

Distribuição de raízes e manejo do solo em cultivo de mamão nos Tabuleiros Costeiros

Laercio Duarte Souza⁽¹⁾, Luciano da Silva Souza⁽²⁾,
Carlos Alberto da Silva Ledo⁽¹⁾ e Carlos Estevão Leite Cardoso⁽¹⁾

⁽¹⁾Embrapa Mandioca e Fruticultura, Rua Embrapa, s/nº, Caixa Postal 007, CEP 44380-000 Cruz das Almas, BA, Brasil. E-mail: laercio.souza@embrapa.br, carlos.ledo@embrapa.br, carlos.estevao@embrapa.br ⁽²⁾Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Rua Rui Barbosa, nº 710, Centro, CEP 44380-000 Cruz das Almas, BA, Brasil. E-mail: lsouza@ufpb.edu.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar a distribuição de raízes e a produtividade de mamoeiro em dois sistemas de produção, em Argissolo Amarelo de Tabuleiro Costeiro, na Bahia. No primeiro sistema de produção comumente utilizado pelos produtores, utilizou-se solo sem cobertura vegetal, fertirrigado e com camalhões e, no segundo sistema, utilizaram-se subsolagem, plantio em sulcos com coberturas vegetais e irrigação. O camalhão isola as raízes do excesso de água e dos fungos do solo; no entanto, ele demanda muitas práticas mecânicas, compacta o solo e degrada a área, o que resulta na necessidade de pousio e, eventualmente, de migração da cultura. As raízes amostradas foram separadas do solo por peneiramento em água e, em seguida, escaneadas, e seu comprimento e diâmetro foram medidos. Os tratamentos T1 (vegetação espontânea), T2 (leguminosa), T3 (gramínea) e T4 (leguminosa mais gramínea), sem o uso de camalhões e irrigados, apresentam menor densidade de raiz e produtividade de frutos do que o T5 (testemunha) cultivado sem uso de cobertura vegetal, com camalhão e fertirrigação. A fertirrigação aumenta a densidade de raízes, mas as concentra abaixo dos gotejadores. As coberturas vegetais superam a vegetação espontânea em densidade de raiz, mas a igualam em produtividade.

Termos para indexação: *Carica papaya*, coberturas vegetais, solos coesos, subsolagem.

Root distribution and soil management in a papaya cultivation in the Coastal Tablelands

Abstract – The objective of this work was to compare the root distribution and fruit yield of papaya in two crop production systems, in an Ultisol of the Coastal Tablelands, in the state of Bahia, Brazil. In the first production system commonly used by producers, bare soil, fertigation, and ridges were used; and, in the second system, subsoiling, planting in furrows with various cover plants, and irrigation were used. Ridges isolate roots from water excess and soil fungi; however, they require many mechanical practices, compact the soil, and degrade the area, resulting in the necessity of fallow and, eventually, of crop migration. Sampled roots were soil-free by sieve-washing, then they were scanned, and their length and diameter were measured. The T1 (native vegetation), T2 (leguminous plants), T3 (grass), and T4 (leguminous plant and grass) treatments – without using ridges and irrigated – showed lower root density and fruit yield than the T5 (control) treatment without cover vegetation, with ridges and fertigation. Fertigation increases root density, but concentrates them under the drippers. Cover crops outweigh native vegetation as to root density; however, they are similar as to productivity.

Index terms: *Carica papaya*, cover plants, cohesive soils, subsoiling.

Introdução

O mamão (*Carica papaya* L.), fruta tropical de consumo mundial, é encontrada em quase todas as feiras e mercados dos cinco continentes. O Brasil é o segundo maior produtor de mamão do mundo e responde, em média, por 16% da produção desse fruto (FAO, 2015). O consumo do mamão ocorre em todo o

país, mas a produção está concentrada no Nordeste e no Sudeste, pois a média estadual de produção de frutos, no período de 2007 a 2013, foi de 48% na Bahia, 31% no Espírito Santo, 6% no Ceará, 5% no Rio Grande do Norte e 3% em Minas Gerais (IBGE, 2015).

Os pomares dos estados da Bahia e do Espírito Santo – cerca de 80% da produção nacional - estão localizados predominantemente na unidade geomorfológica

Tabuleiros Costeiros, onde predominam solos das classes Latossolo Amarelo e Argissolo Amarelo, que são geralmente ácidos e com horizontes coesos subsuperficiais (Santos et al., 2013). Oriunda da gênese desses solos, a estrutura coesa manifesta extrema dureza em solo seco, que desaparece quando o solo está úmido (Moreau et al., 2006).

O solo para o cultivo do mamoeiro tem como principais exigências a permeabilidade do perfil e uma localização no relevo que permita a drenagem. Solos inundados por dois ou três dias tornam o oxigênio escasso e provocam a morte do mamoeiro, pois cerram totalmente seus estômatos. Solos próximos da saturação causam o fechamento lento dos estômatos, que demoram até nove dias para fechar completamente, o que provoca uma série de danos à planta (Campostrini & Glenn, 2007). No entanto, quando o solo seca, o mamoeiro também demora a fechar os estômatos e transpira algum tempo, como se houvesse água disponível. Assim, os estômatos não são eficientes na resposta às variações de umidade do solo, pois não ativam os sistemas morfológicos ou fisiológicos para controlar o excesso ou a falta de água (Marler et al., 1994). O solo encharcado, além de asfixiar as raízes, facilita a propagação de patógenos do gênero *Phytophthora*, que causam a podridão das raízes, do caule e dos frutos do mamoeiro, dizimando parte do pomar no período de chuvas (Carnaúba et al., 2006).

O mamoeiro também exige cuidados quanto à parte aérea, pois alterações de temperatura, luminosidade e radiação podem acarretar prejuízos no período de formação dos frutos (Campostrini & Glenn, 2007). No verão tropical, próximo das 12 horas, quando a energia radiante pode atingir a densidade de fluxo de $2.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, o mamoeiro altera sua condutância estomática e diminui a taxa de assimilação do carbono pelas folhas (Jeyakumar et al., 2007). Os índices de pluviosidade devem estar entre 1.500 e 2.000 mm anuais, bem distribuídos, com umidade relativa do ar entre 60 e 85%. Ventos fortes derrubam as folhas, reduzem a área de fotossíntese e expõem os frutos ao sol, provocando também a sua queda (Clemente & Marler, 2001).

Os sistemas de produção para o mamoeiro utilizam intensa mecanização, com oito a dez entradas de máquinas para o preparo do solo, além da subsolagem e do plantio em camalhões, que raspa a superfície do solo na entrelinha e amontoa na linha; essa raspagem

é refeita diversas vezes durante o ciclo da cultura. O camalhão traz o benefício de isolar as raízes do excesso de umidade e diminuir infecções pelo patógeno *Phytophthora*, porém confina as raízes em seu interior e compacta o solo, exigindo o pousio da área por dois a três anos, ao final de cada ciclo de cultivo, sendo inviável instalar um novo pomar após dois ou três ciclos, o que leva à necessidade de migração da cultura.

No ciclo de 24 meses da cultura são comuns mais de 160 entradas de máquinas no pomar, o que resulta na compactação do solo. Esse fenômeno provoca o acúmulo de água na superfície do solo e interfere no fluxo de massa, na difusão dos gases e da solução do solo, o que diminui a velocidade de infiltração da água agravando as deficiências hídricas em profundidade nos períodos secos (Khondaker & Ozawa, 2007). A coesão subsuperficial, por sua vez, restringe as raízes a um pequeno volume de solo, pois cerca de 90% das raízes do mamoeiro, nos Tabuleiros Costeiros, estão à distância de até 0,50 m do caule e 80% à profundidade de 0–0,40 m (Coelho et al., 2005; Souza et al., 2006).

A subsolagem em conjunto com leguminosas, nas entrelinhas de um pomar de mamão nos Tabuleiros Costeiros, aumentou a porosidade, a percentagem de agregação, a taxa de infiltração da água no solo e elevou a produtividade do mamão (Carvalho et al., 2004). As coberturas vegetais mais utilizadas são leguminosas e gramíneas. A parte aérea das leguminosas tem baixa relação C/N e se decompõe de forma rápida. As raízes das leguminosas e gramíneas são lignificadas e demoram a se decompor. Entretanto, nas leguminosas as raízes se aprofundam no solo, criam poros, melhoram a drenagem e diminuem a resistência à penetração (Souza et al., 2013), enquanto nas gramíneas se concentram próximo à superfície, onde agregam as partículas, estabilizam a estrutura e aumentam a taxa de infiltração da água (Salton et al., 2008; Santos et al., 2012). O controle de plantas espontâneas no pomar de mamão tem alto custo no sistema de produção, mas a manutenção da vegetação espontânea ou a introdução de leguminosas e gramíneas nas entrelinhas são práticas pouco adotadas. A seleção de herbicidas e a recomendação de plantas de cobertura – que não sejam hospedeiras de insetos-praga e doenças do mamoeiro – ainda não estão plenamente estabelecidas (Ronchi et al., 2008; Souza et al., 2013).

O sistema de produção atual do mamoeiro favorece o desenvolvimento de uma rizosfera pequena, pouco

profunda, contida no interior do camalhão, que explora pequeno volume de solo e com pouca capacidade de captar água e nutrientes, o que sujeita a planta a tombamentos. Os sistemas radiculares enfrentam graves problemas em solos mal estruturados (compactados ou coesos), pois a solubilidade e o transporte de nutrientes dependem diretamente das proporções dos diâmetros do sistema de poros do solo e da sua estabilidade (Fageria & Stone, 2006).

Admite-se que um solo com uma estrutura que não apresenta zonas compactadas ou adensadas em seu perfil permitirá melhor desenvolvimento do sistema das raízes e maior produtividade das plantas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a distribuição de raízes e a produtividade de mamoeiro em dois sistemas de produção, em Argissolo Amarelo de Tabuleiro Costeiro, na Bahia.

Material e Métodos

O experimento foi instalado em propriedade rural próxima à estrada que liga os municípios de Itamaraju e Prado, ambos na Bahia, a 17°18'08"S, 39°18'57"W, à altitude de 59 m, com clima do tipo Am, conforme a classificação de Köppen-Geiger, com pluviosidade média de 1.230 mm anuais (SEI, 1999), em local formado por área de Mata Atlântica. A vegetação da mata foi derrubada, queimada e destocada para o cultivo com mamão. Após o ciclo de 24 meses, a área foi utilizada como pastagem por três anos, seguida de novo ciclo de plantio do mamão.

O solo usado para efetuar o plantio no sistema do produtor foi submetido aos seguintes manejos: aração com arado de aiveca; grade aradora; aplicação de calcário e gesso à área total; grade niveladora; subsolagem à profundidade de 0,50 m, na linha de plantio; e formação dos camalhões (raspagem da entrelinha e acúmulo de terra na linha). Plantou-se uma muda por cova sobre o camalhão, no espaçamento de 1,8x3,8 m, da cultivar de mamão 'Tainung 1', do grupo 'Formosa'.

O experimento consistiu de cinco linhas por tratamento, 51 plantas por linha, 255 plantas por tratamento e 1.275 plantas no total, em área de 8.721 m² e declive entre 3 e 5%.

Foram realizadas quatro pulverizações fitossanitárias mensais, iniciadas entre o 3.º e o 8.º mês após o plantio, no total de 24 aplicações. A partir do 9.º até o 24.º mês ocorreram as colheitas, com as entradas

de máquinas no pomar duas vezes por semana – uma para pulverizar e outra para colher os frutos –, tendo-se adicionado mais 128 entradas na área. Essas pulverizações e colheitas, somadas ao preparo do solo, ultrapassaram 160 entradas na área.

As análises físicas do solo foram realizadas em trincheira de 1,0x1,5x1,5 m de profundidade, para caracterizar o perfil do solo, e as análises químicas foram realizadas em amostragem composta das profundidades de 0–0,20 m e de 0,20–0,50 m (Donagema et al., 2011). A avaliação em campo com o martelo pedológico, em solo seco, diagnosticou a coesão a partir de 0,30 até 0,70 m de profundidade, entre os horizontes Bt1 e Bt2, o que está de acordo com Moreau et al. (2006). Realizou-se a correção da acidez para saturação por bases (V) igual a 70%. A testemunha foi representada pelo sistema utilizado pelos produtores (T5), com a subsolagem apenas na linha de plantio, onde foi feito o camalhão, tendo-se mantido o solo limpo e com uso de fertirrigação. As alterações nesse sistema foram: subsolagem realizada em toda a área do pomar, plantio do mamoeiro em sulcos, adubação por cobertura e irrigação aos tratamentos T1, T2, T3 e T4. Os tratamentos T1, T2, T3 e T4 diferiram quanto às espécies de coberturas vegetais: T1, vegetação espontânea; T2, leguminosa (feijão-de-porco, *Canavalia ensiformes*); T3, gramínea (milheto, *Pennisetum glaucum*); T4, gramínea + leguminosa (feijão-de-porco + milheto); T5, plantio em camalhão com fertirrigação, sem adubo verde.

A adubação foi manejada para a obtenção de nível médio de produtividade (Oliveira & Coelho, 2009), tanto para a fertirrigação quanto para a adubação no solo. A irrigação por mangueira com gotejadores foi utilizada no período seco e nos veranicos, sem turno de rega e com aplicação de pequeno volume de água, pois a pluviosidade da região é alta. Utilizou-se este manejo em todos os tratamentos, inclusive o T5. A fertirrigação, utilizada apenas no T5, complementou a irrigação e foi sistematizada para aplicação de determinada quantidade de adubo em datas preestabelecidas que, geralmente, coincidiram com a irrigação, mas também ocorreu em períodos úmidos, quando havia água disponível no solo, e não houve irrigação. Os dois sistemas utilizaram os mesmos dois gotejadores instalados na linha de plantio, a 0,40 m da planta.

O plantio das coberturas vegetais iniciou-se com a roçagem das plantas espontâneas nas entrelinhas

do pomar, seguida da semeadura a lanço: milho, 20 kg ha⁻¹; feijão-de-porco, 120 kg ha⁻¹; e milho + feijão-de-porco, com 60% da massa para o plantio solteiro de cada uma das culturas misturadas antes da semeadura. Utilizou-se grade niveladora à profundidade de 0,08 m, após a semeadura, para facilitar o plantio e a germinação das sementes. A vegetação espontânea no tratamento T1 foi roçada a cada 45 dias, tendo-se mantido à altura entre 0,10 m e 0,20 m.

Amostraram-se as raízes dos mamoeiros do pomar de 14 meses de idade, por meio de um tubo de aço galvanizado com 0,10 m de diâmetro e 1,25 m de comprimento. Avaliaram-se duas plantas por tratamento, em duas posições – linha e entrelinha de plantio, com ângulo de 90° entre si; e a três distâncias do caule, 0,25, 0,50 e 1,0 m, a seis profundidades – 0–0,20, 0,20–0,40, 0,40–0,60, 0,60–0,80, 0,80–1,0 e 1,0–1,20 m. As raízes foram separadas do solo por lavagem em peneira, secas à sombra e armazenadas em papel kraft entre 4 e 6°C. Em seguida, as raízes foram digitalizadas em preto e branco, em escâner com resolução de 100 dpi, e lidas no aplicativo GSRroot (Guddanti & Chambers, 1993). O comprimento das raízes foi determinado por volume de solo em cada amostra, em quatro classes de diâmetro: <1,0, 1,0–2,0, 2,0–3,0 e >3,0 mm.

Os dados foram submetidos ao teste F da análise de variância, tendo-se considerado o delineamento inteiramente casualizado, em arranjo de parcelas subsubsubdivididas com duas repetições. Nas parcelas, instalaram-se os cinco tratamentos, nas subparcelas, as seis posições de amostragem em relação à planta (três na linha e três na entrelinha) e, nas subsubparcelas, as seis profundidades, no total de 360 parcelas experimentais. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo

teste de Tukey, a 5% de probabilidade (SAS Institute Inc., Cary, NC, EUA).

Avaliou-se a produção de frutos em 12 colheitas, em toda a quadra, realizadas do 9.º ao 13.º mês, tendo-se pesado apenas os frutos comercializáveis.

Resultados e Discussão

O solo, classificado como Argissolo Amarelo distrocoeso latossólico, apresentou diminuição do teor de areia e aumento do teor de argila em profundidade, com textura que variou de franco-arenosa, no horizonte Ap, até argilosa no Bt3 e no Bw. Houve aumento abrupto da densidade do solo (Ds) nos horizontes Bt1 e Bt2, assim como diminuição, também abrupta, da condutividade hidráulica saturada (Ks) nesses mesmos horizontes, onde os valores de Ks estão abaixo de 5,0 mm h⁻¹ e chegam a zero em Bt3 e Bw, o que significa que uma leve garoa provocaria acúmulo de água nesses horizontes (Tabela 1). A coesão se localizou no horizonte Bt1 e em parte do Bt2 (0,30–0,70 m) e é uma das restrições a Ks nesse perfil (Moreau et al., 2006; Santos et al., 2013).

As análises químicas do solo (Tabela 2) mostraram valores de pH de 6,3 até a profundidade de 0,50 m, saturação por bases (V) entre 55 e 64%, e teor de Al, entre 0,1 e 0,6 cmol_c dm⁻³. Estes valores indicam que não há restrições químicas ao desenvolvimento de raízes até essa profundidade, o que contraria Santos et al. (2013), que descrevem esses solos como ácidos e com baixa saturação por bases e, no entanto, confirmam o efeito do uso intensivo de corretivos e adubações nesses pomares.

À distância de 1,0 m da planta, não se encontraram raízes em nenhuma profundidade, na linha ou entrelinha, e essa distância não foi considerada. Na

Tabela 1. Análise física dos horizontes do perfil de um Argissolo Amarelo distrocoeso latossólico, cultivado com mamão 'Tainung 1', em Prado, BA.

Horizonte	Profundidade (m)	Areia total			Argila	Textura	Densidade do solo (Mg m ⁻³)	Ks (mm h ⁻¹)
		(g kg ⁻¹)						
Ap	0–0,35	642	55	303	Franco-arenosa	1,51	43,16	
Bt1	0,35–0,53	575	101	324	Argilo-arenosa	1,58	2,77	
Bt2	0,53–0,85	564	82	354	Argilo-arenosa	1,57	2,65	
Bt3	0,85–1,12	474	49	477	Argilosa	1,49	0,0	
Bw	1,12–1,50+	434	59	507	Argilosa	1,38	0,0	

Ks, condutividade hidráulica do solo em condições saturadas.

linha de plantio, as diferenças foram significativas apenas para a variável profundidade, enquanto na entrelinha houve significância quanto à distância da planta, à profundidade, às interações tratamento vs profundidade e distância vs profundidade (Tabela 3). Os coeficientes de variação foram elevados, ou seja, os valores dos desvios foram maiores do que as médias, daí a necessidade de grande diferença entre os tratamentos para haver significância.

Na linha de plantio, à distância de 0,25 m da planta, às profundidades de 0–0,20 m e 0,20–0,40 m, estão as maiores densidades de raiz (Dr), entre todas as posições avaliadas, mas não há diferença entre tratamentos, apesar do alto valor da Dr para o T2. Ocorreram diferenças entre 0,40 e 0,60 m de profundidade, e os melhores resultados ocorreram para T4 e T5, o que pode ser atribuído, nesse caso, à compactação à superfície do solo e às camadas coesas

em subsuperfície, características dos Tabuleiros Costeiros (Santos et al., 2013). Assim, às profundidades de 0,60–1,20 m, só ocorreram raízes do mamoeiro no T2, mas sem diferença entre os demais tratamentos. A camada coesa nesse solo, localizada entre 0,30–0,70 m de profundidade, fez com que o subsolador aplicado sobre a linha de plantio fosse pouco eficiente para romper a coesão em toda a sua profundidade. Na entrelinha, à mesma distância, a Dr se manteve alta à profundidade de 0–0,20 m, e o melhor resultado foi para T3, mas, entre 0,20–0,40 m, as raízes diminuíram acentuadamente, e a maior densidade foi para T5. A partir de 0,40 m até 1,20 m, praticamente não houve raízes (Figura 1).

À distância de 0,50 m da planta, na linha de plantio, às profundidades de 0–0,20 e 0,20–0,40 m, o tratamento T5 apresentou o maior valor para a Dr, mas foi igual estatisticamente a T2 e T4, à profundidade de 0–0,20 m,

Tabela 2. Análise química das amostras compostas do solo à profundidade das raízes.

Profundidade (m)	pH água	P (mg dm ⁻³)	K	Ca	Mg	Al, Na, H+Al, S (cmol _c dm ⁻³)				CTC	V (%)	MO (g kg ⁻¹)
						Al	Na	H+Al	S			
0–0,2	6,3	16	0,56	5,5	1,6	0,1	0,13	4,30	7,84	12,03	64	25,7
0,2–0,5	6,3	1,3	0,31	2,9	0,8	0,6	0,08	3,63	4,29	7,06	55	13,1

S, soma de bases; CTC, capacidade de troca catiônica; V, saturação por bases; MO, matéria orgânica.

Tabela 3. Análise da variância do sistema de raízes do mamoeiro, na linha e na entrelinha de plantio, às distâncias de 0,25 m e 0,50 m da planta, às profundidades 0–0,20, 0,20–0,40, 0,40–0,60, 0,60–0,80, 0,80–1,0 e 1,0–1,2 m, para o somatório dos quatro diâmetros de raízes.

Fonte de variação	Linha de plantio			Entrelinha de plantio		
	GL	Quadrado médio	Fc	GL	Quadrado médio	Fc
Repetição	1	0,008820	0,211	1	0,000323	0,177
Tratamento	4	0,076892	1,835	4	0,008392	4,606
Erro 1	4	0,041901	-	4	0,001822	-
Distância	1	0,006143	0,238	1	0,035642	10,026*
Tratamento x distância	4	0,072933	2,827	4	0,001662	0,468
Erro 2	4	0,025801	-	4	0,003555	-
Profundidade	5	0,199077	8,029**	5	0,048435	65,357**
Tratamento x profundidade	20	0,022858	0,922	20	0,007973	10,758**
Erro 3	20	0,024793	-	20	0,000741	-
Distância x profundidade	5	0,010574	0,547	5	0,014057	5,812**
Tratamento x profundidade x distância	20	0,025177	1,303	20	0,003126	1,292
Erro 4	31	0,019320	-	31	0,002419	-
Total corrigido	119	0,033519	-	119	0,006066	-
Coeficiente de variação (%)		132,43			154,32	

*, **Significativo a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste deTukey.

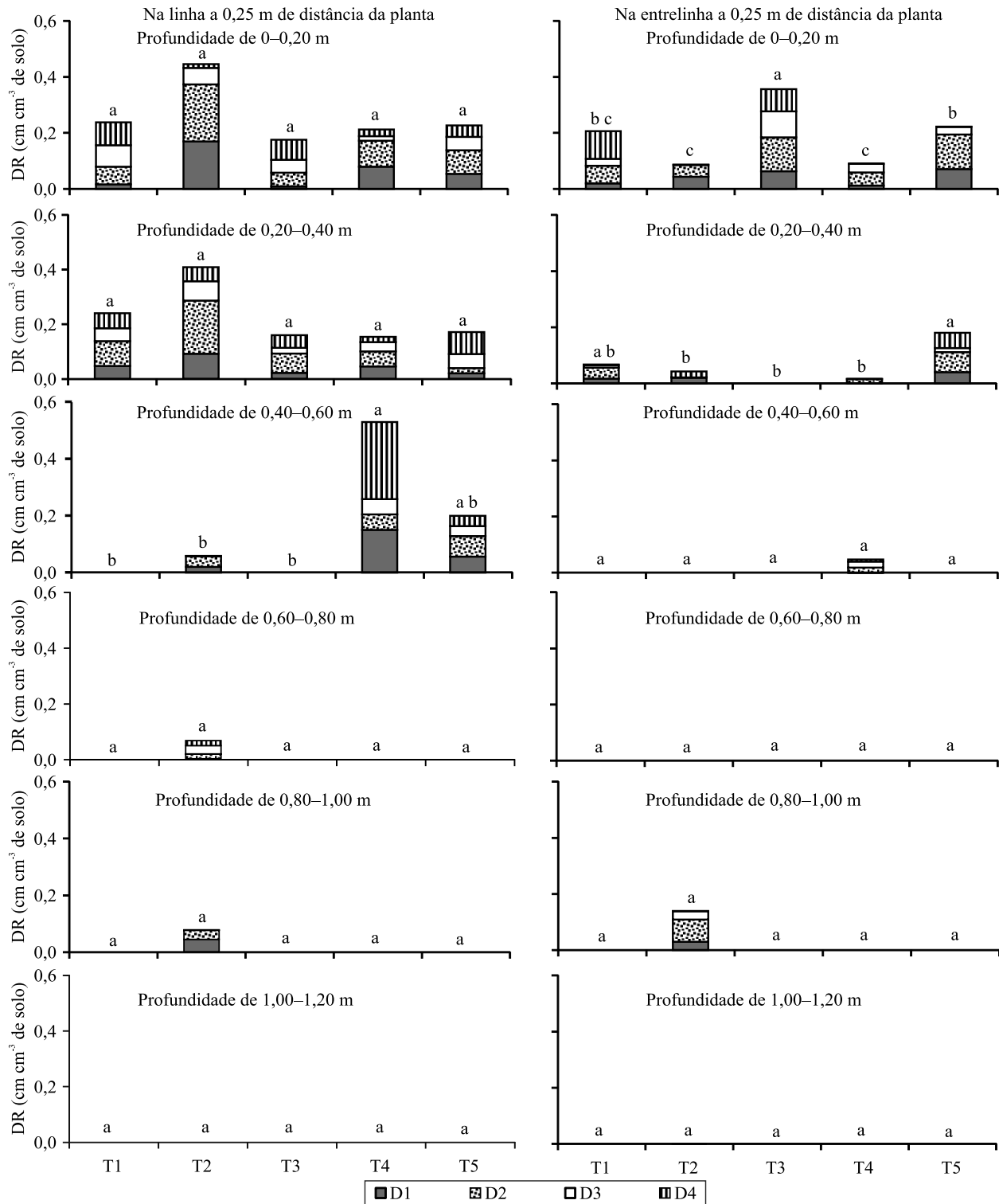


Figura 1. Densidade de raiz do mamoeiro 'Tainung 1' (Dr) a 0,25 m de distância da planta, na linha de plantio e na entrelinha, às profundidades de 0–0,20, 0,20–0,40, 0,40–0,60, 0,60–0,80, 0,80–1,0 e 1,0–1,2 m, e diâmetros de raiz – D1 <1,0 mm, D2 1,0–2,0 mm, D3 2,0–3,0 mm e D4 >3,0 mm. T1, vegetação espontânea; T2, leguminosa (feijão-de-porco, *Canavalia ensiformes*); T3, gramínea (milheto, *Pennisetum glaucum*); T4, gramínea + leguminosa (feijão-de-porco + milheto); T5, plantio em camalhão, com fertirrigação, sem adubo verde. Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

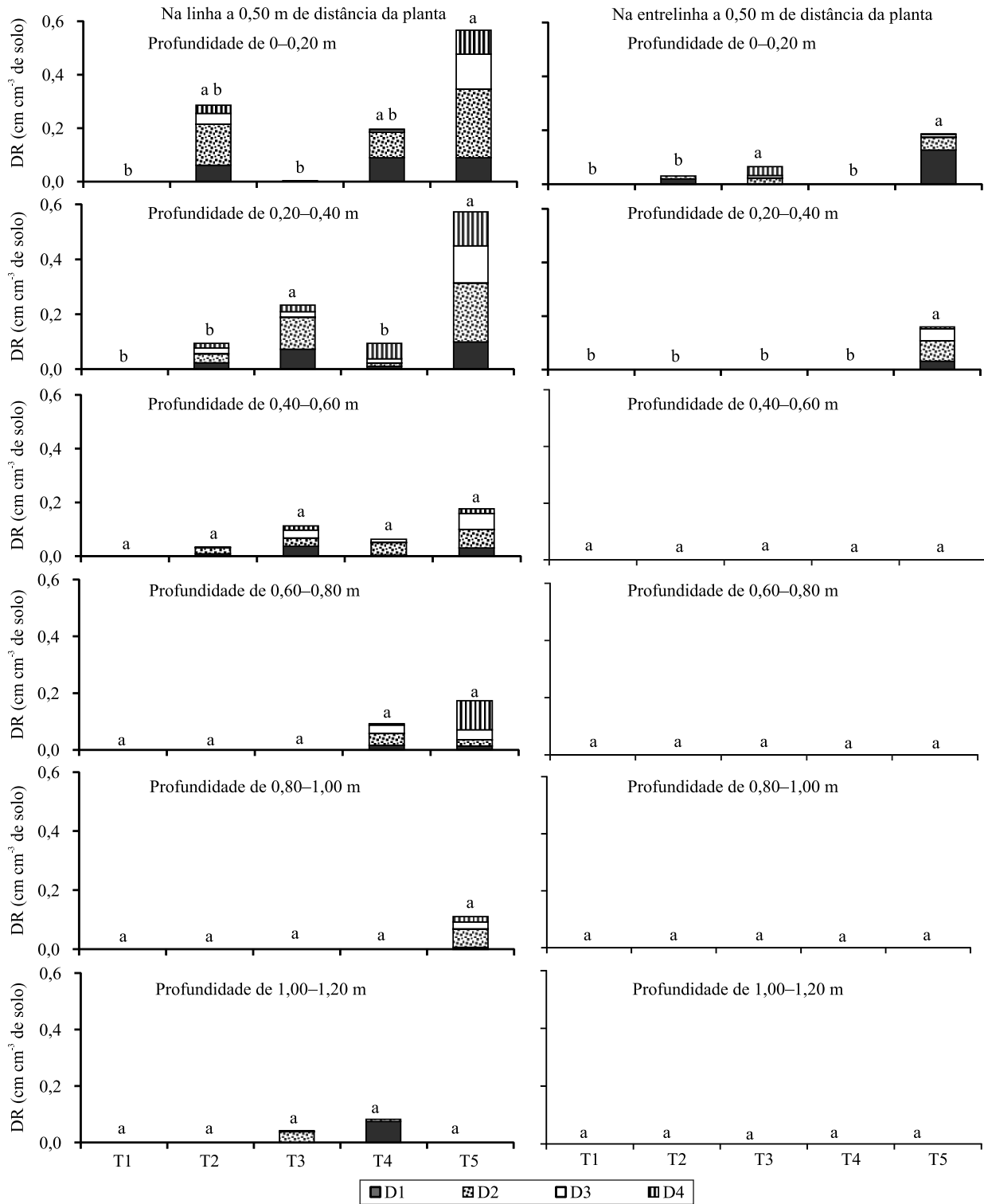


Figura 2. Densidade de raiz (Dr) de mamoeiro 'Tainung 1' a 0,50 m de distância da planta, na linha de plantio e na entrelinha, às profundidades de 0–0,20, 0,20–0,40, 0,40–0,60, 0,60–0,80, 0,80–1,0 e 1,0–1,2 m, e diâmetros de raiz – D1<1,0 mm, D2 1,0–2,0 mm, D3 2,0–3,0 mm e D4>3,0 mm. T1, vegetação espontânea; T2, leguminosa (feijão-de-porco, *Canavalia ensiformes*); T3, gramínea (milheto, *Pennisetum glaucum*); T4, gramínea + leguminosa (feijão-de-porco + milheto); T5, plantio em camalhão, com fertirrigação, sem adubo verde. Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

e igual ao da T3, entre 0,20–0,40 m (Figura 2). O predomínio de T5 nessa posição pode ser atribuído ao sistema de fertirrigação, que tinha um gotejador na linha de plantio a 0,40 m da planta e disponibilizou água e nutrientes nesse ponto, o que pode ter induzido a planta a desenvolver as raízes em sua direção (Coelho et al., 2005; Souza et al., 2007). À profundidade de 0,40 a 1,20 m, a Dr diminuiu acentuadamente e não houve diferenças entre tratamentos. Na entrelinha de plantio, a 0,50 m da planta, as raízes foram registradas apenas às profundidades de 0–0,20 e 0,20–0,40 m e, em ambas as camadas, a maior densidade ocorreu no T5. A partir de 0,40 m, não se encontraram raízes no solo. No tratamento T1, não se registraram raízes a 0,50 m da planta, em nenhuma profundidade, na linha ou na entrelinha. Observou-se que a entrelinha apresentou menor Dr do que a linha, nas duas distâncias, pois não recebeu irrigação e sofreu o trânsito de máquinas, o

que pode ter compactado o solo e reduzido a penetração das raízes (Dalchiavon et al., 2011).

Na avaliação da densidade de raiz em porcentagem, considerando-se todos os tratamentos, observa-se que na linha de plantio ocorreram 76,8% das raízes e, na entrelinha, 23,2% (Tabela 4). A maior porcentagem de raízes, para qualquer distância e posição em relação à planta, foi para T5 na linha, a 0,50 m de distância do caule, com 19,6% de um total de 36%. A menor porcentagem por local e posição foi para o T1, que apresentou raízes somente até 0,25 m da planta, o que comprova os benefícios das coberturas vegetais para a expansão das raízes do mamoeiro, que alcançaram 0,50 m de distância do caule. Em relação ao total, as maiores porcentagens da Dr ocorreram conforme a seguir: T5, 36%; T2, 22%; T4, 19%; T3, 14%; e T1, 9%. Os resultados indicam que um ciclo de coberturas vegetais não foi suficiente para melhorar

Tabela 4. Porcentagem da densidade de raiz de mamoeiro 'Tainung 1', em função da distância da planta (0,25 e 0,50 m) na linha e na entrelinha de plantio, para cada tratamento, profundidade de solo e diâmetro de raiz.

Variável	Porcentagem de raiz						Total
	0,25 m		0,50 m		Soma		
	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha	
Tratamento ⁽¹⁾							
T1	5,8	3,4	0,0	0,0	5,8	3,4	9,2
T2	12,8	3,3	5,1	0,4	17,8	3,6	21,5
T3	4,1	4,4	4,8	0,8	8,9	5,1	14,0
T4	10,9	1,9	6,5	0,0	17,4	1,9	19,3
T5	7,3	4,9	19,6	4,2	26,9	9,1	36,0
Total	41,0	17,8	35,9	5,4	76,8	23,2	100,0
Camada de solo (m)							
0,0–0,2	15,8	11,8	12,9	3,4	28,7	15,2	43,9
0,2–0,4	13,8	3,7	12,1	2,0	26,0	5,7	31,7
0,4–0,6	9,6	0,6	4,7	0,0	14,3	0,6	14,9
0,6–0,8	0,9	0,0	3,2	0,0	4,1	0,0	4,1
0,8–1,0	0,9	1,7	1,4	0,0	2,3	1,7	4,0
1,0–1,2	0,0	0,0	1,5	0,0	1,5	0,0	1,5
Total	41,1	17,8	35,8	5,4	76,9	23,1	100,0
Diâmetros de raiz (mm)							
D1<1,0	10,1	3,9	7,8	2,2	17,9	6,1	24,0
D2>1,0 e <2,0	13,9	7,5	14,9	1,9	28,8	9,4	38,2
D3>2,0 e <3,0	7,2	3,1	6,9	0,8	14,1	3,9	17,9
D4>3,0	9,9	3,3	6,2	0,5	16,1	3,8	19,8
Total	41,1	17,8	35,8	5,4	76,9	23,1	100,0

⁽¹⁾T1, vegetação espontânea; T2, leguminosa (feijão-de-porco, *Canavalia ensiformes*); T3, gramínea (milheto, *Pennisetum glaucum*); T4, gramínea + leguminosa (feijão-de-porco + milheto); T5, plantio em camalhão, com fertirrigação, sem adubo verde.

o desenvolvimento das raízes. O plantio e a adição de material vegetal ao solo aumentam o teor de matéria orgânica em até 35%, na camada de 0–0,10 m, e restituem as propriedades físicas do solo, mas os resultados tardam a aparecer (Portela et al., 2010). O mesmo fato ocorre na reciclagem de nutrientes das zonas profundas para a proximidade da superfície, onde também há necessidade de diversos ciclos de plantas de cobertura do solo (Silveira et al., 2010; Cardoso et al., 2013).

Em todos os tratamentos, à profundidade de 0–0,20 m, estavam 44% das raízes e, entre 0,20–0,40 m, estavam 32%, o que soma 76%. No entanto, na linha à distância de 0–0,50 m, observaram-se registros consideráveis de densidade de raiz entre os tratamentos até a profundidade de 0,60 m, onde estavam 69% das raízes, de um total de 77%, enquanto, na entrelinha, à distância de 0–0,50 m, os maiores registros existiram apenas até 0,40 m, com 21% de um total de 23% das raízes. Ou seja, à profundidade de 0,60 m na linha e de 0,40 m na entrelinha, em um raio de 0,50 m da planta, estavam 93% do sistema de raízes do mamoeiro, o que confirma Coelho et al. (2005) e Souza et al. (2006).

Nos diâmetros das raízes, D2 (entre 1,0 e 2,0 mm) sobressaiu com 38%, seguido de D1 (<1,0 mm) com 24%; isto mostra que houve o predomínio das raízes mais finas na linha e na entrelinha (62%), o que é positivo, pois são raízes mais ativas na adsorção de nutrientes e água, e mostra que há um relativo equilíbrio entre D3 e D4 (Tabela 4).

A produção de frutos foi avaliada em 12 colheitas entre o 9.º e o 13.º mês (Tabela 5), e o T5 apresentou a maior produtividade, sem haver diferenças entre os demais tratamentos. Comparando-se a vegetação

espontânea com a de leguminosas, Cruz et al. (2014) também observaram valores diferentes quanto à produção de frutos do mamoeiro, em consequência da cobertura vegetal, em que a maior produção ocorreu em consequência da cobertura com *Crotalaria juncea*. A produção de frutos (PF) em comparação à percentagem da densidade de raízes (DR) gerou a função $PF = 1,41 Dr + 41,15$, com coeficiente de correlação $R^2 = 0,6427$, que é indicativa de que a Dr explica 64% da PF.

Os resultados podem servir de estímulo à utilização do dimensionamento do sistema de raízes do mamoeiro, nas avaliações para o melhoramento genético (Dantas et al., 2015), assim como nos sistemas de produção (Luz et al., 2015), para os quais há uma respeitável série de descritores referentes ao caule e ao fruto, mas não aos aspectos morfológicos das raízes.

Os três meses de cobertura vegetal do solo não repararam os problemas de compactação ocorridos no preparo e manejo, no ciclo de 24 meses do mamoeiro. O fator profundidade da subsolagem – que não atingiu toda a camada coesa – também se refletiu na baixa densidade de raízes em profundidade. Se adequadamente corrigidos, estes dois itens podem elevar acentuadamente a correlação entre a densidade de raízes e a produção de frutos.

Conclusão

Os sistemas de produção com coberturas vegetais (vegetação espontânea, leguminosas, gramíneas e leguminosas mais gramíneas), sem uso de camalhões e irrigados apresentam menor densidade de raiz e produtividade de frutos do que o sistema de produção tradicional sem cobertura vegetal, com camalhão e fertirrigado.

Referências

- CAMPOSTRINI, E.; GLENN, D.M. Ecophysiology of papaya: a review. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.19, p.413-424, 2007. DOI: 10.1590/S1677-04202007000400010.
- CARDOSO, D.P.; SILVA, M.L.; CARVALHO, G.J. de; FREITAS, D.A.F. de; AVANZI, J.C. Espécies de plantas de cobertura no condicionamento químico e físico do solo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.8, p.375-382, 2013. DOI: 10.5039/agraria.v8i3a2421.
- CARNAÚBA, J.P.; SOBRAL, M.F.; FURTADO, D.C. de M.; SILVA, I.O.; SILVA, K.M. da M.; AMORIM, E.P. da R. *Phytophthora palmivora*, agente da podridão de raiz e frutos de mamoeiro no Estado de Alagoas. *Revista Brasileira de*

Tabela 5. Produção média de frutos de mamoeiro 'Tainung' em 12 colheitas, durante cinco meses⁽¹⁾.

Média	Massa (kg ha ⁻¹)				
	T1	T2	T3	T4	T5
Colheita (5 meses)	1.186b	1.263b	1.418b	1.082b	1.987a
Prognóstico - ciclo de 24 meses	42.704a	45.475a	51.069a	38.955a	71.542a

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Tratamentos: T1, vegetação espontânea; T2, leguminosa (feijão-de-porco, *Canavalia ensiformes*); T3, gramínea (milheto, *Pennisetum glaucum*); T4, gramínea + leguminosa (feijão-de-porco + milheto); T5, plantio em camalhão, com fertirrigação, sem adubo verde.

- Fruticultura**, v.28, p.134-135, 2006. DOI: 10.1590/S0100-29452006000100037.
- CARVALHO, J.E.B. de; LOPES, L.C.; ARAÚJO, A.M. de A.; SOUZA, L. da S.; CALDAS, R.C.; DALTRO JÚNIOR, C.A.; CARVALHO, L.L. de; OLIVEIRA, A.A.R.; SANTOS, R.C. dos. Leguminosas e seus efeitos sobre propriedades físicas do solo e produtividade do mamoeiro 'Tainung 1'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.26, p.335-338, 2004. DOI: 10.1590/S0100-29452004000200036.
- CLEMENTE, H.S.; MARLER, T.E. Trade winds reduce growth and influence gas exchange patterns in papaya seedlings. **Annals of Botany**, v.88, p.379-385, 2001. DOI: 10.1006/anbo.2001.1479.
- COELHO, E.F.; SANTOS, M.R.; COELHO FILHO, M.A. Distribuição de raízes de mamoeiro sob diferentes sistemas de irrigação localizada em latossolo de tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.27, p.175-178, 2005. DOI: 10.1590/S0100-29452005000100047.
- CRUZ, J.L.; SOUZA, L. da S.; SOUZA, N.C. dos S.; PELACANI, C.R. Effect of cover crops on the aggregation of a soil cultivated with papaya (*Carica papaya* L.). **Scientia Horticulturae**, v.172, p.82-85, 2014. DOI: 10.1016/j.scienta.2014.03.045.
- DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M. de P.; NOGUEIRA, D.C.; ROMANO, D.; ABRANTES, F.L.; ASSIS, J.T. de; OLIVEIRA, M.S. de. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no Cerrado brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, p.8-19, 2011. DOI: 10.5216/pat.v41i1.8351.
- DANTAS, J.L.L.; LUCENA, R.S.; VILAS BOAS, S.A. Avaliação agrônômica de linhagens e híbridos de mamoeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.37, p.138-148, 2015. DOI: 10.1590/0100-2945-022/14.
- DONAGEMMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B. de; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).
- FAGERIA, N.K.; STONE, L.F. Physical, chemical, and biological changes in the rhizosphere and nutrient availability. **Journal of Plant Nutrition**, v.29, p.1327-1356, 2006. DOI: 10.1080/01904160600767682.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOSTAT**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>>. Acesso em: 6 nov. 2015.
- GUDDANTI, S.; CHAMBERS, J.L. **GSRoot**: automated root length measurement program: user's manual. Louisiana: Louisiana State University, 1993. 40p. Version 5.0.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de Dados Agregados. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?ti=1&tf=99999&e=v&p=PA&z=t&o=11>>. Acesso em: 6 nov. 2015.
- JEYAKUMAR, P.; KAVINO, M.; KUMAR, N. Physiological performance of papaya cultivars under abiotic stress conditions. **Acta Horticulturae**, v.740, p.209-216, 2007.
- KHONDAKER, N.A.; OZAWA, K. Papaya plant growth as affected by soil air oxygen deficiency. **Acta Horticulturae**, v.740, p.225-232, 2007.
- LUZ, L.N. da; PEREIRA, M.G.; BARROS, F.R.; BARROS, G. de B., FERREGUETTI, G.A. Novos híbridos de mamoeiro avaliados nas condições de cultivo tradicional e no Semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.37, p.159-171, 2015. DOI: 10.1590/0100-2945-069/14.
- MARLER, T.E.; GEORGE, A.P.; NISSEN, R.J.; ANDERSSSEN, P.C. Miscellaneous tropical fruits. In: SCHAFFER, B.; ANDERSSSEN, P.C. (Ed.). **Handbook of environmental physiology of fruit crops**. Boca Raton: CRC Press, 1994. v.2, p.199-224.
- MOREAU, A.M.S. dos S.; COSTA, L.M. da; KER, J.C.; GOMES, F.H. Gênese de horizonte coeso, fragipã e duripã em solos do tabuleiro costeiro do sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.1021-1030, 2006. DOI: 10.1590/S0100-06832006000600011.
- OLIVEIRA, A.M.G. de; COELHO, E.F. **Calagem e adubação para mamoeiro**. In: BORGES, A.L.; SOUZA, L. da S. (Ed.). Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, laranja, tangerina, lima ácida, mamão, mandioca, manga e maracujá. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2009. p.108-125.
- PORTELA, J.C.; COGO, N.P.; BAGATINI, T.; CHAGAS, J.P.; PORTZ, G. Restauração da estrutura do solo por sequências culturais implantadas em semeadura direta, e sua relação com a erosão hídrica em distintas condições físicas de superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1353-1364, 2010. DOI: 10.1590/S0100-06832010000400032.
- RONCHI, C.P.; SILVA, A.A.; SERRANO, L.A.L.; CATTANEO, L.F.; SANTANA, E.N.; FERREGUETTI, G.A. Manejo de plantas daninhas na cultura do mamoeiro. **Planta Daninha**, v.26, p.937-947, 2008. DOI: 10.1590/S0100-83582008000400026.
- SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.11-21, 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000100002.
- SANTOS, G.G.; SILVEIRA, P.M. da; MARCHÃO, R.L.; PETTER, F.A.; BECQUER, T. Atributos químicos e estabilidade de agregados sob diferentes culturas de cobertura em Latossolo do Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.16, p.1171-1178, 2012. DOI: 10.1590/S1415-43662012001100005.
- SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. de; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

SEI. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. **Balanço hídrico do Estado da Bahia**. Salvador, 1999. 250p. (Série Estudos e Pesquisas, 45). Tab. 434.

SILVEIRA, P.M. da; CUNHA, P.C.R. da; STONE, L.F.; SANTOS, G.G. dos. Atributos químicos de solo cultivado com diferentes culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.40, p.283-290, 2010. DOI: 10.5216/pat.v40i3.5841.

SOUZA, E. de A.; COELHO, E.F.; PAZ, V.P. da S. Distribuição de raízes do mamoeiro fertirrigado com três frequências de aplicação de fósforo. **Magistra**, v.18, p.14-20, 2006.

SOUZA, L.D.; SANTOS, C.V dos S.; SOUZA, L. da S.; PEREIRA, B.L. da S. **Resistência à penetração em Latossolo Amarelo dos Tabuleiros Costeiros, sob cobertura vegetal com leguminosas**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2013. 28p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 58).

SOUZA, L.D.; SOUZA, L. da S.; LEDO, C.A. da S. Sistema radicular dos citros em Neossolo Quartzarênico dos Tabuleiros Costeiros sob irrigação e sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1373-1381, 2007. DOI: 10.1590/S0100-204X2007001000002.

Recebido em 12 de fevereiro de 2016 e aprovado em 7 de junho de 2016