

CARACTERÍSTICAS DE ALGUNS ADUBOS VERDES DE INTERESSE PARA A CONSERVAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE SOLOS¹

RAMON COSTA ALVARENGA², LIOVANDO MARCIANO DA COSTA,
WALDEMAR MOURA FILHO e ADAIR JOSÉ REGAZZI³

RESUMO - Em um Podzólico Vermelho-Amarelo do município de Viçosa, MG, foram testados os adubos verdes: caupi (*Vigna unguiculata*), crotalária júncea (*Crotalaria juncea*), crotalária paulina (*Crotalaria paulina*), guandu (*Cajanus cajan*), feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), lab-lab (*Dolichos lab lab*) e mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum*). Foram avaliadas a velocidade e a percentagem de cobertura do solo proporcionadas pelas espécies. No florescimento de cada espécie, determinou-se o peso verde e seco da biomassa aérea, o teor de nutrientes e a densidade radicular dos adubos verdes. Para a conservação do solo, destacou-se o feijão-de-porco quanto à velocidade inicial e percentagem de cobertura do solo. O guandu foi a espécie com maior potencial para penetração de raízes no solo, produção de biomassa aérea e imobilização de nutrientes. As crotalárias e o caupi mostraram-se as espécies mais sensíveis à compactação do solo, concentrando suas raízes mais à superfície.

Termos para indexação: leguminosas, cultivos de cobertura, densidade radicular.

POTENTIAL OF SOME GREEN MANURE COVER CROPS FOR CONSERVATION AND RECUPERATION OF TROPICAL SOILS

ABSTRACT - The crops of cowpea (*Vigna unguiculata*), crotalaria (*Crotalaria juncea* and *Crotalaria paulina*), pigeon pea (*Cajanus cajan*), feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis*), jackbean (*Canavalia ensiformis*), lab-lab (*Dolichos lab lab*), and mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum*) were evaluated as green manure and cover crops in an Ultisol soil in Viçosa, MG, Brazil. The rate of crop establishment and percent of soil coverage were evaluated. Fresh and dry biomass, root density and nutrient content were determined at flowering stage for each species. Jackbean was the best species for both rate of crop establishment and percent of ground coverage. Pigeonpea was the best in terms of root penetration in the soil, biomass production and nutrient immobilization. The crotalarias and cowpea were the most sensitive to soil compaction, having their root mass concentrated at the soil surface.

Index terms: leguminous, root density, soil coverage.

INTRODUÇÃO

Manter a superfície do solo permanentemente coberta por materiais vegetais em fase vegetativa ou

como resíduos é, efetivamente, o manejo mais recomendado para proteção e conservação do solo.

A velocidade com que determinada espécie cobre o solo tem grande influência no processo erosivo, pois no período inicial de crescimento das culturas o solo se encontra desprotegido e, portanto, mais suscetível à erosão (Amado et al., 1987). Esses autores verificaram que o trigo-serraceno (*Fagopyrum esculentum*) foi a espécie com maior velocidade de crescimento, seguido pela mucuna-cinza (*Mucuna pruriens* (L.) DC) e pelo feijão-de-porco (*Canavalia*

¹ Aceito para publicação em 26 de outubro de 1994.

Extraído da Tese de Doutorado apresentada pelo primeiro autor à Univ. Fed. de Viçosa, MG, Brasil.

² Eng. Agr. EMBRAPA/CNPMS, D.Sc., Caixa Postal 151, 35701-970 Sete Lagoas, MG.

³ Eng. Agr., Prof., UFV, Ph.D. CEP 36570-000 Viçosa, MG.

ensiformis (L.) DC), com comportamento semelhante, e a crotalária-mucronata (*Crotalaria mucronata* Desv.), com a menor velocidade. Quanto à percentagem de cobertura vegetal, destacou-se a mucuna - que, 38 dias após a sementeira, cobriu 50% do solo -, seguida do feijão-de-porco e da crotalária.

Dechen et al. (1981), avaliando o efeito de algumas leguminosas sobre o controle de erosão em Latossolo Roxo, observou que a mucuna-preta ofereceu maior proteção ao solo, tanto em relação às perdas de solo como em relação às perdas de água, seguindo-se o lab-lab e a crotalária. As leguminosas eram plantadas em outubro-novembro, cortadas no florescimento e deixadas em cobertura até o preparo do solo para o cultivo do milho, quando eram incorporadas.

Foi observado, por Amado et al. (1989), que uma cobertura de 20% do solo com resíduos vegetais concorre para reduzir as perdas de solo em aproximadamente 50% em relação ao solo descoberto, para resíduos uniformemente distribuídos. A mucuna-preta foi classificada por Brandão (1940) como uma leguminosa de crescimento lento no seu primeiro mês pós-plantio, e que posteriormente torna-se agressiva, abafando as demais espécies que existem na área. O feijão-de-porco foi qualificado como rústico e precoce, sendo a espécie ideal para consorciação. Por outro lado, Costa (1992) classificou o feijão-de-porco como uma espécie de crescimento inicial lento para a Região Sul do Brasil.

Em ensaio e competição de adubos verdes com cana-de-açúcar, Souza (1953) observou que a crotalária júncea apresentou maior rapidez e uniformidade na emergência, melhor estande, maior resistência a condições adversas e maior produção de massa verde e seca do que a mucuna-anã, a mucuna-preta, o guandu, o feijão-de-porco, a soja perene e as crotalárias *paulina* e *spectabilis*.

A produção de biomassa é uma característica reconhecida das leguminosas utilizadas como adubo verde. Entretanto, existe uma grande variação nessa produção, conforme as condições nas quais essas leguminosas crescem. O gênero *Crotalaria* tem sobressaído na produção de massa, com produtividade de até 57,8 t.ha⁻¹ de massa verde (Miyasaka et al., 1966), ou 13,7 t.ha⁻¹ de massa seca (MS) (Carsky et al., 1990). No entanto, De-Polli & Chada (1989)

obtiveram uma produção de 1,6 t.ha⁻¹ de MS da crotalária júncea cultivada em solo de baixa fertilidade, onde o feijão-de-porco produziu 6 t.ha⁻¹ de MS, e a mucuna-preta, 4,4 t.ha⁻¹ de MS.

A habilidade de enraizamento do guandu a maiores profundidades não somente mostra seu maior potencial na absorção de água, mas também a possibilidade de reciclagem de nutrientes das camadas mais profundas. Neste particular, alguns pesquisadores (Trani et al., 1989; Arihara et al., 1991; Alvarenga, 1993) observaram a capacidade das raízes do guandu de se desenvolverem em profundidade, mesmo quando existe no solo uma camada de maior resistência à penetração. Segundo Pinon & Champanhet (1988), o enraizamento da mucuna-cinza é muito superficial. O feijão-de-porco apresenta uma raiz pivotante que desce em profundidade até, aproximadamente, 60 cm, com raízes laterais grossas com tendência horizontal.

As raízes podem estar envolvidas direta e indiretamente no processo de estabilização da estrutura do solo. Diretamente, elas formam um emaranhado que desempenha um importante papel do ponto de vista físico, pois aproximam e protegem os agregados do solo, especialmente os macroagregados com tamanho maior do que 250 µm. Indiretamente, tanto pela exsudação quanto após sua decomposição, elas fornecem materiais orgânicos estabilizantes e deposições de carbono abaixo da superfície, materiais estes de maior importância para a manutenção da estrutura do solo (Weaver & Zink, 1946; McVay et al., 1989; Perfect et al., 1990). Godefroy (1988), estudando a penetração de raízes de leguminosas em um solo de origem vulcânica pouco evoluído, com um horizonte de maior resistência à penetração, localizado entre 12 e 17 cm, verificou que as crotalárias tiveram seus crescimentos restringidos no topo desse horizonte adensado, onde formaram um "cotovelo" e tomaram a direção horizontal, e algumas raízes que penetraram neste horizonte eram muito pouco ramificadas, penetrando, no máximo, até 35 cm.

Os canais deixados após a decomposição das raízes podem facilitar o crescimento das culturas subsequentes. Foi observado, por Arihara et al. (1991), que o crescimento radicular da soja (*Glycine max* L.) e do milho (*Zea mays* L.) ficavam geral-

mente confinados nos primeiros 30 a 45 cm de um Alfissolo, pois suas raízes eram incapazes de penetrar na camada adensada localizada logo abaixo. Entretanto, quando essas culturas eram plantadas em sucessão ao guandu, os seus sistemas radiculares cresciam em profundidade, através dos canais deixados na camada adensada pelas raízes do guandu, após sua decomposição. Observaram também uma contribuição marcante sobre a taxa de infiltração, no solo, de água dos canais, deixando, depois, decomposição das raízes de guandu.

O objetivo deste trabalho foi avaliar: 1) a cobertura do solo proporcionada por espécies de adubos verdes, em diferentes fases de crescimento e desenvolvimento; 2) a imobilização de nutrientes pela parte aérea no florescimento, e 3) o crescimento das raízes.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em um Podzólico Vermelho-Amarelo, localizado na área experimental da Agronomia, na Universidade Federal de Viçosa, MG. O solo foi analisado química e fisicamente (Tabela 1), conforme metodologias propostas pela EMBRAPA (1979). Foram utilizadas oito espécies de leguminosas: caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), crotalária júncea (*Crotalaria juncea* L.), crotalária paulina (*Crotalaria paulina* Schrans), lab-lab (*Dolichos lab lab* L.), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.), guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) e mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum* Piper e Tracy). A variedade de guandu utilizada foi a fava-larga, e a de caupi foi a de hábito de crescimento determinado, a qual não tem sido usada com frequência em conservação do solo.

O preparo do solo foi realizado com grade aradora e niveladora, e todas as leguminosas foram plantadas com espaçamento de 50 cm e com adubação de plantio de 500 kg.ha⁻¹ da fórmula 4-14-8. O plantio foi efetuado em 8 de novembro de 1991, estando as sementes das leguminosas escarificadas e inoculadas com rizóbio do grupo *Cowpea*. Após a emergência das plântulas, realizou-se um desbaste, de modo que o estande (número de plântulas/m²) de cada espécie fosse o seguinte: crotalária júncea (30), crotalária paulina (30), lab-lab (15), feijão-bravo-do-ceará (10), feijão-de-porco (10), guandu (20), feijão-caupi (15) e mucuna-preta (10). Estas populações foram selecionadas, para que se conseguisse, num momento inicial, uma alta densidade de plântulas, sem, contudo, chegar a uma superpopulação.

TABELA 1. Resultados das análises químicas e físicas do solo Podzólico Vermelho-Amarelo.

Característica analisada	Horizonte do solo				
	Ap1 0 - 11	Ap2 11 - 21	B21 21 - 32	B22 32 - 53	B3 53+
	cm				
pH	5,2	4,9	4,9	5,1	5,2
P(mg.dm ⁻³)	4,8	1,9	0,5	1,3	3,0
K(mg.dm ⁻³)	98	90	34	8	6
Ca(cmol _e .dm ⁻³)	1,9	0,8	1,3	1,5	1,0
Mg(cmol _e .dm ⁻³)	0,6	0,5	0,1	0,2	0,2
Al(cmol _e .dm ⁻³)	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0
H+Al(cmol _e .dm ⁻³)	5,45	4,95	3,30	2,81	2,64
CTC(cmol _e .dm ⁻³)	8,20	6,48	4,79	4,43	3,86
V(%)	34	24	31	38	32
m(%)	0,0	25	0,0	0,0	0,0
M.O.(%)	3,49	2,83	1,48	1,61	1,48
Dap(Mg.m ⁻³)	1,15	1,37	1,45	1,28	1,21
Poros. total(%)	54	45	42	49	51
Macroporos(%)	25	15	11	18	19
Microporos(%)	29	30	31	31	32
Areia grossa(%)	37	36	21	22	25
Areia fina(%)	12	12	6	13	11
Silte(%)	9	9	9	3	4
Argila(%)	42	43	64	62	60
Classe textural	—Argilo-arenoso—		—Muito argiloso—		

Determinou-se a percentagem de cobertura do solo proporcionada pelas leguminosas, a cada intervalo de dez dias após a emergência e estendendo-se até 70 dias.

Por ocasião do período de 50% de floração de cada leguminosa, três áreas, de 0,5 m² cada, foram amostradas por unidade experimental, colhendo-se toda a parte aérea para avaliação do peso das matérias verde e seca e o teor de nutrientes. Os estandes inicial e final (50% do florescimento) foram avaliados, e calculou-se a percentagem relativa de estande (St = estande final x 100/estande inicial). Esta relação permitiu verificar se as densidades das plântulas utilizadas foram adequadas, ou não (superestimadas), para a finalidade de adubação verde. O peso de matéria seca foi obtido pela secagem das três subamostras, em estufa de circulação forçada, a 70 °C, por 72 horas. Os teores de nutrientes da parte aérea foram determinados a partir de uma amostra composta. Os teores de Ca e Mg foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica; o de K, por fotometria de emissão de chama; e o de P, colorimetricamente, pelo método do ácido ascórbico, modificado por Braga & Defelipo (1974). O teor de C total foi determinado pelo método proposto por Johnson & Ulrich (1959), e o N, pelo método de Kjeldahl.

O estudo das raízes foi realizado em amostragem de solo a duas distâncias do caule das plantas, ou seja, a 5 cm e a 15 cm na entrelinha, e com três repetições por

parcela. Em cada distância foram tomadas amostras de solo, com volume conhecido, nas profundidades de 0 a 11, 11 a 21 e 21 a 32 cm. A densidade radicular foi calculada pela relação entre o comprimento radicular - determinado conforme o método proposto por Tennant (1975) - e o volume de solo no qual essas raízes se encontravam. Uma descrição qualitativa do sistema radicular foi também realizada, segundo um critério visual. As raízes secundárias de maior diâmetro e comprimento foram contadas, e efetuou-se a medição do diâmetro e do comprimento da raiz pivotante, ocasião em que foram abertas trincheiras para se fazerem essas observações.

As parcelas foram protegidas por sulcos que conduziavam para fora da área experimental a água de escoamento superficial.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições. Cada unidade experimental teve uma área útil de 12 m (4 x 3 m). Tanto para o estudo da cobertura do solo quanto para o estudo da densidade radicular, considerou-se o esquema de parcelas subdivididas, em que as leguminosas constituíram os tratamentos das parcelas, e o tempo (dias) da observação ou profundidades estudadas, os tratamentos das subparcelas. Na comparação das médias de leguminosas, de percentagem de cobertura do solo e de profundidade, foi utilizado o teste de Student-Newman-Keuls (Stell & Torrie, 1980), adotando-se um nível de significância igual a 5%. O efeito do tempo sobre a cobertura do solo foi avaliado por meio de análise de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cobertura do solo pelos adubos verdes

A velocidade e a percentagem de cobertura do solo pelos adubos verdes permitiram dividir o período de crescimento das plantas em duas fases (Tabela 2 e Fig. 1): Fase 1: considerada como a fase de maior crescimento e velocidade na cobertura do solo, está compreendida entre 10 e 40 dias após a emergência; Fase 2: é a fase de menor velocidade de cobertura, que vai de 40 dias após a emergência até o final do período de observação, sendo a fase em que se observam as percentagens máximas de cobertura do solo.

Na primeira fase, destacou-se o feijão-de-porco como a espécie de mais rápido estabelecimento, apresentando, também, uma cobertura do solo superior à das demais. Essa espécie, aos dez dias após a emergência, cobria 35% do solo, o que, do ponto

TABELA 2. Equações de regressão ajustadas em função da taxa de cobertura do solo por adubos verdes (C) e dos dias após emergência (X), a partir da emergência das plântulas.

Adubo verde	Equação	R ²
Crotalaria juncea	$C = 88,1621 / (1 + e^{-(2,7627 - 0,1277X)})$	0,98
Crotalaria paulina	$C = 100,8135 / (1 + e^{-(3,4125 - 0,1173X)})$	0,99
Feijão-bravo-ceará	$C = 101,1994 / (1 + e^{-(4,3131 - 0,1396X)})$	0,99
Caupi	$C = 94,5065 / (1 + e^{-(4,2200 - 0,1790X)})$	0,99
Guandu	$C = 103,7432 / (1 + e^{-(3,1584 - 0,0907X)})$	0,99
Feijão-de-porco	$C = 101,7179 / (1 + e^{-(1,8629 - 0,1125X)})$	0,99
Lab-lab	$C = 100,9671 / (1 + e^{-(2,9320 - 0,1362X)})$	0,99
Mucuna-preta	$C = 102,3032 / (1 + e^{-(3,1948 - 0,1273X)})$	0,99

de vista de controle da erosão, é bastante significativo, uma vez que trabalhos têm mostrado que, à medida que se aumenta a percentagem de cobertura do solo por resíduos em relação à sua incorporação ou ausência, há uma redução acentuada da erosão, avaliada pelas perdas de solo e de água (Amado et al., 1987 e 1989; Dechen et al., 1981). Nesse particular, Amado et al. (1987) observaram que uma cobertura de 20% do solo com resíduos uniformemente distribuídos concorre para reduzir as perdas do solo em aproximadamente 50% em relação ao solo descoberto.

Ainda na fase 1, o feijão-bravo-do-ceará apresentou a menor taxa de cobertura do solo aos dez dias após a emergência. É possível que isto tenha ocorrido em virtude da emergência muito desuniforme que se verifica nesta espécie, por causa de suas sementes muito duras, contribuindo negativamente para o seu desempenho. Observou-se que as plantas que emergiram primeiro tiveram um crescimento rápido, até superior ao das plantas de outras espécies, mas que na avaliação de cobertura essa espécie foi prejudicada pela presença de áreas sem plantas ou com plantas em início de crescimento.

A crotalaria paulina, pela pequena proteção que oferece ao solo na fase inicial de crescimento, e por apresentar, nesta fase, suas folhas muito próximas do solo, sofreu soterramento, em virtude da erosão laminar severa que se verificou na parcela, nesse período, o que, de certa forma, retardou o seu desenvolvimento.

A mucuna-preta e o caupi foram as espécies que apresentaram as maiores velocidades de cobertura

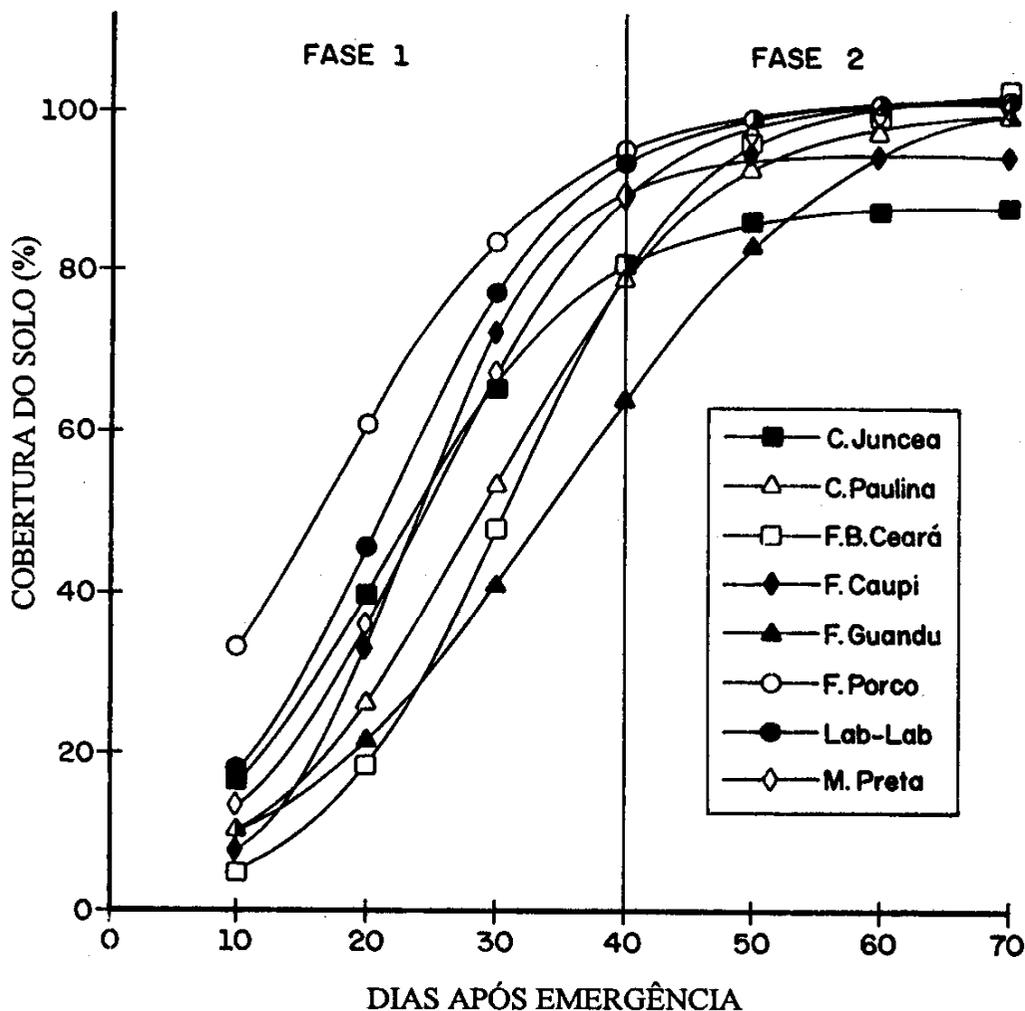


FIG. 1. Cobertura de solo por adubos verdes, crescendo em um Podzólico Vermelho-Amarelo do município de Viçosa, MG.

do solo a partir dos dez dias após a emergência, e, ao final dessa fase, uma percentagem de cobertura do solo muito próxima da apresentada pelo feijão-de-porco e pelo lab-lab, que foram as espécies que apresentaram maiores percentagens, todas com cobertura do solo superior a 90%. Numa posição intermediária, encontraram-se as crotalárias e o feijão-bravo-do-ceará, que cobriam aproximadamente 80% do solo. O guandu foi a espécie que apresen-

tou a menor velocidade e percentagem de cobertura do solo, pouco superior a 60%.

Na fase 2, a velocidade de cobertura do solo pelas leguminosas foi grandemente reduzida, uma vez que esses adubos verdes atingiram valores muito altos de percentagem de cobertura, superiores a 80% no início dessa fase. Somente o guandu manteve uma velocidade semelhante à observada na fase anterior, possivelmente em razão de seu ciclo mais

longo. Dentre as espécies testadas, o caupi e a crotalária júncea não conseguiram cobrir totalmente o solo, sendo a crotalária júncea a que menor percentagem de cobertura apresentou ao final do período (89%). Por outro lado, o feijão-de-porco e o lab-lab cobriram todo o solo a partir de 50 dias após a emergência.

Tem sido salientado, por alguns pesquisadores (Dechen et al., 1981, Amado et al., 1987), que, após o preparo do solo, quanto maior a velocidade com que uma espécie recobre o solo, mais efetiva ela será no controle da erosão. É justamente nessa época que tanto a intensidade quanto a quantidade de chuvas são maiores. Os resultados alcançados permitem selecionar o feijão-de-porco como aquele que oferece maior proteção ao solo em menor período de tempo após o plantio, estendendo-se esse comportamento durante o período experimental. A literatura traz resultados contrastantes com relação às potencialidades de adubos verdes diante da conservação dos solos (Brandão, 1940; Souza, 1953; Dechen et al., 1981; Amado et al., 1987), o que parece indicar um comportamento diferente, entre espécies, conforme as condições edafoclimáticas nas quais foram feitas as observações. É de se esperar que uma mesma espécie não repita a mesma atuação em dois locais com condições climáticas diferentes. Assim, Costa (1992) classificou o feijão-de-porco como planta de crescimento inicial lento para as condições do Sul do País, o que não ocorreu nem neste trabalho nem no de Brandão (1940), que classificou o feijão-de-porco como precoce para a região de Viçosa, em Minas Gerais.

Crescimento de raízes

Houve uma grande variação no crescimento de raízes dos adubos verdes (Tabela 3), o que, em parte, é atribuído às características morfológicas próprias de cada espécie e, em parte, à restrição imposta pelas condições físicas dos horizontes A_{p2} e B_{21} do solo, principalmente, limitando o crescimento. Observa-se que as menores profundidades de penetração da raiz pivotante foram verificadas no caupi e na crotalária paulina. Os lançamentos de raízes secundárias de caupi foram poucos e ocorreram, na sua maioria, até 5 cm de profundidade, onde se

TABELA 3. Característica das raízes dos adubos verdes, por ocasião do florescimento, plantados em um Podzólico Vermelho-Amarelo do Município de Viçosa, MG.

Adubo verde	Comprimento da raiz pivotante	Número de raízes secundárias	Diâmetro da raiz pivotante ¹	
			0	10
	cm		mm	
C. júncea	49(±10) ²	14(±6)	9,17(±2,29)	3,62(±2,27)
C. paulina	21(±6)	19(±8)	8,00(±0,76)	2,58(±1,11)
Feijão-br.-ceará	159(±27)	5(±1)	8,74(±1,48)	3,67(±1,24)
Caupi	18(±8)	4(±1)	6,15(±0,07)	1,03(±0,40)
Guandu	202(±41)	8(±2)	12,56(±5,35)	4,53(±2,71)
Feijão-de-porco	92(±20)	7(±3)	6,80(±0,88)	1,71(±0,46)
Lab-lab	92(±26)	8(±4)	7,77(±1,33)	2,83(±0,51)
Mucuna-preta	47(±14)	6(±2)	7,95(±1,81)	1,82(±0,72)

¹ Diâmetro da raiz pivotante a 0 cm e a 10 cm de profundidade no solo.

² Os valores entre parênteses referem-se ao erro padrão da média.

verificou, também, grande incidência de raízes mais finas e de nódulos. Ocorreu, com alguma frequência, perda da dominância da pivotante, em que as raízes secundárias tomaram uma posição mais oblíqua. Abaixo do horizonte A_{p1} , essas raízes sofreram desvios, crescendo de maneira irregular, cada momento em uma direção, e tiveram os seus diâmetros acentuadamente reduzidos, com raros lançamentos secundários, tendo o seu crescimento interrompido no topo do horizonte B. Esse comportamento deve-se, provavelmente, à compactação, em que a raiz penetra pelos pontos de menor resistência do solo.

A crotalária paulina e a crotalária júncea apresentaram comportamentos semelhantes. Essas espécies apresentaram um número elevado de raízes secundárias de 15 a 20 cm de comprimento, crescendo no sentido horizontal dentro do horizonte A_{p1} . A partir daí, a raiz pivotante sofreu desvio, tomando o sentido horizontal, algumas vezes não penetrando no A_{p2} ; ou, quando o fez, assumiu um comportamento semelhante ao do caupi. Nessa situação, parece que houve compensação por parte das raízes secundárias, que cresceram mais, aumentaram de diâmetro e às vezes tomaram um sentido mais vertical. As raízes que penetraram no horizonte B foram bastante finas e tortuosas, característica de um crescimento entre os agregados do solo. As raízes secundárias, neste local, foram raras. A pequena capacidade das raízes de crotalárias para penetrar em camadas compactadas de solo foi reconhecida por Godefroy (1988), estudando a *Crotalaria*

retusa e a *Crotalaria anagyroides*. Talvez isso ocorra porque esse gênero apresenta, em plantas jovens, raízes mais grossas, o que dificulta a penetração em solos compactados, onde o número de poros grandes é menor.

A mucuna-preta mostrou um crescimento da raiz pivotante bastante desuniforme. Algumas plantas apresentaram raiz bem desenvolvida, e noutras, o crescimento foi pequeno. As raízes secundárias foram mais frequentes no Apl, onde apresentaram um crescimento horizontal, alcançando comprimento médio de 50 cm; entretanto, ocorreram casos de se verificar raiz com mais de um metro. Nas plantas com raiz pivotante menor, as laterais se desenvolveram mais em diâmetro e comprimento. Comportamento semelhante foi observado por Pinon & Champanhet (1988), estudando o sistema radicular da mucuna-cinza.

O guandu foi a espécie que apresentou sistema radicular mais profundo e com raízes de maior diâmetro, embora esse diâmetro variasse bastante entre as plantas. A raiz pivotante penetrou verticalmente por toda a extensão do horizonte A, penetrando depois no horizonte B. Neste horizonte, ela se apresentou mais fina e tortuosa. As raízes laterais foram mais comuns no horizonte Apl, com pequena nodulação, embora tenham ocorrido no Ap2 e, em menor intensidade, no B. Essa capacidade do sistema radicular do guandu, de crescer a maiores profundidades, tem sido observada por outros pesquisadores (Trani et al., 1989; Arihara et al., 1991; Alvarenga, 1993), que afirmam que essa habilidade de enraizamento não somente mostra seu maior potencial na absorção de água, mas também indica a possibilidade de reciclagem de nutrientes das camadas mais profundas. Além disso, Arihara et al. (1991) observaram que os canais deixados na camada adensada pelas raízes do guandu, após sua decomposição, possibilitaram às raízes da soja e do milho crescerem em profundidade, além de favorecerem a porosidade e a infiltração de água.

As raízes pivotantes do feijão-bravo-do-ceará penetraram até uma profundidade média de 159 cm, sendo esta capacidade inferior somente à do guandu. Além disso, apresentaram grande concentração de raízes laterais no Apl, e frequentes no Ap2, crescendo em todas as direções, com grande quantidade

de de raízes mais finas que formavam um emaranhado. No horizonte Apl, destacaram-se algumas raízes laterais de maior diâmetro, em média cinco por planta, que se estenderam no sentido horizontal por distâncias de até 352 cm. Essas raízes apresentaram lançamentos aproximadamente a cada 50 cm, no sentido vertical, que penetraram no horizonte B. As raízes apresentaram boa nodulação, inclusive com muitos nódulos em profundidade. Em alguns canais resultantes da decomposição de raízes, preenchidos com material do horizonte A, houve penetração de raízes, havendo inclusive a penetração simultânea de mais de uma raiz no mesmo canal, observando-se também alguns nódulos até a profundidade de 1,20 cm. No horizonte B, a frequência de raízes laterais foi maior que nas demais leguminosas. A característica dessa espécie em formar um intenso emaranhado de raízes, especialmente no Apl, tem grande significado do ponto de vista da conservação do solo, pois atuam diretamente na estabilização dos macroagregados, durante o ciclo da planta, conforme relatado por alguns pesquisadores (Weaver & Zink, 1946; McVay et al., 1989; Perfect et al., 1990). O uso desta espécie pode ser interessante na estabilização de voçorocas e de cortes e aterros.

O lab-lab apresentou um crescimento médio de 92 cm da raiz pivotante. As raízes secundárias foram abundantes no horizonte A, concentrando-se no Apl, onde o seu crescimento era mais horizontal. A raiz pivotante no horizonte B adensado, à semelhança de outras leguminosas, cresceu entre os agregados, apresentando um aspecto de tortuosidade. Nesse horizonte adensado, os lançamentos de raízes laterais foram raros. Em algumas plantas cuja raiz pivotante teve crescimento reduzido ou paralisado pela compactação, notou-se que algumas raízes laterais apresentaram-se com diâmetro maior e cresceram mais.

As raízes do feijão-de porco cresceram até uma profundidade média de 92 cm, maior que as profundidades alcançadas por algumas leguminosas de ciclo mais longo. As suas raízes laterais foram em maior número no Apl, embora ocorressem também no Ap2. Já nos horizontes B21 e B22, elas foram raras, ao passo que no B3 foram mais frequentes que nos dois horizontes subjacentes. No horizon-

te B, a raiz pivotante apresentou aquele mesmo aspecto das outras espécies, ou seja, apresentou-se tortuosa, característica do crescimento em regiões de menor resistência do solo. Algumas delas, no topo desse horizonte, dividiram-se em duas, não ficando clara a dominância de uma delas como a principal.

Na distância de 5 cm da planta, somente observaram-se diferenças estatísticas na densidade radicular entre leguminosas no horizonte Apl (Tabela 4). Nesse horizonte, as duas crotalárias apresentaram as maiores densidades radiculares, sendo o valor apresentado pela crotalária júncea significativamente superior aos apresentados pelas outras leguminosas, à exceção da crotalária paulina. É possível que a pequena capacidade das raízes das crotalárias de crescerem em profundidade, penetrando no horizonte adensado, seja compensada pela concentração de suas raízes acima do horizonte de impedimento, no caso o Ap2 e B21.

Dentre as profundidades estudadas, além das crotalárias, o lab-lab apresentou uma redução significativa da densidade radicular com o aumento da profundidade, que coincide com o aumento da densidade do solo.

A 15 cm de distância da planta, não houve efeito significativo das leguminosas e da interação entre as leguminosas e a profundidade (Tabela 4). Observa-se que, na média das leguminosas na profundidade de 21 a 32 cm (B21), a densidade radicular foi significativamente menor que nas outras duas profundidades sobrejacentes. Como foi mostrado anteriormente, as leguminosas estudadas apresentaram uma tendência, umas mais que outras, de suas raízes crescerem no horizonte A (Apl + Ap2), especial-

mente no Apl.

Considerando-se os resultados encontrados, o guandu foi a leguminosa com maior capacidade de penetração de raízes, em profundidade, no solo. Em segundo lugar aparece o feijão-bravo-do-ceará. As crotalárias apresentaram as maiores densidades radiculares no horizonte Apl.

Produção de biomassa aérea e imobilização de nutrientes

A produção de matéria seca apresentada pelo guandu foi significativamente superior à das demais espécies (Tabela 5), e superior a quatro vezes a matéria seca apresentada pelo caupi, que apresentou a menor produção. Essa variação pode ser atribuída, em parte, às condições locais, que favoreceram determinadas leguminosas em detrimento de outras, e também ao ciclo da planta, em que as de ciclo mais longo têm a tendência para produzir maior quantidade de biomassa.

Os resultados de estande relativo das plantas mostram um valor de 147% no que respeita ao feijão-bravo-do-ceará, o que reflete a desuniformidade na germinação dessa espécie, ou seja, o estande final foi maior que o inicial, mostrando problemas de dormência de sementes e a conseqüente necessidade de um tratamento drástico de quebra de dormência, uma vez que essa espécie apresenta sementes com tegumento muito duro e impermeável. No caso da mucuna-preta, o decréscimo observado deveu-se a problemas não identificados, que causaram a morte de plantas, possivelmente por com-

TABELA 4. Densidade radicular dos adubos verdes a duas distâncias das plantas e em três profundidades.

Horizonte prof. (cm)	Adubo verde									Média
	Caupi	Júncea	C. paulina	Lab-lab	F.-b.-ceará	F.-porco	Guandu	M. preta		
5cm de distância										
Ap1	0-11	1,23Ad	4,16Aa	3,18Aab	2,26Abcd	1,97Abcd	1,15Ad	2,78Abc	1,40Acd	2,27
Ap2	11-21	1,27A	1,03B	1,04B	1,38AB	1,48A	1,09A	1,50A	1,15A	1,24
B21	21-32	0,86A	0,71B	0,97B	0,75B	1,11A	0,77A	1,53A	0,90A	0,95
15cm de distância										
Ap1	0-11	0,83	2,56	1,87	1,36	1,81	1,91	1,95	1,16	1,59A
Ap2	11-21	1,22	1,82	1,67	1,40	1,37	1,25	1,82	1,44	1,50A
B21	21-32	0,73	0,59	0,98	0,90	0,97	1,80	1,27	0,89	0,89B

Para uma mesma distância, médias seguidas por letra maiúscula diferente, na coluna, e médias seguidas por letra minúscula diferente, na linha, diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Student-Newman-Keuls, a 5% de probabilidade.

TABELA 5. Produção de biomassa aérea, estande e ciclo das leguminosas, por ocasião do florescimento.

Adubo verde	MV	MS	ST	CAF
	—t.ha ⁻¹ —		%	Dias
F.Porco	26,8c	5,3e	96,7b	90
Lab Lab	29,4c	7,1d	97,8b	159
C.júncea	52,3a	16,1b	102,2b	111
M.Preta	26,9c	9,1c	56,7c	145
C.Paulina	45,8a	5,1e	95,6b	159
Guandu	51,9a	17,9a	90,0b	181
Caupi	14,5d	4,1e	97,8b	48
F.-b.-ceará	37,8b	7,4d	147,2a	173
C.V.(%)	10,15	9,07	9,68	-

MV=massa verde; MS=massa seca; ST=percentagem relativa de estande; CAF=ciclo até florescimento.

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Student-Newman-Keuls, a 5% de probabilidade.

petição entre elas. Neste caso, parece que um estande menor seja mais adequado. Para as demais espécies, os resultados mostram um estande homogêneo durante o ciclo.

Com relação à imobilização de nutrientes (Tabela 6) na parte aérea das plantas, observa-se que o caupi foi a leguminosa que apresentou, sempre, a menor absorção, com quantidades inferiores às demais. Embora à primeira vista esses resultados possam indicar que essa leguminosa é pouco eficiente na reciclagem de nutrientes, não devendo ser utilizada como adubo verde, outro aspecto deve ser considerado, que é a duração de seu ciclo até o florescimento (CAF). Por este ângulo, essa espécie passa a ser interessante, uma vez que o seu CAF foi de 48 dias. Assim, em determinados sistemas de produção, essa espécie pode ser usada com vantagens, dado o seu CAF precoce e hábito de crescimento determinado, como, por exemplo, em sucessão de culturas (verão + caupi semeado no final do ciclo/inverno).

Por outro lado, o guandu imobilizou as maiores quantidades de K, P e N, sendo a imobilização desses dois últimos nutrientes significativamente superior à das demais leguminosas. Além disso, ele absorveu o equivalente a 75% do Mg absorvido pela crotalária júncea, que absorveu maior quantidade desse nutriente. Esses resultados são devidos, em parte, à capacidade de seu sistema radicular de

TABELA 6. Conteúdo de nutrientes na parte aérea das leguminosas, por ocasião do florescimento.

Adubo Verde	Ca	Mg	K	P	N	C/N
F.-Porco	62,7	11,7c	113,0ab	10,3bc	146,2ed	19,5c
Lab-lab	95,8b	18,6bcd	117,9ab	12,2b	168,2ed	22,0c
C.júncea	83,1bc	30,7a	140 ab	12,9b	252,9b	35,2a
M.-Preta	91,0b	17,0cd	125,5ab	12,8b	191,5c	24,4c
C. Paulina	63,0c	15,6de	147,7a	9,4c	118,2d	22,0c
Guandu	61,6c	22,6b	180,7a	20,9a	336,2a	29,4b
Caupi	28,9d	10,7e	56,4b	5,7c	066,6e	32,3ab
F.-b.-ceará	150,5a	21,2bc	150,6a	14,0b	174,3cd	21,3c
C.V.(%)	14,18	12,49	25,99	20,58	14,59	10,20

Ca = conteúdo de cálcio; Mg = conteúdo de magnésio;

K = conteúdo de potássio; P = conteúdo de fósforo;

N = conteúdo de nitrogênio; C/N = relação carbono nitrogênio.

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Student Newman-Keuls, a 5% de probabilidade.

aprofundar-se mais no perfil, explorando maior volume de solo, inclusive numa região inexplorada pelas outras leguminosas. No caso da crotalária júncea, a concentração de suas raízes no horizonte Apl, de maior fertilidade, favoreceu a absorção de nutrientes. Quanto ao Ca, o feijão-bravo-do-ceará absorveu quantidade significativamente superior à das duas outras leguminosas. Com base nesses resultados, o guandu em plantio exclusivo pode ser considerado a leguminosa capaz de reciclar maiores quantidades de nutrientes do solo. Em segundo lugar aparecem a crotalária júncea e o feijão-bravo-do-ceará, com desempenhos semelhantes, seguidos pela mucuna-preta e pelo lab-lab, depois pelo feijão-de-porco e crotalária paulina, e, ocupando a última colocação, o caupi. O desempenho do feijão-de-porco na absorção de nutrientes neste trabalho pode ser considerado inferior ao observado por De-Polli & Chada (1989).

A capacidade das leguminosas de absorverem os nutrientes e imobilizá-los seguiu a mesma tendência no que se refere à produção de biomassa. Embora uma espécie imobilize grande quantidade de nutrientes em sua biomassa, isso não significa que esses nutrientes estarão prontamente disponíveis à cultura subsequente. Desse modo, a crotalária júncea e o caupi, com relação C/N mais larga, são as leguminosas que provavelmente irão liberar os nutrientes mais lentamente, seguidas do guandu. De

qualquer maneira, apenas parte dos nutrientes absorvidos serão liberados para a cultura subsequente à adubação verde. Ainda que essas situações ocorram, o guandu continua sendo a espécie mais promissora, especialmente pelas grandes quantidades de P e N imobilizadas, que são os nutrientes mais limitantes da produção na maioria das regiões do País. Entretanto, a escolha de uma espécie de adubo verde vai depender de outros fatores, tais como: o período disponível para ocupação do solo, as culturas associadas, a disponibilidade de sementes etc. Como exemplo, cita-se o caso do guandu. Embora essa leguminosa tenha apresentado melhor desempenho, fica difícil associá-la a um sistema de produção de culturas em sucessão dentro de um mesmo ano agrícola, em que o feijão-de-porco ou o caupi podem substituí-lo com vantagem. Por outro lado, num sistema de rotação de culturas, o guandu pode ocupar parte do terreno por determinado período, podendo, inclusive, servir como banco de proteínas para o gado, em algum momento.

CONCLUSÕES

1. O feijão-de-porco destacou-se quanto à velocidade inicial e percentagem de cobertura do solo.
2. O guandu destacou-se como a espécie de maior potencial para recuperação de solo.
3. As crotalárias e o caupi se mostraram como as espécies mais sensíveis à compactação do solo, concentrando os seus sistemas radiculares mais na superfície.
4. A produção de biomassa seca e o acúmulo de nutrientes pela parte aérea, de modo geral, foram maiores no guandu, seguido pela crotalária júncea.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, R. C. **Potencialidades de adubos verdes para conservação e recuperação de solos**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1993. 112p. Tese de Doutorado.
- AMADO, T. J. C.; ALMEIDA, E. X.; DALL'AGNOL, I.; MATOS, A. T. **Determinação da cobertura do solo por adubos verdes**. Florianópolis: EMPASC, 1987. 6p. (Pesquisa em Andamento, 78).
- AMADO, T. J. C.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa do manejo do resíduo cultural de soja na redução das perdas de solo por erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, p.251-257, 1989.
- ARIHARA, J.; AE, N.; OKADA, K. Root development of pigeonpea and chickpea and its significance in different cropping systems. In: JOHANSEN, C.; LEE, K.; SAHRAWAT, K.L. (Eds.). **Phosphorus nutrition of grain legumes in the semi-arid tropics**. Patancheru: ICRIASAT, 1991. p.183-194.
- BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, v. 21, p. 73-85, 1974.
- BRANDÃO, S. Adubação verde. **Revista Ceres**, v.1, p. 483-495, 1940.
- CARSKY, R. J.; REID, W. S.; SUHET, A. R.; LATHWELL, D. J. Screening legume green manures as nitrogen sources to succeeding nonlegume crops. **Plant Soil**, v. 128, p. 275-282, 1990.
- COSTA, M. B. B. (Coord.) **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1992. 346p.
- DECHEN, S. C. F.; LOMBARDI NETO, F.; CASTRO, O. M. Gramíneas e leguminosas e seus restos culturais no controle de erosão em Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 5, p.133-137, 1981.
- DE-POLLI, H.; CHADA, S. S. Adubação verde incorporada ou em cobertura na produção de milho em solo de baixo potencial de produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.13, p.287-293, 1989.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979.
- GODEFROY, J. Observations de l'enracinement du stylosanthes, de la crotalaire et du flemingia dans un sol volcanique du Cameroun. **Fruits** v.43, p.79-86, 1988.
- JOHNSON, C. M.; ULRICH, A. Analytical methods for use in plant analysis. **California Agricultural Experiment Station, Bulletin**, n.766, p.27-33, 1959.
- McVAY, K. A.; RADCLIFF, D. E.; HARGROVE, W. L. Winter legume effects on soil properties and nitrogen fertilizer requirements. **Soil Science Society American Journal**, v.53, p.1856-1862, 1989.

- MIYASAKA, S.; FREIRE, E. S.; MASCARENHAS, H. A. A.; NERY, C.; CAMPANA, M.; SORDI, G. Efeito da adubação verde com uma gramínea e quatro leguminosas sobre a produção do feijoeiro "da seca", em Terra-Roxa-Misturada. *Bragantia*, v.25, p.277-289, 1966.
- PERFECT, E.; KAY, B. D.; LOON, W. K. P. VAN; SHEARD, R. W.; POJASOK, T. Factors influencing soil structural stability within a growing season. *Soil Science Society American Journal*, v.54, p.173-179, 1990.
- PINON, A.; CHAMPANHET, F. Essai d'introduction d'une rotation avec des plantes fourragères améliorantes en monoculture d'ananas. *Fruits*, v.43, p.275-286, 1988.
- SOUZA, D. F. A adubação verde e o problema dessa prática na lavoura canavieira paulista. Piracicaba: ESALQ-USP, 1953. 47p. Tese de Doutorado.
- STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. *Principles and procedures of statistics*. 2. ed. New York: Mc Graw-Hill, 1980. 438p.
- TENNANT, D. A. Test of a modified line intersect method of estimating root length. *Ecology*, v. 63, p.995-1001, 1975.
- TRANI, P. E.; BULIZANI, E. A.; BRAGA, N. R. *Adubação verde*. Campinas: CATI, 1989. 13p. (Boletim Técnico, 197).
- WEAVER, J. E.; ZINK, E. Annual increase of underground materials in three range grasses. *Ecology*, v.27, p.115-127, 1946.