutricional e atributos relacionados à produtividade da bananeira.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 A bananicultura no Brasil**

#### **2.1.1 Importância do Nordeste e do Ceará na bananicultura nacional**

No Brasil, levantamento referente à safra de 2008 revelou que a região nordeste foi a maior produtora de bananas, com cerca de 40% do total produzido no país, seguida pelas regiões sudeste (29%), sul (14%), norte (13%) e centro-oeste (3,2%). Na região nordeste, a Bahia é o principal estado produtor, responsável por 18% da produção nacional da fruta (IBGE, 2008).

O Nordeste destaca-se pelo alto potencial de produção de frutas, mas vários problemas afetam a bananicultura da região, que se caracteriza pelo baixo nível tecnológico empregado nos cultivos, resultando em baixa produtividade e qualidade dos frutos. As exceções geralmente estão nos pólos de fruticultura irrigada, onde há produção de frutos com alto padrão de qualidade e maior produtividade. Entretanto, em muitos casos, o manejo, os tratamentos culturais e o tratamento pós-colheita deixam a desejar (BORGES, 2003).

O Ceará surge como o segundo maior estado nordestino produtor de bananas, com cerca de 6% do total produzido no país (IBGE, 2008). Dos pólos produtivos do Estado destacam-se: a Chapada do Apodi, as microrregiões do Centro Sul (Iguatu) e as regiões serranas de Uruburetama, Baturité, Palmácia, Guaramiranga, Mulungu e Pacoti, sendo que nessas regiões o cultivo é classificado como puramente extensivo (CARVALHO, 1999).

#### **2.1.2 Importância da Chapada do Apodi na produção de bananas no Ceará**

O perímetro irrigado Jaguaribe-Apodi colocou o Ceará na lista dos principais exportadores mundiais de frutas (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2009). Este perímetro está localizado na Chapada do Apodi, mais precisamente no município de Limoeiro do Norte. Sua implantação foi iniciada em 1987 e seu funcionamento iniciado em 1989. O fornecimento de água para o perímetro irrigado é garantido pelo Rio Jaguaribe, perenizado pelo Açude Público Federal de Orós. A região apresenta topografia uniforme, com relevo plano (declividade menor que 2%) e favorável à mecanização (DNOCS, 2009). Essa região vem se destacando pela melhoria no nível tecnológico dos cultivos, podendo exercer influência benéfica para as demais áreas de produção de banana no Ceará.

A Chapada do Apodi possui extensas áreas cultivadas, nas quais são obtidas produtividades superiores a  $40 \text{ t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ . No ano de 2009, do total de banana comercializado no Estado, 84,2% da cultivar ‘Pacovam Apodi’ e 97,2% da cultivar ‘Prata’ foram produzidos na Chapada, demonstrando a importância, o potencial e a competitividade da região no agronegócio dessa fruta (DITEP/CEASA-CE, 2009).

### 2.1.3 Solos da Chapada do Apodi e a aptidão para a bananicultura

Diversos são os tipos de solos encontrados na área do perímetro irrigado Jaguaribe-Apodi (DNOCS, 2009). Porém, alguns estudos indicam a predominância de Cambissolos com características físicas, químicas e mineralógicas distintas, implicando na necessidade de manejo diferenciado. São encontrados solos rasos com argilas de alta atividade, alta fertilidade natural e baixos teores de fósforo como principal limitação química (ALENCAR, 2003; MOTA, 2004; ANDRADE et al., 2004). Cambissolos eutróficos e Cambissolos vérticos, apresentando propriedades diferenciadas, foram encontrados por Lemos et al. (1997) a pequenas distâncias na Chapada do Apodi, mesmo em mudanças inexpressivas ao relevo.

Oliveira et al. (2009), em estudo do caso na Chapada do Apodi, verificaram que a dinâmica da água, associada às variações no microrelevo, favoreceram a presença de solos rasos em superfícies convexas do terreno e solos mais profundos nas superfícies côncavas. Nos pontos mapeados como solo raso, a profundidade encontrada pelos autores foi de 0 a 30 cm, já nos pontos considerados pouco profundos, a profundidade máxima chegou a 100 cm.

Para compreender a importância de estudos com foco no desenvolvimento radicular das plantas em Cambissolos, é preciso ressaltar que estes são solos minerais com incipiente desenvolvimento de horizonte B (SANTOS et al., 2005) e que apresentam variações em sua profundidade efetiva a poucas distâncias, ou seja, solos que possuem um horizonte com transformações pedogenéticas expressas por decomposição fraca ou pouco adiantada do material originário (intemperismo intermediário). Além disso, são solos com grandes quantidades de minerais primários intemperizáveis, atividade de argila de moderada a alta e com pequena variação de textura ao longo do perfil.

Os Cambissolos Háplicos Ta eutróficos encontrados na Chapada estão quase sempre associados à presença de afloramento de rochas (LEMOS et al., 1997). Apresentam problemas de drenagem, sendo comum a existência de concreções ferro-manganesianas, tanto na superfície como na subsuperfície, onde se verificam horizontes concrecionários antes do

Cr, inviabilizando o desenvolvimento radicular de algumas culturas. Algumas práticas de manejo (aração, gradagem e construção de drenos) podem ser utilizadas nesses solos e a irrigação nessas terras deve seguir critérios observando-se principalmente a qualidade e a quantidade da água (FRANCELINO et al., 2005).

Conforme Amaro Filho (1991), a variabilidade de solos dessa região e suas possíveis limitações quanto à mecanização, fertilidade, salinidade, drenagem e profundidade efetiva fazem com que a exploração dessas terras seja variável, necessitando, portanto, de estudos localizados para cada tipo de solo.

## **2.2 Fatores que influenciam o desenvolvimento da bananeira**

Os fatores que influenciam o crescimento e a produção das bananeiras classificam-se em internos e externos. Os fatores internos estão relacionados às características genéticas da variedade utilizada, enquanto os externos referem-se às condições edáficas (solo), ambientais (clima), agentes bióticos e a ação do homem interferindo nos fatores edáficos e climáticos (ALVES, 1999).

### **2.2.1 Fatores relacionados ao clima**

Em áreas irrigadas é fundamental o conhecimento das inter-relações entre clima, solo, planta e água para o manejo adequado da irrigação e da fertirrigação, objetivando o melhor desenvolvimento do sistema radicular que é resultado da interação entre o potencial genético da planta e o ambiente (BORGES, 2004). Dentre os fatores ambientais que interferem no desenvolvimento das plantas podem ser citados a temperatura, a precipitação, a luminosidade, o vento, a umidade relativa e a altitude.

A faixa de temperatura ótima para desenvolvimento das bananeiras comerciais é de 26 a 28°C (BORGES, 2003). A temperatura mínima não deve ser inferior a 15° C por causar o chamado “engasgamento” que deforma o cacho e inviabiliza sua comercialização. A temperatura máxima não deve ser superior a 35° C por inibir o desenvolvimento, principalmente pela desidratação dos tecidos, sobretudo das folhas (BORGES e SOUZA, 2004).

O consumo de água pela planta é elevado e constante em função da morfologia, suculência e hidratação dos seus tecidos (ALVES, 1999). Para obtenção de colheitas economicamente rentáveis, a precipitação bem distribuída de 100 mm mês<sup>-1</sup> é considerada

suficiente para solos com boa capacidade de retenção de água. Já para os solos com menor capacidade, a precipitação de 180 mm mês<sup>-1</sup> é considerada adequada. Assim, a precipitação efetiva anual deve ser de 1200 a 1800 mm ano<sup>-1</sup> (BORGES, 2003).

A bananeira requer alta luminosidade, no entanto, o fotoperíodo parece não influenciar o seu crescimento e frutificação, embora o efeito da luminosidade sobre o ciclo vegetativo da bananeira seja evidente. Nas condições do Nordeste brasileiro a intensidade luminosa está em torno de 2300 a 2800 horas ano<sup>-1</sup>, acelerando o desenvolvimento e reduzindo o ciclo da cultura (ALVES, 1999).

O vento é um fator climático importante, podendo causar desde pequenos danos até a destruição do bananal. Ventos inferiores a 30 Km h<sup>-1</sup>, normalmente não prejudicam a planta, ou seja, não são limitantes para o cultivo (BORGES, 2003). Por outro lado, plantios em solos rasos e com sistema radicular pouco vigoroso podem ser danificados em virtude dos ventos fortes. Já foram relatadas perdas em bananais da Chapada do Apodi em virtude de ventos de até 60 km h<sup>-1</sup> (DIÁRIO DO NORDESTE, 2010).

No que se refere à umidade do ar, como se trata de uma planta típica das regiões tropicais úmidas, a bananeira apresenta melhor desenvolvimento em locais com médias anuais de umidade relativa superiores a 80% e altitudes de 0 a 1000 m acima do nível do mar (BORGES, 2003).

### 2.2.2 Fatores relacionados à profundidade do solo

Vários fatores podem influenciar o desenvolvimento das raízes e, conseqüentemente, a absorção de água e nutrientes e o potencial produtivo da bananeira. Dentre esses fatores está a profundidade efetiva do solo; estudos apontam que profundidades efetivas inferiores a 25 cm são indicativas de solos considerados inadequados para alguns tipos de cultivo (AMARO FILHO et al., 2008). Para o bom desenvolvimento da bananeira, Borges et al. (2004) recomendam que os solos não apresentem camada impermeável, pedregosa ou endurecida e lençol freático próximo à superfície a menos de um metro de profundidade.

Condições desfavoráveis do solo, restritivas ao desenvolvimento de raízes, constituem a razão mais comum pela qual as culturas não conseguem expressar todo seu potencial genético de produtividade (COSTA, 2005). Serrano (2005) menciona que uma combinação de fatores afeta a produtividade dos bananais na Costa Rica, sendo que as raízes

funcionais, por sua vez, são afetadas por fatores bióticos (organismos) e abióticos que incluem a má drenagem dos solos (superficial e interna), a presença de elementos tóxicos como Al e a compactação do solo.

Solos compactados raramente possibilitam ao sistema radicular da bananeira atingir profundidades superiores a 60 cm, fazendo com que as plantas fiquem sujeitas ao tombamento. Por isso, Borges et al. (2002) ressaltam a importância de observar e estudar o perfil do solo até maiores profundidades, antes do estabelecimento dos plantios comerciais.

A profundidade efetiva do solo com boas condições físicas para o desenvolvimento das raízes das plantas pode ser resultado dos processos de formação, mas podem ocorrer práticas de manejo inadequadas que levam à compactação. Dentre as medidas que auxiliam no diagnóstico das condições físicas do solo para crescimento de raízes a maiores profundidades, a densidade, é um atributo que varia com o tempo, seja por processos naturais de adensamento e/ou por práticas de manejo. Diretamente relacionada à densidade, a porosidade é a medida do espaço poroso do solo. De modo geral, o solo apresenta poros de diversas formas e tamanhos que podem ser classificados como microporos que apresentam diâmetro menor ou igual a 0,08 mm e que são responsáveis pela retenção de água, e macroporos que apresentam diâmetro maior que 0,08 mm e que permitem maior movimento de ar e água no solo, além de melhor acomodação de raízes (BRADY e WEIL, 2008).

A resistência à penetração mostra-se útil na avaliação da qualidade física do solo, pois possibilita o estabelecimento de valores críticos de umidade e de densidade (IMHOFF et al., 2000). Diversos autores consideram resistência acima de 2 MPa como limitante para maioria das culturas (LIMA et al., 2010).

Como já mencionado, a profundidade efetiva pode ser resultado de fatores ligados à formação do solo, bem como ao manejo. Em condições de campo, muitas vezes o estresse mecânico altera propriedades físicas do solo (MOTA et al., 2008). Em condições irrigadas tais alterações foram observadas, resultando em aumento na densidade e menor na porosidade de aeração (KLEIN e LIBARDI, 2002). Alterações na estrutura devido à compactação por pressão de máquinas influenciam diretamente a porosidade, a resistência do solo à penetração e o crescimento radicular das plantas (BOTTA et al., 2008). Assim, os bananais podem sofrer tanto os efeitos da pequena profundidade efetiva natural dos solos como das alterações estruturais promovidas pelo manejo.

### 2.2.3 Fatores relacionados à nutrição mineral

A bananeira é uma planta de crescimento rápido que requer para seu desenvolvimento e produção quantidades adequadas de nutrientes disponíveis no solo. Embora parte da necessidade nutricional possa ser suprida pelo próprio solo e resíduos de colheitas, na maioria das vezes torna-se necessário aplicar calcário e fertilizantes minerais e orgânicos para obter produções economicamente rentáveis (BORGES, 2004).

A bananeira demanda grandes quantidades de nutrientes para seu desenvolvimento e para a obtenção de altos rendimentos, sendo o potássio e o nitrogênio os nutrientes mais absorvidos. Segundo Borges et al. (2006), em ordem decrescente, a bananeira absorve os seguintes macronutrientes: potássio (K) > nitrogênio (N) > cálcio (Ca) > magnésio (Mg) > enxofre (S) > fósforo (P); e os micronutrientes: Cloro (Cl) > manganês (Mn) > ferro (Fe) > zinco (Zn) > boro (B) e > cobre (Cu).

A análise química desses elementos no tecido foliar é importante para avaliar o estado nutricional das plantas, complementando a análise química do solo e a diagnose visual, pois reflete bem a dinâmica de nutrientes no sistema solo - planta (SILVA e BORGES, 2008). A deficiência dos principais nutrientes requeridos pela bananeira, em geral, proporciona cloroses foliares, plantas e cachos raquíticos e, principalmente, redução no tamanho e peso dos frutos (BORGES, 2009). Locais com excesso de alguns elementos químicos ou “metais pesados” também provocam prejuízos à maioria das culturas (ARAÚJO et al., 2009).

No que se ao papel das raízes, além de exercerem a função de fixar a planta ao substrato, estas também são fundamentais na absorção de água e sais minerais (FERRI, 1970), garantindo a boa nutrição vegetal. Nas monocotiledôneas, como é o caso da bananeira, a primeira raiz vive por apenas um curto período de tempo e o sistema radicular da planta é formado por raízes adventícias que se originam do caule (ESAU, 1974). Na nutrição mineral da bananeira, predominantemente, as raízes mais importantes e ativas são as finas.

### 2.3 Distribuição do sistema radicular da bananeira

São poucos os estudos sobre o sistema radicular dos principais cultivares de bananeira do Brasil. Mesmo na literatura internacional, são raras as informações sobre o desenvolvimento, estrutura e dinâmica de raízes em função do estágio de desenvolvimento da planta e de suas funções ecológicas (BORGES et al., 1999).



Os conhecimentos da profundidade do solo e dos hábitos de enraizamento são fundamentais para o sucesso do empreendimento agrícola, permitindo assim uma adequada escolha do local para o plantio, bem como a adoção das melhores técnicas agronômicas direcionadas ao manejo da cultura. Como a conformação do sistema radicular de uma planta depende, em primeiro lugar, de sua constituição genética, essas informações são muito úteis na seleção de variedades para implantação da cultura (MEDINA, 1985).

A bananeira apresenta caule subterrâneo (rizoma) de onde saem as raízes primárias em grupos de três ou quatro, totalizando 200 a 500 raízes, com espessura predominantemente menor que 0,5 mm, podendo atingir até 8 mm, sendo brancas e tenras quando novas e saudáveis, tornando-se amareladas, endurecidas e escuras com o tempo (BORGES e SOUZA 2004).

O sistema radicular da bananeira está disposto horizontalmente junto ao rizoma e em maior porcentagem nas camadas superficiais do solo. Apenas um número reduzido de raízes se desenvolve no sentido vertical. As raízes de bananeira são formadas continuamente durante o ciclo da cultura até o florescimento das plantas (LAVIGNE, 1987), apresentando período de vida em torno de 200 a 300 dias (MOREIRA, 1987).

Verticalmente, as raízes podem ser encontradas até 80 cm de profundidade e, horizontalmente, em um raio de 1,8 m ao redor da base da planta. No entanto, maior parte do sistema radicular ocorre dentro de um raio de 60 cm da base da planta e a uma profundidade de até 30 cm da superfície (GARCIA, 2000).

Garcia (2000) verificou que 60% do sistema radicular da bananeira “Prata-Anã” se concentraram nos primeiros 30 cm de profundidade. Por sua vez, Doorenbos e Kassam (1994), afirmam que o sistema radicular da bananeira não excede 80 cm, sendo essa profundidade considerada suficiente uma vez que 100% da água é extraída até 80 cm, sendo que 60% deste total é absorvido nos primeiros 30 cm. Em estudo da densidade do sistema radicular da bananeira cultivar Pacovan, Lacerda Filho et al. (2004) verificaram 72,4% da densidade de comprimento das raízes nos primeiro 30 cm e apenas 4,6 % entre 45 a 60 cm.

Jorge et al. (1995) recomendam que, em estudos de avaliação do sistema radicular de plantas anuais e semi perenes, é conveniente estudar o perfil desde a superfície até 50 cm de profundidade nas anuais, com imagens a diferentes distâncias e, até 1 m nas perenes. Essa avaliação proporciona o melhor entendimento da distribuição de raízes no perfil do solo e seu desenvolvimento.

## 2.4 Estudos do sistema radicular

O sistema radicular da bananeira pode ser avaliado em vários aspectos: distribuição espacial, massa de raízes, comprimento e área radicular (GARCIA, 2000). Dentre os métodos mais utilizados para a amostragem de raízes, destacam-se: trado ou sonda de raiz, trincheira ou parede do perfil, blocos ou monólito, placa com pregos, tradagem e rhizotron (BOHM, 1979).

Métodos como o da trincheira e o dos blocos são considerados mais destrutivos e trabalhosos. Já o método da sonda é mais utilizado, pois permite preservar melhor a área de estudo. Consiste na retirada de amostras de solo e raízes com auxílio de uma sonda a diferentes profundidades e distâncias da planta a ser estudada. Estas amostras são lavadas e as raízes separadas para determinação de atributos que permitam identificar aspectos de seu desenvolvimento. Os pontos de tradagem podem ser colocados nas linhas e entrelinhas do plantio. A sua principal limitação está na lavagem e limpeza final das raízes. Como vantagem, tem-se a possibilidade de realizar um grande número de coletas sem destruição da área amostrada (BOHM, 1979; FUGIWARA et al., 1994).

Dentre as determinações que podem ser feitas com as raízes lavadas, a pesagem é a mais simples de todas, permitindo quantificar a biomassa seca de raízes. Por outro lado, outras informações referentes à morfologia externa são de grande importância para identificar o potencial do sistema radicular em absorver água e nutrientes. Dentre essas informações destacam-se o comprimento e a área superficial de raízes (FUGIWARA et al., 1994).

Como a medida direta do comprimento total de uma amostra de raízes lavadas é muito demorada, diferentes métodos foram desenvolvidos para facilitar esse tipo de avaliação. O primeiro exemplo é o método da interseção (NEWMAN, 1966 e TENNANT, 1975). Com o avanço da informática surgiram novos métodos para o estudo do sistema radicular, dentre os quais se destaca a análise de imagens digitais (RAMOS et al., 2009)

O Safira é um dos softwares que podem ser usados para análise de imagens digitais de raízes lavadas. Trata-se de um sistema de análise de fibras e raízes por imagem, que facilita a determinação de volume, área superficial e comprimento por classes de diâmetro. Através das imagens digitalizadas, a avaliação procede de modo mais rápido e preciso sendo de grande utilidade nos estudos do desenvolvimento de culturas e materiais à base de fibras (BORGES, 2003).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido a partir de um experimento de campo instalado em bananal com aproximadamente 24 meses de idade. O bananal em questão pertence à Fazenda Agrícola Famosa e localiza-se na Chapada do Apodi, município de Limoeiro do Norte – CE (Figura 1), entre as coordenadas 5°20' de latitude sul e 38° 5' de longitude oeste. O Clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo BSw'h', caracterizado por ser muito quente e semiárido. A média pluviométrica é de aproximadamente 750 mm por ano (DNOCS, 2009) e a vegetação natural da região é a caatinga hiperxerófila (BRASIL, 1973).

Informações a respeito da caracterização química e granulométrica do solo, partindo de amostras coletadas antes da implantação do bananal, são apresentadas na Tabela 1. A área de estudo possui diferenças na profundidade do solo associadas ao microrelevo (OLIVEIRA et al. 2009), ocorrendo solos mais rasos na porção convexa e retilínea e solos mais profundos na parte côncava do terreno (Figuras 2 e 3).

Para as avaliações foram considerados dois tratamentos, um Cambissolo Háplico carbonático típico, denominado solo raso com profundidade efetiva de 57 cm (OLIVEIRA, 2009) e um Cambissolo Háplico Ta eutrófico típico, denominado solo profundo com profundidade efetiva de 116 cm (OLIVEIRA, 2009), dispostos em áreas adjacentes dentro do bananal (Figuras 2 e 4).

Todo o bananal foi implantado em 2008 e foi conduzido sob as mesmas práticas de manejo. A cultura foi estabelecida em linhas duplas com espaçamento 3,8 x 1,2 x 2 m (Figura 5), totalizando 2000 plantas por hectare.

A variedade estudada foi a Willians do subgrupo Cavendish, muito cultivada na área de estudo, principalmente devido a seu alto valor comercial e porte reduzido quando comparado ao porte de outras variedades. Os tratos culturais como desbaste, desmame e ensacamento de frutos foram feitos manualmente. A irrigação é feita por microaspersão e adubação por meio de fertirrigação. Todas as práticas de manejo utilizadas desde o plantio da cultura foram as mesmas, tanto na área de solo raso, quanto na de solo mais profundo.

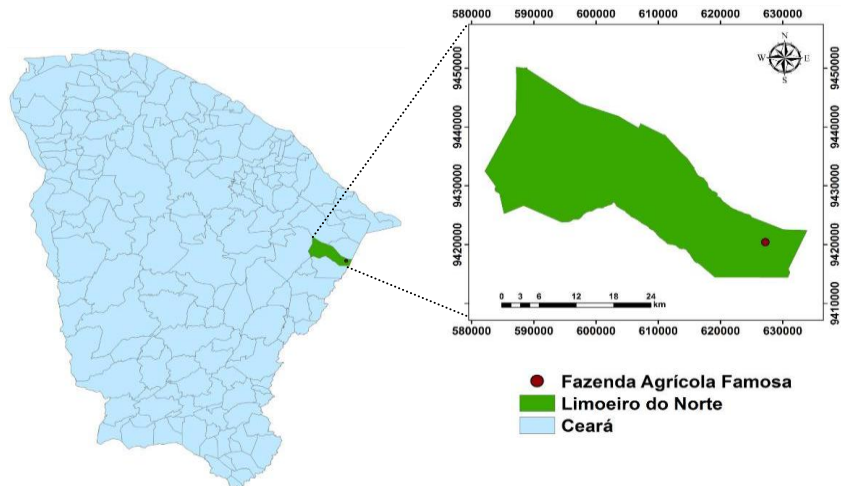


Figura 1- Localização da propriedade em que foi realizado o estudo.

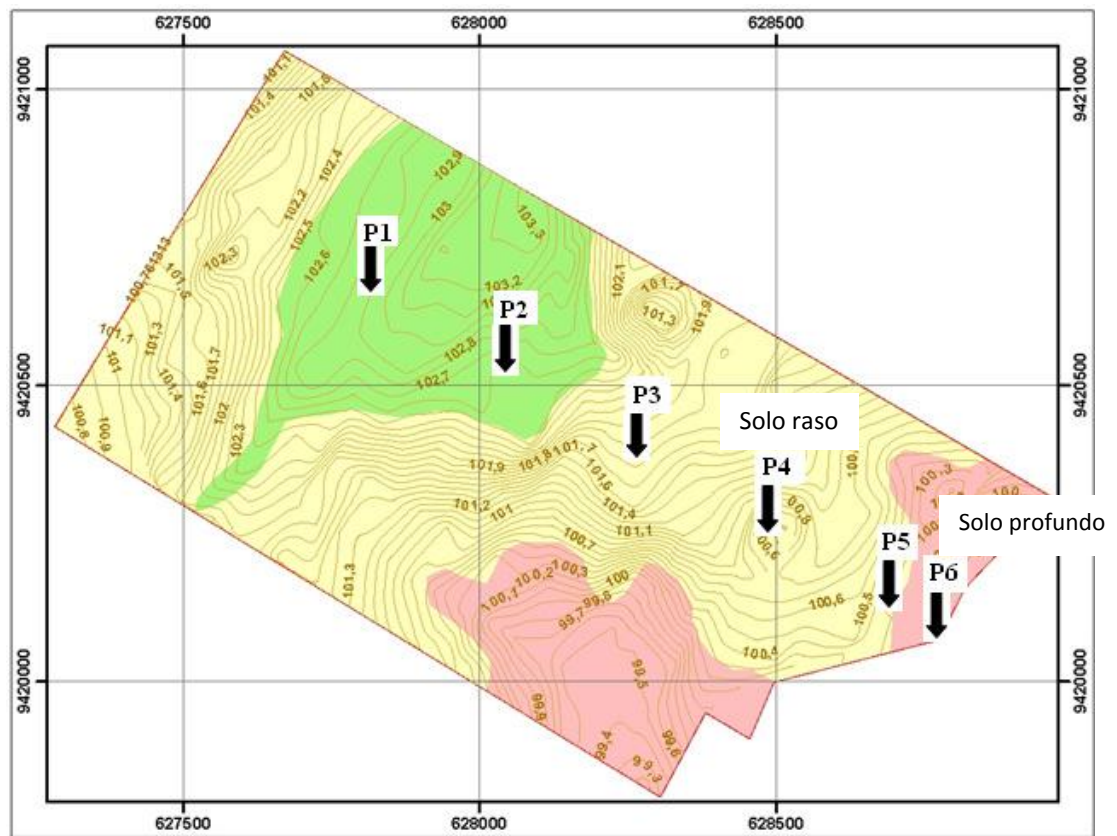


Figura 2 - Identificação dos solos de diferentes profundidades efetivas na área (OLIVEIRA, 2009), destacando os pontos P4 (solo raso) e P6 (solo profundo) onde foram feitas as coletas.

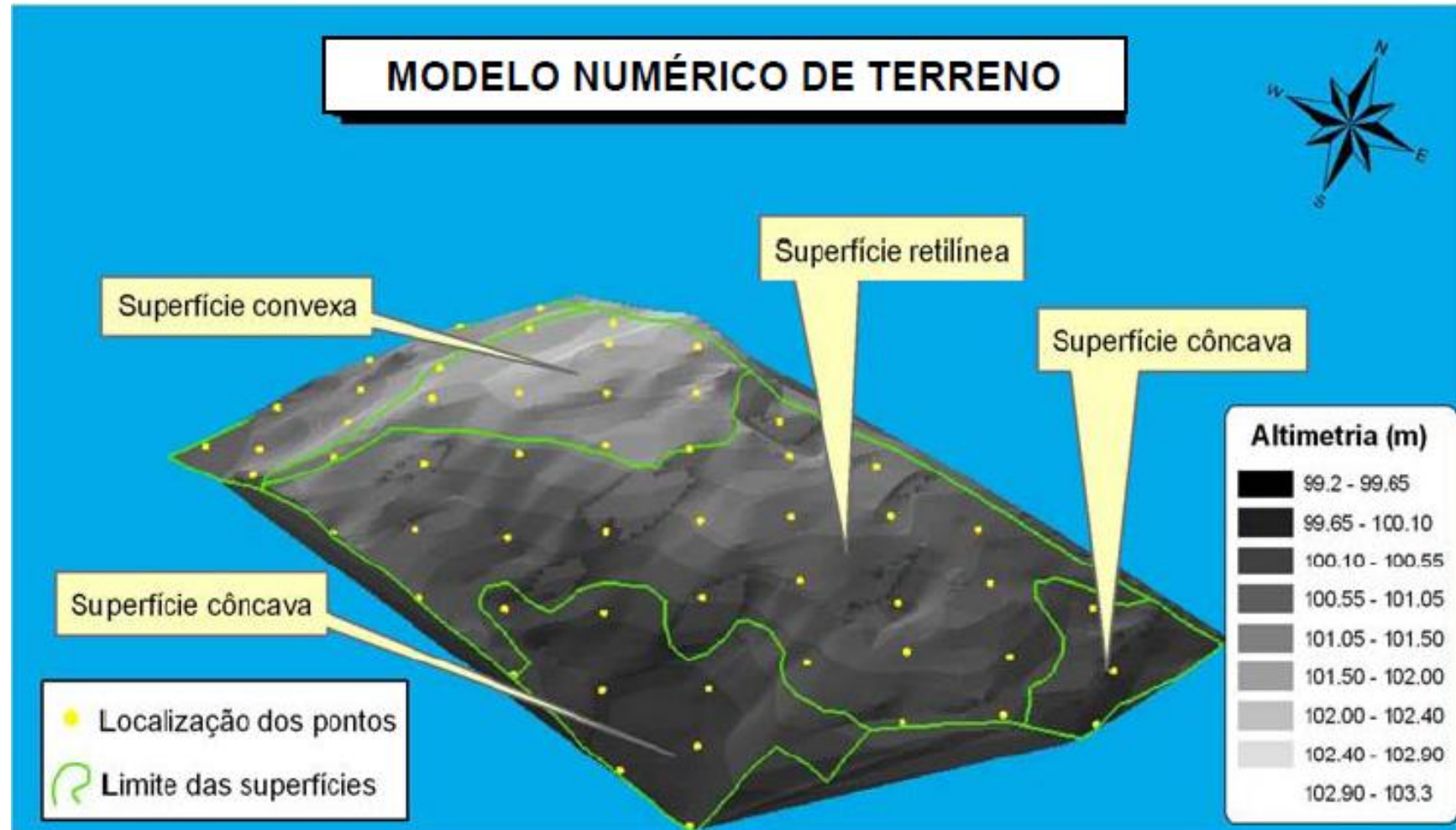


Figura 3 - Modelo de elevação digital, apresentando a compartimentação do relevo nas diferentes superfícies (Oliveira et al. 2009).

Tabela 1 - Características químicas e granulométricas em três profundidades (0-20, 20-40 e 40-60 cm) dos solos da área experimental antes do plantio.

Prof.	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	T	V%	MO	Areia	Silte	Argila	Cascalho
cm		mg kg <sup>-1</sup>			cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>					%	g Kg <sup>-1</sup>					
Solo raso (sup. retilínea)																
0-20	7,62	0,64	609,96	13,8	16,02	4,57	0,04	0,94	22,21	23,16	95,62	29,04	491,82	276,30	231,88	191,46
20-40	7,44	0,26	336,26	18,4	14,66	5,51	0,08	1,20	21,10	22,30	94,26	11,99	430,40	265,89	310,27	205,58
40-60	7,61	0,15	226,78	27,6	16,88	5,06	0,05	0,88	22,64	23,52	95,72	9,35	395,26	278,73	326,01	271,50
Solo profundo (sup. côncava)																
0-20	7,33	0,40	566,95	23,0	17,64	5,25	0,04	1,59	24,44	26,03	93,83	27,49	356,86	341,25	301,89	128,15
20-40	7,31	0,23	316,71	52,9	17,42	5,44	0,03	1,48	23,90	25,38	94,09	14,08	317,45	319,45	363,09	139,11
40-60	7,31	0,19	234,60	59,8	18,28	5,44	0,05	1,37	24,53	25,90	94,67	9,74	328,25	291,99	379,76	202,81

SB, soma de bases; T, CTC a pH 7,0; V%, saturação por bases; MO, matéria orgânica. Fonte: Oliveira, 2009.





Figura 4 - Perfis das áreas de solo raso e solo profundo.

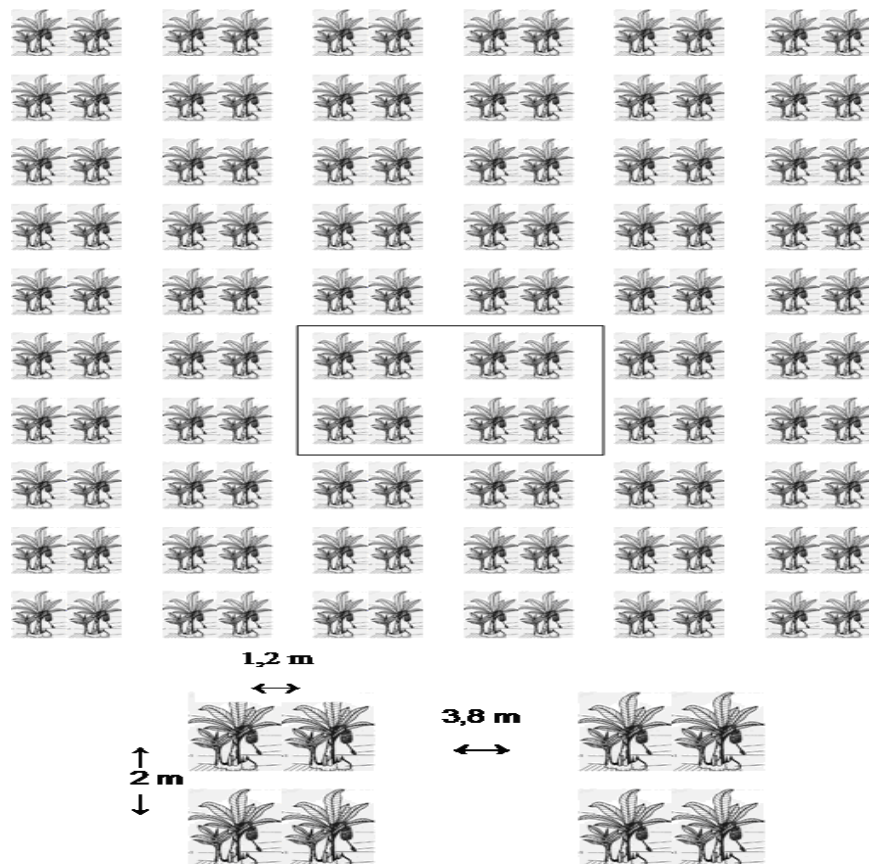


Figura 5 - Croqui representativo do espaçamento de plantio no bananal, tanto na área de solo raso como na de solo profundo.

### **3.2 Delineamento experimental**

Para as determinações de atributos físicos do solo, dos atributos radiculares e para a avaliação da fertilidade do solo, foi utilizado o delineamento experimental em faixas. Nesse caso, dois tratamentos foram estudados nas parcelas principais (solo raso e solo profundo) e seis tratamentos foram estudados nas subparcelas (seis profundidades de coleta de amostras: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 e 50-60 cm). As amostras foram coletadas a uma distância de aproximadamente 25 cm do pseudocaule das plantas, com cinco repetições (considerando cada planta uma repetição), totalizando 60 amostras.

Nas avaliações do estado nutricional e produtividade da bananeira foram considerados dois fatores de tratamento (solos raso e solo profundo) e 30 repetições. Cada planta constituiu uma repetição, resultando em 60 plantas avaliadas na área experimental. A escolha das plantas para todas as avaliações foi aleatória dentro de cada área estabelecida como solo raso e solo profundo.

### **3.3 Determinação de atributos físicos do solo**

Para a determinação de atributos físicos do solo foram coletadas 60 amostras com estrutura indeformada com amostrador tipo Uhland (anéis de 100 cm<sup>3</sup>). As amostras foram colocadas em caixas para o transporte e, posteriormente, preparadas em laboratório para as seguintes avaliações: curva de retenção de água, densidade e porosidade. Amostras de TFSA foram utilizadas para análise granulométrica e densidade de partículas.

#### **3.3.1 Curva de retenção de água no solo (CR)**

No laboratório, as amostras indeformadas foram saturadas a partir da adição lenta de água. Após saturação, as amostras foram pesadas, colocadas em mesa de tensão adaptada seguindo a metodologia de Lima e Silva (2008) e submetidas às pressões de 10; 40; 50; 60; 100 centímetros de coluna de água (cca). Após pressão de 100 cca, as amostras foram colocadas em câmaras de pressão (KLUTE, 1986) e submetidas às pressões de 330; 700; 1000 e 15000 cca. Após atingir o equilíbrio para cada tensão, as amostras foram pesadas para determinação da sua massa úmida.



### 3.3.2 Densidade de partículas (Dp)

Essa avaliação foi realizada pelo método do balão volumétrico que tem como princípio determinar o volume de álcool necessário para completar um balão volumétrico contendo 20 g de TFSA (BLAKE e HARTGE, 1986).

### 3.3.3 Densidade do solo (Ds)

O método utilizado foi o do anel volumétrico (BLAKE e HARTGE, 1986). Após a pesagem do último ponto da curva de retenção de água, as amostras foram secas em estufa a 105°C, determinando-se na seqüência a massa de solo correspondente ao volume do anel.

$$Ds = \text{massa de solo seco} / \text{volume do anel}$$

### 3.3.4 Resistência à penetração (RP)

A RP foi determinada no campo utilizando penetrômetro de impacto modelo comercial IAA/PLANALSUCAR/Stolf, por meio do qual foram registrados os dados a cada 10 cm e até a profundidade de 60 cm do solo. Os dados de campo foram obtidos em números de impactos  $\text{dm}^{-1}$  (N), sendo estes transformados para  $\text{kgf cm}^{-2}$  através da equação  $RP = 5,6 + 6,98 N$  (STOLF et al., 1983), obtendo-se assim uma estimativa da resistência do solo à penetração. Esses valores foram multiplicados pela constante 0,098 para transformação das unidades em MPa conforme Arshad et al. (1996). Ao lado da perfuração com o penetrômetro amostras de solo foram coletadas para determinação da umidade gravimétrica.

### 3.3.5 Porosidade

A porosidade total foi determinada a partir da densidade do solo (Ds) e densidade de partículas do solo (Dp), conforme a equação:

$$PT = 1 - (Ds / Dp)$$

A microporosidade foi obtida a partir da quantidade de água retida nas amostras indeformadas de solo à tensão de 60 cca, em mesa de tensão que, após terem sido medidas na

tensão de 60 cca, foram secas em estufa a 105°C até o peso constante. Por diferença de massa de água estimou-se o percentual de microporos. A macroporosidade foi calculada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade. Todos os procedimentos foram efetivados segundo (DANIELSON e SUTHERLAND, 1986).

### 3.3.6 Granulometria

Foi realizada pelo método da pipeta (GEE e BAUDER, 1986), utilizou-se como dispersante o hidróxido de sódio. As frações granulométricas foram separadas em areia, silte e argila. Através de peneira malha 0,053 mm foi feita a separação da areia. A argila foi obtida por pipetagem em cilindro de sedimentação e o silte por diferença das duas frações (areia e argila).

## 3.4 Avaliação da fertilidade do solo

Cada amostra deformada de solo foi composta por quatro sub-amostras que, após coletadas por meio de trado holandês, foram armazenadas em sacos plásticos e identificadas. Posteriormente o solo foi seco ao ar e peneirado formando a TFSA. O preparo das amostras e as análises para determinação dos teores de macro e micronutrientes foram realizados de acordo com métodos descritos em Raij et al. (2001).

As análises químicas para fins de fertilidade foram:  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  e  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$  por potenciometria; matéria orgânica pela oxidação por via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico; fósforo (P) com extrator Mehlich-1 e determinação colorimétrica; cálcio (Ca) e magnésio (Mg) extraídos com  $\text{KCl}$  1 mol  $\text{L}^{-1}$  e determinados por titulação; alumínio (Al) extraído com  $\text{KCl}$  1 mol  $\text{L}^{-1}$  e titulado com hidróxido de sódio; potássio (K) e sódio (Na) trocáveis extraídos com solução diluída de ácido clorídrico e posterior determinação por fotometria de chama; cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) extraídos com Mehlich e quantificados por espectrofotometria de absorção atômica; boro (B) extraído por digestão em água quente e adição de HCl seguida pela quantificação colorimétrica; acidez trocável (H+Al) liberada pela ação com solução não tamponada de KCl; enxofre (S) extraído pelo ataque com HCl seguido pela precipitação com  $\text{BaCl}_2$  e determinação gravimétrica do precipitado.

A determinação dos teores de enxofre no solo e os cálculos da soma de bases, capacidade de troca de cátions, saturação de bases e saturação por alumínio foram determinadas de acordo com EMBRAPA (1997).

### 3.5 Avaliação do estado nutricional da bananeira

Nesta avaliação foram coletadas amostras da folha III (abaixo e oposta às flores) durante o florescimento (MALAVOLTA et al., 1997). As amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar e moídas para as determinações de macro e micronutrientes do tecido vegetal (MALAVOLTA et al., 1997).

As análises para avaliação do estado nutricional foram: nitrogênio (N) extraído por digestão sulfúrica e determinação pelo método de Kjeldahl; fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), alumínio (Al) e sódio (Na) extraídos por digestão nítrico-perclórica. O P foi determinado por colorimetria, K e Na por fotometria de chama, enquanto que os demais elementos por espectrofotometria de absorção atômica. Também foram determinados os teores de boro (B) por meio da digestão via seca (incineração) e quantificação colorimétrica.

### 3.6 Determinação de atributos radiculares da bananeira

Para os estudos de raízes a amostragem foi feita utilizando o método do trado ou sonda. A sonda utilizada apresenta diâmetro interno de 4,5 cm, 100 cm de comprimento e graduação a cada 10 cm para orientação das coletas com relação à profundidade (Figura 6).



Figura 6 - Fotos da coleta realizada com a sonda amostradora de raiz.

Cada amostra coletada apresentou volume de 159 cm<sup>3</sup>. Após coleta, as amostras foram separadas e lavadas com água corrente, promovendo separação entre raízes e solo. Em laboratório, as raízes lavadas foram colocadas em placas de vidro e escaneadas para obtenção das imagens. O software Safira foi utilizado para a análise das imagens de modo a fornecer valores referentes ao volume total, comprimento total e área superficial total de raízes por classes de diâmetro. Também foram obtidas informações a respeito dos valores das classes de diâmetro de raízes em cada amostra analisada.

### **3.7 Determinação de atributos de produtividade da bananeira**

Os atributos avaliados em relação ao potencial produtivo das bananeiras foram aqueles considerados mais importantes para a comercialização do produto, pois, são exigências dos compradores no mercado nacional e internacional. Cachos das plantas marcadas para avaliação de produtividade foram colhidos e avaliados periodicamente na medida em que atingiram o ponto ideal de colheita. Foram avaliados os seguintes atributos de produtividade: peso de cachos, número de palmas por cacho, calibre máximo e mínimo dos frutos.

### **3.8 Análises estatísticas**

Foi utilizado o software Sisvar (FERREIRA, 2000) para executar as análises estatísticas. Com o software foi feita análise de variância utilizando o procedimento ANOVA. Os atributos de produtividade e do estado nutricional da cultura foram avaliados por meio do teste t Student de comparação de médias (comparando somente duas médias). Para as demais determinações (atributos físicos, químicos e radiculares) foi feita análise de variância (ANOVA) e, na medida em que foi constatada diferença significativa, a separação de médias foi feita por meio da diferença mínima significativa (DMS) realizada pelo teste de Tukey a 5% significância.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Atributos físicos do solo

Na Tabela 2 são apresentados valores da análise granulométrica, densidade e porosidade, comparando médias entre solo raso e profundo, bem como as médias entre as seis profundidades avaliadas. Com relação à granulometria, observa-se que, no solo raso (Cambissolo Háplico carbonático típico), não houve grande variação na distribuição vertical das frações granulométricas, conferindo classe textural do tipo franco-argilo arenosa (LEMOS e SANTOS, 1984) em todas as profundidades estudadas. O teor de argila no solo profundo (Cambissolo Háplico Ta eutrófico típico) foi maior e apresentou diferença significativa em todas as profundidades comparadas com o solo raso, conferindo uma classe textural do tipo argila (LEMOS e SANTOS, 1984).

O posicionamento do solo profundo na superfície côncava do terreno contribuiu com a maior quantidade de argila observada. Superfícies côncavas geralmente condicionam fluxos de água convergentes provocando variações na profundidade efetiva dos solos. Esses fluxos proporcionam maior taxa de intemperismo do material de origem (MONIZ e MEDINA, 1972), resultando em maiores teores de argila neste solo. Além disso, pode ter ocorrido movimentação de argila por meio do escoamento lateral da água, acumulando material proveniente da superfície convexa nas superfícies retilínea e côncava. Ruth e Lennartz (2008) constataram que o conteúdo de argila e de silte foi maior na posição mais baixa do terreno, indicando efeito da gravidade e de processos erosivos. Os autores justificaram o observado pelo fato de que a declividade, por mínima que seja, causa movimento dos constituintes mais finos do solo em direção à posição mais baixa.

A densidade do solo apresentou maiores médias em solo raso, com valor mínimo correspondente a  $1,21 \text{ g cm}^{-3}$  na profundidade de 30 a 50 cm e máximo de  $1,41 \text{ g cm}^{-3}$  na profundidade de 0 a 10 cm (Tabela 2). Porém, observou-se diferença estatística significativa somente na camada de 10 a 20 cm, com maior densidade ( $1,37 \text{ g cm}^{-3}$ ) para o solo raso. Em profundidade houve pequena variação na densidade em cada solo, não ocorrendo diferença estatística. De modo geral, os valores de densidade encontrados nos dois solos são bem próximos daqueles normalmente estabelecidos como ideais (REICHERT et al., 2003), exceto o valor encontrado no solo raso na camada de 10 a 20 cm que foi maior ( $1,37 \text{ g cm}^{-3}$ ), podendo ser indicativo de início de compactação ou dos efeitos da menor profundidade efetiva. Na mesma região valores semelhantes de densidade do solo foram encontrados por

Mota et al. (2008) estudando o perfil de um Cambissolo Ta eutrofico típico.

Tabela 2 - Valores médios de granulometria, densidade e porosidade dos solos estudados.

Prof. cm	Granulometria			Densidade		Porosidade		
	Areia	Silte	Argila	Solo	Partículas	Macro	Micro	Total
	----- g Kg <sup>-1</sup> -----			----- g cm <sup>-3</sup> -----		----- % -----		
Solo raso								
0-10	468 Aa	277 Aa	254 Ba	1,41 Aa	2,75 Aa	12 Ab	37 Ba	49 Ab
10-20	414 Aa	319 Aa	267 Ba	1,37 Aa	2,78 Aa	16 Aab	35 Bab	51 Bab
20-30	424 Aa	311 Aa	265 Ba	1,29 Aa	2,78 Aa	21 Aab	32 Bab	54 Aab
30-40	410 Aa	340 Aa	251 Ba	1,21 Aa	2,76 Aa	24 Aab	32 Bab	56 Aa
40-50	428 Aa	316 Aa	256 Ba	1,21 Aa	2,79 Aa	27 Aa	29 Bb	57 Aa
50-60	421 Aa	331 Aa	248 Ba	1,22 Aa	2,82 Aa	27 Aa	30 Bb	57 Aa
Solo profundo								
0-10	367 Aab	238 Aa	394 Aa	1,28 Aa	2,76 Aa	10 Aa	44 Aa	54 Aa
10-20	351 Aa	234 Aa	415 Aa	1,11 Ba	2,78 Aa	20 Aa	40 Aa	60 Aa
20-30	375 Aab	232 Aa	393 Aa	1,17 Aa	2,72 Aa	17 Aa	40 Aa	57 Aa
30-40	268 Bab	338 Aa	394 Aa	1,17 Aa	2,73 Aa	17 Aa	41 Aa	57 Aa
40-50	253 Bab	350 Aa	397 Aa	1,21 Aa	2,73 Aa	15 Ba	41 Aa	56 Aa
50-60	240 Bb	386 Aa	374 Aa	1,20 Aa	2,73 Ba	12 Ba	44 Aa	56 Aa
CV%	8,28	17,31	9,48	8,69	1,65	33,29	8,41	6,54

Letras maiúsculas comparam médias entre solo raso e solo profundo para cada profundidade estudada. Letras minúsculas comparam médias entre profundidades nas colunas e para cada tipo de solo. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Quanto aos valores de densidade de partículas, somente na profundidade de 50 a 60 cm houve diferença estatística significativa, sendo o valor maior no solo raso (2,82 g cm<sup>-3</sup>). Verificou-se que, em todas as profundidades dos solos, as médias da densidade de partículas estiveram acima do valor universal (2,65 g cm<sup>-3</sup>) geralmente usado (considerando que na maioria dos solos o quartzo predomina em relação aos outros minerais), indicando a existência de partículas mais densas que o quartzo, que elevam o valor médio encontrado.

Observou-se que a porosidade total do solo (Tabela 2) apresentou diferença significativa entre solo raso e profundo na camada de 10 a 20 cm, com maior média observada no solo profundo (60%). Entretanto, houve aumento da porosidade total em profundidade no solo raso, contrariando informações encontradas em algumas literaturas (AMARO FILHO et

al., 2008; ASSIS JÚNIOR, 1999). Na Tabela 1 são apresentados valores obtidos por Oliveira et al. (2009) que encontraram, nesse mesmo solo, valores médios crescentes de cascalho com o aumento da profundidade, o que explica o aumento significativo da porosidade total nas camadas mais profundas. Já no solo profundo, o aumento da porosidade com a profundidade não foi expressivo. Os dados referentes à porosidade total indicam que os solos estudados apresentam valores geralmente aceitos pela maioria dos autores para solos quando a textura é semelhante àquela determinada neste estudo, pois, para solos de textura média a argilosa, são comuns valores da ordem de 40 a 60 % de porosidade total (KIEHL, 1979).

A presença de cascalhos no perfil do solo reduz a porosidade e a capacidade de armazenamento de água (COX e McFARLANE, 1995). Entretanto, mesmo com a descrição morfológica feita por Oliveira (2009) indicando presença de cascalhos e concreções (Tabela 1) na área de estudo, somente foi constatada menor porosidade com significância estatística na camada de 10 a 20 cm do solo raso, sem que tenha ocorrido redução de valores em maiores profundidades.

A identificação dos efeitos limitantes da profundidade efetiva em relação à porosidade pode ser facilitada a partir de uma análise criteriosa da microporosidade e macroporosidade. Nesse caso, vale ressaltar a maior macroporosidade a partir dos 40 cm de profundidade no solo raso, a maior microporosidade no solo profundo e a maior porosidade total até a camada de 40 cm também do solo profundo (Tabela 2).

A distribuição da porosidade em macro e microporos amplia a visão sobre o comportamento dos solos em relação aos processos de condução e armazenamento de água e difusão de gases. Nos solos estudados, a proporção entre os tipos de poros não foi balanceada, o que pode levar a sérias limitações quanto à entrada e circulação de água e ar nas camadas superficiais. Foi observada relação macro:microporos de 1:4 nos primeiros 10 cm do solo profundo e isso, apesar de representar boa capacidade de armazenamento de água, também representa riscos de deficiência de oxigenação das raízes, além de dificuldades para infiltração de água (KLEIN e LIBARDI, 2002).

No solo raso essa relação foi de 1:3 na primeira camada estudada e diminuiu em profundidade. Já no solo profundo a relação macro:microporos diminuiu na profundidade de 10 a 20 cm com valores de 1:2 e voltou a aumentar em profundidade chegando 1:4 novamente. Klein e Libardi (2002) consideram que as raízes da maioria das culturas podem crescer com macroporosidade acima de 10% e que o conteúdo de água armazenada deve ser maior que o de ar, afirmando que o solo ideal é aquele que apresenta proporção de macro:microporos em torno de 1:2 garantindo aeração, permeabilidade e armazenamento de água.

Quanto à retenção de água em distintos potenciais mátricos, constatou-se que houve diferença estatística entre os solos em todas as profundidades avaliadas (Figura 5). Tal fato reforça a relação entre o conteúdo de água retida e os teores de argila do solo (Tabela 2), de modo que, à medida que aumentam os teores de argila, aumenta também a quantidade de água retida. Além da argila, os valores referentes à porosidade também explicam o observado em relação à retenção de água. Verificou-se que o solo raso (menos argila, mais macroporos, menos microporos e menor porosidade total) apresenta conteúdo de água, em qualquer potencial mátrico, inferior ao do solo profundo (mais argila, mais microporos e maior porosidade total), o que sugere necessidade de manejo da irrigação diferenciado entre os solos, ou seja, maior turno de rega para o solo raso.

Apesar da retenção de água ter sido menor no solo raso até os 30 cm, não significa que esse conteúdo de água retido seja insuficiente para a bananeira nessa profundidade (Figura 7). Porém, a situação torna-se mais preocupante a partir dos 30 cm de profundidade, pois a diferença entre a umidade observada em solo raso e profundo foi maior, principalmente nas duas primeiras tensões (Figura 5). Nesse caso, a diferença na umidade entre os dois solos foi maior em função dos menores valores observados para o solo raso (Figura 5). Nessas condições, a menor quantidade de água retida a partir dos 30 cm de profundidade no solo raso é um fator que pode levar à maior resistência para o crescimento de raízes nessa profundidade.

No solo profundo as curvas em todas as profundidades foram semelhantes e, praticamente, sem nenhuma variação. Isso confirma o que já foi discutido e apresentado anteriormente quanto à uniformidade deste solo em relação à distribuição das frações granulométricas. As profundidades de mesma classe textural apresentam curvas semelhantes, mesmo que outros aspectos possam interferir no comportamento das curvas de retenção. Como a granulometria correlaciona-se bem com a retenção de água (LIBARDI, 2000), fica evidente o motivo das curvas terem comportamento semelhante.

As curvas que representam solo raso (Figura 7) apresentam distinção mais evidente, não só no conteúdo de água que representam, mas também no formato delineado, evidenciando não haver retenção de água tão uniforme para uma mesma tensão como se observou para o solo profundo. A classificação textural para solo raso foi franco-argilo arenosa. Neste caso, fica claro que, em uma mesma classe textural, este solo ou camadas deste pode reter água com maior ou menor intensidade em uma mesma tensão. Essas variações dependem também da mineralogia e tipo de argila dominante. O motivo mais comum pelo qual os solos de mesma classe textural retêm diferentes conteúdos de água em uma mesma



tensão deve-se, em parte, à ampla variação nos teores das frações granulométricas que uma classe pode abranger, bem como às variações na densidade do solo (REICHARDT, 1990).

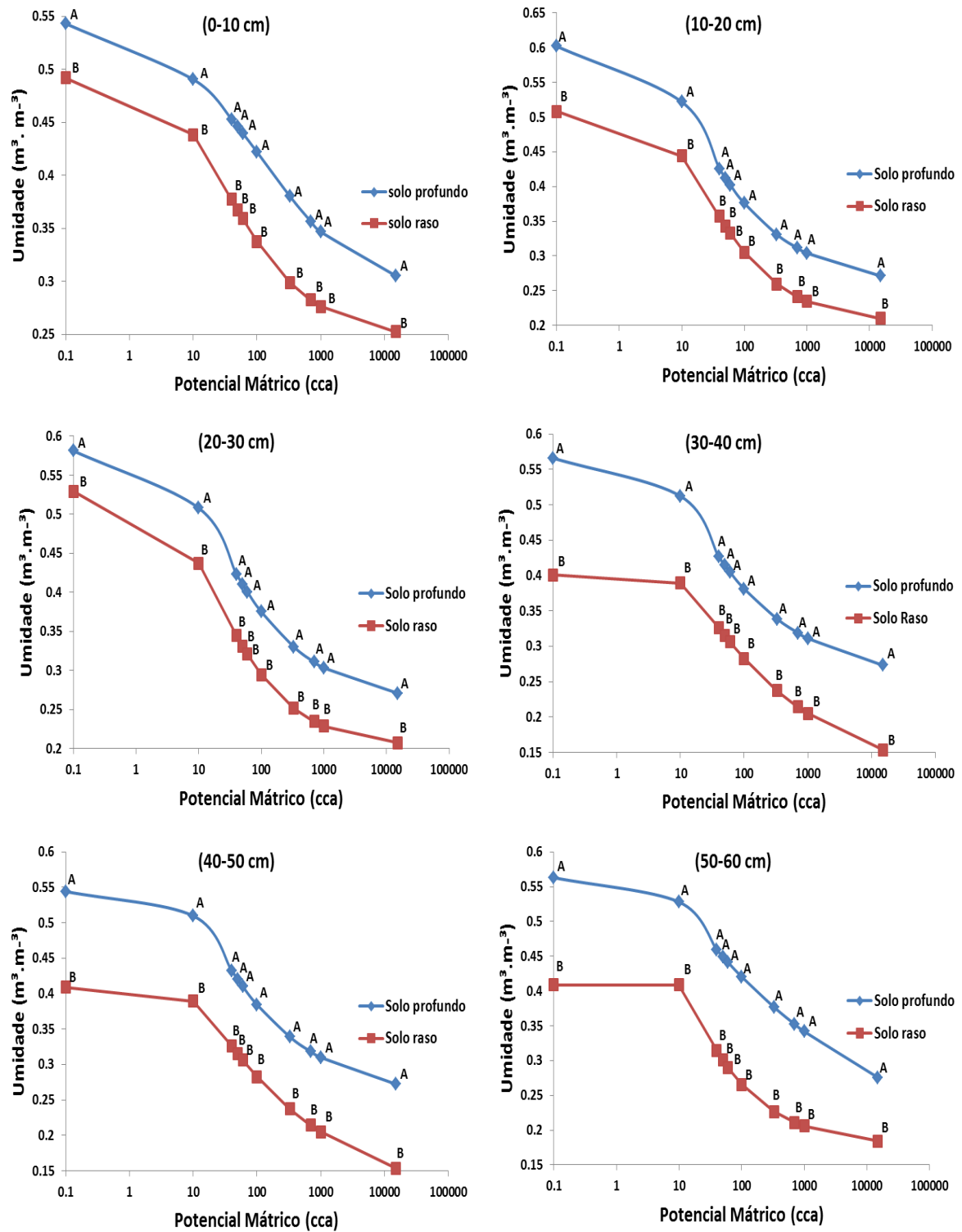


Figura 7 - Curva característica de umidade do solo raso e profundo nas diferentes profundidades. Valores ajustados segundo van Genuchten (1980).

Tabela 3 - Umidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) em diferentes profundidades do solo raso e profundo em função do potencial mátrico.

Prof. (cm)	Potencial mátrico <sup>(1)</sup>									
	0 cca	10 cca	40 cca	50 cca	60 cca	100 cca	330 cca	700 cca	1000 cca	15000 cca
Umidade - Solo raso										
0 a 10	0,490 a	0,438 a	0,374 a	0,370 a	0,366 a	0,330 a	0,302 a	0,288 a	0,274 a	0,252 a
10 a 20	0,510 a	0,448 a	0,360 a	0,356 a	0,346 ab	0,306 ab	0,270 ab	0,256 ab	0,242 a	0,224 ab
20 a 30	0,510 a	0,438 a	0,342 a	0,334 a	0,324 ab	0,29 ab	0,250 ab	0,238 ab	0,224 a	0,206 ab
30 a 40	0,530 a	0,448 a	0,338 a	0,328 a	0,320 ab	0,276 ab	0,240 ab	0,230 ab	0,220 a	0,196 ab
40 a 50	0,510 a	0,414 a	0,314 a	0,302 a	0,292 b	0,260 b	0,226 b	0,218 ab	0,202 a	0,18 b
50 a 60	0,516 a	0,412 a	0,316 a	0,306 a	0,300 b	0,266 ab	0,230 b	0,222 b	0,204 a	0,184 ab
Umidade - Solo profundo										
0 a 10	0,544 b	0,492 a	0,452 a	0,442 a	0,442 a	0,422 a	0,384 a	0,362 a	0,340 a	0,304 a
10 a 20	0,604 a	0,522 a	0,424 a	0,414 a	0,404 a	0,374 a	0,336 a	0,314 a	0,300 a	0,270 a
20 a 30	0,580 ab	0,510 a	0,424 a	0,410 a	0,402 a	0,374 a	0,334 a	0,314 a	0,298 a	0,270 a
30 a 40	0,546 ab	0,510 a	0,428 a	0,414 a	0,408 a	0,372 a	0,344 a	0,32 a	0,308 a	0,274 a
40 a 50	0,544 b	0,510 a	0,430 a	0,418 a	0,410 a	0,384 a	0,346 a	0,318 a	0,302 a	0,270 a
50 a 60	0,562 ab	0,532 a	0,458 a	0,450 a	0,442 a	0,420 a	0,384 a	0,356 a	0,336 a	0,274 a
CV%	4,89	6,07	8,13	8,32	8,41	10,14	11,31	12,17	13,52	14,43

<sup>(1)</sup>Potencial mátrico 0 cca: solo saturado; cca: centímetros de coluna de água. Médias seguidas por letras iguais, minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Ao observar a resistência à penetração (RP) medida em campo (Figura 8), foi constatado que nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-15 cm do solo raso houve maior resistência (1,35; 1,84 e 1,77 MPa, respectivamente) em comparação às mesmas camadas do solo profundo (0,96; 1,44 e 1,48 MPa). Porém, nas profundidades de 20 e 25 cm, a resistência foi maior no solo profundo (2,04 e 1,95 MPa) e menor no raso (1,51 e 1,49 MPa). É possível que esse aumento na RP do solo profundo tenha ocorrido devido à redução na umidade que foi mais intensa (3,6%) no solo profundo em comparação ao raso (2,8%).

Por outro lado, a partir dos 30 cm de profundidade, a resistência à penetração aumentou no solo raso e os valores tornaram-se maiores em comparação ao profundo. Isso parece ilustrar o aumento da resistência à penetração em função da profundidade efetiva, ocorrendo pico (5,1 MPa) aos 50 cm de profundidade. Como foi observada pequena variação na umidade do solo raso, é provável que esse pico de resistência tenha ocorrido em função da existência de cascalhos e concreções (Tabela 1).

Como os teores de argila foram menores no solo raso, o pico de RP justifica-se, principalmente, pela presença de fragmentos de rocha e concreções presentes com maior frequência neste solo. A elevada RP encontrada seria indicativa da presença de material adensado em profundidade, mas os valores de densidade no solo não confirmam claramente esse comportamento. Valores de RP superiores a 2 MPa são considerados críticos ao desenvolvimento da maioria das culturas (TAYLOR et al., 1966) e os resultados do presente estudo envolvem números superiores a 2 MPa. Nesse caso, é razoável considerar que as variações na RP permitem inferir a respeito da presença de cascalhos e concreções, mas é preciso ponderar que o penetrômetro de campo pode ter superestimado os resultados.

Pearson (1966) ressalta que a maioria dos penetrômetros de campo tem diâmetro maior que as porções das raízes que estão se alongando e a resistência real do solo à penetração radicular é, geralmente, menor do que a medida pelo penetrômetro, já que as raízes normalmente procuram melhores espaços durante seu crescimento. A ponta das raízes tem normalmente camadas de mucilagem que reduz o coeficiente de fricção na superfície de contato com o solo. Comparando o penetrômetro com a raiz, a última se deforma facilmente, enquanto que a ponta do penetrômetro é rígida (CAMARGO e ALLEONI, 2006). Há evidências de que o penetrômetro de campo superestima o valor da resistência de duas a oito vezes, dependendo do tipo de solo

(SHIERLAW e ALSTON, 1984; VEEN e BOONE, 1990).

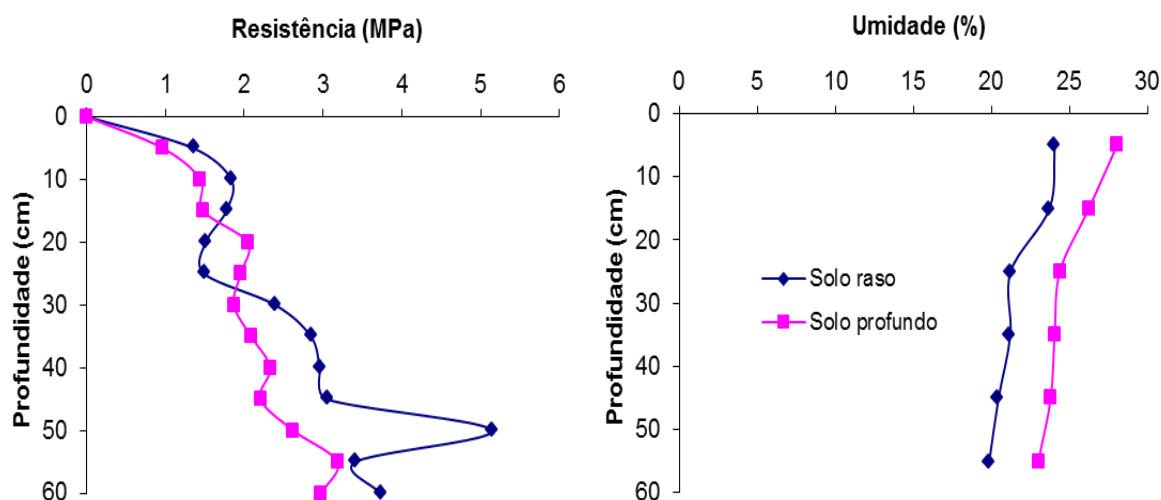


Figura 8 - Valores médios de resistência à penetração e de umidade em diferentes profundidades no solo raso e profundo.

#### 4.2 Fertilidade do solo

Os atributos químicos analisados no solo podem ser observados nas Tabelas 4, 5 e 6, enquanto que as correlações entre alguns atributos químicos podem ser observadas na Tabela 7. De acordo com os dados, foi encontrada diferença estatística significativa em praticamente todos os atributos químicos avaliados. Os valores de pH, tanto em água quanto em cloreto de cálcio, foram significativos, apresentando em todas as profundidades maiores valores no solo raso e menores valores no solo profundo.

Quanto aos teores de fósforo (P) (Tabela 4), foi encontrada diferença estatística com maiores valores para o solo profundo, pelo menos até a camada de 40 a 50 cm. De modo geral, foram observados baixos valores de P em ambos os solos, de modo que a baixa disponibilidade em toda área está associada à pequena quantidade do nutriente no material de origem, o calcário da formação Jandaíra. Baixos valores de P em solos calcários também foram observados por Muggler (1996) em estudos realizados no Sudoeste da Bahia. Adicionalmente, os resultados apresentados na Tabela 7 mostram correlação negativa entre P e cálcio (Ca) e, segundo Sample et al. (1980), a alta concentração de cálcio também explica a baixa disponibilidade de P no solo, pois o nutriente pode precipitar ao reagir com o cálcio.

Com relação aos cátions avaliados, foram encontrados valores maiores de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e menores de magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) no solo raso em relação ao profundo (Tabela 4), apresentando diferença estatística. No solo profundo aconteceu o inverso, menores valores de  $\text{Ca}^{2+}$  e maiores de  $\text{Mg}^{2+}$ , apresentando relação Ca:Mg em torno de 3:1, considerada por diversos autores como ideal para maioria das culturas (AQUINO, 2003). Esses valores podem estar relacionados às práticas de adubação e correção realizadas ao longo do cultivo ou até mesmo, à própria cultura, removendo  $\text{Ca}^{2+}$  por meio da extração e exportação de forma mais ativa. Vale ressaltar ainda que a exportação de  $\text{Ca}^{2+}$  também pode ser um fator a mais contribuindo com a redução do pH na área de solo profundo. Em alguns estudos já foi comprovada a relação entre redução no pH do solo e absorção de cátions por plantas cultivadas (DUAN et al., 2004 e BERGER et al., 2006).

Nos dois solos avaliados, os valores médios de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  (Tabela 4) encontram-se elevados quando comparados com as outras bases ( $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ ). A distribuição desses elementos no perfil do solo depende, em grande parte, da homogeneidade do material de origem e dos fatores de formação do solo que podem intensificar sua disponibilidade (LEPSCH, 2002). Este fato está relacionado à influência do calcário da formação Jandaíra que proporciona altas concentrações das bases  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . Estes resultados também foram observados por Moreira et al. (2007) e Oliveira (2009) em estudos realizados na Chapada do Apodi. Aliado ao fato citado anteriormente, observa-se que os solos analisados não apresentam problemas com acidez, em virtude do material de origem, condicionando baixa acidez potencial e valores pH em torno de 7,0, mostrando uma reação predominantemente neutra a alcalina nos solos estudados.

Vale salientar que, em solos com altos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , pode ocorrer deficiência de  $\text{K}^+$  (MALAVOLTA et al., 1989). No entanto, nos dois solos avaliados os valores de  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , estiveram acima dos níveis críticos para os solos do estado do Ceará (DCS-UFC, 1993). Os teores de  $\text{K}^+$  foram mais elevados no solo profundo e menores no solo raso, apresentando diferença estatística (Tabela 4).

Tabela 4 - Valores de pH, fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em seis profundidades dos solos da área experimental.

Atributos químicos	Profundidade (cm)	Médias <sup>(1)</sup>		CV (%)
		Solo raso	Solo profundo	
pH (água)	0 a 10	7,95 Aa	7,75 Ba	1,54
	10 a 20	7,88 Aab	7,59 Bab	
	20 a 30	7,44 Aab	7,37 Bb	
	30 a 40	7,73 Aab	7,05 Bc	
	40 a 50	7,72 Ab	6,93 Bcd	
	50 a 60	7,82 Aab	6,82 Bd	
pH CaCl <sub>2</sub>	0 a 10	7,44 Aa	7,02 Ba	1,59
	10 a 20	7,39 Aa	7,02 Ba	
	20 a 30	7,34 Aa	6,88 Ba	
	30 a 40	7,31 Aa	6,64 Bb	
	40 a 50	7,33 Aa	6,54 Bb	
	50 a 60	7,40 Aa	6,43 Bb	
P (mg Kg <sup>-1</sup> )	0 a 10	2,43 Ba	6,03 Aa	34,91
	10 a 20	1,26 Ba	5,40 Aab	
	20 a 30	1,26 Ba	3,82 Abc	
	30 a 40	0,81 Ba	2,97 Ac	
	40 a 50	1,30 Ba	2,80 Ac	
	50 a 60	1,26 Aa	2,24 Ac	
K <sup>+</sup> (mg Kg <sup>-1</sup> )	0 a 10	148,0 Ba	506,6 Aa	33,69
	10 a 20	79,6 Ba	324,0 Ab	
	20 a 30	64,0 Ba	265,2 Abc	
	30 a 40	60,8 Ba	207,2 Abcd	
	40 a 50	58,4 Ba	186 Acd	
	50 a 60	55,6 Ba	140 Ad	
Na <sup>+</sup> (mg Kg <sup>-1</sup> )	0 a 10	84,8 Aa	83,6 Acd	11,79
	10 a 20	83,6 Ba	102,2 Aab	
	20 a 30	83,2 Ba	111,2 Aa	
	30 a 40	82,0 Ba	100,8 Aabc	
	40 a 50	67,6 Bab	96,4 Aabc	
	50 a 60	60,0 Bb	82,0 Ad	
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0 a 10	9,97 Aa	8,56 Ba	7,57
	10 a 20	10,49 Aa	9,38 Ba	
	20 a 30	10,70 Aa	8,71 Ba	
	30 a 40	10,38 Aa	8,58 Ba	
	40 a 50	10,34 Aa	8,23 Ba	
	50 a 60	10,35 Aa	8,14 Ba	
Mg <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0 a 10	2,89 Bab	3,26 Aa	20,64
	10 a 20	2,86 Ba	2,00 Ab	
	20 a 30	2,02 Bab	2,89 Aab	
	30 a 40	1,83 Bb	2,85 Aab	
	40 a 50	2,38 Aab	2,67 Aab	
	50 a 60	1,80 Ab	2,71 Aab	

<sup>(1)</sup>Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tanto para solo raso quanto para o profundo, nota-se maior concentração de  $K^+$  na superfície e decréscimo em profundidade. As diferenças na disponibilidade de  $K^+$  entre solos e entre profundidades podem estar associadas ao intemperismo de micas presentes no solo e também à ciclagem de nutrientes (MIELNICZUK, 1978). Outro importante aspecto que influi nos maiores teores de  $K^+$  no solo profundo é a movimentação lateral de água em função do microrelevo, transportando sedimentos e nutrientes (Oliveira, 2009).

A bananeira demanda altas concentrações de  $K^+$ , porém, Borges et al. (2003) e Weber et al. (2006), afirmam que em solos com teores de  $K^+$  acima de  $235 \text{ mg kg}^{-1}$  a bananeira não responde à adubação potássica. No presente estudo o solo profundo apresentou  $K^+$  trocável acima de  $235 \text{ mg kg}^{-1}$  em várias profundidades, nesse caso os valores encontrados são suficientes e a adubação potássica, que é igual para toda área, deveria ser maior na área de solo raso. No solo profundo a adubação estaria acima das quantidades que a bananeira necessita para expressar sua máxima eficiência técnica e econômica (LOPES et al., 2004).

Outro importante aspecto em relação à maior disponibilidade de  $K^+$  no solo profundo está relacionado ao potencial de acidificação desse solo em virtude da extrusão de hidrogênio que ocorre em resposta à elevada absorção de  $K^+$  pelas plantas (MELLO et al., 1989).

Com relação à concentração de  $Na^+$  (Tabela 4), foram observados baixos teores quando comparado com as outras bases. Nesse caso, os teores de  $Na^+$  foram maiores no solo profundo, apresentando diferença estatística a partir dos 20 cm de profundidade. Porém as concentrações do  $Na^+$  nas profundidades estudadas não representam risco de sodicidade ao solo (AQUINO, 2003).

Quanto aos teores de matéria orgânica (MO), verificou-se distribuição diferenciada entre os solos a partir da camada de 20 a 30 cm, com maiores valores para solo profundo ( $34,40 \text{ g Kg}^{-1}$ ) (Tabela 5). Esta observação pode estar associada às diferenças na profundidade efetiva, de modo que no solo profundo houve melhores condições ao desenvolvimento de raízes, contribuindo com maiores teores de matéria orgânica. Ao comparar as médias entre profundidades, foi constatada redução no solo raso a partir da camada de 20 a 30 cm ( $20,40 \text{ g Kg}^{-1}$ ) (Tabela 5).

Tabela 5 - Acidez potencial, teores de S e MO, valores de CE, SB, CTC e V% em seis profundidades dos solos da área experimental.

Atributos químicos	Profundidade (cm)	Solo raso	Solo profundo	CV (%)
		Médias <sup>(1)</sup>		
H+Al (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0 a 10	0,25 Ba	0,57 Ab	22,23
	10 a 20	0,25 Ba	0,59 Aab	
	20 a 30	0,27 Ba	0,69 Aab	
	30 a 40	0,33 Ba	0,75 Aab	
	40 a 50	0,32 Ba	0,78 Aab	
	50 a 60	0,29 Ba	0,77 Aa	
S (mg Kg <sup>-1</sup> )	0 a 10	41,60 Aa	45,22 Aa	39,38
	10 a 20	32,14 Aa	41,06 Aa	
	20 a 30	48,38 Aa	32,08 Aa	
	30 a 40	51,12 Aa	57,12 Aa	
	40 a 50	29,46 Ba	62,40 Aa	
	50 a 60	20,40 Ba	52,22 Aa	
MO (g Kg <sup>-1</sup> )	0 a 10	30,10 Aa	40,10 Aa	24,70
	10 a 20	30,40 Aab	39,40 Aab	
	20 a 30	20,40 Bbc	34,40 Aabc	
	30 a 40	10,90 Bcd	27,50 Abcd	
	40 a 50	10,30 Bcd	24,40 Acd	
	50 a 60	9,40 Bd	17,30 Ad	
CE (ds m <sup>-1</sup> )	0 a 10	0,78 Ab	0,51 Bb	17,81
	10 a 20	0,91 Aab	0,56 Bab	
	20 a 30	1,10 Aa	0,63 Bab	
	30 a 40	1,19 Aa	0,76 Bab	
	40 a 50	1,20 Aa	0,76 Bab	
	50 a 60	1,00 Aab	0,85 Aa	
SB (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0 a 10	13,04 Aa	13,28 Ab	5,99
	10 a 20	13,77 Aa	12,46 Bab	
	20 a 30	13,10 Aa	12,56 Aab	
	30 a 40	12,57 Aa	12,21 Aab	
	40 a 50	13,05 Aa	11,62 Bb	
	50 a 60	12,44 Aa	11,41 Bb	
CTC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0 a 10	13,29 Aa	13,85 Aa	6,17
	10 a 20	14,02 Aa	13,05 Aab	
	20 a 30	13,37 Aa	13,24 Aab	
	30 a 40	12,90 Aa	12,96 Aab	
	40 a 50	13,37 Aa	12,41 Aab	
	50 a 60	12,73 Aa	12,20 Ab	
V (%)	0 a 10	98,09 Aa	95,91 Ba	0,78
	10 a 20	98,21 Aa	95,50 Bab	
	20 a 30	97,99 Aa	94,80 Babc	
	30 a 40	97,38 Aa	94,18 Bbc	
	40 a 50	97,52 Aa	93,69 Bc	
	50 a 60	97,72 Aa	93,57 Bc	

<sup>(1)</sup>Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade



A condutividade elétrica (CE) foi maior no solo raso (Tabela 5), apresentando diferença estatística, provavelmente pelas maiores concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  encontradas nesse solo. Altas quantidades de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$  podem provocar efeito salino ao solo e inibir a absorção de outros nutrientes (AQUINO, 2003). A bananeira é considerada moderadamente sensível à salinidade (SILVA et al., 1997). No entanto, as quantidades encontradas nos dois solos não representam riscos de salinidade, pelo menos até a ocasião da coleta de amostras do presente estudo. D'Almeida et al. (2005) avaliaram a importância relativa dos íons na salinidade em um Cambissolo da Chapada do Apodi e não consideraram possíveis efeitos limitantes em profundidade no Cambissolo para o desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, no desempenho produtivo da bananeira.

De modo geral, as concentrações de P,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$  foram maiores na área de solo profundo. O P, apesar da baixa mobilidade no solo, juntamente com o  $\text{K}^+$  e o  $\text{Na}^+$  que são bastante móveis e facilmente lixiviados, provavelmente foram levados por meio dos fluxos hídricos verticais e horizontais no perfil, favorecidos pelas variações no microrelevo da área. Tais fluxos podem ter levado ao transporte de sedimentos contendo P, resultando em maior acúmulo dos nutrientes no solo de maior profundidade efetiva, localizado na posição mais baixa do microrelevo.

De modo geral, solos rasos têm menor capacidade de armazenagem de água e são mais susceptíveis ao encharcamento, podendo perder maiores quantidades de nutrientes por lixiviação ou por processos erosivos (SANTOS, 2007).

Com relação ao enxofre (S) observaram-se valores relativamente altos (Tabela 5), apresentando diferença estatística entre os solos somente a partir dos 40 cm de profundidade com maiores valores em solo profundo. Esse nutriente depende muito dos conteúdos de matéria orgânica, pois, em geral, mais de 90% do S do solo encontra-se em formas orgânicas (MELLO et al., 1989). No solo profundo os conteúdos de matéria orgânica foram mais elevados, refletindo, portanto, em uma correlação positiva entre teores de matéria orgânica e teores de S disponível para as plantas (Tabela 7).

No que se refere aos valores de SB, V%, H+Al e CTC (Tabela 5), foi observada maior concentração das bases no solo raso, apresentando diferença estatística. Esse fato se dá principalmente pelos maiores valores de  $\text{Ca}^{2+}$  encontrados nesse solo. Os valores de H+Al foram baixos e os de V% indicam saturação por bases maior que 50 %, classificando-os, segundo EMBRAPA (2006), como eutróficos. Quanto aos valores de CTC, estes não diferiram estatisticamente. Porém, convém destacar que no solo

profundo houve melhor balanço de nutrientes, o que, conseqüentemente, pode resultar em melhor desenvolvimento das bananeiras.

Com relação aos micronutrientes cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ), ferro ( $\text{Fe}^{3+}$ ), manganês ( $\text{Mn}^{2+}$ ), zinco ( $\text{Zn}^{2+}$ ) e boro (B), todos apresentaram diferença estatística significativa entre os solos em alguma das profundidades avaliadas (Tabela 6).

Tabela 6 - Micronutrientes em seis profundidades dos solos da área experimental.

Atributos químicos	Profundidade (cm)	Solo raso	Solo profundo	CV (%)
		Médias		
$\text{Cu}^{2+}$ (mg $\text{Kg}^{-1}$ )	0 a 10	0,116 Ba	0,346 Aa	23,40
	10 a 20	0,15 Ba	0,352 Aa	
	20 a 30	0,212 Ba	0,402 Aa	
	30 a 40	0,236 Ba	0,452 Aa	
	40 a 50	0,206 Ba	0,206 Aa	
	50 a 60	0,164 Ba	0,164 Aa	
$\text{Fe}^{3+}$ (mg $\text{Kg}^{-1}$ )	0 a 10	4,35 Ba	6,132 Aab	24,35
	10 a 20	3,146 Ba	4,676 Aabc	
	20 a 30	3,124 Aa	3,206 Ac	
	30 a 40	4,11 Aa	4,318 Abc	
	40 a 50	4,256 Aa	5,342 Aabc	
	50 a 60	4,346 Ba	6,762 Aa	
$\text{Mn}^{2+}$ (mg $\text{Kg}^{-1}$ )	0 a 10	76,018 Ba	202,84 Aa	21,78
	10 a 20	107,986 Ba	207,84 Aa	
	20 a 30	105,556 Ba	189,82 Aab	
	30 a 40	104,552 Ba	165,32 Aab	
	40 a 50	104,094 Ba	161,87 Aab	
	50 a 60	89,114 Ba	132,79 Ab	
$\text{Zn}^{2+}$ (mg $\text{Kg}^{-1}$ )	0 a 10	0,284 Ba	1,158 Aa	56,67
	10 a 20	0,258 Ba	0,772 Aab	
	20 a 30	0,172 Ba	0,6 Abc	
	30 a 40	0,136 Aa	0,33 Abc	
	40 a 50	0,156 Aa	0,31 Abc	
	50 a 60	0,098 Ba	0,446 Ac	
B (mg $\text{Kg}^{-1}$ )	0 a 10	0,214 Ba	0,376 Aa	24,25
	10 a 20	0,328 Aa	0,358 Aa	
	20 a 30	0,292 Aa	0,304 Aab	
	30 a 40	0,326 Aa	0,316 Aab	
	40 a 50	0,324 Aa	0,258 Aab	
	50 a 60	0,302 Aa	0,206 Aab	

<sup>(1)</sup>Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Em geral, foram detectados maiores valores no solo profundo. Nos cátions, esse aumento pode ser explicado principalmente pelos menores valores de pH encontrados no solo profundo, apresentando correlação negativa entre os micronutrientes e aumento do pH do solo (Tabela 7). Para o B, além do pH, o aumento de disponibilidade pode ser explicado pela forte relação do micronutriente com a matéria orgânica do solo (MELLO et al., 1989), que nesse caso também foi maior no solo profundo. Solos calcários podem diminuir a disponibilidade da maioria dos micronutrientes, principalmente o  $Zn^{2+}$  (KALBAZI et al., 1978). No caso do  $Cu^{2+}$  e  $Mn^{2+}$  a solubilidade desses elementos diminui cem vezes a cada aumento de uma unidade de pH (VALE et al., 1993).

O  $Zn^{2+}$  e o B são os micronutrientes com maior frequência de deficiência nas bananeiras. Segundo Borges (2003), quando teores de B no solo são inferiores a  $0,21 \text{ mg Kg}^{-1}$  e os teores Zn são inferiores a  $0,6 \text{ mg Kg}^{-1}$  pode ocorrer deficiências, recomendando-se a aplicação desses elementos. Os dois solos estudados apresentaram deficiências de  $Zn^{2+}$ , sendo que no solo raso foram encontrados valores abaixo de  $0,6 \text{ mg Kg}^{-1}$  em todas as profundidades estudadas, já no solo profundo os valores também estiveram abaixo do ideal.

Os coeficientes de correlação apresentados na Tabela 7 indicam que todos os micronutrientes metálicos apresentaram correlação negativa com o pH do solo. Isso é um indicativo de que nesses solos o pH controla a dinâmica da maioria dos metais catiônicos, uma vez que a disponibilidade destes é relativamente baixa em valores de pH na faixa de 6,5 a 7 (PENDIAS, 1987). Dentre as combinações, a de maior expressão foi na correlação negativa entre o pH do solo com o  $Cu^{2+}$  com coeficiente de correlação de - 0,86. A biodisponibilidade desse elemento torna-se muito baixa para as plantas, uma vez que o elemento fica praticamente indisponível, em valores de pH próximos da neutralidade (NACHTIGAL et al., 2007).

Tabela 7 - Coeficiente de Correlação (R) entre alguns atributos químicos do solo.

Variáveis	Combinações					
	MO	Cu	Fe	Mn	Zn	Ca
pH <sub>H2O</sub>	0,12	- 0,86	- 0,50	- 0,43	- 0,07	-
S	0,11	-	-	-	-	-
P	-	-	-	-	-	-0,41

### 4.3 Estado nutricional das bananeiras

As diferenças entre os teores foliares de nitrogênio (N) foram significativas (Tabela 8), apresentando maiores valores para as plantas que cresceram no solo profundo. De modo geral, os níveis encontrados para a terceira folha estão acima da faixa considerada adequada para a Pacovan, de 22 a 24 g Kg<sup>-1</sup>, conforme citado por Borges e Souza (2004). No solo profundo o teor médio de 26,12 g Kg<sup>-1</sup> foi semelhante ao encontrado por Silva et al. (2007) em bananeira ‘Prata Anã’ e superior em 8% ao teor encontrado por Moreira e Fageria (2009) em bananeira ‘Thap Maeo’. Porém, estes teores encontram-se abaixo da faixa considerada ótima para as cultivares do subgrupo Cavendish (mais exigente), que é de 27-36 g Kg<sup>-1</sup> (SILVA et al., 2002). Quando os teores foliares de N estão abaixo dessa faixa a planta diminui seu crescimento, há amarelecimento das folhas e os pecíolos daquelas mais afetadas apresentam coloração rosada (LOPES e ESPINOSA, 1995). No entanto, no bananal estudado não foram verificados sintomas visuais indicativos da deficiência de N.

Os maiores teores de N encontrados nas folhas das bananeiras no solo profundo provavelmente foram superiores devido aos maiores teores de matéria orgânica. A maior parte do N do solo (95% ou mais) se encontra em combinações orgânicas (MELLO et al., 1989). Além disso, a posição do solo no microrelevo certamente também contribuiu com os maiores teores de N proveniente do escoamento lateral de água.

Os teores de potássio (K<sup>+</sup>) nas folhas também apresentaram diferença significativa (Tabela 8), com maiores valores no solo profundo. Os teores encontrados estão dentro da faixa adequada para cultivares do subgrupo Cavendish, que vai de 32-54 g Kg<sup>-1</sup> (BORGES e SOUZA, 2004), e acima da faixa adequada encontrada por Moreira et al. (2007) em bananeira ‘Thap Maeo’ (23,08 g Kg<sup>-1</sup>) e por Silva et al. (2007) em bananeira ‘Prata Anã’ (30,90 g Kg<sup>-1</sup>). Os altos teores encontrados nas folhas da bananeira refletem o alto teor de K<sup>+</sup> no solo da área experimental, destacando os maiores valores no solo profundo (Tabela 4). O K<sup>+</sup> é considerado o elemento mais importante na nutrição da bananeira, interferindo diretamente, entre outras inúmeras funções, na fotossíntese, trocas gasosas, translocação de fotossintetizados e turgidez da planta (MALAVOLTA, 2006).

Tabela 8 - Teores médios de macro e micronutrientes no tecido vegetal das bananeiras cultivadas nos solos raso e profundo.

<b>Macronutrientes</b> -----g Kg <sup>-1</sup> -----	<b>Solo raso</b>	<b>Solo profundo</b>	<b>CV</b> %
	-----Teores médios <sup>(1)</sup> -----		
N total	24.19 B	26.12 A	6,37
Ca <sup>2+</sup>	10.91 A	7.71 B	17,29
Mg <sup>2+</sup>	3.51 A	2.52 B	18,44
P	1.39 B	1.64 A	9,44
K <sup>+</sup>	30.39 B	37.29 A	15,52
S	0.95 A	0.96 A	14,62
<hr/>			
<b>Micronutrientes</b> -----mg Kg <sup>-1</sup> -----			
Na <sup>+</sup>	210.16 B	248.38 A	14,16
Zn <sup>2+</sup>	11.09 A	12.70 A	28,82
Fe <sup>2+</sup>	100.13 A	80.69 A	42,64
Mn <sup>2+</sup>	153.41 B	214.89 A	34,29
Cu <sup>2+</sup>	6.35 B	7.13 A	16,18
B	23.41 B	26.44 A	12,51

<sup>(1)</sup>Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste T, a 5% de probabilidade.

Os teores de fósforo (P) encontrados nas folhas (Tabela 8) apresentaram diferenças significativas, destacando os maiores valores no solo profundo. De modo geral, os teores médios de P nas folhas das plantas do solo profundo ficaram dentro da faixa adequada para as cultivares do subgrupo Cavendish de 1,6-2,7 g Kg<sup>-1</sup>, conforme citado por Borges e Souza (2004). Já o teor médio de P nas folhas das plantas que cresceram no solo raso ficou abaixo dessa faixa. Provavelmente, os menores teores de P no solo provocaram essas diferenças nos conteúdos absorvidos pela planta. Quando o P é deficiente ocorre necrose marginal em forma de serra nas folhas mais velhas da bananeira, que apresentam coloração verde-escura (LOPES e ESPINOSA, 1995). Nesse caso, foram observados sintomas visuais em algumas plantas no solo raso.

Os teores foliares de cálcio (Ca<sup>2+</sup>) apresentaram diferenças significativas (Tabela 8), com maiores valores no solo raso. Os teores de Ca<sup>2+</sup> estiveram dentro da faixa estabelecida de 6,6-12 g Kg<sup>-1</sup> citada por Lahav e Turner (1983) e IFA (1992). Os maiores teores de Ca<sup>2+</sup> nas bananeiras do solo raso foi, provavelmente, em função dos teores superiores do nutriente neste solo (Tabela 4).

As diferenças entre médias de teores de magnésio (Mg<sup>2+</sup>) na folha foram estatisticamente significativas. De modo semelhante ao Ca<sup>2+</sup>, o Mg<sup>2+</sup> também apresentou maiores valores no solo raso. Os teores foliares de Mg<sup>2+</sup> das plantas cultivadas no solo raso ficaram dentro da faixa adequada para cultivares do subgrupo Cavendish que vai de 2,7-6,0 g Kg<sup>-1</sup> (BORGES e SOUZA, 2004). No entanto, os teores foliares encontrados para as plantas do solo profundo ficaram abaixo das faixas adequadas para este grupo. Os valores mais elevados de K<sup>+</sup> no solo profundo (Tabela 4) podem ter causado desbalanço entre K<sup>+</sup> e Mg<sup>2+</sup> nas folhas. Este é um problema que pode ocorrer com frequência na cultura da bananeira, em razão das quantidades elevadas de K<sup>+</sup> aplicadas para atender as exigências da planta. O solo profundo apresentou alta relação K:Mg. A relação K:Mg maior que 13 pode provocar o distúrbio chamado “azul da bananeira” (BORGES, 2004). Porém, não foi detectado visualmente deficiência de Mg<sup>2+</sup>.

Os teores de enxofre (S) no tecido foliar não diferiram estatisticamente (Tabela 8). Em geral, os teores de S ficaram abaixo da faixa adequada (1,6-3,0 g Kg<sup>-1</sup>) para as cultivares do subgrupo Cavendish, segundo IFA (1992). A absorção de S pelas bananeiras é rápida nos estágios iniciais, reduzindo posteriormente. Quando deficientes em S as folhas novas da bananeira apresentam coloração amarelo-clara, com alterações metabólicas que dificultam a formação da clorofila (LOPES e ESPINOSA, 1995).

Quando o  $\text{SO}_4^{2-}$  (forma absorvida pelas raízes) encontra altas concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  no solo, lixivia com bastante facilidade, podendo diminuir a absorção pelas plantas, reduzindo os teores na parte aérea (VALE et al., 1993). Visualmente o bananal não apresentou deficiência de S.

Com relação aos micronutrientes (Tabela 8), os teores foliares apresentados tiveram maior variabilidade em relação aos macronutrientes. Considerando-se todos os micronutrientes, a maior variação nos teores foliares foi exibida por Fe, Mn e Zn. Outros autores encontraram maiores variações em outros micronutrientes na folha como Donato et al. (2010) que constataram maior variação nos teores de B, Na e Mn. Silva e Rodrigues (2001) encontraram maior variação nos teores foliares de Na, Mn e Cu. Todos os autores consideram o Na como micronutriente, desde que suas concentrações no solo não sejam capazes de provocar efeito salino ao mesmo.

A grande variação nos teores foliares de micronutrientes ocorre, principalmente, em função das variações de pH nos solos cultivados com bananeira, das exigências das cultivares, dos teores exportados pelos frutos e ainda das práticas de manejo adotadas, como por exemplo, aplicação de adubos e de fungicidas (BORGES et al. 2004).

Os teores foliares de  $\text{Na}^+$  apresentaram diferenças significativas (Tabela 8), com maiores valores no solo profundo. Os teores de  $\text{Na}^+$  nos dois solos estudados ficaram acima do teor crítico de  $165 \text{ mg kg}^{-1}$  proposto por Moreira (1999). Os maiores teores foliares de  $\text{Na}^+$  nas bananeiras do solo profundo estão relacionados com valores mais elevados deste elemento encontrados neste solo (Tabela 4). Neves et al. (2002) concluíram que altas concentrações de  $\text{Na}^+$  no solo, combinadas com  $\text{Ca}^{2+}$ , podem reduzir a massa da matéria fresca da parte aérea, a altura e a área foliar da bananeira. Porém, quando o  $\text{Ca}^{2+}$  é superior ao  $\text{Na}^+$ , ele é um nutriente particularmente importante em plantas expostas a estresse salino, porque tem papel fundamental na manutenção da permeabilidade seletiva das membranas, extensão da parede celular, recuperação do estresse celular e prevenção da absorção do íon sódio em níveis que causam injúria (HANSEN e MUNNS, 1988).

Os teores de  $\text{Zn}^{2+}$  na folha não apresentaram diferenças significativas (Tabela 8). Os teores de  $\text{Zn}^{2+}$  ficaram abaixo da faixa adequada ( $20\text{-}50 \text{ mg Kg}^{-1}$ ) para as cultivares o subgrupo Cavendish, conforme estabelecido por Silva et al. (2002). De acordo com Borges et al. (2002), o  $\text{Zn}^{2+}$  e o B são os micronutrientes que, com maior frequência, apresentam deficiência nas bananeiras. Os sintomas de deficiência surgem

nas folhas novas que se tornam menores e lanceoladas (LAHAV, 1983). No bananal estudado foi possível observar algumas plantas com essas características, principalmente no solo raso. Valores baixos de  $Zn^{2+}$  no solo também foram identificados nas análises químicas feitas na área (Tabela 6).

Não foi observada diferença significativa entre médias de teores de  $Fe^{2+}$  nas folhas (Tabela 8). Resultados referentes ao  $Fe^{2+}$  foram os que apresentaram maior variabilidade no tecido vegetal. A faixa adequada de  $Fe^{2+}$  nas folhas de bananeira é de 80-360  $mg\ kg^{-1}$  (BORGES et al., 2002; SILVA et al., 2002). Na maioria das vezes não são encontradas deficiências de  $Fe^{2+}$  e  $Mn^{2+}$  em razão dos altos teores desses nutrientes nos solos brasileiros (BORGES et al., 2006).

No caso do  $Mn^{2+}$  (Tabela 8), observaram-se diferenças significativas, de modo que maiores valores ocorreram em solo profundo. Os teores encontrados no tecido vegetal estão adequados e dentro da faixa proposta por IFA (1992) e Silva et al. (2002).

No solo raso observaram-se teores foliares abaixo dessa faixa. Provavelmente os menores teores de  $Mn^{2+}$  no tecido foliar de plantas que cresceram no solo raso foram resultantes dos menores conteúdos do nutriente neste solo (Tabela 6). Dentre as características típicas da deficiência de  $Mn^{2+}$  em bananeiras são citadas manchas cloróticas em formato de dentes, presença de fungos e fruto coberto por pintas pretas (LAHAV, 1995). Nesse caso, não foram observados folhas ou frutos com essas características no bananal estudado.

As diferenças entre os teores foliares de  $Cu^{2+}$  foram significativas, apresentando maiores valores no solo profundo (Tabela 8). De modo geral, os teores médios de  $Cu^{2+}$  nas folhas das plantas ficaram dentro da faixa adequada de 6-30  $mg\ kg^{-1}$  estabelecida por Borges et al. (2002) e Silva et al. (2002). A bananeira requer pouco  $Cu^{2+}$ , sendo o total absorvido equivalente a 1% do  $Mn^{2+}$  (LAHAV, 1995). Portanto, não foi constatado risco de deficiência de  $Cu^{2+}$  nos solos estudados.

As médias dos teores foliares de B diferiram estatisticamente, apresentando valores maiores no solo profundo (Tabela 8). Os teores de B nas folhas de plantas que se desenvolveram no solo raso ficaram dentro da faixa considerada adequada de 10-25  $mg\ Kg^{-1}$  segundo Borges et al. (2002) e Silva et al. (2002). Já no solo profundo, os teores ficaram um pouco acima dessa faixa. Segundo IFA (1992), teores na faixa de 30 a 100  $mg\ kg^{-1}$  são considerados tóxicos para a bananeira. A faixa de variação entre deficiência e excesso de B é estreita, daí a necessidade de distribuir o elemento de forma



uniforme ao solo, para evitar danos às plantas (MALAVOLTA, 1989). Nos solos raso e profundo os teores foliares de B estiveram próximos dos níveis tóxicos, dispensando o fornecimento de B por meio da adubação nos dois casos.

#### **4.4 Atributos radiculares da bananeira**

A análise estatística mostrou significância para os valores relacionados ao número de classes de diâmetro, diâmetro máximo e diâmetro mínimo de raízes diferiram entre solos e entre profundidades. Já os valores referentes à área, comprimento e volume total não diferiram entre solos, mas sim entre profundidades no solo de maior profundidade efetiva (Tabela 9). Nos dois solos estudados houve presença de raízes até 60 cm de profundidade. Aproximadamente 70 % da concentração de raízes ocorreu nos primeiros 30 cm de profundidade (nos dois solos), o que está de acordo com o mencionado por Borges e Souza (2004).

A área e o comprimento radicular reduziram em profundidade no denominado solo profundo. A resistência à penetração (Figura 6) no solo raso foi maior na camada de 50 cm, o que pode ter inibido o desenvolvimento radicular.

Ao observar o número de classes de diâmetro, foi constatado menor número de classes diâmetro no solo raso em todas as camadas estudadas. No entanto, somente na profundidade de 0 a 10 cm houve significância estatística. O maior número de raízes reflete diretamente no número de classes de diâmetro encontrado no solo profundo que, conseqüentemente, tem influência na distribuição das raízes em profundidade e nos valores de diâmetro máximo e mínimo.

Quanto ao diâmetro máximo foram encontrados maiores valores no solo profundo (2,03 a 8,47 mm). Os dados referentes às camadas de 0 a 10 cm, 20 a 30 e 50 a 60 cm foram significativos. Nesse caso, o diâmetro máximo encontrado permite entender o comportamento da planta quanto à sua sustentação. Raízes mais grossas são eficientes e importantes na sustentação da planta, minimizando prejuízos que podem ser causados pelos ventos (BORGES e SILVA, 2004).

Tabela 9 - Atributos radiculares em seis profundidades solos raso e profundo.

Atributos radiculares	Profundidade	Solo raso	Solo profundo	CV (%)
		Médias		
Área total (mm <sup>2</sup> )	0 a 10	4104,362 Aa	5106,94 Aa	34,63 <sup>T</sup> (74,35)
	10 a 20	3982,89 Aa	3165,32 Aab	
	20 a 30	4122,16 Aa	1912,55 Aab	
	30 a 40	1703,75 Aa	1924,58 Aab	
	40 a 50	1664,18 Aa	1241,13 Aab	
	50 a 60	2038,92 Aa	615,74 Ab	
Comprimento total (mm)	0 a 10	1141,36 Aa	1423,39 Aa	31,08 <sup>T</sup> (64,79)
	10 a 20	953,25 Aa	792,06 Aab	
	20 a 30	1066,64 Aa	527,47 Aab	
	30 a 40	447,44 Aa	574,57 Aab	
	40 a 50	486,75 Aa	394,096 Ab	
	50 a 60	514,12 Aa	220,69 Ab	
Volume total (mm <sup>3</sup> )	0 a 10	1448,66 Aa	2256,004 Aa	54,39 <sup>T</sup> (127,09)
	10 a 20	2215,328 Aa	1826,656 Aa	
	20 a 30	2963,058 Aa	1083,15 Aa	
	30 a 40	1058,91 Aa	724,398 Aa	
	40 a 50	1242,22 Aa	401,384 Aa	
	50 a 60	1011,71 Aa	175,594 Aa	
Número de classes (unid)	0 a 10	4,2 Ba	9,6 Aa	26,39 <sup>T</sup> (52,72)
	10 a 20	6,4 Aa	9,8 Aa	
	20 a 30	8,2 Aa	11,0 Aa	
	30 a 40	4,8 Aa	6,4 Aa	
	40 a 50	4,6 Aa	6,2 Aa	
	50 a 60	3,2 Aa	6,4 Aa	
Diâmetro máximo (mm)	0 a 10	2,896 Bab	7,704 Aab	33,68
	10 a 20	5,678 Aa	6,502 Aab	
	20 a 30	4,734 Bab	8,474 Aa	
	30 a 40	2,436 Ab	2,03 Ad	
	40 a 50	2,47 Ab	2,532 Acd	
	50 a 60	2,166 Bb	5,08 Abc	
Diâmetro mínimo (mm)	0 a 10	0,864 Aa	0,714 Ba	7,27
	10 a 20	0,782 Aab	0,68 Ba	
	20 a 30	0,68 Ab	0,68 Aa	
	30 a 40	0,728 Ab	0,68 Aa	
	40 a 50	0,714 Ab	0,68 Aa	
	50 a 60	0,68 Ab	0,68 Aa	

<sup>(1)</sup>Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade. Obs: Valores obtidos em amostra de 159 cm<sup>3</sup> para todos os atributos. <sup>(T)</sup>Dados transformados no coeficiente de variação, entre parenteses valores reais de CV%. Opção de transformação raiz quadrada ( $X^{0,5}$ ).

As raízes de maior diâmetro têm menor taxa de senescência. Em parte, isso se deve à proximidade das raízes mais grossas com a parte aérea e à maior reserva de carboidratos (VOGT e BLOOMFIELD, 1991). Gill e Jackson (2000) fizeram uma revisão bibliográfica englobando uma série de artigos sobre regeneração e longevidade de raízes em vários tipos de plantas e observaram significativo crescimento na longevidade com o aumento do diâmetro das raízes.

No que se refere ao diâmetro mínimo, foram encontrados menores valores (0,68 a 0,71 mm) predominando no solo profundo (Tabela 9). As diferenças para valores encontrados na profundidade de 0 a 20 cm foram significativas. O diâmetro mínimo permite entender melhor a absorção de água e nutrientes pela planta. De acordo com Rylter (1997), as raízes finas das plantas constituem um dos principais meios para acessar os recursos do solo, sendo que seu comprimento e número são indicadores da capacidade de absorção de nutrientes. As raízes finas são mais abundantes nas camadas superficiais, onde se concentram de 40 a 70% do total de biomassa dessas raízes, das quais 50-80% são compostas por biomassa morta, resultado da rápida decomposição e regeneração de raízes finas (VOGT et al., 1986).

#### **4.5 Atributos de produtividade da bananeira**

Não foi observada diferença significativa para número de palmas, calibre máximo, calibre mínimo (Tabela 10). Em linhas gerais, esses atributos apresentaram maiores valores no solo profundo, mas não foram estatisticamente influenciados pela profundidade efetiva dos solos. O número de palmas por cacho foi superior ao encontrado por Nunes (2009) que obteve 8,98 palmas em bananeira 'Pacovam' na Chapada do Apodi ao estudar diferentes doses NPK.

Com relação ao calibre máximo e mínimo, cada empresa na Chapada do Apodi trabalha com uma faixa de calibração exigida pelos compradores. No caso da Fazenda Agrícola Famosa, a calibração mínima é de 30 mm e a máxima de 38 mm, de modo que os cachos que se encontram neste intervalo são colhidos. Até a décima terceira semana após o ensacamento, os cachos que não atingem a calibração mínima são colhidos e levados ao descarte, para a fábrica de doce, compostagem ou para vendedores de feiras livres da região. Tanto na área de solo raso como na de solo profundo, os frutos atingiram o calibre mínimo adequado para comercialização, 31,21 mm e 31,31 respectivamente, de modo que a profundidade efetiva não prejudicou a

qualidade dos frutos para a exportação (Tabela 10).

Tabela 10 - Atributos de produtividade nos solos raso e profundo.

Atributos de produtividade	Médias <sup>(1)</sup>		CV (%)
	Solo raso	Solo profundo	
Número de palmas (unid)	9,50 A	9,82 A	12,45
Calibre máximo (mm)	34,96 A	35,03 A	2,51
Calibre mínimo (mm)	31,21 A	31,31 A	3,14
Peso de cacho (Kg)	28,72 B	31,90 A	16,26
Prod. estimada (t ha <sup>-1</sup> )	57,44 B	63,80 A	16,26

<sup>(1)</sup>Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste t, a 5% de probabilidade.

Com relação ao peso de cachos e produtividade estimada das bananeiras, foram encontradas diferenças significativas em função da profundidade efetiva dos solos, com maiores valores associados ao solo profundo. O peso do cacho de 31,90 Kg obtido pelas bananeiras cultivadas no solo profundo (Tabela 10) foi superior ao observado por Nunes (2009) em um Cambissolo profundo na Chapada do Apodi no município de Quixeré - CE, que encontrou cachos com 29,84 Kg. Os pesos de cachos obtidos tanto no raso e profundo da área de estudo também foram superiores ao observado por Rocha (2006) em 'Pacovan em Neossolo Quartzarênico e por Léo et al. (2008) em 'Prata' em um Neossolo Flúvico, que encontraram cachos com 11,68 e 14,33 Kg, respectivamente.

A produtividade obtida no solo raso e no profundo de 57,44 Kg ha<sup>-1</sup> e 63,80 Kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 10) foi superior à obtida por Nunes (2009), que encontrou valor de 49,71 t ha<sup>-1</sup> em bananal com espaçamento de 3,5 m entre fileiras duplas, 1,9 m entre fileiras simples e 1,6 m entre plantas na linha. Os valores de produtividade encontrados no presente estudo também foram maiores em relação às produtividades obtidas por Weber et al. (2006) de 33,21; 43,75 e 39,76 t ha<sup>-1</sup>, no primeiro, segundo e terceiro ciclos da bananeira 'Pacovan' na Chapada do Apodi-CE,

com espaçamento de 4,0 x 2,0 m. Os valores também foram superiores ao encontrado por Macedo et al. (2007) de 55,3 t ha<sup>-1</sup> em banana nanica num Luvissoilo Crômico.

O maior peso de cachos e, conseqüentemente, a maior produtividade encontrada no solo profundo foi resultado das melhores propriedades físicas e químicas deste solo, que resultaram em melhor estado nutricional.

As bananeiras cultivadas no solo profundo apresentaram produtividade superior de 6.360 Kg ha<sup>-1</sup>. Considerando o valor médio de R\$ 0,60 pago pelos empresários do setor para a exportação, o cultivo no solo profundo rende um montante superior de R\$ 3.816,00 se comparado com o solo raso. Para que a mesma renda seja alcançada na área de solo raso, o proprietário da fazenda deverá investir em práticas principalmente como: aumento da irrigação e adubação, além de ter que adotar práticas para tentar promover melhorias em alguns atributos físicos do solo como, por exemplo, escarificação ou sub-solagem em profundidade.

## 5 CONCLUSÕES

Os atributos físicos foram indicativos de diferenças entre solo raso e profundo. Dentre esses atributos, a resistência à penetração e o potencial mátrico apresentaram maiores diferenças estatísticas em profundidade. O solo profundo apresentou maiores conteúdos de argila, mais microporos e maior porosidade total, o que sugere necessidade de manejo da irrigação diferenciado entre os solos, pois o solo raso demanda maior conteúdo de água.

A fertilidade do solo e o estado nutricional das bananeiras foram melhores no solo profundo. Isso indica que a adubação das bananeiras cultivadas no solo raso deve ser mais freqüente e em maiores quantidades, buscando as mesmas condições oferecidas pelo solo profundo para desenvolvimento das plantas.

O número de classes de diâmetro e o diâmetro máximo de raízes foram maiores no solo profundo, indicando melhores condições de sustentação das plantas e maior longevidade do sistema radicular. No mesmo solo também foram encontradas raízes de menor diâmetro, representando melhores condições para a absorção de água e nutrientes, bem como melhores condições para a regeneração das bananeiras.

Os atributos químicos, físicos, nutricionais e radiculares da bananeira, em geral, foram melhores no solo profundo, refletindo em maior produtividade da cultura. O peso de cachos e a produtividade foram maiores no solo profundo, possibilitando geração de renda R\$ 3.816,00 por hectare superior em relação ao solo raso.

## REFERENCIAS

ALENCAR, E. L. L. **Química e mineralogia de três pedons originários de calcário da Chapada do Apodi-CE**. 2003. 65 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2003.

ALVES, E. J. **A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 1999. 595 p.

AMARO FILHO, J. **Contribución al estudio del clima del Rio Grande do Norte**. 1991. 311 f. Tese (Doutorado em Edafología e Climatología) – Escuela Tecnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidade Politécnica de Madrid, Madrid, 1991.

AMARO FILHO, J.; ASSIS JUNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. **Física do solo: conceitos e aplicações**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2008. 290 p.

ANDRADE, E.M. *et al.* Evolução da concentração iônica da solução do solo em área irrigadas da Chapada do Apodi - CE. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 35, n. 1, p. 9-16, 2004.

AQUINO, B. F. **Adubos e adubação**. Fortaleza: UFC, 2003. 241 p.

ARAÚJO, F. F.; GIL, F. C.; TIRITAN, C. S. Lodo de esgoto na fertilidade do solo, nutrição de *Brachiaria decumbens* e na atividade de desidrogenase. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, p. 1-6, 2009.

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality, *In*: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society, 1996. p. 123-141.

ASSIS JÚNIOR, R. N. **Física do solo**. Fortaleza: UFC, 1999. 52 p. apostila.

BERGER, T.W. *et al.* The role of calcium uptake from deep soils for spruce (*Picea abies*) and beech (*Fagus sylvatica*). **Forest Ecology and Management**, v. 229, p. 234-246, 2006.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. *In*: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. cap. 13, p. 363-375.

BOHM, W. **Methods of studying root systems**. Berlin: Springer-Verlag, 1979. 527 p.

BORGES, A. L. **Interação entre nutrientes em bananeira**. Cruz das Almas: EMBRAPA, 2004. 2 p. (Circular Técnica, 55).

BORGES, A. L.; *et al.* **Sistema de produção da bananeira irrigada**. [S.l.]: EMBRAPA, 2009. Disponível em:  
<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Banana/BananeiraIrrigada/adubacao.htm>>. Acesso em: 5 fev. 2011.

BORGES, A. L.; SOUZA, L. S. **O cultivo da bananeira**. Cruz das Almas: EMBRAPA, 2004. 279 p.

BORGES, A. L. O cultivo da banana para o agropolo Jaguaribe-Apodi, Ceará. [S.l.]: EMBRAPA, 2003. Disponível em: <[html://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br)>. Acesso em: 30 jan. 2011.

BORGES, A. L.; OLIVEIRA, A. M. G.; SOUZA, L. S. Solos, nutrição e adubação. In: ALVES, E. J. (Ed.). **A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais**. Brasília: EMBRAPA, 1999. p.197-260.

BORGES, A. L. *et al.* **Nutrição e adubação da bananeira irrigada**. Cruz das Almas, EMBRAPA, 2002. 8 p. (Circular Técnica, 48).

BORGES, A.L. *et al.* Teores foliares de nutrientes em genótipos de bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 314-318, ago. 2006.

BOTTA, G.F. *et al.* Soil compaction produced by tractor with radial and cross-ply tyres in two tillage regimes. **Soil and Tillage Research**, v. 101, p. 44-51, 2008.

BRADY, N. C.; WEIL, R. **The nature and properties of soils**. 14 th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2008. 999 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento exploratório reconhecimento de solos do estado do Ceará**. Recife, 1973. 2 v. 502 p. (Boletim Técnico, 28)

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Reconhecimento e medida da compactação do solo**. 2006. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/artigos/2006\\_2/C6/Index.htm](http://www.infobibos.com/artigos/2006_2/C6/Index.htm)>. Acesso em: 12 fev. 2011

CARVALHO, F. W. A. **Modelos estatísticos para análise da banana do Estado do Ceará de 1974 a 1995**. Fortaleza: [s.n.], 1999.

CEARÁ. Central de Abastecimento. **Divisão Técnica e de Planejamento**. Disponível em: <<http://www.ceasa-ce.com.br/>>. Acesso em: 2 fev. 2011.

COSTA, M. C. G. **Distribuição e crescimento radicular de soqueiras de cana-de-açúcar: dois cultivares em solos com características distintas**. 2005. 88 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

COX, J. W.; MCFARLANE, D. J. The causes of waterlogging in shallow soils and their drainage in southwestern Austrália. **Journal of Hydrology**, v. 167, p.175-194, 2005.

D'ALMEIDA, D. M. B. A. *et al.* Importância relativa dos íons na salinidade de um Cambissolo na Chapada do Apodi, Ceará. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 615-621, set./dez. 2005.



DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. *In*: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. 2 ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 443-461.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS. **Perímetro irrigado Jaguaribe-Apodi**. Disponível em:

<[http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/perimetros\\_irrigados/ce/jaguaribe\\_apodi.html](http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/perimetros_irrigados/ce/jaguaribe_apodi.html)>. Acesso em: 06 maio 2009.

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

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Roma: FAO, 1979. 306 p. (Irrigação e Drenagem, 33).

DUAN, L. *et al.* Vegetation uptake of nitrogen and base cations in China and its role in soil acidification. **Science of the Total Environment**, v. 330, p. 187-198, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivo da banana para o Agropólo Jaguaribe-Apodi Ceará**. 2003. Disponível em:

<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Banana/BananaCeara/importancia.htm>>. Acesso em: 28 mar. 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação do Solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes**. São Paulo: Edgard Blucher, 1974. 293 p.

FERREIRA, D. F. **Manual do sistema Sisvar para análises estatísticas**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2000. 66 p.

FERRI, M.G. **Botânica: morfologia externa das plantas**. 15. ed. São Paulo: Nobel, 1983.

FRANCELINO, M. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; RESENDE, M. Elaboração de um sistema de classificação da capacidade de suporte em ambiente semi-árido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 83-91, 2005.

FUGIWARA, M. *et al.* **A técnica de estudo de raízes pelo método do trado**. Campinas: IAC, 1994. (Boletim Técnico, 153).

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

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-size analyses. *In*: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2 ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 383-411.

GILL, R. A.; JACKSON, R. B. Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems. **New Phytologist**, v. 147, p. 13-31, 2000.

HANSEN, E. H.; MUNNS, D. N. Effect of CaSO<sub>4</sub> and NaCl on mineral content of *Leucaena leucocephala*. **Plant and Soil**, v. 107, n. 1, p. 101-105, 1988.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência na qualidade física de um solo sob pastagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 1493-1500, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistemático da produção agrícola**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 1-76, jan. 2008.

INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION. **World fertilizer use manual**. Paris, 1992. 404 p.

JORGE, L. A. C. *et al.* Estudo do perfil de enraizamento de uma cultura de cana-de-açúcar através do SIARCS, com filmagens a diferentes distâncias. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SBCS, 1995. p. 2084-2086.

KALBAZI, M. G.; RACS, G. J.; LEWEN-RUDGERS, L. A. Reactions, products and solubility of applied zinc compounds in some Manitoba soils. **Soil Science**, v. 125, p. 55-64, 1978.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relação solo-planta**. Piracicaba: Ceres, 1979. 262 p.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 857-867, 2002.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. *In*: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. cap. 26, p. 635-660.

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, 2004.

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

LAHAV, E.; TURNER, D. **Banana nutrition**. Bern: International Potash Institute, 1983. 62 p. (Bulletin, 7).

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

LÉDO, A. da S. *et al.* Avaliação de genótipos de bananeira na região do baixo São Francisco, Sergipe. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 691-695, set. 2008.

LEMOS, M. S. S. *et al.* Evaluation of characteristics of Cambisols derived from limestone in low tablelands in northeastern Brazil: implications for management. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Brasília, v. 32, n. 8, p. 825-834, 1997.

LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 2. ed. Campinas: SBCS, 1984. 45 p.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. 2. ed. Piracicaba: ESALQ, 2000. 509 p.

LIMA, C. L. R. *et al.* Produtividade de culturas e resistência à penetração de argissolo vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 1, p. 89-98, jan. 2010.

LIMA, H. V.; SILVA, A. P. Mesa de tensão com areia: procedimentos para montagem e validação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2209-2214, 2008.

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

LOPES, S. A. *et al.* **Sistema plantio direto**: bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo: ANDA, 2004. 110 p.

MACEDO, L. S.; SANTOS, E. S.; SANTOS, E. C. Produção da bananeira fertirrigada no semi-árido em função de nitrogênio e volume de água. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, Joao Pessoa, v. 1, n. 2, p. 9-18, dez. 2007.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 2006. 638 p.

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

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

MEDINA, C. J. **Banana, cultura, matéria prima processamento e aspectos econômicos**. 2 ed. Campinas: Ital, 1985. 302 p.

MELLO, F. A. F.; *et al.* **Fertilidade do solo**. 3 ed. São Paulo: Nobel, 1989. 400 p.

MIELNICZUK, J. **O potássio no solo**. Piracicaba: [s.n.], 1978.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Produção do Jaguaribe-Apodi, no Ceará**. Disponível em:

<<http://www.integracao.gov.br/comunicacao/noticias/noticia.asp?id=3243>>. Acesso em: 06 maio 2009.

MONIZ, A. C.; MEDINA, H. P. **Elementos de pedologia**. São Paulo: Polígono: Universidade de São Paulo, 1972. 459 p.

MOREIRA, A.; FAGERIA, N. K. Repartição e remobilização de nutrientes na bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p 574-581, jun. 2009.

MOREIRA, A.; HEINRICHS, R.; PEREIRA, J. C. R. Densidade de plantio na produtividade e nos teores de nutrientes nas folhas e frutos da bananeira cv ‘Thap Maeo’. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 626-631, 2007.

MOREIRA, R. S. **Banana: teoria e prática de cultivo**. 2. ed. São Paulo: Fundação Cargill, 1999. CD-ROM.

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

MOTA, J. C. A. **Caracterização física, química e mineralógica, como suporte para o manejo dos principais solos explorados com a cultura do melão na Chapada do Apodi-RN**. 2004. 96 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

MOTA, J. C. A. *et al.* Algumas propriedades físicas e hídricas de três solos na Chapada do Apodi, RN, cultivados com melão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 49-58, 2008.

MUGGLER, C. C. *et al.* Características pedológicas de ambientes agrícolas nos chapadões do rio Corrente, sudoeste da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 3, p.221-232. 1996.

NACHTIGALL, G. R.; NOGUEIROL, R. C.; ALLEONI, L. R. F. Formas de cobre em solos de vinhedos em função do pH e da adição de cama-de-frango. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 427-434, 2007.

NEVES, L. L. M. *et al.* Crescimento, trocas gasosas e potencial osmótico da bananeira-‘prata’, submetida a diferentes doses de sódio e cálcio em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 524-529, ago. 2002.

NEWMAN, E. I. A method of estimating the total length of root in a sample. **Journal of Applied Ecology**, v. 3, p. 45-139, 1966.

NUNES, A. P. A. **Crescimento e produção da bananeira em função da adubação com NPK**. 2006. 51 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

OLIVEIRA, D. P. *et al.* Geoestatística e modelo numérico de terreno em ciências do solo: estudo de caso na Chapada do Apodi - CE. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 14., 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 4141-4147.

OLIVEIRA, D. P. **Caracterização, gênese e mineralogia de solos da Chapada do Apodi-CE: o papel do microrrelevo**. 2009. 79 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

PEARSON, R. W. Soil environment and root development. *In: PIERRE, W. H. et al. (Ed.). Plant environment and efficient water use*. Madison, American Society of Agronomy, 1966. p. 95-126.

VAN RAIJ, B. *et al.* **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 2001. 170 p.

RAMOS, A. *et al.* Distribuição espacial do sistema radicular da pupunheira em função de lâminas de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 4, p. 431-440, out./dez., 2009.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo, Manole, 1990. 188 p.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciências Ambientais**, v. 27, p. 29-48, 2003.

ROCHA, C.R.T. **Produção da bananeira ‘Pacovam’ em função da fertilização com NPK**. 2006. 46 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

RUTH, B.; LENNARTZ, B. Spatial variability of soil properties and rice yield along two catenas in southeast China. **Pedosphere**, v. 18, n. 4, p. 409-420, 2008.

RYLTER, R. M. **Fine root production and carbon and nitrogen allocation in basket willows**. 1997. Thesis (Doctoral) - Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 1997.

SAMPLE, L. E. C.; SOPER, R. J.; RACZ, G. J. Reactions of phosphate fertilizers in soils. *In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPARTH, E. J. (Ed.) The role of phosphorus in agriculture*. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p. 263-310.

SANTOS, R. D. *et al.* **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa: SBCS, 2005. 100 p.

SANTOS, R. F. (Org.) **Vulnerabilidade Ambiental desastres naturais ou fenômenos induzidos**. Brasília: MMA, 2007. 192 p.

- SERRANO, E. Relationship between functional root content and banana yield in Costa Rica. *In*: TURNER, D. W.; ROSALES, F. E. (Ed.). **Banana root system: towards a better understanding for its productive management**. Montpellier: [s.n.]. 2005. p. 25-36.
- SHIERLAW, W. J.; ALSTON, A. M. Effect of soil compaction on root and uptake of phosphorus. **Plant and Soil**, v. 77, p. 15-28, 1984.
- SILVA, C. U. C. *et al.* Efeito de diferentes níveis de NaCl sobre o desenvolvimento *in vitro* de bananeira (*Musa* sp. Cv. 'Nanicão'). *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 6., 1997, Belém, **Anais...** Belém: Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal, 1997. p. 152.
- SILVA, E. B.; RODRIGUES, M. G. V. Levantamento nutricional dos bananais da região norte de Minas Gerais pela análise foliar. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 695-698, 2001.
- SILVA, J. T. A.; BORGES, A. L. Solo, nutrição mineral e adubação da bananeira. **Informe Agropecuário**, v. 29, p. 25-37, 2008.
- SILVA, J. T. A.; PACHECO, D. D.; COSTA, E. L. Atributos químicos e físicos de solos cultivados com bananeira 'Prata Anã' (aab), em três níveis de produtividade, no norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 102-106, abr. 2007.
- SILVA, S. O.; FLORES, J. C.; 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, 2002.
- STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. L. Penetrômetro de impacto, IAA/Planalsucar-Stolf: recomendações para o seu uso. **Revista STAB**, Piracicaba, v.1, n. 3, p. 18-23, 1983.
- TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER, J. J. Soil strength root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, v. 102, p. 18-22, 1966.
- TENNANT, D. A. A test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, v. 63, p. 995-1001, 1975.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Departamento de Ciência do Solo. **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará**. Fortaleza, 1993. 248 p.
- VALE, F. R.; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. **Fertilidade do solo: dinâmica e disponibilidade dos nutrientes de plantas**. Lavras: ESAL, 1993. 171 p.
- VAN GENUCHTEN, M.T.H. A closed-form equation for predicting the conductivity of un saturated soils. **Soil Science Society American Journal**, v. 44, p. 892-897, 1980.

VEEN, B. W.; BOONE, F. R. The influence of mechanical resistance and soil water on the growth of seminal roots of maize. **Soil and tillage research**, v. 16, p. 219-226, 1990.

VENDAVAL destrói 1.410 ha de banana. **Diário do Nordeste**, Fortaleza, 6 fev. 2010. Disponível em: <<http://diariodonordeste.globo.com/materia.asp?codigo=731603>>. Acesso em: 09 out. 2011.

VOGT, K. A.; BLOOMFIELD, J. Tree root turnover and senescence. *In*: LASSOIE., J. P., HINCKLEY. T. M. (Ed.). **Plant roots: the hidden half**. New York: Marcel Dekker, 1991. p. 287-305.

VOGT, K. A.; GRIER, C. C.; VOGT, D. J. Production, turnover, and nutrient dynamics of above and belowground detritus of world forests. **Advances in Ecological Research**, v. 15, p. 303-377, 1986.

WEBER, O. B. *et al.* A. Adubação nitrogenada e potássica em bananeira "pacovan" (Musa AAB, subgrupo prata) na Chapada do Apodi, Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 154-157, abril 2006.