



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

PAULO VICENTE CONTADOR ZACCHEO

**SISTEMA RADICULAR DE ADUBOS VERDES EM POMAR  
CÍTRICO**

---

Londrina  
2011

PAULO VICENTE CONTADOR ZACCHEO

**SISTEMA RADICULAR DE ADUBOS VERDES EM POMAR  
CÍTRICO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientadora: Profa. Dra. Carmen Silvia Vieira Janeiro Neves

Londrina  
2011

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da  
Universidade Estadual de Londrina.**

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**

Z13s Zaccheo, Paulo Vicente Contador.

Sistema radicular de adubos verdes em pomar cítrico / Paulo Vicente Contador  
Zaccheo. – Londrina, 2011.  
46 f. : il.

Orientador: Carmen Silvia Vieira Janeiro Neves.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina,  
Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2011.  
Inclui bibliografia.

1. Adubação verde – Teses. 2. Cultivos de cobertura – Teses. 3. Frutas cítricas –  
Cultivo – Teses. 4. Plantas – Proteção do solo – Teses. 5. Plantas – Raízes (Botânica) –  
Teses. I. Neves, Carmen Silvia Vieira Janeiro. II. Universidade Estadual de  
Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III  
Título.

CDU 631.874:634.3

PAULO VICENTE CONTADOR ZACCHEO

## **SISTEMA RADICULAR DE ADUBOS VERDES EM POMAR CÍTRICO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

### **BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Cristiane de Conti Medina  
UEL – Londrina – PR

---

Dr. Mateus Carvalho Basílio de Azevedo  
IAPAR – Londrina – PR

---

Prof. Dr. Sérgio Ruffo Roberto  
UEL – Londrina – PR

---

Dra. Neusa Maria Colauto Stenzel  
IAPAR – Londrina – PR

---

Profa. Dra. Carmen Silvia V. Janeiro Neves  
UEL – Londrina – PR

Londrina, 18 de fevereiro de 2011.

## **DEDICATÓRIA**

*Primeiramente à Deus, pela vida e saúde.  
À Solange, companheira em todos os momentos.  
Aos meus pais, apoiadores incondicionais.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais (Paulo e Regina), à minha irmã (Ana Carolina) e aos meus avós (Vicente, Terezinha, Paulo e Irene) pelo suporte intelectual, emocional e financeiro dado a mim durante toda a minha formação, pelo apoio incondicional às minhas decisões e pelos ensinamentos sobre honestidade e respeito, que jamais serão esquecidos.

À Solange de Paula Ramos pelo companheirismo nos momentos mais difíceis, pelo amor, pelo carinho e pelo incentivo emocional na escolha dos caminhos a seguir.

À minha orientadora Profa. Dra. Carmen Silvia Vieira Janeiro Neves pela paciência, compreensão, conselhos e ensinamentos passados a mim durante esses dois anos e, ainda, por aceitar fazer parte da minha formação acadêmica pelos próximos anos.

À Profa. Dra. Cristiane de Conti Medina e ao Dr. Mateus Carvalho Basílio de Azevedo pela participação, direta e indireta, na minha formação como Engenheiro Agrônomo.

Aos amigos Juliano Luiz Schneider, Guilherme Gaspar, Lênio Camargo, Tito Camargo, Ricardo Shigueru Okumura, Danilo Chaves e Ricardo Sfeir de Aguiar pelo companheirismo e pelos indispensáveis auxílios prestados.

À Capes pela bolsa de estudos.

Ao IAPAR, de forma especial aos senhores José Nivaldo Pola e Ademir Calegari, pelo fornecimento das sementes utilizadas neste trabalho.

E, por fim, à todos os estagiários (Mariana, Jéssica, Luiz, Tatiane Lobak, Wellington, Priscila, Luann, Lucas e Tatiane Tokairin) pela imensa ajuda na realização deste trabalho.

**Epígrafe**

*“O sucesso é uma consequência e não um objetivo”*

Gustave Flaubert

ZACCHEO, Paulo Vicente Contador. **Sistema radicular de adubos verdes em pomar cítrico**. 2011. 46 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2011.

## RESUMO

A adubação verde é uma prática que consiste no cultivo de determinadas espécies vegetais, também chamadas de plantas de cobertura, em rotação ou em consórcio com culturas de interesse econômico. Busca-se, principalmente, através da utilização dessas plantas, preservar ou/e restaurar os teores de matéria orgânica no solo, ciclar nutrientes perdidos por lixiviação e proteger o solo contra a radiação solar, a precipitação excessiva e a erosão. Portanto, a escolha de espécies com grande potencial de aporte de matéria seca e com sistema radicular vigoroso e profundo é fundamental para potencializar esses efeitos benéficos. Os objetivos do trabalho foram avaliar o aporte de matéria seca da parte aérea e do sistema radicular de três plantas de cobertura de verão (*Crotalaria juncea*, capim pé-de-galinha gigante e mucuna preta) a densidade de comprimento radicular e suas respectivas profundidades efetivas, nas entrelinhas de um pomar cítrico, sobre dois sistemas de preparo de solo (plantio direto e convencional). O experimento foi conduzido nas entrelinhas de um pomar de laranjeiras ‘Pêra Rio’ (*Citrus sinensis* (L) Osbeck) enxertadas sobre limoeiro ‘Cravo’ (*Citrus limonia* Osbeck), implantado em 1998, com espaçamento de 7,0 x 4,0 m, localizado na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina. As avaliações das raízes foram feitas com o método do trado e as amostras foram estratificadas a 0 – 0,10; 0,10 – 0,20; 0,20 – 0,30; 0,30 – 0,40; 0,40 – 0,50 e 0,50 – 0,60 m de profundidade. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo os tratamentos arrançados em esquema fatorial 2 x 3 (dois sistemas de preparo de solo e três espécies de plantas de cobertura). Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste Tukey a 5% de significância. O sistema de preparo de solo não altera o aporte de matéria seca (parte aérea e raízes), a densidade de comprimento radicular ( $\text{cm cm}^{-3}$  solo) e a profundidade efetiva das raízes das plantas de cobertura avaliadas. A *Crotalaria juncea* aporta ao solo maior quantidade de matéria seca proveniente da parte aérea. O capim pé-de-galinha gigante possui maior densidade de comprimento radicular na camada superficial do solo, enquanto que, no total das profundidades avaliadas, a densidade de comprimento radicular do capim pé-de-galinha gigante é superior à da mucuna preta; porém, não difere da *Crotalaria juncea*. Não há diferença entre as profundidades efetivas das raízes da *Crotalaria juncea*, capim pé-de-galinha gigante e mucuna preta. Os cultivos de *Crotalaria juncea*, capim pé-de-galinha gigante e mucuna preta não alteram a densidade e a umidade do solo, após um ciclo agrícola.

**Palavras-chave:** *Eleusine coracana*. *Mucuna aterrima*. Cobertura do solo. Adubo verde. Raiz.

ZACCHEO, Paulo Vicente Contador. **Root system of green manures in citrus orchard.** 2011. 46 f. Dissertation (Master's Degree in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2011.

### ABSTRACT

Green manure is a practice that consists in the cultivation of certain plant species; it is also called cover crops, in rotation or intercropped with cash crops. The main aims, of using such plants, are to preserve and/or restore the levels of soil organic matter, cycle nutrients lost through leaching, soil protection against solar radiation, excessive precipitation and erosion. Therefore, the choice of species with great potential for dry matter intake, vigorous and deep root system is essential to maximize these benefits. The objectives of the this study were to evaluate the contribution of dry matter of shoots and roots of three summer cover crops (*Crotalaria juncea*, finger millet and velvet bean) under two systems of tillage (no tillage and conventional) and to determine the root length density( $\text{cm cm}^{-3}$ ) and their effective depths, between the lines of citrus orchard. The experiment was conducted between the lines of an orchard of sweet orange trees 'Pêra Rio' (*Citrus sinensis* (L) Osbeck) grafted on Rangpur lime (*Citrus limonia* Osbeck), established in 1998, spaced 7x4 m, located in the Farm School of the Universidade Estadual de Londrina, UEL. Root samples were made with the auger method and the samples were stratified at depths; 0.00 - 0.10, 0.10 - 0.20, 0.20 - 0.30, 0.30 - 0.40, 0.40 - 0.50 and 0.50 - 0.60 m from the soil surface. The experimental design was randomized blocks with four replications and treatments arranged in a factorial 2 x 3 (two tillage systems and three species of cover crops). The data were analyzed by ANOVA and Tukey test at 5% significance level. The system of tillage does not affect the intake of dry matter (shoots and roots), root length density ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) and the effective roots depth of the tested cover crops. *Crotalaria juncea* resulted in the greatest amount of shoot dry matter. The finger millet has the higher root length density ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) in the topsoil and in all soil layers was higher than that of black velvet, while there were no significant differences with *Crotalaria juncea*. However, there were no difference between the effective root depths of *Crotalaria juncea*, finger millet and velvet bean. Moreover, growing *Crotalaria juncea*, finger millet and velvet bean does not change the soil moisture and density after an agricultural season.

**Keywords:** *Eleusine coracana*. *Mucuna aterrima*. Mulching. Green manure. Root.

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Características químicas e granulométricas das entrelinhas de um pomar cítrico em um Latossolo Vermelho eutroférico. Londrina-PR, 2010..... 31
- Tabela 2** – Aporte de matéria seca da parte aérea ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) de três plantas de cobertura de verão com dois sistemas de preparo de solo, cultivadas nas entrelinhas de um pomar cítrico. Londrina-PR, 2010..... 34
- Tabela 3** – Aporte de matéria seca das raízes ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) de três plantas de cobertura de verão com dois sistemas de preparo de solo, cultivadas nas entrelinhas de um pomar cítrico, a 0 – 0,10; 0,10 – 0,20; 0,20 – 0,30; 0,30 – 0,40; 0,40 – 0,50; 0,50 – 0,60 m de profundidade. Londrina-PR, 2010 ..... 36
- Tabela 4** – Relação entre o aporte de matéria seca da parte aérea (PA) e das raízes (RA) de três plantas de cobertura de verão com dois sistemas de preparo de solo, cultivadas nas entrelinhas de um pomar cítrico. Londrina-PR, 2010..... 37
- Tabela 5** – Densidade de comprimento radicular ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) de três plantas de cobertura de verão com dois sistemas de preparo de solo, cultivadas nas entrelinhas de um pomar cítrico, a 0 – 0,10; 0,10 – 0,20; 0,20 – 0,30; 0,30 – 0,40; 0,40 – 0,50; 0,50 – 0,60 m de profundidade. Londrina-PR, 2010 ..... 38
- Tabela 6** – Profundidade efetiva (m) das raízes de três plantas de cobertura de verão com dois sistemas de preparo de solo, cultivadas nas entrelinhas de um pomar cítrico. Londrina-PR, 2010 ..... 39

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	12
2.1	HISTÓRICO DA ADUBAÇÃO VERDE.....	12
2.2	ADUBAÇÃO VERDE NA CITRICULTURA .....	13
2.3	EFEITOS DA ADUBAÇÃO VERDE NAS CARACTERÍSTICAS DO SOLO.....	15
2.4	SISTEMA RADICULAR DOS ADUBOS VERDES.....	19
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	23
<b>3</b>	<b>ARTIGO: APORTE DE MATÉRIA SECA E SISTEMA RADICULAR DE PLANTAS DE COBERTURA EM POMAR CÍTRICO</b> .....	28
3.1	INTRODUÇÃO .....	29
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	33
3.4	CONCLUSÕES .....	41
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	42
	<b>ANEXO</b> .....	45
	ANEXO A – Precipitação total e temperatura média em Londrina-PR durante a condução do experimento (Novembro 2009 a Maio 2010). .....	46

## 1 INTRODUÇÃO

As práticas agrícolas impactam diretamente os ecossistemas e acarretam mudanças nas estruturas básicas do meio envolvido. Após anos de utilização, os solos cultivados apresentam alterações nos aspectos físico, químico e biológico. O teor de matéria orgânica no solo - especialmente importante devido à sua relação com a capacidade de troca de cátions (CTC), estabilidade de agregados e disponibilidade de nutrientes - é negativamente influenciado pela ação humana. O intenso revolvimento do solo advindo da introdução da agricultura altera o equilíbrio da matéria orgânica pré-existente no sistema e faz com que seu estoque no solo seja diminuído (SILVA; LEMAINSKI; RESCK, 1994). A erosão, a compactação e a perda da fertilidade são conseqüências da diminuição do teor de matéria orgânica no solo e são potencializadas por práticas agrícolas desastrosas do ponto de vista da sustentabilidade.

Para Lima e Pozzobon (2000), sustentabilidade é a capacidade de uma dada população ocupar uma determinada área e explorar seus recursos naturais sem ameaçar, ao longo do tempo, a integridade ecológica do meio ambiente. Assim, deve-se aprimorar os processos de produção, buscando alternativas de manejo que auxiliem na diminuição da degradação ambiental e, conseqüentemente, no aumento da sustentabilidade do meio produtivo.

Na busca de práticas agrícolas mais sustentáveis, destaca-se a adubação verde, que consiste na utilização de determinadas espécies de plantas em rotação ou consórcio com as culturas de interesse econômico. Pelo fato de promoverem melhorias nas características dos solos cultivados e, indiretamente, aumento das produções agrícolas, essas plantas, também chamadas de plantas de cobertura, vem sendo utilizadas há séculos por diferentes civilizações.

Os principais benefícios provenientes da utilização dos adubos verdes, são: incremento da matéria orgânica do solo, favorecendo assim a estabilização de agregados, a aeração e a disponibilidade de nutrientes; diminuição da evapotranspiração e da erosão por meio da cobertura produzida; ciclagem de nutrientes; e, como efeito do desenvolvimento do sistema radicular, rompimento das camadas compactadas do solo (CALEGARI, 1995; FAGERIA; BALIGAR; BAILEY, 2005).

A intensidade desse rompimento pode variar em função dos tipos de solo que, por possuírem diferentes classes texturais, apresentam diferentes densidades críticas (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003); e, também, em função das especificidades de cada espécie de adubos verdes (ROSOLEM; FOLONI; TIRITAN, 2002). Porém, quando executado, o rompimento cria no solo os chamados bioporos que, por sua vez, são usados pelas culturas subsequentes para o aprofundamento radicular (DEXTER, 1991; SILVA; ROSOLEM, 2002).

Além de atuarem como um “escarificador natural”, as raízes dos adubos verdes da família Leguminosae exercem um importante papel no fornecimento de nitrogênio para o sistema produtivo. Em simbiose com bactérias dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*, fixam N<sub>2</sub> atmosférico e o disponibilizam para as culturas subsequentes (PERIN et al., 2004). Essa associação promove redução na necessidade de utilização de fertilizantes nitrogenados e, conseqüentemente, redução nos custos de produção.

Outros importantes benefícios acarretados pela prática da adubação verde estão descritos na literatura, destacando-se o incremento da atividade microbiana no solo proporcionado pela melhora nas condições de umidade, temperatura e disponibilidade de carbono; diminuição do ataque de pragas e doenças através da interrupção de sucessões de culturas exploradas economicamente; supressão de plantas daninhas e conseqüente redução no uso de herbicidas (FAGERIA; BALIGAR; BAILEY, 2005).

Embora se saiba da relevância das raízes para o processo produtivo, poucos são os estudos referentes ao sistema radicular, quando comparado aos da parte aérea das plantas. Este contexto pode ser explicado pela pouca difusão de metodologias e pelo grande trabalho depreendido na condução de ensaios (NEVES; MEDINA, 1999). Assim, fica evidente a necessidade de avanços nos estudos que contemplem esse importante órgão vegetal. Melhores compreensão e caracterização da dinâmica dos sistemas radiculares favorecem o estabelecimento de práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis.

Os objetivos do trabalho foram avaliar o aporte de matéria seca da parte aérea e do sistema radicular de três plantas de cobertura de verão, cultivadas em dois sistemas de preparo de solo; a densidade de comprimento radicular com suas respectivas profundidades efetivas, nas entrelinhas de um pomar cítrico, em um Latossolo Vermelho eutrófico.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 HISTÓRICO DA ADUBAÇÃO VERDE

A adubação verde é uma técnica que consiste no plantio de espécies nativas ou introduzidas, cultivadas em rotação ou consórcio com culturas de interesse econômico. Essas espécies podem ser de ciclo anual, semi-perene ou perene e, portanto, cobrem o terreno por alguns meses ou durante todo o ano. Após seu corte, podem ser incorporadas ou mantidas em cobertura na superfície do solo (ESPINDOLA; ALMEIDA; GUERRA, 2004).

Há relatos da prática da adubação verde nas diversas civilizações que habitaram a Terra. Gregos e romanos cultivavam a fava (*Vicia faba* L.) e algumas espécies de tremoço (*Lupinus* sp.) 300 anos a.C. com o objetivo de melhorar a fertilidade dos solos e fornecer uma parte dos nutrientes requeridos pelas culturas usadas para a alimentação. Os primeiros colonizadores da América do Norte usavam trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum* Gaertn.), aveia (*Avena sativa* L.) e centeio (*Secale cereale* L.) para adicionar matéria orgânica ao solo (FAGERIA, 2007). Na China, Índia e Japão, algumas leguminosas eram reconhecidas como importante fonte de nitrogênio para o arroz irrigado muito antes do advento dos insumos agrícolas desenvolvidos durante a revolução verde (SINGH; KHIND; SINGH, 1991).

No século XVIII e na primeira metade do século XIX, as produtividades agrícolas eram totalmente dependentes dos recursos naturais, sendo os adubos verdes constantemente utilizados para a melhora e conservação dos solos (PIKUL; AASE; COCHRAN, 1997). Esse quadro começou a mudar a partir da década de 1960, devido ao barateamento dos fertilizantes químicos, à adoção de sistemas intensivos de cultivos e à alta demanda de nutrientes por parte das modernas cultivares desenvolvidas (FAGERIA, 2007). Graças às crescentes preocupações com o meio ambiente e com o uso indiscriminado de fertilizantes químicos, o uso de técnicas de produção mais sustentáveis se tornou definitivamente necessário nos últimos 20 anos (FAGERIA, 2002).

No Brasil, os primeiros trabalhos foram realizados pelo Instituto Agrônomo de Campinas. Esses trabalhos pioneiros buscavam determinar quais as melhores leguminosas para produção de adubo verde e, concomitantemente, os efeitos da matéria

orgânica incorporada ao solo sobre a produção de culturas economicamente exploradas (MIYASAKA, 1984).

Derpsch (1984) ressalta que, embora as leguminosas sejam as plantas mais utilizadas para a prática da adubação verde, não são as únicas passíveis para esse fim. Crucíferas e gramíneas, utilizadas principalmente no inverno, também influenciam positivamente as culturas subsequentes.

Na área da fruticultura, os trabalhos que vem sendo realizados objetivam avaliar o efeito da adubação verde nos atributos químicos do solo, no desenvolvimento vegetativo das frutíferas, na produtividade e na qualidade dos frutos. Faria, Soares e Leao (2004) estudaram a influência do cultivo consorciado de *Crotalaria juncea* e feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) nas características químicas do solo, na produtividade e na qualidade dos frutos de videiras (*Vitis vinifera*). Os autores observaram que a adubação verde proporcionou melhoria nas características químicas do solo, aumentando os teores de matéria orgânica, Ca trocável e o valor da CTC na camada de 0 – 0,10 m de profundidade, quando comparada ao tratamento testemunha sem plantas de cobertura. Porém, não houve um efeito significativo da adubação verde na produtividade e na qualidade da uva.

Rufato et al. (2007) avaliaram o efeito do cultivo de aveia-preta (*Avena strigosa*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), chícharo (*Lathyrus sativus*), ervilha forrageira (*Pisum sativum*), tremoço-azul (*Lupinus angustifolius*) e testemunha com vegetação espontânea sobre o desenvolvimento vegetativo de plantas de pessegueiro (*Prunus persica*) após dois ciclos agrícolas. As variáveis mensuradas foram: diâmetro do tronco, comprimento de ramos, índice de fertilidade e volume de copa. Com exceção ao nabo forrageiro, todos os adubos verdes incrementaram o desenvolvimento das plantas de pessegueiro em comparação ao tratamento testemunha.

## 2.2 ADUBAÇÃO VERDE NA CITRICULTURA

A citricultura brasileira destaca-se no cenário agrícola nacional e internacional. O Brasil iniciou o século XXI com produção de 18,5 milhões de toneladas de frutas cítricas e, atualmente, com produção de 19,6 milhões de toneladas, é o maior produtor e exportador de suco concentrado e congelado. A principal área produtora de citros é o Estado

de São Paulo, produzindo 74,8% do total no ano de 2009 (14,7 milhões de toneladas). Outros Estados com produção relevante de frutas cítricas no Brasil são: Sergipe, Bahia, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Paraná, Rio de Janeiro e Goiás (DONADIO; MOURÃO FILHO; MOREIRA, 2005; IBGE, 2010).

Do total de suco concentrado congelado produzido no Brasil, 98% são exportados, principalmente para os Estados Unidos e União Européia, além do Japão e outros 45 países. Porém, a exportação de fruta *in natura* ainda é pequena e, somada à fruta comercializada internamente, representam 30% da produção (DONADIO; MOURÃO FILHO; MOREIRA, 2005).

Embora amplamente disseminada e aceita como uma prática mantenedora de importantes características do sistema produtivo, o cultivo de adubos verdes em consórcio com plantas cítricas ainda não é uma técnica amplamente utilizada pelos citricultores. Também na pesquisa, talvez pela demora na obtenção de bons resultados, poucos trabalhos científicos são realizados com o objetivo de avaliar o papel dessas plantas na citricultura. As espécies utilizadas como adubo verde para citros dividem-se em plantas de verão, normalmente leguminosas plantadas no início das chuvas e manejadas até o final destas, e as de inverno (leguminosas e gramíneas), plantadas no final das chuvas e manejadas quando em pleno florescimento (SILVA; DONADIO; CARLOS, 1999).

Segundo Carvalho et al. (2005), na escolha da espécie a ser plantada, deve-se levar em conta também o porte e o hábito de crescimento, evitando assim que ela provoque sombreamento e competição com a cultura principal. Na semeadura, pode-se optar pelo esquema de plantio intercalado, ou alternar uma rua com espécie de porte alto e outra de porte baixo. Essas opções de plantio possibilitam o trânsito no pomar, caso necessário. Em qualquer situação, as posições deverão ser invertidas no ano seguinte. A primeira linha de adubo verde deve ficar a, pelo menos, 0,50 m da projeção da copa das plantas, evitando sombreamento e competição. Já a roçagem das coberturas pode ser efetuada a uma altura de 0,20 ou 0,25 m em relação ao solo, objetivando uma boa formação de cobertura morta.

Marrero et al. (2009) avaliaram o efeito do cultivo consorciado entre *Teramnus labialis* e laranjeira 'Valência' (*Citrus sinensis* L. Osbeck) nas propriedades físicas de um solo argiloso em Cuba. Após quatro anos de consórcio, os autores observaram que a leguminosa estudada incrementou algumas características do solo, tais como: teor de água, volume específico total de poros e porcentagem de agregados estáveis.

Neves e Dechen (2001) quantificaram o teor de matéria orgânica nas entrelinhas de um pomar de tangerineiras 'Ponkan' (*Citrus reticulata* Blanco) após cinco manejos de solo. Os manejos avaliados foram: leguminosa perene indigófera (*Indigofera campestris*); leguminosa perene amendoim rasteiro (*Arachis prostrata*); mucuna cinza (*Mucuna cinereum*) no verão; uma gradagem a disco (em maio-junho, no início do período seco) e roçagem (três a quatro vezes no período de chuvas); capina. Os autores observaram, após dez anos de manejo, maior incremento de matéria orgânica nos tratamentos correspondentes ao cultivo de amendoim-rasteiro e à utilização do conjunto grade/roçadora. Nesses tratamentos, o aumento no teor de matéria orgânica foi de  $6,1 \text{ g dm}^{-3}$  e  $1,8 \text{ g dm}^{-3}$ , respectivamente.

### 2.3 EFEITOS DA ADUBAÇÃO VERDE NAS CARACTERÍSTICAS DO SOLO

Os efeitos benéficos propiciados pela adubação verde vêm sendo estudados e divulgados (LADHA; WATANABE; SAONO, 1988; GANRY et al., 2001; MANDAL et al., 2003). Hoje se sabe que essas plantas, quando utilizadas em cobertura, influenciam positivamente os solos cultivados nos aspectos químico, físico e biológico (SILVA et al., 1998; MUELLER; THORUP-KRISTENSEN, 2001; MORAES et al., 2006).

Leguminosas utilizadas na adubação verde são capazes de fornecer nitrogênio ao sistema produtivo. Esse incremento de nitrogênio nos solos agrícolas deriva da relação simbiótica envolvendo as leguminosas e as bactérias de gênero *Rhizobium* spp., das parcerias entre plantas e cianobactérias, ou ainda da associação não simbiótica entre bactérias diazotróficas de vida livre com as raízes das plantas (PEOPLES; CRASWELL, 1992). Essas relações acabam por fixar, principalmente,  $\text{N}_2$  atmosférico e o disponibilizam em grandes quantidades para o ambiente de produção (KANMEGNE et al., 1999).

Ladha, Watanabe e Saono (1988) mensuraram o aporte de nitrogênio proveniente da *Sesbania aculeata* e da *Crotalaria juncea* em campos comerciais de arroz no continente asiático. Os autores observaram que, em média, essas plantas acumulavam  $2,6 \text{ kg}$  de  $\text{N}$  por  $\text{ha dia}^{-1}$  e, após a incorporação destas, a produtividade do arroz equivalia à quantidade produzida quando do fornecimento de  $50$  a  $100 \text{ kg}$  de  $\text{N ha}^{-1}$  na forma de fertilizantes minerais.

Ramos et al. (2001) estudaram as quantidades de nitrogênio fixadas por *Crotalaria juncea*, mucuna preta (*Mucuna aterrima*) e feijão de porco em um solo argiloso de Cuba e em um solo arenoso no Estado do Rio de Janeiro. Nas duas condições avaliadas, as quantidades de nitrogênio fixadas pela *Crotalaria juncea* (65 kg ha<sup>-1</sup> e 80 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente) foram em média 40% maiores que as fixadas pelas demais espécies.

Mueller e Thorup-Kristensen (2001) avaliaram o potencial de fixação de nitrogênio de ervilhaca peluda (*Vicia villosa*), ervilhaca comum (*Vicia sativa*), trevo de Alexandria (*Trifolium alexandrinum*), trevo encarnado (*Trifolium incarnatum*) e trevo da pérsia (*Trifolium resupinatum*) em um sistema orgânico de rotação de culturas por dois anos. Com exceção da ervilhaca comum, todas as espécies estudadas contribuíram com mais de 100 kg N ha<sup>-1</sup>. A ervilhaca peluda foi a espécie que mais fixou nitrogênio atmosférico (149 kg N ha<sup>-1</sup>).

A fitomassa produzida por essas plantas também influencia positivamente nas características químicas do solo. Esse material possibilita elevação no teor de matéria orgânica ao longo dos anos, acarretando aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) e, conseqüentemente, maior retenção de nutrientes junto às partículas do solo (CIOTTA et al., 2003). Ganry et al. (2001) relatam a importância da adubação verde no manejo da matéria orgânica do solo em regiões semi-áridas africanas. Naquelas condições, com precipitações anuais inferiores a 800 mm, o cultivo intercalar de *Mucuna pruriens* com milho influenciou positivamente na produtividade deste, atingindo valores de 3,5 t ha<sup>-1</sup>.

Outro efeito benéfico dessa prática nas características químicas do solo diz respeito à ciclagem de nutrientes. O sistema radicular ramificado e profundo das leguminosas proporciona aumento na eficiência de utilização dos adubos químicos, uma vez que trazem às camadas superficiais do solo nutrientes perdidos por lixiviação, principalmente potássio, cálcio, magnésio e nitrato, funcionando também como “agente minerador” dos nutrientes de pouca disponibilidade como o fósforo e o molibdênio, tornando-os mais disponíveis às culturas subsequentes (SILVA et al., 2002).

Borkert et al. (2003) estimaram as quantidades de nutrientes reciclados por cinco espécies vegetais utilizadas como cobertura do solo em um sistema de rotação de culturas. Após quatro anos, os autores concluíram que todas as espécies avaliadas são eficientes em acumular macro e micronutrientes, destacando-se a aveia preta e a ervilhaca comum no acúmulo de potássio e mucuna preta, guandu, ervilhaca comum e tremoço comum

(*Lupinus albus*) no acúmulo de nitrogênio. O Cálcio, o Magnésio e os micronutrientes foram satisfatoriamente acumulados por todas as espécies avaliadas.

A presença de material orgânico fornecido pelos adubos verdes favorece a atividade dos organismos do solo, já que seus resíduos servem como fonte de energia e nutrientes. Além disso, a manutenção da cobertura vegetal permite reduzir as oscilações térmicas e de umidade, criando condições que favorecem o desenvolvimento desses organismos (ESPINDOLA; GUERRA; ALMEIDA, 1997). Em trabalhos sobre o tema foi observado ainda que a prática da adubação verde favorece outras características biológicas do solo, aumentando a população de fungos micorrízicos nativos e inibindo a ação nociva de nematóides (ESPINDOLA et al., 1998; MORAES et al., 2006).

Algumas plantas utilizadas na adubação verde, como por exemplo, *Crotalaria juncea*, mucuna preta e guandu, aportam grandes quantidades de matéria seca ao sistema produtivo, alcançando valores médios de 6, 10 e 15 t/ha ano<sup>-1</sup>, respectivamente (CALEGARI, 1995). Após a morte da planta, esse material produzido incrementa o teor de matéria orgânica do solo cultivado. Esse processo favorece algumas características físicas do solo através da diminuição da densidade e melhora outros atributos, tais como: estabilidade de agregados, porosidade, taxa de infiltração de água e retenção de umidade (DE-POLLI et al., 1996).

A adoção de sistemas de manejo que mantenham a proteção do solo através do contínuo aporte de resíduos orgânicos é fundamental para a manutenção de boa estrutura. Sistemas usualmente denominados “convencionais”, que preconizam um intenso revolvimento do solo, apresentam índices de agregação geralmente reduzidos (WENDLING et al., 2005; SILVA; CURI; BLANCANEAUX, 2000).

Silva et al. (1998) avaliaram a estabilidade e a resistência de agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro em diferentes sistemas de sucessão milho-adubos verdes, nas condições do cerrado brasileiro. As plantas de cobertura cultivadas na entressafra foram: *Crotalaria juncea*, guandu, mucuna preta, braquiária (*Brachiaria ruziziensis*) e feijão de porco. Os resultados observados apontaram para a braquiária como a cobertura que proporcionou maior agregação do solo estudado.

A ocorrência de camadas compactadas promovidas pelo uso intenso de implementos agrícolas reduz a infiltração de água no solo. Contudo, esse efeito negativo pode ser atenuado através do cultivo de adubos verdes que apresentam sistema radicular bem

desenvolvido, tornando possível o rompimento dessas camadas (FOLONI; LIMA; BÜLL, 2006; ROSOLEM; FOLONI; TIRITAN, 2002).

Carvalho et al. (2009) avaliaram as contribuições de *Crotalaria juncea*, guandu, mucuna preta e sorgo (*Sorgum bicolor*) à estrutura de um Latossolo Vermelho distrófico, sob cultivo de feijão e milho em um sistema orgânico de produção. Após quatro anos de rotação entre adubos verdes, feijão e milho, os autores concluíram que a utilização dessas espécies de adubos verdes contribuiu para a melhora estrutural daquele solo, reduzindo os riscos de compactação e erosão.

Mandal et al. (2003), em um solo argiloso e clima subtropical semi-árido com verão quente e seco e inverno frio na Índia, avaliaram o efeito da rotação entre três espécies de plantas de cobertura com as culturas do arroz e do trigo nas propriedades físicas do solo. Naquelas condições, os tratamentos representados pelas espécies *Sesbania rostrata*, *Sesbania aculeata* e feijão mungo (*Vigna radiata*) proporcionaram uma redução na densidade do solo após um período de três anos, quando comparado ao tratamento sem plantas de cobertura. Na camada situada entre 0-0,15 m de profundidade, a redução na densidade do solo variou entre 0,03 e 0,07 Mg m<sup>-3</sup> e, na camada entre 0,15-0,30 m, a redução variou entre 0,05 e 0,09 Mg m<sup>-3</sup>.

A infiltração de água também é favorecida em solos cobertos por massa vegetal. Derpsch et al. (1991) avaliaram a infiltração de água em um solo submetido à precipitação de 60 mm h<sup>-1</sup>. Quando a taxa de cobertura era de 100%, o solo apresentava infiltração de água total, enquanto que, na parcela sem cobertura, apenas um quarto da água precipitada infiltrava, sendo o restante perdido por escoamento superficial.

Hernani et al. (1995) sugerem ser a matéria orgânica capaz de influenciar de forma positiva a retenção de nutrientes de plantas e diminuir as perdas por lixiviação; mas, segundo os autores, o efeito mais importante da decomposição de restos vegetais é a melhoria da estrutura do solo, que, conseqüentemente, melhora a relação água/ar, além de permitir aumentos da infiltração de água, da retenção de água e nutrientes no solo e desenvolvimento mais adequado das raízes. Além disso, a melhoria na estrutura proporciona maior controle da erosão hídrica.

Outro importante parâmetro influenciado pela presença de cobertura vegetal é a temperatura do solo. A quantidade e o tipo de cobertura vegetal interagem profundamente com as propriedades térmicas do solo, determinando níveis de umidade e matéria orgânica e influenciando nas oscilações de temperatura, principalmente nos horizontes superficiais, onde as

amplitudes de variação são mais intensas pela incidência direta da radiação solar (PREVEDELLO apud ELTZ; ROVEDDER, 2005). Eltz e Rovedder (2005) observaram em seus ensaios que o tremoço-branco e a aveia-preta foram eficientes na amenização das variações de temperatura, quando comparados ao tratamento sem cobertura.

Derpsch, Sidiras e Heinzmann (1985), ao avaliarem os efeitos residuais do tremoço-branco, evilhaca-peluda, chicharo (*Lathyrus sativus*), centeio, aveia-preta, trigo (*Triticum aestivum*), nabo-forrageiro, colza (*Brassica napus*), girassol (*Helianthus annus*) e solo nu (testemunha) no teor de água e na temperatura do solo, observaram menor temperatura nas parcelas cobertas com aveia preta e maior nas parcelas correspondentes ao solo descoberto.

#### 2.4 SISTEMA RADICULAR DOS ADUBOS VERDES

Apesar da grande importância no ecossistema e na atividade agrícola, as raízes são pouco estudadas em comparação com a parte aérea das plantas. Esse cenário é creditado, principalmente, às dificuldades impostas pelas técnicas metodológicas; pela sua complexibilidade tridimensional e por sua variabilidade temporal e espacial (NOORDWIJK apud ZONTA et al., 2006).

A importância do estudo do sistema radicular das espécies vegetais utilizadas na agricultura, abordando sua distribuição, extensão e atividade, é incontestável e fundamental para o entendimento científico da produção agrícola. O enraizamento varia com as espécies e cultivares; a idade da planta; as características químicas e físicas do solo; os tratamentos culturais; e as condições fitossanitárias. O conhecimento da quantidade, da qualidade e da distribuição das raízes é útil na produção agrícola por fornecer informações sobre localização de adubos, espaçamento, culturas intercalares, manejo do solo e irrigação (FRACARO; PEREIRA, 2004).

Vasconcelos e Garcia (2005) relatam que o desenvolvimento do sistema radicular tem influência direta sobre algumas características da planta, tais como: resistência à seca; eficiência na absorção dos nutrientes do solo; tolerância ao ataque de pragas; capacidade de germinação e/ou brotação; porte (ereto ou decumbente); e tolerância à movimentação de máquinas. Entretanto, segundo os autores, não é a quantidade de raízes o fator determinante

destas vantagens, mas a sua distribuição no perfil do solo ao longo das estações do ano. Uma quantidade muito grande de raízes nas camadas superficiais pode significar um gasto excessivo de metabólitos sintetizados na parte aérea e translocados para as raízes, além de maior risco de estresse hídrico em períodos de veranico em áreas não irrigadas.

As raízes dos adubos verdes exercem importante papel na manutenção e melhora de características inerentes à estrutura dos solos. O desenvolvimento radicular dessas plantas pode proporcionar rompimento mais uniforme da camada compactada, além de contribuir para a melhoria do estado de agregação do solo (CAMARGO; ALLEONI, 1997). Silva e Rosolem (2001) avaliaram o efeito da compactação sub-superficial no desenvolvimento radicular de seis espécies de adubos verdes. Trabalhando em vasos com solo de textura arenosa, os autores verificaram que densidade de até  $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$  à profundidade de 0,15 m não restringiu o crescimento de raízes de aveia preta, guandu, milho (*Pennisetum glaucum*), mucuna preta, sorgo e tremoço azul (*Lupinus angustifolius*).

Reinert et al. (2008) avaliaram a qualidade física de um Argissolo Vermelho cultivado no sistema de plantio direto após o cultivo de plantas de cobertura, e identificaram no campo qual é o limite crítico de densidade para essas plantas. Foi observado que o crescimento normal das plantas de cobertura ocorre até o limite de densidade de  $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$ . Entre a faixa de  $1,75$  e  $1,85 \text{ Mg m}^{-3}$ , ocorreu restrição com deformações na morfologia das raízes e, acima de  $1,85 \text{ Mg m}^{-3}$ , essas deformações foram mais visíveis, com engrossamento radicular, desvios no crescimento vertical e concentração das raízes na camada mais superficial. Os autores concluíram que todas as espécies avaliadas, *Crotalaria juncea*, guandu-anão, feijão de porco e mucuna cinza, podem ser utilizadas em solos com densidade de até  $1,85 \text{ Mg m}^{-3}$ . Acima disso, pode ser necessária a mobilização do solo com escarificador e/ou subsolador, dependendo da localização da camada compactada.

O enraizamento em maiores profundidades apresentado por algumas espécies de leguminosas contribui diretamente na ciclagem de nutrientes, retirando esses elementos das camadas mais profundas e, posteriormente, os disponibilizando nas camadas superficiais (ALVARENGA et al., 1995). Estudos pioneiros realizados por Inforzato (1947) avaliaram a distribuição do sistema radicular do guandu. O autor observou que essa leguminosa forneceu ao solo  $6.185 \text{ kg ha}^{-1}$  de raízes, sendo 90,67% delas nos primeiros 0,30 m de profundidade. A profundidade máxima alcançada pelo seu sistema radicular foi de 2,95 m.

Plantas de cobertura com sistema radicular vigoroso melhoram a estrutura dos solos pelo aporte de matéria orgânica observado após o final do ciclo da espécie e, indiretamente, pelos canais deixados no solo após a deterioração das raízes. Williams e Weil (2004) avaliaram a capacidade dos sistemas radiculares de algumas espécies de adubos verdes em amenizar a compactação do solo e, seu efeito, no crescimento e desenvolvimento das culturas subseqüentes. Foi observado maior desenvolvimento da cultura da soja nos tratamentos correspondentes ao nabo forrageiro e centeio quando comparados à testemunha (sem adubos verdes). Esse favorecimento foi atribuído às melhorias das condições físicas do solo propiciadas pelas raízes das plantas de cobertura.

Resultados semelhantes foram relatados por Silva e Rosolem (2002), que observaram que o cultivo anterior com aveia-preta, guandu e milheto favoreceu o crescimento radicular da soja abaixo de camadas compactadas do solo (com densidades de 1,12, 1,36 e 1,60 Mg m<sup>-3</sup> à 0,15 m de profundidade) e, favoreceu também, a produção de matéria seca da parte aérea. Nesse trabalho, os autores observaram ainda que, após o cultivo dos adubos verdes, as raízes da soja conseguiram romper uma camada com densidade de 1,60 Mg m<sup>-3</sup>. A partir desses dados, os autores inferiram que o cultivo dessas espécies de adubos verdes pode promover a descompactação do solo através dos canais deixados pelas suas raízes após a decomposição.

Hairiah e Noordwijk (1989) atribuíram o bom desempenho, tanto das raízes quanto do acúmulo de matéria seca da parte aérea do milho, ao rápido e vigoroso crescimento das raízes de algumas plantas de cobertura pré-cultivadas. Nas condições da Indonésia, os autores avaliaram o efeito do pré-cultivo da *Mucuna pruriens*, *Crotalaria juncea*, *Calopogonium mucunoides* e *Centrosema pubescense* e compararam os resultados com os dados observados na sucessão milho-milho. Após 13 semanas, o acúmulo de matéria seca pela parte aérea do milho foi maior nos tratamentos correspondentes ao pré-cultivo com plantas de cobertura, destacando-se a *Mucuna pruriens*. Maior distribuição do sistema radicular do milho também foi observada nos tratamentos com plantas de cobertura em comparação com a sucessão milho-milho, sendo a *Crotalaria juncea* a espécie que mais favoreceu esse parâmetro.

Bordin et al. (2008) avaliaram, em um pomar cítrico com histórico de compactação, a influência da escarificação no crescimento de adubos verdes, no desempenho das árvores e nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distroférico. As coberturas do solo estudadas foram: vegetação espontânea, guandu e milheto. Fitomassa da parte aérea e

crescimento radicular dessas plantas de cobertura foram algumas das variáveis quantificadas. Foi observado que a fitomassa da parte aérea do guandu e do milho aumentaram com a escarificação do solo e que o crescimento do sistema radicular do milho foi maior do que o do guandu no manejo escarificado e igual ao deste no manejo não-escarificado.

Rosolem, Foloni e Tiritan (2002), trabalhando em vasos, avaliaram o desenvolvimento radicular e o acúmulo de nutrientes promovidos por algumas plantas utilizadas na adubação verde. Os adubos verdes estudados foram: *Crotalaria juncea*, *Crotalaria spectabilis*, girassol, milho e sorgo forrageiro. O maior acúmulo de nutrientes foi observado no girassol e no milho. De modo geral, o crescimento radicular decresceu com o aumento da densidade do solo, sendo a *Crotalaria spectabilis* menos afetada em relação às outras.

Foloni, Lima e Büll (2006), utilizando metodologia semelhante, avaliaram o crescimento aéreo e radicular de soja e cinco espécies utilizadas como plantas de cobertura de verão (guandu, guandu anão, mucuna-preta, lab lab e *Crotalaria juncea*). Apesar de alterar a distribuição do sistema radicular ao longo do perfil do solo, o impedimento físico em subsuperfície (densidade de solo de  $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$ ) não diminuiu a produção total de raízes da soja e dos adubos verdes, com exceção da *Crotalaria juncea*. A mucuna-preta foi a leguminosa mais tolerante e a soja a mais sensível à compactação do solo.

Também em vasos, Müller, Ceccon e Rosolem (2001) avaliaram a influência da compactação subsuperficial do solo no desenvolvimento do sistema radicular de algumas plantas de cobertura. As densidades de solo testadas variaram de  $1,31$  a  $1,70 \text{ Mg m}^{-3}$  e o solo utilizado era proveniente da camada superficial ( $0 - 0,20 \text{ m}$ ) de um Latossolo Vermelho-Escuro álico de textura média. Os autores concluíram que a compactação em subsuperfície prejudicou o crescimento radicular de ervilhaca, nabo forrageiro, tremoço branco, aveia preta e aveia branca, concentrando as raízes perto da superfície do solo. O mesmo foi concluído no trabalho de Gonçalves et al. (2006) para amaranto (*Amaranthus* sp.), milho ADR 500, capim pé-de-galinha (*Eleusine coracana*) e kenaf (*Hibiscus cannabinus*), utilizando mesma metodologia, com densidades de solo variando entre  $1,18$  e  $1,60 \text{ Mg m}^{-3}$ .

## REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 2, p. 175-185, fev. 1995.
- BORDIN I.; NEVES, C. S. V. J.; FRANCO FILHO, P.; PRETI, E. A.; CARDOSO, C. Crescimento de milho e guandu, desempenho de plantas cítricas e propriedades físicas do solo escarificado em um pomar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1409-1418, jul./ago. 2008.
- BORKERT, C. M.; GAUDÊNCIO, C. A.; PEREIRA, J. E.; PEREIRA, L. R.; OLIVEIRA JUNIOR, A. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 143-153, 2003.
- CALEGARI, A. **Leguminosas para adubação de verão no Paraná**. Londrina: IAPAR, 1995. 118p. (IAPAR. Circular, 80).
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132 p.
- CARVALHO, G. D.; NASCIMENTO, J. B.; CUNHA, E. Q.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; LEANDRO, W. M. Contribuição da adubação verde e do sistema de manejo à estrutura de um solo sob cultivo de feijoeiro comum e de milho. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Cruz Alta, v. 4, n. 2, p. 947-951, 2009.
- CARVALHO, J. E. B.; NEVES, C. S. V. J.; MENEGUCCI, J. L. P.; SILVA. In: MATTOS JUNIOR D.; NEGRI J. D. de; PIO R. M.; POMPEU JUNIOR J. (Ed.) **Citros**. Campinas: Instituto Agronômico, 2005. p. 449-482.
- CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 6, dez. 2003.
- DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de; FRANCO, A. A. Adubação verde: Parâmetros para avaliação de sua eficiência. In: CASTRO FILHO, C. de; MUZILLI, O. **Manejo integrado de solos em microbacias hidrográficas**. Londrina: IAPAR/SBCS, 1996. p. 225-242.
- DERPSCH, R. Alguns resultados sobre adubação verde no Paraná. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ADUBAÇÃO VERDE, 1., 1984, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1984. p. 268-279.
- DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KOPE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn: GTZ, 1991.
- DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN, F. X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 7, p. 761-773, 1985.

DEXTER, A. R. Amelioration of soil by natural processes. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 20, n. 1, p. 87–100, 1991.

DONADIO, L. C.; MOURÃO FILHO, F. de A. A.; MOREIRA, C. S. In: MATTOS JUNIOR D.; NEGRI J. D. de; PIO R. M.; POMPEU JUNIOR J. (Ed.) **Citros**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2005. p. 1-18.

ELTZ, F. L. F; ROVEDDER, A. P. M. Revegetação e temperatura do solo em áreas degradadas no sudoeste do rio grande do sul. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v. 11, n. 2, p. 193-200, abr./jun. 2005.

ESPINDOLA, J. A. A.; ALMEIDA, D. L. de; GUERRA, J. G. M.; SILVA, E. M. R. da; SOUZA, F. A. de. Influência da adubação verde na colonização micorrízica e na produção da batata-doce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 3, mar. 1998.

ESPINDOLA, J. A. A.; ALMEIDA, D. L. de; GUERRA, J. G. M. **Estratégias para utilização de leguminosas para adubação verde em unidades de produção agroecológica**. Saropédica: Embrapa Agrobiologia, 2004. 24 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 174).

ESPINDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de. **Adubação verde: estratégia para uma agricultura sustentável**. Seropédica: Embrapa-Agrobiologia, 1997. 20p. (Embrapa CNPAB. Documentos, 42).

FAGERIA, N. K. Green Manuring in Crop Production. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 30, p. 691–719, 2007.

\_\_\_\_\_. Soil quality vs. environmental-based agricultural management practices. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 33, p. 2011-2020, 2002.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; BAILEY, B. A. Role of Cover Crops in Improving Soil and Row Crop Productivity. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 36, p. 2733–2757, 2005.

FARIA, C. M. B.; SOARES, J. M.; LEO, P. C. S. Adubação verde com leguminosas em videira no submédio São Francisco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 4, aug. 2004.

FOLONI, J. S. S., LIMA, S. L. de; BÜLL, L. T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 49-57, jan./fev. 2006.

FRACARO, A. A.; PEREIRA, F. M. Distribuição do sistema radicular da goiabeira ‘Rica’ produzida a partir de estaquia herbácea. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 183-185, abr. 2004.

GANRY, F.; FELLER, C.; HARMAND, J.; GUIBERT, H. Management of soil organic matter in semiarid Africa for annual cropping systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 61, p. 105-118, 2001.

GONÇALVES, W. G.; JIMENEZ, R. L.; ARAÚJO FILHO, J. V.; ASSIS, R. L.; SILVA, G. P.; PIRES, F. R. Sistema radicular de plantas de cobertura sob compactação do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 67-75, jan./abr. 2006.

HAIRIAH, K.; NOORDWIJK, M. van. Root distribution of leguminous cover crops in the humid tropics and effects on a subsequent maize crop. **Cuander Heide Journal**, p. 157-163, 1989.

HERNANI, L. C.; ENDRES, V. C.; PITOL, C.; SALTON, J. C. **Adubos verdes de outono/inverno no Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa-CPAO, 1995.

INFORZATO, R. Nota sobre o sistema radicular do guandu, *Cajanus cajan* (L.) MILLSP., e sua importância na adubação verde. **Bragantia**, Campinas, v. 7, n. 1, p. 125-127, 1947. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal-2009**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=1613&z=t&o=11&i=P>>. Acesso em: 30 nov. 2010.

KANMEGNE, J.; DUGUMA, B.; HENROT, J.; ISIRIMAH, N. O. Soil fertility enhancement by planted tree-fallow species in the humid lowlands of Cameroon. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 46, p. 239-249, 1999.

LADHA J. K.; WATANABE I.; SAONO S. Nitrogen fixation by leguminous green manure and practices for its enhancement in tropical lowland rice. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. **Green manure in rice farming**. Manila, 1988. p. 165-183.

LIMA, D.; POZZOBON, J. Amazônia socioambiental: sustentabilidade ecológica e diversidade social. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 19, n. 54, p. 45-76, maio/ago. 2005.

MANDAL, U. K.; SINGH, G.; VICTOR, U. S.; SHARMA, K. L. Green manuring: its effect on soil properties and crop growth under rice and wheat cropping system. **European Journal of Agronomy**, v. 19, p. 225-237, 2003.

MARRERO, D. F.; DELGADO, L. E. P.; IAÑEZ, N. C.; CALERO, C. M.; RODRÍGUEZ, M. L.; PÉREZ, L. R.; RODRÍGUEZ, L. C. Cubierta vegetal con *Teramnus labialis* em plantaciones cítrícolas: efectos sobre algunas propiedades físicas del suelo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, supl. 1, p. 1073-1082, 2009.

MIYASAKA, S. Histórico de estudos de adubação verde. Leguminosas viáveis e suas características. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ADUBAÇÃO VERDE, 1., Campinas, 1984. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1984. p. 64-123.

MORAES, S. R. G.; CAMPOS, V. P.; POZZA, E. A.; FONTANETTI, A.; CARVALHO, G. J.; MAXIMINIANO, C. Influência de leguminosas no controle de fitonematóides no cultivo orgânico de alface americana e de repolho. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 2, p. 188-191, mar./apr. 2006.

MUELLER T.; THORUP-KRISTENSEN, K. N. Fixation of selected green manure plants in an organic crop rotation. **Biological Agriculture & Horticulture**, Oxon, v. 18, n. 4, p. 345-363, 2001.

- MÜLLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, p. 531-538, 2001.
- NEVES, C. S. V. J.; DECHEN, A. R. Sistemas de manejo de solo em pomar de tangerina 'Ponkan' sobre limão 'Cravo' em latossolo roxo. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 22, n. 1, p. 167-184, 2001.
- NEVES, C. S. V. J.; MEDINA, C. C. Distribuição de raízes de citrus em Latossolo Roxo. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDO DE CASOS, 1., 1999, Aracaju. **Anais...** Aracaju: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 1999. p. 153 - 166.
- PEOPLES, M. B.; CRASWELL, E. T. Biological nitrogen fixation: Investments, expectations and actual contributions to agriculture. **Plant and Soil**, The Hague, v. 141, p. 13-39, 1992.
- PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J. G. M.; CECON, P. R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 35-40, 2004.
- PIKUL JR., J. L.; AASE, J. K.; COCHRAN, V. L. Lentil green manure as fallow replacement in the semiarid northern Great Plains. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, p. 867-874, 1997.
- RAMOS, M. G.; VILLATORO, M. A. A.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Quantification of the contribution of biological nitrogen fixation to tropical green manure crops and the residual benefit to a subsequent maize crop using <sup>15</sup>N-isotope techniques. **Journal of Biotechnology**, Amsterdam, v. 91, n. 2-3, p. 105-115, 2001.
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência Ambiental**, v. 27, p. 29-48, 2003.
- REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, n. 5, p. 1805-1816, set./out. 2008.
- ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; TIRITAN, C. S. Root growth and nutrient accumulation in cover crops as affected by soil compaction. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 65, p. 109-115, 2002.
- RUFATO, L.; RUFATO, A. de R.; KRETZSCHMAR, A. A.; PICCOLOTTO, L.; FACHINELLO, J. C. Coberturas vegetais no desenvolvimento vegetativo de plantas de pessegueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 107-109, apr. 2007.
- SILVA, J. A. A.; DONADIO, L. C.; CARLOS, J. A. D. **Adubação verde em citros**. Jaboticabal: FUNEP, 1999. 41p. (Boletim Citrícola, 9).

SILVA, J. A. A.; VITTI, G. C.; STUCHI, E. S.; SEMPIONATO, O. R. Reciclagem e incorporação de nutrientes ao solo pelo cultivo intercalar de adubos verdes em pomar de laranja 'Pêra'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 225-230, abr. 2002.

SILVA, J. E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 541-547, 1994.

SILVA, M. L. N.; BLANCANEUX, P.; LIMA, J. M. de; MARQUES, J. J. G. de S.; CARVALHO, A. M. de. Estabilidade e resistência de agregados de Latossolo vermelho-escuro cultivado com sucessão milho-adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 1, p. 97-103, jan. 1998.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 12, dez. 2000.

SILVA, R.H.; ROSOLEM, C.A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura vegetal decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 253-260, 2001.

\_\_\_\_\_. Crescimento radicular de soja em razão da sucessão de cultivos e da compactação do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 2, p. 277-288, 2002.

SINGH, Y.; KHIND, C. S.; SINGH, B. Efficient management of leguminous green manures in wetland rice. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 45, p. 135-189, 1991.

VASCONCELOS, A. C. M.; GARCIA, J. C. **Cana-de-açúcar: ambientes de produção**. Piracicaba: POTAFÓS, 2005. (Encarte Técnico, Informações Agronômicas, 110).

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. de S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, maio 2005.

WILLIAMS, S. M.; WEIL, R. R. Crop cover root channels may alleviate soil compaction effects on soybean crop. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 68, jul./aug., 2004.

ZONTA, E.; BRASIL, F. C.; GOI, S. R.; ROSA, M. M. T. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral das plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 7-52.

### 3 ARTIGO: APORTE DE MATÉRIA SECA E SISTEMA RADICULAR DE PLANTAS DE COBERTURA EM POMAR CÍTRICO

#### Resumo

O objetivo do trabalho foi avaliar o aporte de matéria seca da parte aérea e do sistema radicular de três plantas de cobertura de verão em dois sistemas de preparo de solo, a densidade de comprimento radicular e suas respectivas profundidades efetivas, nas entrelinhas de um pomar cítrico. Os sistemas de preparo de solo realizados foram plantio direto e convencional (uma aração e duas gradagens). As plantas de cobertura cultivadas foram: *Crotalaria juncea*, capim pé-de-galinha gigante (*Eleusine coracana*) e mucuna preta (*Mucuna aterrima*). As avaliações das raízes foram feitas com o método do trado e as amostras foram estratificadas a 0 – 0,10; 0,10 – 0,20; 0,20 – 0,30; 0,30 – 0,40; 0,40 – 0,50 e 0,50 – 0,60 m de profundidade. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo os tratamentos arranjos em esquema fatorial 2 x 3 (dois sistemas de preparo de solo e três espécies de plantas de cobertura). Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste Tukey a 5% de significância. O sistema de preparo de solo não altera o aporte de matéria seca (parte aérea e raízes), a densidade de comprimento radicular (cm de raízes cm<sup>-3</sup> de solo) e a profundidade efetiva das raízes. O capim pé-de-galinha gigante possui maior densidade de comprimento radicular na camada superficial do solo. Não há diferença entre as profundidades efetivas das raízes das plantas de cobertura avaliadas.

**Palavras-chave:** Adubação verde. Cobertura do solo. Matéria orgânica. Raiz.

### DRY MATTER CONTRIBUTION AND ROOT SYSTEM OF COVER CROPS IN CITRUS ORCHARD

#### Abstract

The objectives were to evaluate the contribution of dry matter of shoots and roots of three plants from summer cover crops in two tillage systems of soil, root length density (cm cm<sup>-3</sup>) and their effective depths, between the lines of citrus orchard. The performed tillage systems were no till and conventional tillage (plowing and disking). The tested cover crops were: *Crotalaria juncea*, finger millet (*Eleusine coracana*) and velvet bean (*Mucuna aterrima*). Evaluations of the roots were made with the auger method and the samples were stratified to 0.00 - 0.10, 0.10 - 0.20, 0.20 - 0.30, 0.30 - 0.40, 0.40 - 0.50 and 0.50 - 0.60 m from the soil surface. The experimental design was randomized blocks with four replications. Treatments were arranged in a factorial 2 x 3 (two systems of tillage and three cover crops species). The data were analyzed by ANOVA and Tukey test at 5% significance level. The system of tillage

does not affect the intake of dry matter (shoots and roots), root length density (cm roots cm<sup>-3</sup> soil) and the effective roots depth. The finger millet has the higher root length density in the topsoil. There were no differences between the effective roots depth of the tested cover crops.

**Keywords:** Green manuring. Mulching. Organic matter. Root.

### 3.1 INTRODUÇÃO

A utilização de plantas de cobertura ou, como também são conhecidas, adubos verdes, é uma técnica que consiste na utilização de determinadas espécies vegetais nativas ou introduzidas, cultivadas em rotação ou em consórcio com culturas de interesse econômico. O uso dessas plantas nos sistemas agrícolas tem por objetivos principais a conservação e/ou restauração dos teores de matéria orgânica e nutrientes dos solos cultivados, além de protegê-los contra a radiação solar, a precipitação excessiva e a erosão (SILVA; DONADIO; CARLOS, 1999; ESPINDOLA; ALMEIDA; GUERRA, 2004).

A matéria orgânica aportada pela parte aérea e pelo sistema radicular das plantas de cobertura acarreta vários benefícios aos solos cultivados, mas a maioria dos trabalhos de pesquisa realizados têm se ocupado apenas em quantificar o aporte proveniente da parte aérea. Entre os benefícios, pode-se citar estabilidade dos agregados do solo, aumento da capacidade de retenção de água, disponibilização de nutrientes por meio de sua decomposição e aumento da CTC do solo (FAGERIA; BALIGAR; BAILEY, 2005). Isso foi confirmado por Marrero et al. (2009), ao avaliarem o efeito do cultivo consorciado entre *Teramnus labialis* e laranjeira 'Valência' (*Citrus sinensis* L. Osbeck) nas propriedades físicas de um solo argiloso em Cuba. Após quatro anos, o consórcio em questão aumentou o teor de água do solo, o volume específico total de poros e a porcentagem de agregados estáveis, quando comparado aos tratamentos com vegetação espontânea e solo sem cobertura.

Outras importantes características da prática da adubação verde são exercidas por meio do enraizamento vigoroso e profundo apresentado por algumas espécies, que pode proporcionar rompimento de camadas compactadas do solo (CAMARGO; ALLEONI, 1997). Além disso, a habilidade de enraizamento em maiores profundidades apresentada por algumas espécies de leguminosas, contribui diretamente na ciclagem de nutrientes, retirando esses elementos das camadas mais profundas e, posteriormente, os disponibilizando nas camadas superficiais (ALVARENGA et al., 1995). Reinert et al. (2008) identificaram em um Argissolo Vermelho cultivado no sistema de plantio direto, quais eram

os limites críticos de densidade do solo para o crescimento das raízes de *Crotalaria juncea*, guandu-anão (*Cajanus cajan*), feijão de porco (*Canavalia ensiformis*) e mucuna cinza (*Mucuna cinereum*). Todas as espécies avaliadas apresentaram desenvolvimento radicular sem deformações morfológicas visíveis até a densidade de  $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$ .

Em vista dos benefícios proporcionados pela utilização de plantas de cobertura, faz-se necessária a identificação de espécies capazes de aportar aos solos grandes quantidades de matéria orgânica, provenientes tanto da parte aérea quanto das raízes; bem como identificar as espécies que apresentem sistemas radiculares densos, vigorosos e profundos, podendo assim romper camadas compactadas e recuperar nutrientes perdidos por lixiviação. Essa identificação ganha especial contexto quando inserida na área da citricultura, devido à importância desta atividade para a economia nacional. Atualmente, o Brasil possui uma produção estimada de 19,6 milhões de toneladas de frutas cítricas, ocupando o posto de maior produtor e exportador de suco concentrado e congelado (DONADIO; MOURÃO FILHO; MOREIRA, 2005; IBGE, 2010).

Os objetivos do trabalho foram avaliar o aporte de matéria seca da parte aérea e do sistema radicular de três plantas de cobertura de verão em dois sistemas de preparo de solo, a densidade de comprimento radicular com suas respectivas profundidades efetivas, nas entrelinhas de um pomar cítrico.

### 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina (UEL), no município de Londrina, Estado do Paraná (latitude  $23^{\circ}23'S$ , longitude  $51^{\circ}11'W$ , e altitude média de 560 m). O clima, segundo classificação de Wilhelm Köppen, é subtropical úmido (Cfa), com precipitação média anual de 1.500 mm, temperatura média anual de  $22^{\circ}\text{C}$ , evapotranspiração anual de 1.350 mm, umidade relativa anual média de 75% e insolação média de  $7,14 \text{ h dia}^{-1}$  (IAPAR, 2009). O solo é classificado, de acordo com Prado (2003), como Latossolo Vermelho eutroférico, de textura argilosa. As características químicas e granulométricas das entrelinhas do pomar, quando da instalação do experimento, estão descritas na Tabela 1.

O ensaio foi conduzido nas entrelinhas de um pomar de laranja 'Pêra Rio' (*Citrus sinensis* (L) Osbeck) enxertadas sobre limoeiro 'Cravo' (*Citrus limonia* Osbeck),

implantado em 1998, com espaçamento de 7,0 m x 4,0 m, conduzido sem irrigação e manejado conforme recomendação técnica para o cultivo na região (IAPAR, 1992). A vegetação espontânea presente nas entrelinhas do pomar, composta basicamente por gramíneas, foi dessecada com herbicida não seletivo Glifosato com dose de 6 L ha<sup>-1</sup> no período de pré-semeadura das plantas de cobertura, em 25/11/2009.

**Tabela 1** – Características químicas e granulométricas das entrelinhas de um pomar cítrico em um Latossolo Vermelho eutroférico. Londrina-PR, 2009.

Características	Profundidade (m)	
	0-0,20	0,20-0,40
Matéria Orgânica (g dm <sup>-3</sup> )	35,53	22,74
pH CaCl <sub>2</sub>	5,35	4,95
P (mg dm <sup>-3</sup> )	12,21	4,16
H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	5,04	5,51
Al <sup>+3</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,12	0,12
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,47	0,27
Ca <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	5,27	3,71
Mg <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,30	1,21
CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	12,09	10,70
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	7,04	5,19
V (%)	58,31	48,49
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	647,2	687,2
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	274,4	254,4
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	78,4	58,4

Os tratamentos foram constituídos de dois diferentes sistemas de preparo de solo: plantio direto e convencional, e três espécies de plantas de cobertura de verão. No plantio direto as plantas foram semeadas sobre os restos da vegetação espontânea, sem qualquer revolvimento do solo. No manejo convencional, foi realizada uma aração (arado de aiveca, com profundidade de trabalho de, aproximadamente, 0,30 m), seguida de duas gradagens (grade niveladora de 24 discos com 24" - 26" x 6,00 mm de diâmetro e profundidade de trabalho de, aproximadamente, 0,10 m) no período de pré-semeadura.

As plantas de cobertura utilizadas foram: *Crotalaria juncea*, capim pé-de-galinha gigante (*Eleusine coracana*) e mucuna preta (*Mucuna aterrima*), semeadas manualmente em linhas, no início do mês de dezembro de 2009, em sulcos abertos com enxada. O espaçamento e a densidade populacional das plantas seguiram o proposto por Calegari (1995): *Crotalaria juncea*, 0,25 m de espaçamento e 20 sementes por metro linear;

capim pé-de-galinha gigante, 0,20 m de espaçamento e 15 kg de sementes ha<sup>-1</sup>; mucuna preta, 0,50 m de espaçamento e 8 sementes por metro linear. A área de cada parcela foi de 24 m<sup>2</sup> (4 x 6 m) e o controle de plantas invasoras foi feito com enxada, quando necessário.

As amostragens para avaliação da parte aérea e do sistema radicular das plantas de cobertura foram realizadas quando do pleno florescimento de cada espécie (90 dias após a semeadura para a *C. juncea*, 110 dias para o capim pé-de-galinha gigante e 130 dias para a mucuna preta).

Para a determinação da matéria seca aportada pela parte aérea foi delimitado em cada parcela, aleatoriamente, 1 m<sup>2</sup>, atirando-se um quadro com essa dimensão. As plantas que se encontravam dentro dessa área foram cortadas manualmente rente ao solo. A fitomassa coletada foi acondicionada em sacos e levada à estufa de ventilação forçada à temperatura de 65 °C até peso constante. Na seqüência, após a secagem, esse material foi pesado em balança digital, com precisão de 0,005 g, para determinação da massa seca. A partir dos dados obtidos, foram calculados os valores de aporte de matéria seca (Mg ha<sup>-1</sup>).

A avaliação do sistema radicular das plantas de cobertura foi realizada com o método do trado (BÖHM, 1979), utilizando-se um trado cilíndrico tipo caneca com 0,074 m de diâmetro. Nas parcelas correspondentes à *C. juncea* e ao capim pé-de-galinha gigante, foram escolhidos dois pontos de amostragem, sobre a linha de semeadura e a 0,125 m de distância desta e sobre a linha de semeadura e a 0,10 m de distância, respectivamente. Para as parcelas correspondentes à mucuna preta, foram escolhidos três pontos de amostragem, sobre a linha de semeadura, a 0,125 m e a 0,25 m de distância. Essas amostras foram estratificadas em 0 – 0,10; 0,10 – 0,20; 0,20 – 0,30; 0,30 – 0,40; 0,40 – 0,50; 0,50 – 0,60 m de profundidade. As amostras coletadas foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas ao laboratório, onde foram armazenadas a -15 °C para conservação das raízes até que fossem separadas do solo. A separação das raízes foi realizada através da lavagem das amostras em água corrente, com o auxílio de peneiras com malha de 500 µm. As raízes retidas nas peneiras foram separadas de outros materiais orgânicos, com o auxílio de pinças envolvidas em papel toalha e acondicionadas em sacos de papel. Em seguida, esse material foi levado à estufa de ventilação forçada à temperatura de 65 °C por 48 horas.

Na seqüência, após a secagem, as raízes foram pesadas em balança digital, com precisão de 0,005 g, para a determinação da massa seca. A partir dos dados obtidos, foram calculados os valores de aporte de matéria seca (Mg ha<sup>-1</sup>) por profundidade e totais. Posteriormente, as raízes foram fotografadas e as imagens, com resolução de 72 dpis, foram

analisadas pelo programa SIARCS 3.0<sup>®</sup> (CRESTANA et al., 1994) para determinação do comprimento. Os dados de comprimento das raízes foram expressos em densidade de comprimento radicular (cm de raízes cm<sup>-3</sup> de solo) por profundidade e totais e em profundidade efetiva, que representa o limite até onde se concentram 80 % das raízes (KLAR, 1991).

As amostragens para avaliação das propriedades físicas do solo, foram realizadas 135 dias após a semeadura, em todos os tratamentos. Densidade do solo e umidade gravimétrica foram as variáveis avaliadas. Para a amostragem, foram utilizados anéis volumétricos com 0,05 m de diâmetro e 0,051 m de altura nas camadas de 0,00 – 0,10; 0,10 – 0,20; 0,20 – 0,30 e 0,30 – 0,40 m de profundidade de cada parcela e a determinação dessas variáveis seguiu o método da Embrapa (1997).

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo os tratamentos arranjos em esquema fatorial 2 x 3 (dois sistemas de preparo de solo e três espécies de plantas de cobertura). Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste Tukey a 5 % de significância.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação significativa entre os sistemas de preparo de solo e as plantas de cobertura no aporte de matéria seca proveniente da parte aérea (Tabela 2). Quando se analisam as médias de cada espécie, observa-se que a *C. juncea* produziu maior quantidade de matéria seca em comparação às demais e que o capim pé-de-galinha gigante superou a mucuna preta. Esse montante de matéria seca produzida pelas plantas de cobertura (11,730 Mg ha<sup>-1</sup> para *C. juncea*, 8,914 Mg ha<sup>-1</sup> para o capim pé-de-galinha gigante e 6,328 Mg ha<sup>-1</sup> para a mucuna preta) supera o considerado adequado por Alvarenga et al. (2001), que indicam que a quantidade adequada de matéria seca para proporcionar elevada percentagem de cobertura do solo é de, no mínimo, 6 Mg ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 2** – Aporte de matéria seca da parte aérea ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) de três plantas de cobertura de verão com dois sistemas de preparo de solo, cultivadas nas entrelinhas de um pomar cítrico, em Latossolo Vermelho eutroférico. Londrina-PR, 2010.

	<i>Crotalaria juncea</i>	Capim pé-de-galinha gigante	Mucuna preta	Média
Plantio direto	11,907	8,642	6,106	8,885 A
Convencional	11,554	9,187	6,550	9,097 A
Média	11,730 a	8,914 b	6,328 c	
CV (%)	20,71			

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância.

Carvalho et al. (2004) ao avaliarem a produção de matéria seca da parte aérea de plantas de cobertura, nas condições do Cerrado brasileiro, também observaram valores decrescentes de aporte de matéria seca para *C. juncea*, pousio (caracterizado, predominantemente, pela presença de *Brachiaria decumbens*) e mucuna preta, respectivamente. Entretanto, os valores observados pelos autores foram inferiores aos determinados no presente trabalho. Naquelas condições, a *C. juncea* aportou  $7,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ , o pousio aportou  $6,3 \text{ Mg ha}^{-1}$  e a mucuna preta contribuiu com  $3,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  de matéria seca da parte aérea. Essa menor contribuição pode ser explicada pelo fato de que os autores realizaram o corte 60 dias após a emergência, período insuficiente para que as plantas atingissem o florescimento pleno e, conseqüentemente, máxima produção de fitomassa (CALEGARI, 1995). Além disso, fatores como a época de semeadura e o ambiente (principalmente o fornecimento hídrico) interferem tanto na produção vegetativa quanto na concentração de nutrientes das plantas de cobertura, promovendo variações de produção dentro da mesma espécie (ALCÂNTARA et al., 2000).

Silva et al. (2002), ao avaliarem a produção de matéria seca da parte aérea de algumas plantas de cobertura cultivadas nas entrelinhas de um pomar cítrico, também observaram a superioridade da *C. juncea* em relação às demais. Enquanto *Crotalaria spectabilis*, guandu, mucuna preta, mucuna anã, lab-lab e feijão de porco produziram, na média dos quatro anos agrícolas avaliados, aproximadamente  $4 \text{ Mg ha}^{-1}$ , a *C. juncea* contribuiu com mais de  $13 \text{ Mg ha}^{-1}$ , confirmando assim sua boa capacidade de cobertura do solo e de aporte de matéria orgânica aos sistemas agrícolas.

Com relação ao aporte de matéria seca proveniente das raízes, somente na camada de 0,40 – 0,50 m de profundidade ocorreu diferença significativa entre as espécies avaliadas sem, contudo, apresentar interação com o manejo de solo (Tabela 3). Nessa camada,

a mucuna preta contribuiu com  $0,496 \text{ Mg ha}^{-1}$ , sendo superior à quantidade aportada pelo capim pé-de-galinha gigante; porém, não diferiu da *C. juncea*. A superioridade apresentada pelas leguminosas pode ser atribuída à grande capacidade de enraizamento dessas espécies, uma vez que suas raízes pivotantes atravessam camadas compactadas e exploram amplo volume de solo (QUEIROZ et al., 2007). Na comparação das demais camadas e no aporte total de matéria seca pelas raízes, não foram observadas diferenças significativas.

Barradas et al. (2001) avaliaram, na região serrana fluminense, até 0,20 m de profundidade, a matéria seca produzida pelas raízes de gramíneas e leguminosas usualmente utilizadas como plantas de cobertura de inverno. Os autores observaram que aveia preta, tremoço branco e trevo vermelho aportaram ao sistema 2,72; 2,10; 2,35  $\text{Mg ha}^{-1}$  de matéria seca de raízes, respectivamente, 119 dias após a semeadura. Esses valores são inferiores à soma das médias da *C. juncea* e do capim pé-de-galinha gigante nas duas primeiras camadas (0 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m) do presente trabalho (Tabela 3). Até a referida profundidade a *C. juncea* aportou  $3,295 \text{ Mg ha}^{-1}$  de matéria seca e o capim pé-de-galinha gigante contribuiu com  $4,099 \text{ Mg ha}^{-1}$  ao solo.

**Tabela 3** – Aporte de matéria seca das raízes ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) de três plantas de cobertura de verão com dois sistemas de preparo de solo, cultivadas nas entrelinhas de um pomar cítrico, em Latossolo Vermelho eutroférico, a 0 – 0,10; 0,10 – 0,20; 0,20 – 0,30; 0,30 – 0,40; 0,40 – 0,50; 0,50 – 0,60 m de profundidade. Londrina-PR, 2010.

	<i>Crotalaria juncea</i>	Capim pé-de-galinha gigante	Mucuna preta	Média	CV (%)
0-0,10 m					
Plantio direto	2,909 <sup>ns</sup>	2,957	2,340	2,735	
Convencional	2,243	4,394	1,156	2,597	76,48
Média	2,576	3,676	1,748		
0,10-0,20 m					
Plantio direto	0,961 <sup>ns</sup>	0,546	0,678	0,728	
Convencional	0,477	0,300	0,624	0,467	71,72
Média	0,719	0,423	0,651		
0,20-0,30 m					
Plantio direto	0,296 <sup>ns</sup>	0,325	0,481	0,367	
Convencional	0,510	0,333	0,431	0,425	50,19
Média	0,403	0,329	0,456		
0,30-0,40 m					
Plantio direto	0,502 <sup>ns</sup>	0,377	0,368	0,416	
Convencional	0,359	0,325	0,420	0,368	67,29
Média	0,431	0,351	0,394		
0,40-0,50 m					
Plantio direto	0,448	0,242	0,486	0,392 A	
Convencional	0,280	0,245	0,505	0,343 A	51,38
Média	0,364 ab	0,244 b	0,496 a		
0,50-0,60 m					
Plantio direto	0,213 <sup>ns</sup>	0,155	0,356	0,241	
Convencional	0,166	0,221	0,330	0,239	54,80
Média	0,189	0,188	0,343		
Total					
Plantio direto	4,602 <sup>ns</sup>	4,542	4,589	4,578	
Convencional	3,915	5,817	3,467	4,400	45,70
Média	4,258	5,180	4,028		

ns = não significativo. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância.

As médias da relação entre o aporte de matéria seca da parte aérea e das raízes foram de 2,77; 1,74 e 1,61, respectivamente, para *C. juncea*, capim pé-de-galinha

gigante e mucuna preta (Tabela 4). Esses resultados demonstram que, na média dos dois sistemas de preparo de solo, houve maior contribuição proporcional das raízes no aporte total de matéria seca na mucuna preta, enquanto que a menor contribuição proporcional das raízes no aporte total foi observada na *C. juncea*. Quando comparada as médias da relação parte aérea/raiz dos sistemas de preparo de solo verifica-se que houve maior contribuição proporcional das raízes nos tratamentos correspondentes ao plantio direto (1,94) em comparação ao convencional (2,14).

**Tabela 4** – Relação entre o aporte de matéria seca da parte aérea (PA) e das raízes (RA) de três plantas de cobertura de verão com dois sistemas de preparo de solo, cultivadas nas entrelinhas de um pomar cítrico, em Latossolo Vermelho eutroférico. Londrina-PR, 2010.

	<i>Crotalaria juncea</i>	Capim pé-de-galinha gigante	Mucuna preta	Média
	-----Relação PA/RA-----			
Plantio direto	2,59	1,90	1,33	1,94
Convencional	2,95	1,58	1,89	2,14
Média	2,77	1,74	1,61	

Não houve interação entre os sistemas de preparo de solo e as plantas de cobertura em relação à densidade de comprimento radicular (Tabela 5). Porém, na camada de 0 – 0,10 m e no total das profundidades foram observadas diferenças significativas nas médias entre as plantas de cobertura. Na camada de 0 – 0,10 m, o capim pé-de-galinha gigante apresentou maior densidade de comprimento radicular em comparação às demais. No total das profundidades avaliadas, o capim pé-de-galinha gigante se destacou novamente, com maior densidade de comprimento radicular em relação à mucuna preta, sem, entretanto, diferir da *C. juncea*.

Alvarenga et al. (1995) avaliaram a densidade de comprimento radicular de algumas leguminosas utilizadas como plantas de cobertura. Caupi, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria paulinia*, guandu, feijão-bravo-do-ceará, feijão-de-porco, lab-lab e mucuna preta foram as espécies testadas. Os autores também observaram diferenças significativas para essa variável na camada superficial do solo (0 – 0,11 m), sendo que, nas demais profundidades (0,11 – 0,21 e 0,21 – 0,32 m), não houve diferença entre as plantas. Na camada superficial, a densidade de comprimento radicular da *C. juncea* só não foi superior à *C. paulinia*, com 4,16

cm de raízes cm<sup>-3</sup> de solo. Em contrapartida, a mucuna preta foi uma das espécies com pior desempenho, apresentando densidade de comprimento radicular de 1,40 cm de raízes cm<sup>-3</sup> de solo.

**Tabela 5** – Densidade de comprimento radicular (cm de raízes cm<sup>-3</sup> de solo) de três plantas de cobertura de verão com dois sistemas de preparo de solo, cultivadas nas entrelinhas de um pomar cítrico, em Latossolo Vermelho eutroférico, a 0 – 0,10; 0,10 – 0,20; 0,20 – 0,30; 0,30 – 0,40; 0,40 – 0,50; 0,50 – 0,60 m de profundidade. Londrina-PR, 2010.

	<i>Crotalaria juncea</i>	Capim pé-de-galinha gigante	Mucuna preta	Média	CV (%)
0-0,10 m					
Plantio direto	2,08	3,07	2,07	2,41 A	34,78
Convencional	2,44	4,03	1,76	2,74 A	
Média	2,26 b	3,55 a	1,92 b		
0,10-0,20 m					
Plantio direto	1,73 <sup>ns</sup>	1,48	1,28	1,50	60,24
Convencional	1,09	0,92	1,07	1,03	
Média	1,41	1,20	1,17		
0,20-0,30 m					
Plantio direto	0,77 <sup>ns</sup>	0,98	0,82	0,86	31,89
Convencional	0,88	1,06	0,82	0,92	
Média	0,82	1,02	0,82		
0,30-0,40 m					
Plantio direto	0,89 <sup>ns</sup>	0,98	0,69	0,85	44,58
Convencional	1,01	1,21	0,79	1,00	
Média	0,95	1,10	0,74		
0,40-0,50 m					
Plantio direto	1,04 <sup>ns</sup>	0,72	0,83	0,86	30,64
Convencional	0,90	0,68	0,91	0,83	
Média	0,97	0,70	0,87		
0,50-0,60 m					
Plantio direto	0,68 <sup>ns</sup>	0,76	0,64	0,69	41,84
Convencional	0,69	0,61	0,71	0,67	
Média	0,68	0,68	0,67		
Total					
Plantio direto	1,20	1,33	1,05	1,19 A	18,30
Convencional	1,17	1,42	1,01	1,20 A	
Média	1,18 ab	1,38 a	1,03 b		

ns = não significativo. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância.

Bordin et al. (2008) avaliaram nas entrelinhas de um pomar de laranjeira ‘Folha Murcha’ (*Citrus sinensis* (L) Osbeck) enxertada sobre limoeiro ‘Cravo’ (*Citrus limonia* Osbeck), o número de raízes de milho e guandu cultivados com e sem escarificação prévia do solo. Como no presente trabalho, os autores observaram maior quantidade de raízes na gramínea (milho) em relação à leguminosa (guandu) na camada de 0 – 0,10 m, em ambos os manejos realizados. Porém, no total das profundidades avaliadas, a superioridade do milho frente ao guandu só foi verificada nos tratamentos submetidos à escarificação, enquanto que, no manejo não escarificado, não foi observada diferença significativa entre as plantas de cobertura.

O tipo de raiz das plantas interfere na distribuição radicular ao longo do perfil do solo. As gramíneas em geral, possuem raiz fasciculada, implicando assim em um maior comprimento total de raízes quando comparadas as espécies com raiz pivotante, que, por sua vez, produzem menor quantidade total de raízes lateralmente (VALCARCEL et al., 2007).

As profundidades efetivas das plantas de cobertura, ou seja, o limite até onde se concentram 80% das suas raízes (KLAR, 1991), variaram de 0,35 a 0,44 m, sem diferença ou interação significativa entre os tratamentos (Tabela 6). Kanmegne et al. (1999) avaliaram a distribuição radicular de quatro espécies de plantas de cobertura (*Alchornea cordifolia*, *Pennisetum purpureum*, *Chromolaena odorata* e *Calliandra calothyrsus*) em um solo argiloso na República dos Camarões. Os autores observaram que *C. odorata* possuía o sistema radicular mais profundo, com 92,7% de suas raízes concentradas até 0,50 m de profundidade; e que, a *P. purpureum*, possuía o menos profundo, com 92,1% das raízes até 0,20 m.

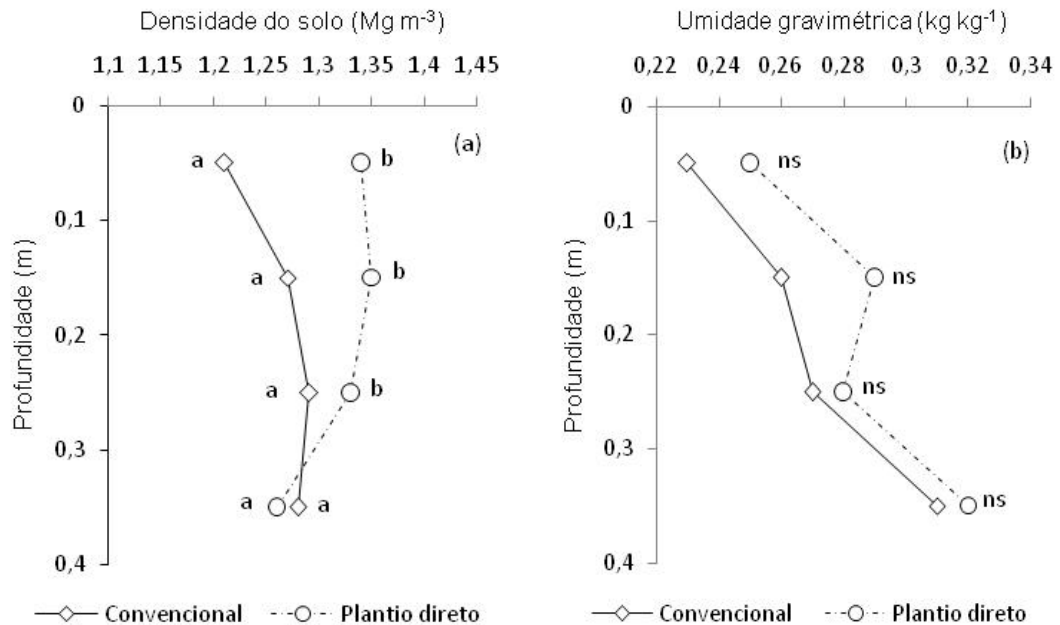
**Tabela 6** – Profundidade efetiva (m) da densidade de comprimento radicular de três plantas de cobertura de verão com dois sistemas de preparo de solo, cultivadas nas entrelinhas de um pomar cítrico, em Latossolo Vermelho eutroférico. Londrina-PR, 2010.

	<i>Crotalaria juncea</i>	Capim pé-de-galinha gigante	Mucuna preta	Média
Plantio direto	0,42 <sup>ns</sup>	0,39	0,42	0,41
Convencional	0,40	0,35	0,44	0,39
Média	0,41	0,37	0,43	
CV (%)	13,11			

ns = não significativo pelo teste Tukey a 5%.

O crescimento em profundidade das raízes é fundamental para a manutenção do desenvolvimento das plantas de cobertura em períodos de seca e contribui diretamente para a ciclagem de nutrientes no solo. Com o objetivo de caracterizar algumas espécies de plantas de cobertura, nas condições da savana africana, Salako, Tian e Kang (2002) mensuraram a profundidade máxima atingida pelas raízes de guandu, *Crotalaria ochroleuca*, *Stylosanthes hamata*, *Centrosema pascuorum*, lab-lab, mucuna preta e *Pueraria phaseoloides*, dezessete semanas após o plantio. Por suas raízes atingirem profundidades superiores a 0,60 m, concluiu-se que todas as espécies avaliadas apresentavam potencial para utilização naquela região.

Devido à ausência de interação entre os fatores, os dados relativos às propriedades físicas do solo são apresentados considerando-se as médias dos sistemas de preparo de solo avaliados (plantio direto e convencional), em cada profundidade. As densidades do solo nas camadas 0 – 0,10; 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,30 m foram menores no manejo convencional. Na camada 0,30 – 0,40 m, não foi observada diferença significativa entre os sistemas (Figura 1a). Esses dados refletem o efeito das operações realizadas no manejo convencional, composto por uma aração (profundidade de trabalho de 0,30 m) e duas gradagens; e no plantio direto, sem revolvimento do solo. Embora o sistema de plantio direto proporcione benefícios às áreas agrícolas, como por exemplo, maior retenção de umidade e diminuição da erosão hídrica, a movimentação do solo restrita à linha de semeadura e o tráfego sistemático do maquinário favorecem a compactação da camada superficial do solo (TORMENA; ROLOFF; SÁ, 1998), contribuindo assim para o aumento da densidade e da resistência do solo à penetração (STRECK et al., 2004). Com relação à umidade do solo, foi observado que os tratamentos estudados não alteraram essa variável em nenhuma das profundidades avaliadas (Figura 1b).



**Figura 1** – Densidade (a) e umidade gravimétrica (b) do solo nas entrelinhas de um pomar cítrico após preparo convencional e plantio direto. Londrina-PR, 2010. ns: não significativo. Médias seguidas pela mesma letra, a cada profundidade, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância.

Bordin et al. (2008), avaliando efeitos da escarificação e do cultivo de plantas de cobertura nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distroférico após um ciclo agrícola, também não observaram respostas das propriedades físicas à utilização de plantas de cobertura. Porém, Marrero et al. (2009), após quatro anos de consórcio entre *Teramnus labialis* e laranjeira ‘Valência’ (*Citrus sinensis* L. Osbeck), verificaram um aumento no teor de água no solo, no volume específico total de poros e na porcentagem de agregados estáveis. Esses resultados conflitantes encontrados na literatura podem ser creditados aos períodos de manejo no qual as áreas avaliadas foram submetidas, uma vez que os efeitos benéficos na qualidade do solo, advindos da prática da adubação verde, são perceptíveis em longo prazo (TESTA; TEIXEIRA; MIELNICZUCK, 1992).

### 3.4 CONCLUSÕES

Os sistemas de preparo de solo (plantio direto e convencional) não alteram o aporte de matéria seca (parte aérea e raízes), a densidade de comprimento radicular e a

profundidade efetiva das raízes de *Crotalaria juncea*, capim pé-de-galinha gigante e mucuna preta nas entrelinhas de pomar cítrico.

A *Crotalaria juncea* aporta ao solo maior quantidade de matéria seca proveniente da parte aérea.

O capim pé-de-galinha gigante possui maior densidade de comprimento radicular na camada superficial do solo. No total das profundidades avaliadas, esta é superior somente à da mucuna preta.

Não há diferença entre as profundidades efetivas das raízes da *Crotalaria juncea*, capim pé-de-galinha gigante e mucuna preta.

O cultivo de *Crotalaria juncea*, capim pé-de-galinha gigante e mucuna preta não alteram a densidade e a umidade do solo, após um ciclo agrícola, nas entrelinhas de pomar cítrico.

A densidade do solo não é prejudicial ao desenvolvimento das espécies de plantas de cobertura avaliadas.

#### REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, F. A. de; FURTINI NETO, A. E.; PAULA, M. B. de; MESQUITA, H. A. de; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 2, p. 277-288, fev. 2000.

ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 2, p. 175-185, fev. 1995.

ALVARENGA, R. C.; LARA CABEZAS, W. A.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, p. 25-36, 2001.

BARRADAS, C. A. A.; FREIRE, L. R.; ALMEIDA, D. L. DE; DE-POLLI, H. Comportamento de adubos verdes de inverno na região serrana fluminense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 12, p. 1461-1468, dez. 2001.

BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. Berlin: Springer Verlag, 1979.

BORDIN I.; NEVES, C. S. V. J.; FRANCIOS FILHO, P.; PRETI, E. A.; CARDOSO, C. Crescimento de milho e guandu, desempenho de plantas cítricas e propriedades físicas do solo escarificado em um pomar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1409-1418, jul./ago. 2008.

CALEGARI, A. **Leguminosas para adubação de verão no Paraná**. Londrina: IAPAR, 1995. 118p. (IAPAR. Circular, 80).

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997.

CARVALHO, M. A. C. de; ATHAYDE, M. L. F.; SORATTO, R. P.; ALVES, M. C.; SÁ, M. E. de. Adubação verde e sistemas de manejo do solo na produtividade do algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 12, p. 1205-1211, dez. 2004.

CRESTANA, S.; GUIMARÃES, M. F.; JORGE, L. A. de C.; RALISCH, R.; TOZZI, C. L.; TORRE NETO, A.; VAZ, C. M. P. Avaliação de raízes no solo auxiliada por processamento de imagens digitais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 365-71, 1994.

DONADIO, L. C.; MOURÃO FILHO, F. de A. A.; MOREIRA, C. S. In: MATTOS JUNIOR D.; NEGRI J. D. de; PIO R. M.; POMPEU JUNIOR J. (Ed.) **Citros**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2005. p. 1-18.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro, 1997.

ESPINDOLA, J. A. A.; ALMEIDA, D. L. de; GUERRA, J. G. M. **Estratégias para utilização de leguminosas para adubação verde em unidades de produção agroecológica**. Saropédica: Embrapa Agrobiologia, 2004. 24 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 174).

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; BAILEY, B. A. Role of Cover Crops in Improving Soil and Row Crop Productivity. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 36, p. 2733–2757, 2005.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **A citricultura no Paraná**. Londrina, 1992. 288p. (Circular, 72).

\_\_\_\_\_. **Sistema de monitoramento agroclimático do Paraná**. Disponível em: <[http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias\\_Historicas/Londrina.htm](http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Londrina.htm)>. Acesso em: 8 jun. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal-2009**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=1613&z=t&o=11&i=P>>. Acesso em: 30 nov. 2010.

KANMEGNE, J.; DUGUMA, B.; HENROT, J.; ISIRIMAH, N. O. Soil fertility enhancement by planted tree-fallow species in the humid lowlands of Cameroon. **Agroforestry Systems**, v. 46, p. 239–249, 1999.

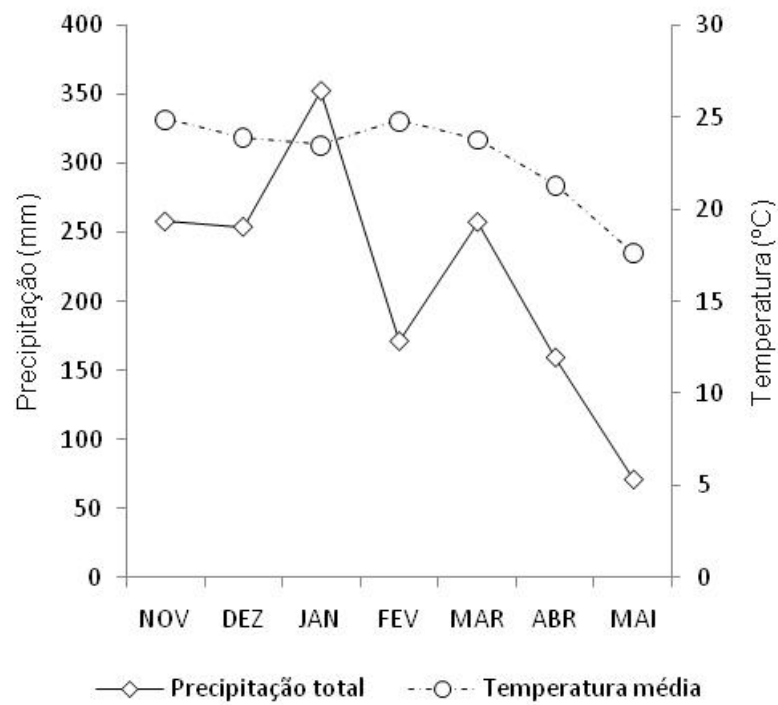
KLAR, A. E. **Irrigação: frequência e quantidade de aplicação**. 1. ed. São Paulo: Nobel, 1991. 156 p.

- MARRERO, D. F.; DELGADO, L. E. P.; IAÑEZ, N. C.; CALERO, C. M.; RODRÍGUEZ, M. L.; PÉREZ, L. R.; RODRÍGUEZ, L. C. Cobertura vegetal con *Teramnus labialis* em plantaciones cítrícolas: efectos sobre algunas propiedades físicas del suelo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, sup. 1, p. 1073-1082, 2009.
- PRADO, H. **Solos do Brasil: gênese, morfologia, classificação, levantamento, manejo**. 3. ed. Piracicaba, 2003.
- QUEIROZ, L. R.; COELHO, F. C.; BARROSO, D. G.; QUEIROZ, V. A. V. Avaliação da produtividade de fitomassa e acúmulo de N, P e K em leguminosas arbóreas no sistema de aléias, em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 383-390, 2007.
- REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, n. 5, p. 1805-1816, set./out. 2008.
- SALAKO, F. K.; TIAN, G.; KANG, B. T. Indices of root and canopy growth of leguminous cover crops in the savanna zone of Nigeria. **Tropical Grasslands**, v. 36, p. 33-46, 2002.
- SILVA, J. A. A.; VITTI, G. C.; STUCHI, E. S.; SEMPIONATO, O. R. Reciclagem e incorporação de nutrientes ao solo pelo cultivo intercalar de adubos verdes em pomar de laranja 'Pêra'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 225-230, abr. 2002.
- SILVA, J. A. A.; DONADIO, L. C.; CARLOS, J. A. D. **Adubação verde em citros**. Jaboticabal: FUNEP, 1999. 41p. (Boletim Citrícola, 9).
- STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 755-760, maio/jun. 2004.
- TESTA, U. M.; TEIXEIRA, L. A. J. & MIELNICZUCK, J. Características químicas de um Podzólico Vermelho-Escuro afetadas por sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, p. 107-114, 1992.
- TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, p. 301-309, 1998.
- VALCARCEL, R.; VALENTE, F. D. W.; MOROKAWA, M. J.; CUNHA NETO, F. V.; PEREIRA, C. R. Avaliação da biomassa de raízes finas em área de empréstimo submetida a diferentes composições de espécies. **Revista Árvore**, v. 31, n. 5, p. 923-930, 2007.

**ANEXO**

**ANEXO A**

Precipitação total e temperatura média em Londrina-PR durante a condução do experimento  
(Novembro 2009 a Maio 2010).



**Fonte:** Instituto Agronômico do Paraná.