

JOÃO BATISTA SILVA ARAUJO

**ADUBAÇÃO VERDE COM LEGUMINOSAS EM COMPLEMENTAÇÃO À  
ADUBAÇÃO ORGÂNICA OU MINERAL EM CAFEEIROS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2012

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

A663a  
2012

Araujo, João Batista Silva, 1960-

Adubação verde com leguminosas em complementação à  
adubação orgânica ou mineral em cafeeiros / João Batista  
Silva Araujo. – Viçosa, MG, 2012.

xi, 85f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui anexo.

Orientador: Ricardo Henrique Silva Santos.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Adubação verde. 2. Nitrogênio. 3. *Crotalaria juncea*.  
4. *Ceanothus ensiformis*. 5. *Coffea arabica*. I. Universidade  
Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22, ed. 631.874

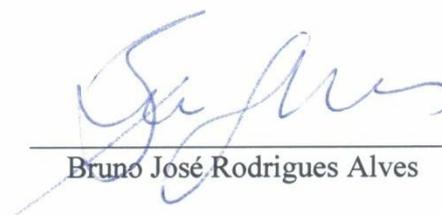
JOÃO BATISTA SILVA ARAUJO

**ADUBAÇÃO VERDE COM LEGUMINOSAS EM COMPLEMENTAÇÃO À  
ADUBAÇÃO ORGÂNICA OU MINERAL EM CAFEEIROS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 05 de julho de 2012.

  
Segundo Urquiaga

  
Bruno José Rodrigues Alves

  
Hermínia Emília Prieto Martinez  
(Coorientadora)

  
Paulo Roberto Cecon  
(Coorientador)

  
Ricardo Henrique Silva Santos  
(Orientador)

Aos meus pais Terezinha e João Batista, pelo amor incondicional, incentivo, compreensão e apoio em todos os momentos de minha vida; às minhas filhas Ayana, Maria, Giovana, Daniela e Júlia por serem filhas e amigas, por fazerem a distância parecer pequena; e à minha amada Rita pela partilha, amor e infinita paciência.

DEDICO

## **AGRADECIMENTOS**

Aos professores Ricardo, Herminia e Paulo pela orientação, pelo incentivo na superação dos obstáculos, minha sincera gratidão.

Aos amigos, em especial aos da Agroecologia, e a todos que contribuíram para a realização desse trabalho, agradeço de coração.

A todos os colegas e amigos do INCAPER que sempre ajudaram apoiaram em diversas situações, agradeço de coração.

À FAPES pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao INCAPER pela liberação para o curso de doutorado.

## **BIOGRAFIA**

JOÃO BATISTA SILVA ARAUJO, filho de Terezinha Silva Araujo e João Batista Araujo, nasceu no dia 30 de março de 1960, no município de Campanha, Minas Gerais.

Concluiu a graduação em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal de Viçosa no ano de 1984. Em 2004, concluiu o curso de Mestrado em Fitotecnia na Universidade Federal de Lavras.

Atuou como professor de Agricultura no Centro Integrado Rural de Boa Esperança, Espírito Santo, de 1984 a 1995. Desde 1995 atua como pesquisador voltado para o tema agroecológico, no Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural do Espírito Santo.

Em 2008, iniciou o curso de doutorado em Fitotecnia, com área de concentração em Agroecologia, na Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o 2012.

## SUMÁRIO

	RESUMO.....	viii
	ABSTRACT.....	x
1	Introdução geral.....	1
1.1	Bibliografia.....	4
2	Capítulo 1 - Adubação nitrogenada de cafeeiros com composto e biomassa de crotalária.....	7
2.1	Resumo.....	7
2.2	Introdução.....	8
2.3	Materiais e métodos.....	12
2.3.1	Localização e descrição do experimento.....	12
2.3.2	Produção de crotalária marcada ( $^{15}\text{N}$ -Cj) e crotalária comum (Cj).....	13
2.3.3	Decomposição da crotalária e mineralização do nitrogênio.....	14
2.3.4	Adubação dos cafeeiros.....	15
2.3.5	Avaliação de crescimento.....	17
2.3.6	Colheita.....	18
2.3.7	Características do solo.....	19
2.3.8	Amostragem dos cafeeiros.....	19
2.3.9	Análises estatísticas.....	19
2.4	Resultados.....	20
2.4.1	Decomposição da crotalária.....	20
2.4.2	Crescimento.....	21
2.4.3	Produção.....	23
2.4.4	Características do solo.....	23
2.4.5	Teores foliares de N nas datas de amostragem.....	25
2.4.6	N derivado do adubo verde (N-leg).....	27
2.4.6.1	Efeito da Abubação com crotalária marcada em janeiro/2010.....	27
2.4.6.2	Efeito da Abubação com crotalária marcada em dezembro/2010.....	29
2.5	Discussão.....	30
2.5.1	Decomposição da crotalária.....	30
2.5.2	Crescimento.....	30
2.5.3	Análise de solo.....	33
2.5.4	Teores foliares de N.....	35
2.5.5	Teores foliares de $^{15}\text{N}$ .....	36
2.5.5.1	Avaliação no primeiro ano de crescimento (abril e junho/2010).....	36
2.5.5.2	Avaliação no segundo ano de crescimento (dezembro/2010 abril/2011).....	38
2.6	Conclusões.....	39
2.7	Bibliografia.....	40
3	Capítulo 2 - Adubação nitrogenada de cafeeiros com biomassa de feijão-de-porco.....	44
3.1	Resumo.....	44
3.2	Introdução.....	45
3.3	Materiais e métodos.....	48
3.3.1	Localização e descrição do experimento.....	48
3.3.2	Adubações de cobertura ou pós plantio.....	49
3.3.3	Produção de FP marcado ( $^{15}\text{N}$ -FP) e FP comum (FP).....	50
3.3.4	Avaliação de crescimento.....	52
3.3.5	Colheita de café.....	53

3.3.6	Características do solo.....	53
3.3.7	Teor de N-total e N-leguminosa nos cafeeiros.....	53
3.3.8	Análises estatísticas.....	54
3.4	Resultados.....	54
3.4.1	Crescimento e produção.....	54
3.4.2	Teores foliares de N-total.....	58
3.4.3	Percentual de N-leg do FP aplicado no primeiro ano (dezembro/2009)...	58
3.4.4	Efeito da aplicação de FP no ano 2.....	59
3.5	Discussão.....	59
3.5.1	Crescimento.....	59
3.5.2	Produtividade.....	60
3.5.3	Características do solo.....	62
3.5.4	Teores de N-total.....	64
3.5.5	Percentuais de N-leg em cafeeiros adubados com FP em dez/2009.....	66
3.6	Conclusões.....	69
3.6	Bibliografia.....	69
4	Considerações finais.....	73
	Anexos.....	75

## RESUMO

ARAÚJO, João Batista Silva, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2012. **Adubação verde com leguminosas em complementação à adubação orgânica ou mineral em cafeeiros.** Orientador: Ricardo Henrique Silva Santos. Coorientadores: Hermínia Emília Prieto Martinez e Paulo Roberto Cecon.

A reciclagem de nutrientes por meio da adubação orgânica e a Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) pelas leguminosas podem contribuir para a adubação no sistema produtivo. No entanto a resposta do cafeeiro a estes adubos é pouco estudada. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de massa de *Crotalaria juncea* sobre o crescimento e a absorção de N-leguminosa por cafeeiros adubados com diferentes doses de composto orgânico; e avaliar o efeito da aplicação de massa de feijão-de-porco (FP) sobre o crescimento e a absorção de N-leguminosa por cafeeiros fertilizados com N mineral. Dois experimentos foram conduzidos na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa-MG e implantados em fevereiro/março de 2009 com o cv. Oeiras. As leguminosas foram cultivadas com ou sem enriquecimento com  $^{15}\text{N}$ . As leguminosas marcadas foram cultivadas em vasos com sulfato de amônio enriquecido com 2% de átomos em excesso de  $^{15}\text{N}$ . O Experimento-1 (Exp-1) foi em esquema fatorial 4x2 e o delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. Os cafeeiros foram cultivados em condições de campo e adubados com composto orgânico nas doses de N a 25%, 50%, 75% e 100% da recomendada, e com zero e 450 g/planta de matéria seca de *C. juncea*. A Crotalária foi aplicada sob a copa dos cafeeiros em dois anos seguidos. A crotalária marcada foi aplicada em microparcelas com duas plantas de cafeeiros. No Experimento-2 (Exp-2), o delineamento foi em blocos casualizados, com seis tratamentos e quatro repetições. O cultivo foi em vasos de 60 L. As doses de FP foram 146 g/vaso (FP-1) e 584 g/vaso (FP-2) de matéria seca por ano. Os tratamentos foram: 1) 100% de adubação mineral (100-AM); 2) 30% de adubação mineral (30-AM); 3) 30-AM +  $^{15}\text{N}$ -FP-1 no Ano 1; 4) 30-AM +  $^{15}\text{N}$ -FP-2 no Ano 1; 5) 30-AM +  $^{15}\text{N}$ -FP-1 no Ano 2; 6) 30-AM +  $^{15}\text{N}$ -FP-2 no Ano 2. As quantidades de N na dose 100% nos dois experimentos corresponderam a 30 e 21 g/planta, nas adubações de 1º e 2º anos, respectivamente. Avaliou-se o crescimento vegetativo em altura, diâmetro da copa, número de ramos, número de nós por ramo e número de folhas por ramo. Avaliou-se a produtividade de café e a qualidade em relação à peneira; os teores foliares de N e o

percentual foliar de N derivado das leguminosas (N-FP e N-Cj) no cafeeiro e em quatro datas; a meia vida da matéria seca e do N remanescentes da crotalária; e os teores de nutrientes no solo. No Exp-1, o cafeeiro apresentou maior crescimento com o aumento das doses de composto ou com a crotalária, após o início da fase reprodutiva; houve resposta positiva aumento das doses de composto em todas as variáveis do solo; tanto o composto quanto a crotalária aumentaram os teores foliares de N nos cafeeiros; os percentuais foliares de N derivado da crotalária aplicada em Jan/2010 diminuíram de 9,96% para 6,08% com o aumento das doses de composto, porém com a crotalária aplicada em Dez/2010 os teores foram de 17,93% e independentes da dose de composto. O  $t_{1/2}$  do N da crotalária foi de 32,4 dias. No Exp-2, até 20 meses após a implantação, o cafeeiro não apresentou resposta à adubação; os percentuais foliares de N derivado do FP em abril-junho/2010 foram de 4,68% e 18,65% nas doses respectivas de 148 e 584 g/vaso. Até o florescimento o cafeeiro não apresenta aumento da produção em resposta à complementação do composto com a parte aérea de *C. juncea*. O aumento das doses de composto promove a elevação do pH, P, K, Ca, Mg, soma de bases, CTCefetiva, saturação de bases e matéria orgânica, e redução da acidez potencial. A aplicação de crotalária permite a complementação do composto orgânico no fornecimento de N. O teor foliar de N-Cj independe da dose de composto, com a crotalária aplicada ao cafeeiro cerca de dois meses após o composto. A complementação da adubação mineral com a parte aérea de FP promove aumentos de  $Ca^{2+}$ , soma de bases, CTC efetiva, matéria orgânica e produtividade do cafeeiro em relação à adubação mineral exclusiva. A parte aérea de FP pode atender parcialmente a necessidade de N pelo cafeeiro e a absorção de N do FP é proporcional a dose fornecida.

## ABSTRACT

ARAUJO, João Batista Silva, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2012. **Green manuring with legumes to complement organic or mineral fertilization on coffee crop.** Adviser: Ricardo Henrique Silva Santos. Co-advisers: Herminia Emília Prieto Martinez and Paulo Roberto Cecon.

The recycling of nutrients through organic manure and Biological Nitrogen Fixation (BNF) by legumes, contribute to the productive system. However, coffee response to these fertilizers is scarce. The objective of this study was to evaluate the effect of *Crotalaria juncea* (CJ) on growth and N-legume uptake by coffee trees fertilized with different doses of organic compost; and to evaluate the effect of jack bean (FP) on growth and N-legume uptake by coffee tree. Two experiments were conducted at Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG and deployed in February/March 2009 with cv. Oeiras. Legumes were grown with or without enrichment with  $^{15}\text{N}$ . Legumes  $^{15}\text{N}$  labeled were grown in pots fertilized with ammonium sulphate enriched with 2%  $^{15}\text{N}$  a.e. ( $^{15}\text{N}$ -CJ and  $^{15}\text{N}$ -FP). In Experiment-1 (Exp-1) was a randomized block design in a 4x2 factorial scheme with four replicates. Coffee plants were grown under field conditions and fertilized with organic compost at 25%, 50%, 75% and 100% of recommended N, and CJ at doses of 0 and 450 g of dry matter per plant. Sun hemp was applied in two consecutive years under the canopy of coffee trees. The labeled sun hemp was applied in micro plots with two coffee plants. Experiment-2 (Exp-2) was in randomized block design with six treatments, and four replicates. Crops were grown in pots of 60 liters. FP dry matter was applied at rates of 146 g (FP-1) and 584 g (FP-2) per pot on two years. The treatments were: 1) 100% of mineral fertilizer (100-AM), 2) 30% of mineral fertilizers (30-AM), 3) 30-AM +  $^{15}\text{N}$ -FP-1 in year 1; 4) 30-AM +  $^{15}\text{N}$ -FP-2 in year 1; 5) 30-AM +  $^{15}\text{N}$ -FP-1 in year 2; 6) 30-AM +  $^{15}\text{N}$ -FP-2 in year 2. The amounts of N at 100% AM in both experiments corresponded to 30 and 21 g/plant, post-planting fertilization in the first and second year respectively. We evaluated the vegetative growth in height, diameter, number of branches, number of nodes per branch and number of leaves per branch. We evaluated the productivity and quality of coffee in relation to sieve; foliar N and percentage of N derived from legume (N-leg) in coffee leaf in April-June-December/2010 and April/2011, the half-life of dry matter and N remaining in sun hemp, and nutrient levels in soil. In Exp-1, coffee plants had a higher

growth with increasing doses of compost or sun hemp; there was a positive response to increasing doses of the compost in all soil variables; both the compost as crotalaria increased foliar N in trees; the foliar concentrations of N-leg of CJ applied Jan/2010 decreased from 9.96% to 6.08% with increasing doses of compost, but with CJ applied Dec/2010 levels were 17.93% and independent of the dose of compost. The  $t_{1/2}$  of sun hemp N was 32.4 days. In Exp-2, until 20 months after implantation, coffee plants showed no differential response to mineral fertilization compared to mineral fertilizer supplemented with FP; the average foliar concentrations of N-leg of the FP in April-June/2010, were 4.68% and 18.65% in respective doses of 148 and 584 g/pot. At flowering, coffee plants have not increased production in response to supplementation of the compost with CJ shoots. Increased doses of compost promotes elevation of pH, P, K, Ca, Mg, sum of bases, effective CEC, base saturation and organic matter, and reduction of potential acidity. The sun hemp allows complementation of the organic compost in N supply. Foliar N-leg independent of compost doses, with sun hemp applied to coffee plants about two months after the compost. The completion of mineral fertilizer with FP shoot promoted increases in Ca<sup>2+</sup>, sum of bases, effective CEC, organic matter and coffee yield in relation to exclusive mineral fertilization. Fertilizer with FP shoot may partially meet the need for N by coffee plants, and the N-leg are proportional to the given dose.

## 1 - INTRODUÇÃO GERAL

O nitrogênio é um nutriente exigido em grande quantidade pelos cafeeiros, com custos correspondentes a 36% dos insumos e 13% do custo total de produção (Agriannual, 2010). O consumo energético na produção de fertilizantes responde por 1,2% do total mundial, sendo que mais de 90% desse gasto é para a fabricação de fertilizante nitrogenado que, por ser dependente de combustíveis fósseis, gera a necessidade de aumentar a eficiência dos processos industriais, como também de buscar alternativas de fontes renováveis (Bernstein & Roy, 2007).

A reciclagem de matéria orgânica e a adubação verde com leguminosas são alternativas que permitem a obtenção do nitrogênio de forma sustentável. A compostagem é uma das formas de reciclagem de matéria orgânica que, porém, exige a manipulação de grandes volumes de biomassa. A adubação verde com leguminosas permite a produção de biomassa *in loco* e possibilita a redução do aporte externo de N. Por essa razão a associação de adubos como o composto e a adubação verde pode contribuir para a sustentabilidade do processo produtivo visando atender as exigências nutricionais dos cafeeiros.

Apesar de existirem trabalhos sobre adubação verde com cafeeiros, existem poucos que abordam a sincronização de tal processo. A quase totalidade dos trabalhos apresenta épocas pré-fixadas de corte, sem considerar o ciclo de desenvolvimento do cafeeiro. A sincronia entre época de plantio, o tempo de consórcio e o estágio de maior resposta do cafeeiro, poderia possibilitar a adubação verde com leguminosas e o consequente fornecimento de nitrogênio à cultura.

A quantidade de N fornecida pelos adubos verdes ao cafeeiro é bastante variável e decorrente das diversas densidades de semeadura, do espaçamento entre linhas dos cafeeiros e do tempo de consórcio. Encontram-se na literatura contribuições de N pelas leguminosas de 444 kg ha<sup>-1</sup> pela crotalária na soma de dois cortes (Ricci et al., 2005); de 59, 197, 165 e 183 kg ha<sup>-1</sup> com guandu em cortes aos 120, 150, 180 e 210 dias após a semeadura, respectivamente (Araujo e Balbino, 2007); e de 2,35; 23,59; 47,24 e 71,52 kg ha<sup>-1</sup> com feijão-de-porco cortado aos 30, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (Barrella, 2010). Obviamente, há uma discrepância em relação à contribuição total de N acumulado pelas leguminosas para o agroecossistema, os quais são influenciados pelas diversas variáveis do consórcio.

Essas variáveis incluem aspectos tais como o corte no florescimento (Bergo et al., 2006; Paulo et al., 2006) ou a antecipação da idade de corte (Araujo e Balbino, 2007; Barrela, 2010); a aplicação de cortes sucessivos, aproveitando a rebrota após cada corte (Ricci et al., 2005; Araujo e Balbino, 2007); diferentes densidades de plantio para uma mesma leguminosa (Bergo et al., 2006; Barrela, 2010); a época de semeadura com relatos nos meses de outubro (Araujo e Balbino, 2007; Barrela, 2010), novembro (Ricci et al., 2005), dezembro (Barrela, 2010) e janeiro (Theodoro et al., 2009). Nos diversos trabalhos observados, encontram-se valores superestimados do acúmulo de N nas leguminosas, ocorrem variações no espaçamento, idade e variedade dos cafeeiros e indicam uma grande complexidade no consórcio e a necessidade de aprofundar o estudo visando à melhor resposta do cafeeiro as diversas variáveis.

Tendo em vista que o adubo verde é cultivado para beneficiar o cafeeiro, é necessário que os estudos sejam aprofundados para solucionar problemas existentes no consórcio. Para isso as diversas variáveis relativas ao manejo do cafeeiro e da leguminosa devem ser estudadas, visando conhecer o potencial de contribuição da matéria orgânica produzida.

A resposta do cafeeiro à adubação está relacionada aos estádios de desenvolvimento dos frutos que são: chumbinho, expansão rápida, crescimento suspenso, granação e maturação (Rena et al., 2001; Laviola et al., 2008). Na fase reprodutiva do cafeeiro, os frutos são os drenos preferenciais com grande acúmulo de matéria seca. A taxa de acúmulo de N nos frutos observada por Fenilli et al. (2007b) foi crescente até o 6º mês após a antese, seguida de um acúmulo com taxas decrescentes até a colheita.

A grande quantidade de N drenado para os frutos atinge 8,5% a 47,8% do total acumulado na parte aérea do cafeeiro (Fenilli et al., 2007b). O acúmulo nos frutos é diferente em função dos estádios de desenvolvimento podendo representar 36% na fase de expansão rápida, entre dezembro e janeiro, e 47% na fase de granação, entre fevereiro e abril (Laviola et al., 2008).

Fenilli et al. (2007b) observaram recuperação do N-fertilizante na parte aérea do cafeeiro de 71,3%, 42,9% e 20,7% aos 182, 243 e 366 dias após a antese, respectivamente, correspondendo às épocas de maior taxa de acúmulo nos frutos seguida da perda de N pela queda de folhas e exportação dos frutos até a antese posterior. De forma semelhante, Laviola et al. (2008) identificaram que a Taxa Máxima

de Acúmulo Diário (TMAD) de N em frutos, a 720 m de altitude, em Martins Soares, MG, ocorreu aos 134 dias após a antese, correspondendo à data de 22 de fevereiro. Essa data corresponde ao estágio inicial da granação que apresenta grande acúmulo de N, porem com taxas decrescentes até a colheita (Laviola et al., 2008). Neste caso, visando à sincronia da adubação verde com a necessidade de N pelo cafeeiro, é possível supor que a aplicação da leguminosa deva ocorrer antes de 182 dias após a antese.

Como a adubação deve estar sincronizada com a necessidade do cafeeiro, pode-se supor que o adubo verde deverá ser cortado até o final do mês de fevereiro, liberando N no estágio de granação. Cortes antecipados no mês de dezembro permitiriam o fornecimento de N durante o estágio de expansão rápida quando as taxas de acúmulo de N tendem a ser crescentes.

O emprego de isótopos estáveis tem sido utilizado para quantificar o N fixado biologicamente e também a sua transferência para as culturas de interesse (Boddey et al., 2000; Azam et al., 2003). Para a avaliação da resposta ao fornecimento de N por leguminosas, estudos que empregam técnicas isotópicas por meio do isótopo  $^{15}\text{N}$  são utilizados para determinar o destino do N e sua contribuição para a cultura (Silva *et al.*, 2006; Ambrosano et al., 2011). O enriquecimento isotópico é um procedimento que permite aumentar a concentração de  $^{15}\text{N}$  acima de sua abundância natural e desse modo utilizar o  $^{15}\text{N}$  como traçador isotópico (Silva et al., 2006). Os adubos verdes são cultivados com fertilizante enriquecido em  $^{15}\text{N}$  para alcançar a marcação desejada de modo que permita enriquecer o solo e obter uma informação precisa sobre a dinâmica do N no sistema solo-planta. (Ambrosano *et al.*, 2003). Para a estratégia de marcação é importante que adubos verdes cresçam em ambiente controlado, visando à inibição da fixação biológica e uma boa absorção do  $^{15}\text{N}$ -fertilizante para alcançar a marcação desejada (Ambrosano *et al.*, 2003).

Pouco se conhece sobre a eficiência na absorção do N-leguminosa na adubação verde em cafeeiros, expressa pela proporção entre a quantidade de N aplicado e o que foi absorvido pela cultura. De maneira geral o percentual de N derivado das leguminosas nas diversas culturas é baixo e variável de acordo com as espécies e culturas, atingindo 11% de N derivado de crotalária em folhas de cana (Ambrosano et al., 2011); 14% a 20 de N derivado de leguminosas tardias ou precoces em folhas de videira (Ovalle et al., 2010).

A estimativa da contribuição dos adubos para as culturas com o auxílio da marcação isotópica permite determinar o teor de N derivado do adubo marcado nos tecidos da planta, o total acumulado e o N-fertilizante recuperado pela cultura (Ambrosano et al., 2011).

Existem trabalhos que demonstram a contribuição de leguminosas arbóreas em sistemas agroflorestais (Grossman et al., 2006; Cervantes, 2008) e outros trabalhos estudam a contribuição dos adubos minerais marcados com  $^{15}\text{N}$  para os cafeeiros (Lima-Filho & Malavolta, 2003; Fenilli et al., 2007a; Bruno et al., 2011). Porém não se observam trabalhos com utilização do isótopo  $^{15}\text{N}$  em adubos verdes marcados na cultura cafeeira.

Por ser uma técnica de produção *in loco* do N, a adubação verde pode aumentar a sustentabilidade do sistema produtivo em relação à importação de fontes minerais ou orgânicas de N. A aplicação da marcação isotópica na adubação verde para a cultura do café pode permitir o estudo dinâmica do nitrogênio no agrossistema e o entendimento dos fatores limitantes que dificultam o uso dessa técnica. Por essa razão, buscou-se no presente trabalho estudar o fornecimento de N através de leguminosas ao cafeeiro, visando à complementação de fontes orgânica ou mineral, para a nutrição do cafeeiro.

## 1.1 - BIBLIOGRAFIA

- AGRIANUAL: **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: Instituto FNP, 2010. p. 228.
- AMBROSANO, E. J. et al. Nitrogen-15 labeling of *Crotalaria juncea* green manure. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 1, p.181-184, Jan./Mar. 2003.
- AMBROSANO, E. J. et al.  $^{15}\text{N}$ -labeled nitrogen from green manure and ammonium sulfate utilization by the sugarcane ratoon. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 3, p.361-368, Jun. 2011.
- ARAÚJO, J.; BALBINO, J. Manejo de guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) sob dois tipos de poda em lavoura cafeeira. **Coffee Science**, v. 2, n. 1, p. 61-68, jan./jun. 2007.
- AZAM, F.; FAROOQ, S. An Appraisal of Methods for Measuring Symbiotic Nitrogen Fixation in Legumes. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 6 (18): p. 1631-1640, 2003.
- BARRELA, T.P. **Manejo de espécies de leguminosas em cafezal sob cultivo orgânico**. 2010. 105 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

BERGO, L.C. et al. Avaliação de espécies leguminosas na formação de cafezais no segmento da agricultura familiar no Acre. **Acta Amazônica**, v.36, n.1, p.19-24. Março 2006.

BERNSTEIN, L.; ROY, J. Industry. In.: IPCC. International Panel on Climate Change. **Climate change 2007: mitigation of climate change**. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg3/en/ch7s7-4-3-2.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/ch7s7-4-3-2.html)> Acesso em: 16 novembro 2010.

BODDEY, R. M. et al. Use of the  $^{15}\text{N}$  natural abundance technique to quantify biological nitrogen fixation by woody perennials. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. 57: 235–270, 2000.

BRUNO, I. P. et al. Fertilizer nitrogen in fertigated coffee crop: Absorption changes in plant compartments over time. **Field Crops Research**. v. 124, p. 369–377, Dez. 2011.

CERVANTES, C.A. Nitrogen management in coffee–legume agroforestry systems in Costa Rica. In: **Management of agroforestry systems for enhancing resource use efficiency and crop productivity**. FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture. p. 175-184. 2008.

FENILLI, T. A. B. et al. The  $^{15}\text{N}$  isotope to evaluate fertilizer nitrogen absorption efficiency by the coffee plant. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 79, n. 4, dez. 2007a.

FENILLI, T. A. B. et al. Growth, development, and fertilizer- $^{15}\text{N}$  recovery by the coffee plant. **Scientia Agricola**, v.64, n.5, p.541-547, Set./Out. 2007b.

GROSSMAN, J. M. et al. An assessment of nodulation and nitrogen fixation in inoculated *Inga oerstediana*, a nitrogen-fixing tree shading organically grown coffee in Chiapas, Mexico. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 38, n. 4, p. 769–784, Abr. 2006.

LAVIOLA, B. G. et al. Acúmulo em frutos e variação na concentração foliar de NPK em cafeeiro cultivado em quatro altitudes. **Bioscience Journal**, v. 24, n. 1, p. 19-31, Jan./Mar. 2008

LIMA FILHO, O. F.; MALAVOLTA, E. Studies on mineral nutrition of the coffee plant (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí Vermelho): LXIV. Remobilization and re-utilization of nitrogen and potassium by normal and deficient plants. **Brazilian Journal of Biology**, v. 63, n. 3, p. 481-490, Aug. 2003.

OVALLE, C. et al. Estimating the contribution of nitrogen from legume cover crops to the nitrogen nutrition of grapevines using a  $^{15}\text{N}$  dilution technique. **Plant Soil**, v. 334, n. 1, p. 247–259, Set. 2010.

PAULO, E.M. et al. Produtividade do cafeeiro Mundo Novo enxertado e submetido à adubação verde antes e após recepa da lavoura. **Bragantia**, v. 65, n.1, p.115-120. 2006.

RENA, A.B.; BARROS, R.S.; MAESTRI, M. Desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro. In: ZAMBOLIM L. **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, p.101-128, 2001.

RICCI, M.S.F.; ALVES, B.J.R.; MIRANDA, S.C.; OLIVEIRA, F.F. Growth rate and nutritional status of an organic coffee cropping system. **Scientia Agricola**, v.62, n.2, p.138-144. Abr. 2005.

SILVA, E. C. et al. Aproveitamento do nitrogênio ( $^{15}\text{N}$ ) da crotalaria e do milho pelo milho sob plantio direto em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Ciência Rural**, v.36, n.3, p.739-746, Jun. 2006.

THEODORO, V. C. A.; MENDES, A. N. G.; GUIMARÃES, R. J. Resposta de lavouras cafeeiras em transição agroecológica a diferentes manejos de solo. **Coffee Science**, v. 4, n. 1, p. 56-66, jan./jun. 2009.

## 2 - CAPÍTULO 1

### ADUBAÇÃO NITROGENADA DE CAFEEIROS COM COMPOSTO E BIOMASSA DE CROTALÁRIA

#### 2.1 - RESUMO

A reciclagem de nutrientes através da adubação orgânica e a Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) pelas leguminosas, podem permitir a complementação da adubação em sistemas de base agroecológica. No entanto a resposta do cafeeiro a estes adubos é pouco estudada e por isso objetivou-se neste trabalho avaliar o efeito de diferentes doses de composto e *Crotalaria juncea* sobre o crescimento e a produção de cafeeiros e nutrição nitrogenada dos cafeeiros. A adubação orgânica em cobertura foi proporcional a 25%, 50%, 75% e 100% da dose de N recomendada, associada à parte aérea de *C. juncea* na dose de 450 g/planta. A *C. juncea* marcada com  $^{15}\text{N}$  foi cultivada com  $\text{N-NH}_4$  enriquecido com 2% de  $^{15}\text{N}$  e aplicada nos cafeeiros em jan/2010 e dez/2010, em microparcels com duas plantas. Avaliaram-se: o crescimento vegetativo; a produtividade do cafeeiro e a qualidade em relação ao tamanho dos grãos; os teores de nutrientes no solo; e os percentuais de N no cafeeiro derivados da *C. juncea*. Houve efeito significativo sobre as variáveis altura total, altura acima do entrenó marcado e diâmetro de copa. Avaliaram-se os teores foliares de N, o percentual N derivado da crotalária e a decomposição da crotalária. O cafeeiro apresentou maior crescimento com o aumento das doses de composto e com adubação de cobertura com biomassa da parte aérea de crotalária. Não houve resposta do cafeeiro em termos de produtividade e tamanho de grãos, entretanto houve resposta positiva ao aumento das doses de composto em todas as variáveis do solo. No 1º ano o percentual de N derivado da crotalária atingiu 8,5% aos sete meses e 4,1% aos 433 dias após a adubação. No 2º ano foram atingidos 17,9% de N derivado da crotalária no início da colheita, cinco meses após a adubação. O aumento das doses de composto promove a elevação do pH, P, K, Ca, Mg, Soma de bases, CTCefetiva, saturação de bases e matéria orgânica, e redução da acidez potencial. O uso do isótopo  $^{15}\text{N}$  permite a identificação da contribuição do N-leguminosa para o cafeeiro, com percentuais foliares de N derivado de *Crotalaria juncea* de 9,2% a 17,9%.

**Palavras-chave:** *Crotalaria juncea*, adubação verde;  $^{15}\text{N}$ .

## 2.2 - INTRODUÇÃO

A adubação na cafeicultura de base agroecológica deve ser orientada para reduzir a importação de insumos e buscar o melhor aproveitamento dos recursos internos. Nesse sentido, a produção de matéria orgânica com adubação verde e a reciclagem de nutrientes na compostagem são práticas fundamentais. A adubação verde com leguminosas contribui com N fixado biologicamente para as culturas consorciadas (Ovalle et al., 2010) e outros nutrientes contidos na biomassa (Fidalski e Chaves, 2010; Vilela et al. 2011).

Estercos, biomassas, composto e outros materiais orgânicos são utilizados como adubos na cafeicultura, com resultados positivos observados por diversos autores. O composto promove o aumento dos teores foliares de N proporcionalmente ao aumento das doses (Araujo et al., 2007). A adubação de substrato para cultivo de café em vasos com composto, calcário e adubo fosfatado, permite a substituição do N e K na fase de formação de cafeeiros, promovendo crescimento semelhante à adubação mineral em número de nós e ramos, área foliar e matéria seca das folhas, da parte aérea e total (Araujo et al. 2008). A combinação de esterco bovino, cama de aviário ou farelo de mamona, com palha de café e guandu, complementados com fertilizantes foliares, permite produtividade similar ao manejo convencional (Theodoro et al, 2009), indicando que a associação dos adubos orgânicos complementados com fontes minerais pode suprir as necessidades da cultura.

A obtenção do composto ou do esterco pode ser difícil em função da necessidade de grandes volumes. Por isso, a produção das leguminosas *in loco* pode permitir a complementação da adubação pelo ingresso de N-FBN no sistema produtivo. No entanto os resultados das leguminosas utilizadas como adubos verdes em consórcio com cafeeiros são contraditórios. A aplicação da adubação verde permite a complementação da adubação nitrogenada havendo relatos de diversos autores do uso de crotalária na cultura do milho (Silva et al., 2006b), e leguminosas precoces ou tardias na cultura da uva (Ovalle et al., 2010) e crotalária na cultura da cana-de-açúcar (Ambrosano et al., 2011).

Os teores de nutrientes tanto no solo como no cafeeiro são influenciados pelas leguminosas e também variam com as características do sistema de produção. Ricci et al. (2005) observaram menores teores foliares de N em cafeeiros consorciados com crotalária juncea em relação ao cultivo solteiro, apesar de aportes de N acima de 400 kg

ha<sup>-1</sup>. Fidalsky e Chaves et al. (2010) observaram teores foliares de N semelhantes em cafeeiros adubados com a parte aérea de mucuna cinza e sulfato de amônio, porém com leucena, guandu, amendoim forrageiro, braquiária e sorgo forrageiro os teores foram menores.

Têm sido estudados os efeitos do consórcio de leguminosas com adubos verdes na nutrição e produção de cafeeiros e, na maioria dos trabalhos, não se observaram aumentos de produtividade nos resultados relatados. Efeito positivo foi observado por Ricci et al. (2005), com maior altura em cafeeiros consorciados em relação a não consorciados com crotalária, com valores respectivos de 70,1 e 67,5 cm; por Bergo et al. (2006) com *Flemingia congesta* e *Mucuna aterrima* sobre a altura e diâmetro da copa de cafeeiros e de *Flemingia congesta* sobre a produtividade de cafeeiros. Ausência de efeitos de *Crotalaria juncea*, *Crotalaria spectabilis*, mucuna-anã e soja sobre a altura, o diâmetro do caule e a produtividade de cafeeiros em relação à testemunha com adubação mineral foram observados por Paulo et al. (2006), e por Theodoro et al. (2009) do guandu, em complementação a outros adubos orgânicos sobre a produtividade de cafeeiros. Efeitos negativos foram observados por Paulo et al. (2006) do guandu sobre o diâmetro do caule e a produtividade de cafeeiros; por Bergo et al. (2006) do feijão-de-porco sobre a altura, o diâmetro da copa e a produtividade, e do guandu sobre a produtividade de cafeeiros. Todos esses trabalhos apresentam diferenças no manejo das leguminosas que não permitem diferenciar as causas do resultado.

Efeitos conjuntos de disponibilização de nutrientes, principalmente do N, e de competição, decorrentes da consorciação, ocorrem simultaneamente. O manejo pode reduzir a competição e há ainda a necessidade de estudar mais detalhadamente parte do processo com a aplicação de parte aérea de leguminosa crescida em ambiente próximo. Dentre as ações de manejo é comum o corte das leguminosas no florescimento sem levar em conta o estágio de demanda nutricional do cafeeiro (Bergo et al., 2006; Paulo et al., 2006). Quando esses fatores são considerados, o maior tempo de consórcio pode levar à menores produtividades (Barrella, 2010), ou evidenciar que o maior acúmulo de biomassa e N pela leguminosa não necessariamente ocorrem no florescimento (Araujo e Balbino, 2007).

É de se esperar que existam problemas de competição das leguminosas com o cafeeiro e que o manejo seja aperfeiçoado visando maior sincronia em função das exigências do cafeeiro. Nesse sentido Barrella (2010) observou redução da

produtividade de cafeeiros com o aumento do tempo de consórcio, indicando que este é um dos efeitos negativos da competição. Como existem diversos fatores que interferem no consórcio, tais como época de semeadura e corte da leguminosa, espaçamento e densidade de plantio, efeitos alelopáticos etc., é necessário que cada um deles, isolados e em conjunto, sejam estudados.

A aplicação da parte aérea das leguminosas sem a interferência da consorciação, permite que seja estudado seu efeito sobre o cafeeiro e seu potencial fertilizante (Fidalski e Chaves, 2010; Vilela et al. 2011). Fidalski e Chaves et al. (2010) relatam maior altura, volume da copa e produtividade do cafeeiro consorciado com leucena ou mucuna cinza em relação ao adubado com sulfato de amônio. Vilela et al. (2011) verificaram o efeito de mucuna cinza e do amendoim forrageiro em melhorar as condições do solo e fornecer macronutrientes ao cafeeiro, promovendo maior perímetro do caule, número de nós, diâmetro da copa e número de folhas em relação à testemunha. Porém, Fidalski e Chaves et al. (2010) sugerem que os adubos orgânicos podem ser complementados com outras fontes visando a melhor resposta do cafeeiro.

Após o corte e a decomposição da biomassa, tanto da parte aérea quanto da raiz, o N é mineralizado e disponibilizado no solo para as culturas. Ambrosano et al. (2009) cultivaram milho em vasos adubados com a parte aérea ou a raiz de crotalária juncea ou mucuna-preta e relataram acúmulos na parte aérea de milho de 40,0% a 42,4% e N derivado da parte aérea e 4,8% a 5,7% de N derivado da raiz. Esses dados evidenciam que o maior acúmulo de matéria seca e N na parte aérea também se refletem em maior contribuição para a cultura.

Dentre as leguminosas, a crotalária é um adubo verde bastante utilizado com variações na literatura quanto à época e densidade de plantio, tempo de cultivo e produtividade de biomassa. Relatam-se produtividades de *Crotalaria juncea*, cortada aos 75 dias após a semeadura, de 9,77 e 8,61 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca com 169 e 189 kg N ha<sup>-1</sup> (Silva et al., 2006); ou aos 79 dias após a semeadura, de 9,15 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca com 195,8 kg N ha<sup>-1</sup> (Ambrosano et al., 2011). Essas quantidades de N contidas na biomassa indicam o potencial próximo a 9 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca de parte aérea e 190 kg N ha<sup>-1</sup>. Porém, em consórcio com cafeeiro, as produtividades das leguminosas tendem a ser menores porque as duas culturas dividem a área de cultivo.

No entanto são poucos os estudos que quantificam quanto do N presente nos cafeeiros é proveniente das leguminosas. Snoeck et al. (2000) observaram em *Leucaena*

*leucocephala* 52% N derivado da FBN e 42,3% de N derivado dessa leguminosa no cafeeiro. Noutras culturas existem resultados que atestam a contribuição das leguminosas com 45,4% de N derivado da parte aérea de crotalária usada como único adubo e 23,4% a 16,5% quando suplementado com diferentes doses de uréia para a cultura do milho (Silva et al., 2009a), e 14% e 20% de N foliar derivado de leguminosas precoces e tardias, respectivamente, cultivadas em consórcio com a cultura da uva Ovalle et al. (2010).

Estes estudos baseiam-se em técnicas nas quais o enriquecimento isotópico é um procedimento que permite aumentar a concentração de  $^{15}\text{N}$  acima da abundância natural de  $^{15}\text{N}$  do ar. Desse modo é possível utilizar o  $^{15}\text{N}$  como traçador isotópico, usando como estratégia de marcação o cultivo de adubos verdes em ambiente controlado, visando à inibição da fixação biológica e absorção do  $^{15}\text{N}$ -fertilizante para alcançar a marcação desejada (Ambrosano et al., 2003).

Além do aporte de N pela leguminosas, a sincronia deve ser observada em função da demanda pelo cafeeiro. A maior necessidade de N ocorre na primavera-verão, entre os meses de dezembro e março, com acúmulo de mais de 80% de N nos estádios de expansão rápida e granação dos frutos do cafeeiro (Laviola et al., 2008), com respostas positivas da produtividade à adubação nesse período (Bartholo et al., 2003; Fenilli et al., 2007b).

Por essa razão as épocas de corte e a mineralização de N pelas leguminosas devem ocorrer nos estádios de expansão rápida e granação dos frutos do cafeeiro para que o fornecimento de N esteja sincronizado com a demanda. Essa mineralização de N é intensa na fase inicial de decomposição das leguminosas e se reduz ao longo do tempo, atingindo 32% de N liberado nos primeiros 15 dias em quatro leguminosas diferentes (Matos et al., 2011), com tempo de meia vida em ervilhaca de 5,2 dias (Aita & Giacomini, 2003).

Para avaliação de cafeeiros adubados com fertilizantes marcados, os compartimentos que melhor refletem a composição isotópica da planta toda são os frutos, os ramos vegetativos e o caule, porém do ponto de vista prático o melhor é amostrar folhas da porção vegetativa do ramo em produção tanto em relação à concentração de N quanto ao enriquecimento com  $^{15}\text{N}$  (Fenilli et al., 2007a).

Apesar da existência de trabalhos recentes, pouco se sabe sobre o efeito de dose de adubos orgânicos e da complementação com a adubação verde. Na ausência do

consórcio, produzindo a leguminosa em cultivo solteiro e aplicando-se a biomassa no cafeeiro, o potencial da leguminosa como componente da nutrição do cafeeiro pode ser plenamente manifestado e atender parcialmente a demanda dos cafeeiros. Sendo assim, objetivou-se avaliar o crescimento inicial, a produtividade e a absorção de N-leguminosa por cafeeiros adubados com diferentes doses de composto complementadas com a parte aérea de *Crotalaria juncea*.

## 2.3 - MATERIAL E MÉTODOS

### 2.3.1 - Localização e descrição do experimento

O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, localizada a 20°45'14''S e 42°52'53'' W, a 650 m de altitude. A região apresenta inverno frio e seco e verão quente e chuvoso, com temperatura média de 19,4 °C (máxima 26,4 °C e mínima 14,8 °C) e precipitação média de 1.221 mm ano<sup>-1</sup>.

O experimento foi instalado em esquema fatorial 4x2, sendo os fatores quatro doses de esterco ou composto orgânico e duas doses de *Crotalaria juncea*. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições. A adubação orgânica tanto no plantio quanto em cobertura foi calculada em função do teor de N no composto e proporcional a 25%, 50%, 75% e 100% da dose de N. Utilizou-se esterco de galinha no plantio e composto nas adubações de cobertura. A dose de crotalária foi de 450 g de matéria seca por cafeeiro, correspondente a 3,0 Mg ha<sup>-1</sup>, foi aplicada anualmente (Tabela 1).

A implantação do experimento foi em fevereiro de 2009, com mudas de *Coffea arabica* cv. Oeiras plantadas no espaçamento de 2,0 x 0,75 m. Em setembro/2008 o solo apresentava 1,4 dag kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica; pH (H<sub>2</sub>O) 5,2; 8,0 mg dm<sup>-3</sup> de P; 50 mg dm<sup>-3</sup> de K; 2,0 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup> de Ca<sup>2+</sup>; 0,8 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup> de Mg<sup>2+</sup>; 0,3 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup> de Al<sup>3+</sup>; 3,80 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup> de H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>; 2,93 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup> de soma de bases (SB); 3,23 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup> de CTC efetiva (t); 6,73 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup> de CTC potencial (T); 44% de saturação de bases e 32,6 mg L<sup>-1</sup> de P-rem. A análise de solo foi feita de acordo com Silva et al. (2009a).

Para facilitar a abertura das covas foram preparados sulcos espaçados de 2,0 m. Cada cova recebeu 165 g de calcário dolomítico, 286 g de fosfato natural de Gafsa, 30 g de FTE BR 11 mais a adubação orgânica de plantio, com cama de frango nas doses correspondentes aos tratamentos.

Tabela 1. Quantidade de N aplicado com composto e crotalária nos tratamentos, em gramas por cafeeiro, no 1º ano após o plantio e no 2º ano (Produção). Viçosa, MG, 2012

Tratamento		N aplicado					
----- Dose -----		----- 1º Ano -----			----- Produção -----		
Composto (%)	Crotalaria (g/planta)	Composto	Crotalaria	Total	Composto	Crotalaria	Total
		----- (g/planta) -----					
25	0	7,50	0,00	7,50	5,25	0,00	5,25
50	0	15,00	0,00	15,00	10,50	0,00	10,50
75	0	22,50	0,00	22,50	15,75	0,00	15,75
100	0	30,00	0,00	30,00	21,00	0,00	21,00
25	450	7,50	6,03	13,53	5,25	7,85	13,10
50	450	15,00	6,03	21,03	10,50	7,85	18,35
75	450	22,50	6,03	28,53	15,75	7,85	23,60
100	450	30,00	6,03	36,03	21,00	7,85	28,85

Composto: percentual de composto aplicado; Crotalaria: matéria seca da parte aérea de crotalária.

### 2.3.2 - Produção de crotalária marcada ( $^{15}\text{N-Cj}$ ) e crotalária comum (Cj)

**Crotalária comum (Cj).** A crotalária foi cultivada nas condições de campo sem aplicação de corretivos e adubos, no espaçamento de 0,5 m entre linhas com 30 sementes por metro linear. A semeadura no primeiro cultivo foi em 22/11/2009 e a colheita em 25/01/2010 aos 64 dias. O segundo cultivo foi semeado em 05/10/2010 e a colheita foi em 22/12/2010, aos 78 dias. Na colheita, quatro amostras de crotalária foram pesadas, secas em estufa a 65°C até massa constante, para a determinação de umidade e estimativa da biomassa de matéria seca. As amostras foram trituradas em moinho Tipo Wiley, e o N-total foi determinado pelo método Kjeldahl (Miyazawa et al., 2009).

**Crotalária marcada ( $^{15}\text{N-Cj}$ ).** A crotalária marcada foi cultivada no mesmo período que a crotalária comum em caixas de fibra de vidro em casa de vegetação. As sementes foram imersas em hipoclorito a 1% por 5', depois em álcool 70% por 1' e a seguir lavadas com água destilada e semeadas. As caixas tinham capacidade para 500 L e área superior ao nível do substrato de 0,74 m<sup>2</sup>, sendo que cada caixa foi preenchida com 260 L de substrato. O substrato foi composto por uma mistura de areia lavada: vermiculita na proporção 1:1. A adubação do substrato foi de 300 mg dm<sup>-3</sup> de fósforo na forma de Super Simples, 29 mg dm<sup>-3</sup> de K na forma de sulfato de potássio e 130 mg dm<sup>-3</sup> de N na forma de Sulfato de amônio. Os teores de cálcio e magnésio foram corrigidos obedecendo a uma relação 3:1.

O nitrogênio e o potássio foram aplicados em parcelas e as duas primeiras corresponderam à metade das seguintes. A adubação com N e K foi parcelada em oito vezes aos 5, 12, 19, 25, 33, 37, 41 e 57 dias após a semeadura da crotalária. No ano de 2009 a semeadura foi em 24 de novembro e o corte em 25 de janeiro de 2010 aos 62 dias após a semeadura (DAS). No ano de 2010 o parcelamento da adubação com N e K foi aos 6, 16, 25, 36, 44, 52 e 59 DAS. O parcelamento visou evitar o efeito salino sobre plantas em ambiente muito restrito dos vasos. No ano de 2010 a semeadura da crotalária foi em 07 de outubro e o corte em 22 de dezembro, aos 76 DAS. Foram aplicados ao todo 33,3 g de nitrogênio por caixa na forma de sulfato de amônio com 2 % de  $^{15}\text{N}$  a.e.,

Os micronutrientes foram aplicados via solução de Hoagland e Arnon (1950) apud Martinez e Clemente (2011) na seguinte formulação: B = 46  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ; Cu = 0,3  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ; Fe + EDTA = 45  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ; Mn = 12,6  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ; Mo = 0,1  $\mu\text{mol L}^{-1}$  e Zn = 1,3  $\mu\text{mol L}^{-1}$  completando o volume para 1000 mL com água destilada, aplicando-se desta solução 0,5 mL  $\text{dm}^{-3}$  de substrato.

A crotalária foi irrigada duas vezes por dia e o controle de irrigação foi estabelecido em função da drenagem, com aumento da irrigação na ausência de água drenada e diminuição no caso contrário, retornando-se às caixas o volume drenado.

Na colheita, quatro amostras de  $^{15}\text{N}$ -Cj foram pesadas, secas em estufa a 65 °C até biomassa constante, para a determinação de umidade e determinação da biomassa da matéria seca da parte aérea. As amostras foram trituradas em moinho Tipo Wiley e o N-total foi determinado pelo método Kjeldahl (Miyazawa et al., 2009). Após este processo, o material vegetal marcado foi pesado e pulverizado em moinho de rolagem durante 24 horas, e nestas amostras, foi determinado o teor de  $^{15}\text{N}$  com o auxílio do espectrômetro de biomassa Finnigan Mat, modelo Delta plus, no Laboratório de Nitrogênio da Embrapa Agrobiologia.

### **2.3.3 - Decomposição da crotalária e mineralização do nitrogênio**

A decomposição do adubo verde foi avaliada pela perda de biomassa da matéria seca colocada sobre o solo e coberta com telas de 30 x 30 cm e malha de 4 x 4 mm. As telas foram distribuídas no dia 29/01/2010 sob a copa dos cafeeiros com 200 g de matéria verde de crotalária sob cada tela. As amostras foram coletadas aos 0, 3, 7, 12, 18, 25, 32, 40 e 60 dias com quatro repetições para cada data. Após a coleta, as amostras da biomassa remanescente do adubo verde foram limpas para retirar o solo aderido e colocadas para secar a 65 °C em estufa de circulação forçada de ar até atingir massa

constante. Em seguida as amostras foram pesadas, moídas e foi determinado o teor de nitrogênio pelo método Kjeldahl, descrito por Miyazawa et al. (2009).

Para o estudo das taxas de decomposição da matéria seca e da mineralização do nitrogênio do adubo verde utilizaram-se modelos de regressão não lineares, conforme proposto por Wieder & Lang (1982) citados por Aita & Giacomini (2003). O modelo assintótico tem a seguinte equação matemática:

$$\text{MSR ou NR} = A e^{-k_a t}$$

Onde, MSR e NR correspondem à percentagem de matéria seca e nitrogênio remanescentes no tempo  $t$  (dias);  $t$  é o tempo de amostragem de 0 a 60 dias;  $k_a$  é a taxa constante de decomposição da matéria seca e de mineralização de nitrogênio. A MSR em tempo, foi calculada a partir da percentagem de biomassa seca inicial amostrada no tempo zero. O NR em cada tempo foi calculado a partir da relação entre a quantidade de biomassa seca e o teor de nitrogênio obtido em cada tempo.

A partir dos valores da constante de decomposição da MSR ou do NR, calculou-se o tempo de meia vida ( $t_{1/2}$ ), ou seja, o tempo necessário para que 50% da matéria seca ou do nitrogênio daquele compartimento seja mineralizado para o solo. O tempo de meia vida foi calculado pela equação  $(t_{1/2}) = \ln 0,5/k$ , segundo Paul & Clark (1996)

Os dados de precipitação no período de aplicação da crotalária e no período restante do experimento, até a colheita do café, constam na Tabela 1.

Tabela 2. Precipitação no período de jan/2010 a abril/2011 em Viçosa. Viçosa, 2012

Ano	Mês											
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	Set	out	nov	dez
	(mm)											
2010	57,9	45,5	184,8	28,1	35,4	0,9	0,0	0,2	22,8	147,3	393,0	388,6
2011	141,0	119,7	249,2	43,5	1,0	22,7	---	---	---	---	---	---

Fonte: UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - UFV. Departamento de Engenharia Agrícola. **Boletim meteorológico**. Viçosa, 2011.

### 2.3.4 - Adubação dos cafeeiros

**Adubação orgânica de plantio.** A dose 100% de cama de frango no plantio correspondeu a 70 g de N por cova, proporcional a melhor dose obtida por Araujo et al. (2008) no cultivo em vasos de 10 dm<sup>3</sup>. A cama de frango apresentou pH (H<sub>2</sub>O) de 7,69; 52,9% de umidade; relação C/N 10,4; e teores de 20,74 g kg<sup>-1</sup> de carbono orgânico

(CO); 19,9 g kg<sup>-1</sup> de N; 14,4 g kg<sup>-1</sup> de P; 28,8 g kg<sup>-1</sup> de K; 35,3 g kg<sup>-1</sup> de Ca; 6,4 g kg<sup>-1</sup> de S, analisada de acordo com Abreu et al. (2009).

**Adubação de cobertura no 1º ano.** As adubações de cobertura foram realizadas com composto orgânico e aplicadas em dose única. O composto orgânico foi confeccionado com volumes de 60% de capim elefante, 20% palha-de-café e 20% de cama-de-frango. Em novembro/2009 (Figura 1), a dose de 100% de composto na adubação de cobertura correspondeu à recomendação de 30 g de N por planta (Guimarães et al., 1999). O composto apresentou pH (H<sub>2</sub>O) de 9,13; 17,95 de relação C/N; 226,5 g kg<sup>-1</sup> de carbono orgânico (CO); 12,6 g kg<sup>-1</sup> de N; 16,2 g kg<sup>-1</sup> e P; 24,0 g kg<sup>-1</sup> de K; 77,0 g kg<sup>-1</sup> de Ca; 5,2 g kg<sup>-1</sup> de Mg; 4,8 g kg<sup>-1</sup> de S, analisado de acordo com Abreu et al. (2009).

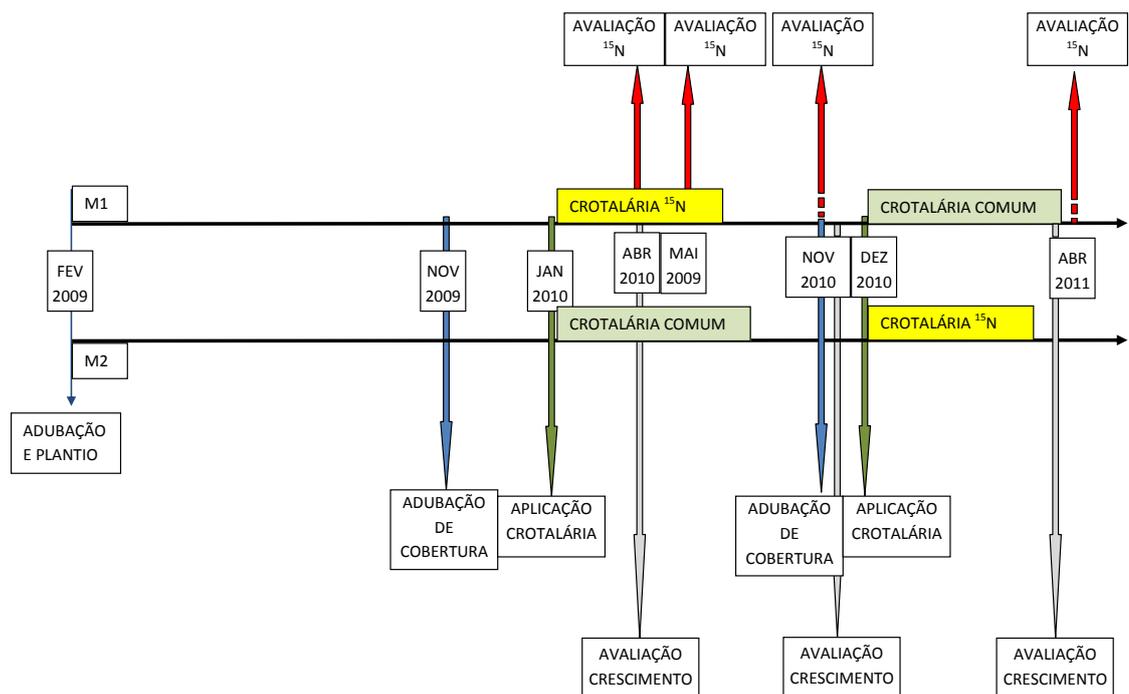


Figura 1. Cronologia da aplicação dos adubos orgânicos de plantio e cobertura, da crotalária comum ou enriquecida com <sup>15</sup>N nas microparcelas nos anos 1 e 2 (M1 e M2) e dos momentos e avaliação. Viçosa, MG, 2012

**Adubação de cobertura no 2º ano.** No segundo ano de crescimento, a dose de 100% de N aplicada em novembro/2010 (Figura 1) foi determinada para uma produtividade esperada de 20 sc/ha (Guimarães et al., 1999), correspondendo a dose de

N de 140 kg/ha ou 21 g/planta. O composto apresentou pH em H<sub>2</sub>O 9,46; 168,3 g kg<sup>-1</sup> de carbono orgânico (CO); relação C/N 8,05; 20,9 g kg<sup>-1</sup> de N; 24,4 g kg<sup>-1</sup> e P; 25,6 g kg<sup>-1</sup> de K; 110,3 g kg<sup>-1</sup> de Ca; 7,6 g kg<sup>-1</sup> de Mg; 7,0 g kg<sup>-1</sup> de S, analisado de acordo com Abreu et al. (2009).

**Aplicação da crotalária.** A crotalária comum foi aplicada nas plantas úteis da parcela. A aplicação de crotalária marcada foi feita em microparcels com dois cafeeiros. Cada microparcela foi cercada com placas de aço galvanizado de 0,5 m de largura, enterrada até a profundidade de 0,45 m, em uma área de 2,0 x 1,5 m. Cada parcela teve duas microparcels, M1 e M2, que receberam crotalária marcada nos anos 1 e 2 respectivamente (Figura 1).

As adubações com a matéria fresca de crotalária foram feitas nos anos de 2009/10 e 2010/11, nas datas respectivas de 29/01/2010 e 21/12/2010 (Figura 1). A crotalária apresentou teor de 13,41 g kg<sup>-1</sup> de N, que forneceu 6,03 g de N por planta e 40,2 kg ha<sup>-1</sup> no 1º ano agrícola. No 2º ano agrícola o teor de N foi de 17,45 g kg<sup>-1</sup> e forneceu 7,85 g de N por planta e 52,3 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Quatro dias antes da adubação coletaram-se quatro amostras de crotalária que foram secas em estufa a 65 °C e pesadas para a determinação da quantidade de matéria seca a ser aplicada. No dia da adubação aplicou-se 90% da dose de 450 g/planta e também se coletou os 10% restantes, que foram secos em estufa a 65 °C juntamente com uma segunda amostra de crotalária para determinação da matéria seca. Quatro dias após, com o segundo resultado de matéria seca, a dose de 90% aplicada foi recalculada e corrigida, aplicando-se o restante da dose de crotalária para completar 100%.

### **2.3.5 - Avaliação de crescimento**

Foi avaliado o crescimento total dos cafeeiros medindo-se a altura total (ALT) e o diâmetro de copa (DC). Também foi avaliado o crescimento da parte superior da copa demarcando-se o segundo entrenó a partir do ápice da planta com uma fita, medindo-se as variáveis de crescimento acima do entrenó demarcado (Figura 2). A avaliação a partir do entrenó demarcado representou o crescimento líquido dos cafeeiros influenciados pelos tratamentos, ao final dos períodos de menor e maior crescimento, abril a novembro (20 meses após o plantio) e novembro a abril (27 meses após o plantio) (Figura 1), respectivamente. Os ramos plagiotrópicos do entrenó demarcado foram avaliados visando evitar erros na escolha aleatória de ramos. A partir do entrenó demarcado foram tomados dados de altura (ALTm), número de ramos plagiotrópicos

(NRPm) e número de nós do ramo ortotrópico (NNOm). Nos dois ramos plagiotrópicos acima do entrenó demarcado mediu-se o comprimento (CRPm), o número de nós (NNPm), o número de nós reprodutivos (NNrR) e número de folhas (NFPm).

**1ª demarcação do entrenó em 12/10/2009.** As avaliações de crescimento foram realizadas em quatro plantas por parcela em 24/04/2010 (Figura 1).

**2ª demarcação do entrenó em 24/04/2010.** Foram demarcadas as sete plantas úteis da parcela. As determinações de ALT, ALTm, NRPm, NNOm e DC foram realizadas em 7/11/10 e em 19/04/11 (Figura 1), e de CRPm, NNPm, NNrRm e FRPm foram realizadas em 20/11/10 e 22/04/11 (Figura 1). Foi calculado o crescimento líquido nos períodos de abril-novembro/2010 e de novembro/2010 a abril/2011 através da subtração dos valores da 2ª avaliação menos os da 1ª, das variáveis NRPm, NNOm e NNP. A partir dos dados de crescimento líquido foi determinado o tempo gasto para a formação dos nós e ramos nos dois períodos. O florescimento do cafeeiro ocorreu em outubro/2010 e a colheita foi realizada em mai-jun/2011 e, portanto, o período avaliado entre novembro/2010 e abril/2011 coincidiu com o período de frutificação, com as determinações feitas no mês seguinte à florada e antes do início da colheita.

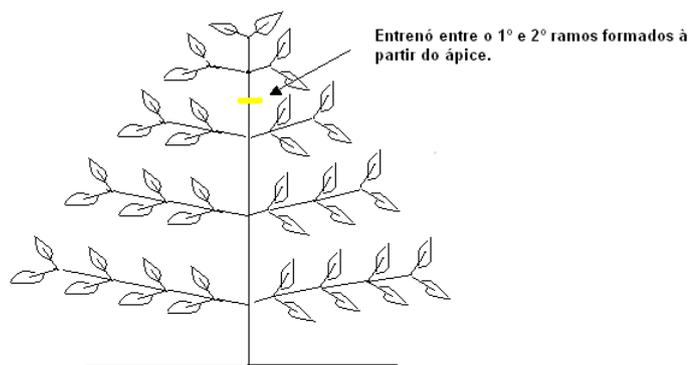


Figura 2. Representação do cafeeiro com demarcação com fita abaixo do 2º nó para avaliação do crescimento. Viçosa, 2012.

### 2.3.6 – Colheita

A colheita foi realizada nos meses de maio-junho/2011, em quatro etapas e nos cafeeiros com mais de 50% de frutos maduros. Após a colheita foi feita a pesagem e a determinação do percentual de frutos bóia em uma amostra de 100 frutos. Amostras de

até 2,0 kg, de cada coleta, foram colocadas em sacos telados, secas na condição ambiente até atingir 12% de umidade e a seguir, pesadas novamente. Ao final da colheita, as amostras de cada parcela foram homogeneizadas e retiradas amostras de 700 g para determinação do café beneficiado, o qual foi classificado quanto ao tipo chato, moca e concha, e à peneira: P>17, P=16 a15, P<15.

### **2.3.7 – Características do solo**

A coleta de solos foi feita em setembro/2011. Foram coletadas amostras simples na projeção da copa dos cafeeiros, e as amostras compostas foram obtidas de sete amostragens, correspondentes às sete plantas úteis de cada parcela. Utilizou-se uma cavadeira para abrir os buracos na projeção da copa e a seguir foram retiradas amostras de 7 cm de largura até 20 cm de profundidade. As análises foram feitas de acordo com Silva et al. (2009a).

### **2.3.8 - Amostragem dos cafeeiros**

Nas parcelas e microparcelas, foram coletadas amostras do 3° ou 4° par de folhas, a partir do ápice do ramo plagiotrópico, inserido no terço médio da planta de café, em abril, junho e dezembro de 2010 e em abril de 2011 (Figura 1). As folhas foram lavadas em água deionizada e colocadas para secar em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até atingir biomassa constante, conforme descrito por Miyazawa et. al (2009). Após este processo, os materiais vegetais foram pesados e moídos em moinho tipo Wiley e passados em peneira (200 mesh). A estimativa da recuperação de N-leg foi obtida pela seguinte equação:

$$\%N - leg = \frac{\%^{15}N \text{ a. e. no café}}{\%^{15}N \text{ a. e. na leg}} \times 100$$

onde o %<sup>15</sup>N a.e. no café representa o percentual de átomos em excesso nas folhas de café e %<sup>15</sup>N a.e. na leg representa o percentual de átomos em excesso nas plantas de crotalária.

### **2.3.9 - Análises estatísticas**

Os dados de crescimento, produção e de solos foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade. A resposta ao fator doses de composto foi interpretada por meio da análise de regressão. O crescimento líquido comparativo de duas épocas de amostragem foi feito utilizando-se o procedimento de análise conjunta. Os teores de N e os percentuais de N-leg foram submetidos à análise de variância, aplicando-se a análise

de regressão para o fator dose de esterco ou composto. As variáveis de decomposição da crotalária foram analisadas através de análise de regressão.

## 2.4 – RESULTADOS

### 2.4.1 - Decomposição da crotalária

Aos 60 dias a matéria seca remanescente da crotalária correspondeu a 66,4% (Tabela 3 e Figura 3) e o  $T_{1/2}$  foi calculado aos 96,3 dias, fora do período de 60 dias em que foi realizado o experimento (Tabela 3). A precipitação no período avaliado foi baixa no mês de fevereiro (Tabela 2), devido ao forte veranico no período. O  $T_{1/2}$  foi de 33,3 dias, correspondente a dois de março. Aos 60 dias, em 29 de março, o N liberado pela crotalária correspondeu a 69,1% do total inicial (Figura 3).

Tabela 3. Percentual remanescente (y) e tempo de meia-vida ( $T_{1/2}$ ) da matéria seca e do nitrogênio em biomassa da parte aérea de *C. juncea*. Viçosa, MG, 2012.

Variável	$T_{1/2}$ (dias)	Remanescente aos 60 dias (%)
Matéria seca	97,9	66,8
Nitrogênio	31,9	30,8

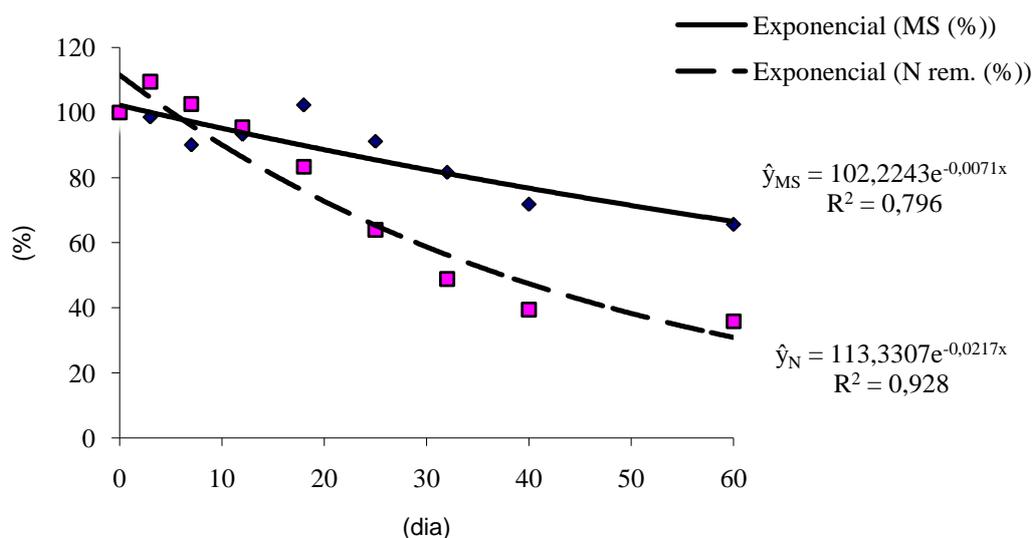


Figura 3. Curvas de decomposição remanescente da matéria seca (MS) da parte aérea de *Crotalaria juncea* e de mineralização de N ao longo de 60 dias após o corte. Viçosa, MG, 2012.

A quantidade de N liberada foi de 20,2 kg ha<sup>-1</sup> no T<sub>1/2</sub> e 27,8 kg ha<sup>-1</sup> aos 60 dias correspondendo a 6,7 e 9,3 kg ha<sup>-1</sup> para cada 1,0 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca de crotalária (Figura 3).

#### 2.4.2 – Crescimento

**Crescimento entre outubro/2009 e abril/2010.** Ao final do primeiro período de crescimento dos cafeeiros (12/10/2009 a 24/04/2010), não foram observadas diferenças significativas ( $p \geq 0,05$ ) em função das doses de composto e crotalária, bem como da interação entre composto e crotalária (Tabela 4). Até os 15 meses após o plantio, o aumento das doses de composto e de crotalária não interferiu no crescimento do cafeeiro.

Tabela 4. Crescimento inicial até 15 meses após o plantio (12/10/2009 a 24/04/2010) de cafeeiros adubados com doses de composto (Comp.) e parte aérea de *Crotalaria juncea* (Crot.). Viçosa, MG, 2012

Comp. (%)	Crot. (g)	N (g/planta)	ALT <sup>ns</sup> (cm)	ALTm <sup>ns</sup> (cm)	NRP <sup>ns</sup>	NRPm↓ <sup>ns</sup>	NRPm↑ <sup>ns</sup>	NNOm <sup>ns</sup>
25	0	7,5	56,04	22,51	20,25	7,69	12,48	7,67
50	0	15,0	60,41	24,91	21,00	7,90	13,48	8,17
75	0	22,5	52,17	24,11	16,94	5,40	13,38	8,60
100	0	30,0	52,94	21,87	18,44	5,56	12,50	8,00
25	450	13,5	54,37	21,96	18,00	5,63	12,25	8,08
50	450	21,0	54,95	24,68	20,81	6,81	14,27	8,27
75	450	28,5	57,67	21,84	20,38	6,31	13,06	7,88
100	450	36,0	55,63	27,31	21,31	6,94	14,38	8,56
Média			55,52	23,65	19,64	6,53	13,22	8,15
CV (%)			10,37	11,81	14,48	26,11	9,96	6,88

Altura total (ALT); Altura na parte superior da copa (ALTm); n° de ramos plagiotrópicos (NRP), abaixo (NRPm↓) e acima (NRPm↑) do entenó marcado; n° de nós do ramo ortotrópico (NNOm). <sup>ns</sup>: não significativo pelo teste de F a 5% significância.

**Crescimento entre abril/2010 e abril/2011.** Durante o período de abril a novembro/2010 a crotalária não promoveu variações no crescimento dos cafeeiros e na avaliação ao final do período de nov/2010 a abr/2011 houve efeito da crotalária ( $p < 0,05$ ) somente sobre as variáveis ALT, ALTm e DC. Houve maior crescimento com a aplicação da leguminosa, tanto no crescimento total do cafeeiro até abril de 2011 (B), quanto no incremento durante os meses de nov/2010 e abr/2011 (B-A) (Tabela 5).

Ao final do segundo período de crescimento (abr/2010 a abr/2011), o composto apresentou efeito significativo ( $p < 0,05$ ) sobre o DC, com aumento linear em função das

doses (Figura 4). O DC aumentou em quase 0,1 cm para cada aumento de 1,4 kg ha<sup>-1</sup> de N, dose essa equivalente a cada 1% da dose de composto aplicada.

Tabela 5. Crescimento do cafeeiro sob duas doses da parte aérea de crotalária, a partir de 24-04-2010, com avaliações em novembro/2010 (A) e abril/2011 (B), e incremento entre as duas datas (B-A). Viçosa-MG, 2012

Crotalaria <sup>1</sup> (g/planta)	ALT (cm)	ALTm (cm)	NRPm	NNOm	DC (cm)	CRPm (cm)	NNRm	FRPm
A: Abr-nov/2010								
0	55,51 a	10,95 a	8,58 a	5,66 a	58,97 a	12,18 a	5,60 a	9,91 a
450	56,01 a	10,99 a	9,00 a	5,75 a	59,48 a	12,12 a	5,42 a	10,01 a
CV (%)	9,65	16,47	12,23	7,81	13,45	12,48	7,17	8,23
B: Nov-abr/2011								
0	84,84 a	42,97 a	21,52 a	13,35 a	94,33 a	37,13 a	11,44 a	16,44 a
450	89,93 b	48,32 b	22,78 a	13,78 a	100,96 b	37,49 a	11,68 a	16,79 a
CV (%)	5,95	9,35	10,12	6,46	5,24	18,55	8,19	16,48
B-A								
0	29,33 a	32,03 a	12,94 a	7,69 a	35,36 a	24,95 a	5,84 a	6,52 a
450	33,91 b	37,33 b	13,77 a	8,03 a	41,48 b	25,36 a	6,26 a	6,78 a
CV (%)	18,60	13,70	17,84	12,82	18,46	8,34	12,37	37,61

<sup>1</sup>Correspondente às aplicações de N de 6,03 g/planta em Jan/2010 e 7,85 g/planta em Dez/2010

Altura total (ALT); diâmetro de copa (DC). Altura na parte superior da copa (ALTm). Número de ramos plagiotrópicos (NRPm) e de nós do ramo ortotrópico (NNOm) acima do entrenó demarcado. Comprimento (CRP), número de nós (NNP) e número de folhas (NFP) do ramo plagiotrópico marcado.

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste F (p≥0,05).

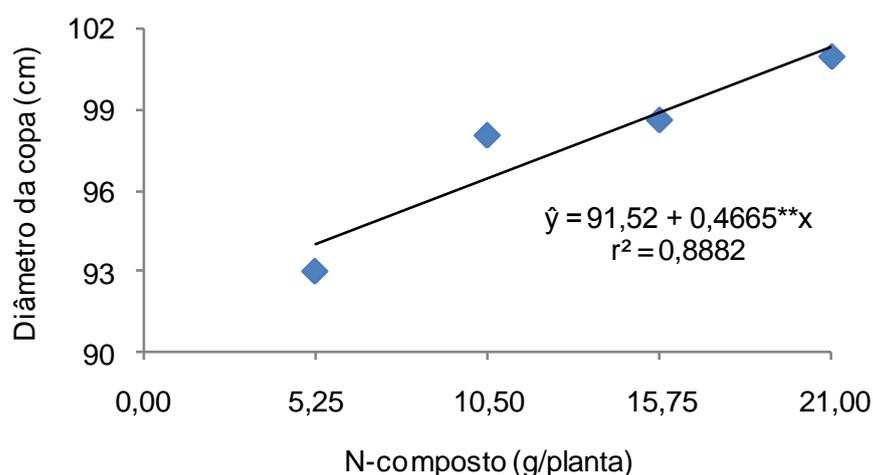


Figura 4. Diâmetro da copa de cafeeiros submetidos a diferentes doses de composto em relação à dose de N, avaliado em abril de 2011. Viçosa, MG, 2012.

**Tempo de crescimento no período abril/2010 a abril/2011.** Entre abril/2010 a abril/2011, não houve efeito significativo pelo teste F ( $p \geq 0,05$ ) da crotalária sobre o tempo de crescimento do NNOM e NNPM. Em relação à época de crescimento, houve efeito significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ) sobre o NNOM e NNPM. O tempo de formação de novos nós no ramo ortotrópico na parte superior da copa e no ramo plagiotrópico marcado, entre abr-nov foi de 42 e 47 dias/nó, respectivamente, enquanto que entre nov-abr o tempo de formação foi de 22 dias/nó nas duas variáveis (Tabela 6). No período mais frio e seco iniciado em abril foram necessários 20 e 25 dias a mais que de nov-abr para a formação de novos nós ortotrópicos e plagiotrópicos, respectivamente.

Tabela 6. Tempo de crescimento de cafeeiros em resposta a adubação com parte aérea de crotalária e em relação a dois períodos do ano, a partir do entrenó demarcado em abril/2010 e avaliações em novembro/2010 e abril/2011. Viçosa-MG, 2012

Crotalaria <sup>1</sup> (g/planta)	NNOM (2 <sup>a</sup> ) (dias/nó)	NNPM (2 <sup>a</sup> ) (dias/nó)
0	33,09 a	34,58 a
450	33,48 a	34,98 a
CV (%)	7,18	10,06
Período		
Abril-Novembro	42,72 a	47,24 a
Novembro-Abril	22,86 b	22,31 b
CV (%)	16,66	11,39

<sup>1</sup>Correspondente a aplicações de N de 6,03 g/planta em Jan/2010 e 7,85 g/planta em Dez/2010  
Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente entre si pelo Teste F ( $p < 0,05$ ).

### 2.4.3 – Produção

Nas características avaliadas na primeira colheita, não foram encontradas diferenças significativas ( $p \geq 0,05$ ) em resposta às doses de composto, crotalária ou à interação dos dois fatores. Os cafeeiros apresentaram produtividade média de 7,9 sc ha<sup>-1</sup> (Tabela 7), indicando que a dose de 35 kg ha<sup>-1</sup> de N foi suficiente na primeira colheita para atender o potencial produtivo do cafeeiro na primeira colheita.

### 2.4.4 - Características do solo

Foi observado efeito significativo do composto em todas as variáveis analisadas ( $P < 0,05$ ). Houve efeito significativo da interação entre composto e crotalária sobre a CTCtotal e efeito da crotalária apenas sobre o teor de H+Al ( $P < 0,05$ ). O aumento das

doses de composto promoveu a elevação do pH, P, K, Ca, Mg, Soma de bases, CTCefetiva, saturação de bases e matéria orgânica, e reduziu a acidez potencial (H+Al) (Tabela 8). No desdobramento do efeito do composto em de cada nível de crotalaria houve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) sobre a CTCtotal apenas na ausência de crotalaria, com elevação dos teores de forma linear (Tabela 8).

Tabela 7. Variáveis relacionadas à colheita em cafeeiros, adubados com composto (Comp.) e biomassa da parte aérea de crotalaria (Crot.). Colheita em maio-junho/2011. Viçosa-MG, 2012

Comp. (%)	Crot. (g)	N aplicado (g/planta)	Cereja <sup>ns</sup> (kg/ha)	Coco <sup>ns</sup> (kg/ha)	Beneficiado <sup>ns</sup> (kg/ha)	Beneficiado <sup>ns</sup> (sc/ha)
25	0	5,25	3842,4	820,2	342,7	5,7
50	0	10,50	5408,6	1375,5	615,4	10,3
75	0	15,75	4303,1	883,1	393,1	6,6
100	0	21,00	5152,6	1045,8	475,8	7,9
25	450	13,10	4503,6	944,8	338,8	5,6
50	450	18,35	4820,5	1062,1	445,9	7,4
75	450	23,60	6429,3	1542,7	666,0	11,1
100	450	28,85	6676,7	1227,6	490,6	8,2
Média			5142,1	1112,7	471,0	7,9

(<sup>ns</sup>) não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Tabela 8. Equações de regressão e coeficientes de determinação das variáveis analisadas em solo cultivado com cafeeiros e adubados com diferentes doses de composto orgânico. Viçosa, 2012

Variáveis	Equação	r <sup>2</sup>
Ph	$\hat{y} = 6,3687 + 0,00570^{**} x$	0,8664
P (dag kg <sup>-1</sup> )	$\hat{y} = 104,2500 + 3,66000^{**} x$	0,9606
K (dag kg <sup>-1</sup> )	$\hat{y} = 414,4375 + 2,22000^{**} x$	0,9373
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	$\hat{y} = 2,5062 + 0,01180^{**} x$	0,9775
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	$\hat{y} = 0,5187 + 0,00225^{**} x$	0,8224
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	$\hat{y} = 2,3375 - 0,00620^{**} x$	0,8196
SB e t (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	$\hat{y} = 4,0125 + 0,02030^{**} x$	0,9876
CTC <sub>total</sub> (sem crotalaria) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	$\hat{y} = 5,8625 + 0,02210^{**} x$	0,8287
CTC <sub>total</sub> (com crotalaria) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	$\hat{y} = 7,5025$	-----
V (%)	$\hat{y} = 60,5625 + 0,16500^{**} x$	0,9476
MO (mg dm <sup>-3</sup> )	$\hat{y} = 1,69375 + 0,00790^{**} x$	0,9986

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

No desdobramento da dose de crotalaria dentro de cada nível de composto houve

aumento da CTCtotal com a adição de crotalária nas doses de 25% e 75% de composto (Tabela 9). A presença da crotalária promoveu o aumento da CTCtotal, complementando o composto nas menores doses.

A aplicação de biomassa de crotalária diminuiu a acidez potencial de 2,06 para 1,84  $\text{cmol}_c \text{ cm}^{-3}$  indicando que a leguminosa promoveu o aumento de bases no complexo de troca do solo, tendo em vista que o teor de alumínio no solo foi nulo.

Tabela 9. CTC total em solo cultivado com cafeeiros adubados com composto orgânico e crotalária. Viçosa, 2012

Crotalaria (g/planta)	Composto (%)			
	25	50	75	100
	CTCtotal ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )			
0	6,27 b	6,95 a	7,05 b	7,70 a
450	7,12 a	7,15 a	7,97 a	7,77 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F ( $p \geq 0,05$ ).

#### 2.4.5 - Teores foliares de N nas datas de amostragem

Houve efeito significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ) sobre os teores foliares de N em abril/2010 devido à aplicação de crotalária, nos meses de junho/2010 e abril/2011 devido ao fornecimento de composto e em dezembro/2010 devido à interação crotalária x composto. Em abril/2010, o teor foliar de N foi maior com a crotalária (Tabela 10), indicando um efeito complementar ao composto, o que, no entanto, não ocorreu nas datas seguintes. Os teores foliares foram crescentes em função das doses de composto de 2,47% a 2,82% em junho/2010 e de 1,91% a 2,22% em abril/2011 (Figura 5), promovendo aumentos respectivos de 14% e 17%, da menor para a maior dose de composto.

No desdobramento das doses de N da crotalária dentro de cada dose de N do composto, a adubação complementar com N da crotalária promoveu a redução dos teores foliares de N nas doses de 7,5 e 15 g/planta de N do composto e o aumento nos teores na dose 30 g/planta (Tabela 11).

Tabela 10. Teores foliares de N em cafeeiros adubados com matéria seca de crotalária, amostrados em abril, junho e Novembro/2010 e abril/2011. Viçosa, MG, 2012

Crotalária <sup>1</sup> (g/planta)	Abr/2010	Jun/2010	Nov/2010	Abr/2011
450	2,67 a	2,70 a	2,51 a	2,12 a
0,0	2,41 b	2,58 a	2,60 a	2,01 a
CV (%)	9,45	7,59	8,84	7,22
Média geral	2,54	2,64	2,55	2,06

<sup>1</sup> 450 g/planta, correspondentes a aplicações de N de 6,03 g/planta em Jan/2010 e 7,85 g/planta em Dez/2010  
Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste F (p<0,05).

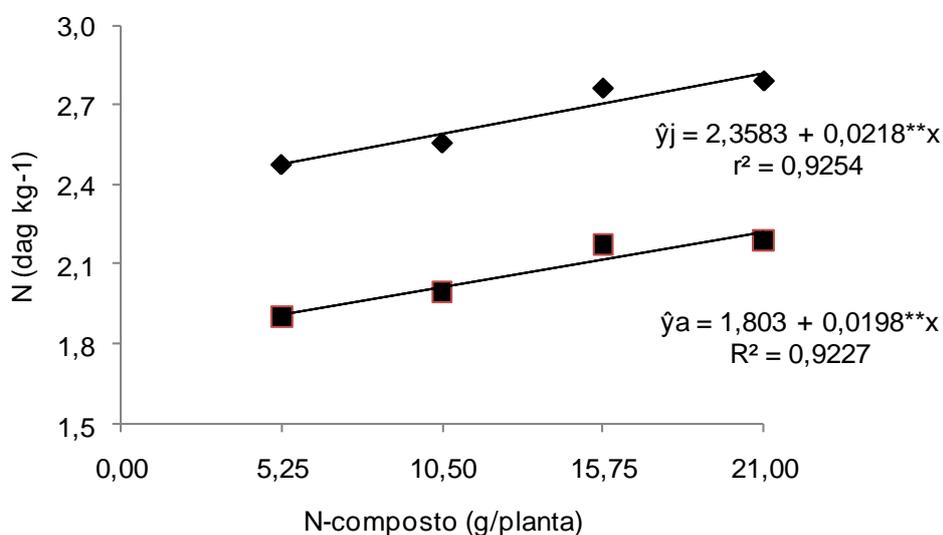


Figura 5. Representação gráfica e equação de regressão dos teores foliares de N em cafeeiros, amostrados em julho/2010 ( $\hat{y}_j$ ) e abril/2011 ( $\hat{y}_a$ ), em relação à dose de N aplicada através de composto orgânico. Viçosa, MG, 2012.

Tabela 11. Teores foliares de N em cafeeiros adubados com crotalária e doses de composto baseadas no teor de N. Amostras coletadas em novembro/2010. Viçosa, MG, 2012

N-crotalaria <sup>1</sup> (g/planta)	N-composto <sup>2</sup> (g/planta)			
	7,5	15,0	22,5	30,0
0,0	2,81 a	2,84 a	2,41 a	2,34 b
6,03	2,46 b	2,43 b	2,44 a	2,72 a
CV (%)	8,84			

<sup>1</sup> 450 g/planta, correspondente a aplicações de N de 6,03 g/planta em Jan/2010.

<sup>2</sup> Doses correspondentes a 25% a 100% de composto, aplicada em novembro/2010.

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de F (p≥0,05).

No desdobramento das doses de N do composto dentro de cada dose de crotalária, em novembro/2010, houve efeito significativo na dose zero de crotalária pelo teste F ( $p < 0,05$ ). O teor de N foi decrescente com o aumento das doses de composto (Figura 5), indicando um efeito negativo do composto sobre os teores foliares no mês seguinte à adubação na ausência da biomassa de crotalária. Os teores foliares diminuíram de 2,88% para 2,31% (Figura 6), correspondendo a uma redução 20%, da menor para a maior dose de composto.

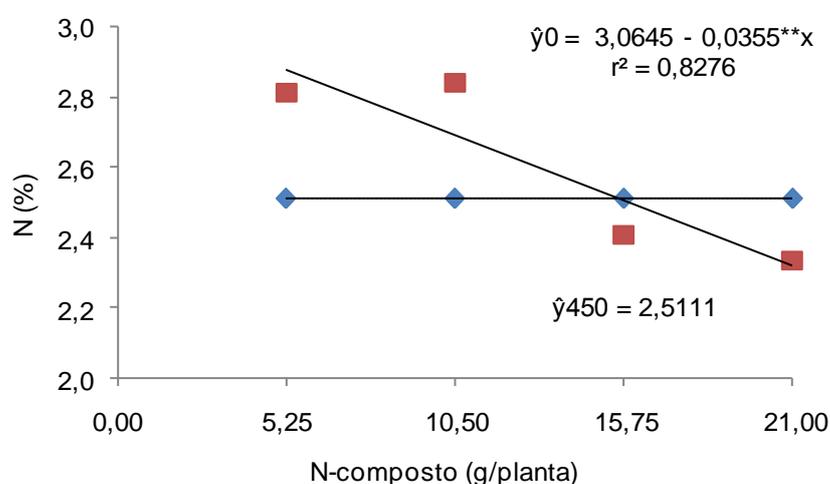


Figura 6. Representação gráfica e equação de regressão do teor foliar de N em cafeeiros, adubados com doses de crotalária de zero e 450 g/planta (7,85 g/planta de N) e composto orgânico, amostrados em dezembro/2010. Viçosa, MG, 2012.

## 2.4.6 – N derivado do adubo verde (N-leg)

### 2.4.6.1 - Efeito da Adubação com crotalária marcada em janeiro/2010

**Avaliação em abril e junho/2010.** Os percentuais de N derivados da crotalária nas folhas dos cafeeiros encontram-se descritos na Tabela 12. Houve efeito significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ) dos efeitos isolados do composto e da época de amostragem sobre o N derivado da crotalária (N-leg). O percentual de N-leg em relação ao total de N foi decrescente, com o aumento das doses de composto (Figura 6), indicando um efeito de diluição do N fornecido pelo adubo verde. Os percentuais foliares de N-leg diminuíram de 9,96% para 6,08% (Figura 7), correspondendo a uma redução 38,9%, da menor para a maior dose de composto.

Tabela 12. Percentuais foliares de N derivado de crotalária (N-leg) aplicada em janeiro/2010, em cafeeiros adubados com composto, em quatro épocas de coleta. Viçosa, MG, 2012

----- Composto -----		----- % N-leg -----			
Dose (%)	N (g/planta)	Abril/10	Junho/10	Dezembro/10	Abril/11
25	7,5	8,15	11,56	8,38	4,30
50	15	8,35	10,77	8,00	4,38
75	22,5	4,98	6,76	6,26	3,83
100	30,0	5,93	7,62	6,99	4,08

Crotalária: 450 g/planta, correspondente a aplicações de N de 6,03 g/planta em jan/2010 e 7,85 em dez/2010.

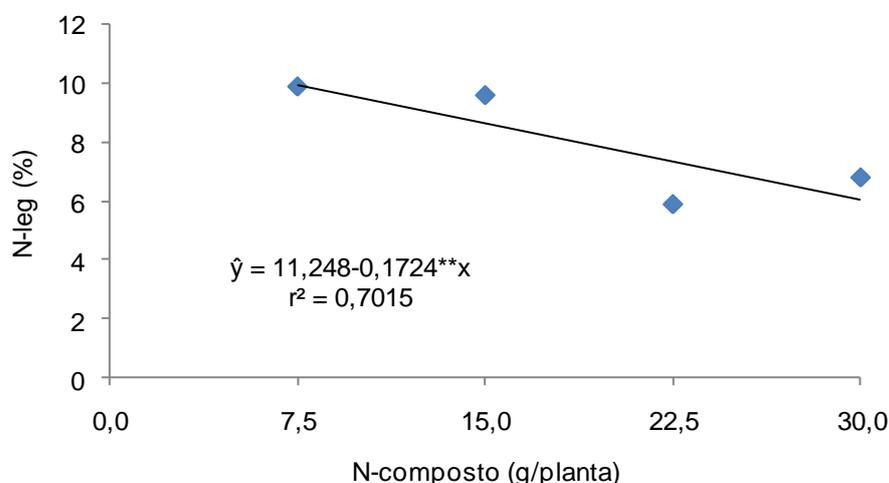


Figura 7. Percentagem de N derivado de crotalária (N-leg) aplicada em jan/2010, em amostras foliares coletadas em abril-maio/2010, em relação ao percentual de N aplicado através de composto orgânico. Viçosa, MG, 2012.

O percentual foliar de N-leg em junho/2010 foi 34% maior que em abril/2010 (Tabela 13) sugerindo que entre o 3º e o 5º mês após a adubação com a crotalária houve uma tendência de aumento do N-leg disponível no solo para o cafeeiro.

**Avaliação em dezembro/2010 e abril/2011.** Houve efeito significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ) da época de amostragem sobre o N derivado da crotalária marcada (N-leg). Apesar da contribuição do composto ter variado de 25% a 100% da dose de N, este não interferiu no percentual de N-leg, indicando que outros fatores, além da quantidade de N aplicada, interferiram na disponibilidade e absorção do N da crotalária marcada. O percentual de N-leg foi maior em dezembro/2010 em relação a abril/2011 (Tabela 13), indicando um efeito de diluição do  $^{15}\text{N}$  da crotalária aplicada em janeiro/2010 pela

adubação com composto e crotalária não marcados em outubro e dezembro/2010. Os percentuais foliares de N-leg diminuiram 44% entre as duas datas.

Tabela 13. Percentagem de N derivado de crotalária (N-leg), em relação ao total contido nas folhas de cafeeiros, em função dos meses de amostragem de abril e junho/2010 ou em dezembro/2010 e abril/2011. Viçosa, MG, 2012

Mês	N-leg (%)	Mês	N-leg (%)
Abril/2010	6,85 b	Dezembro/2010	7,41 a
Junho/2010	9,18 a	Abril/2011	4,15 b
CV (%)	17,86	CV (%)	13,43

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste F ( $p < 0,05$ ).  
Composto aplicado em novembro de 2009 e 2010. Crotalária aplicada em janeiro de 2010.

**2.4.6.2 - Efeito da Adubação com crotalária marcada em dezembro/2010.** A análise do percentual de N-leg em função das doses de composto não apresentou efeito significativo pelo teste F ( $p \geq 0,05$ ). O percentual foliar de N-leg em abril/2010 da crotalária aplicada em dezembro/2010 foi de 17,9% (Tabela 14). Apesar da contribuição do composto ter variado de 25% a 100% em relação ao conteúdo de N, este não interferiu no percentual de N-leg, indicando que outros fatores além da quantidade de N do composto, interferiram na disponibilidade e absorção do N da crotalária marcada.

Tabela 14. Percentuais foliares de N derivado de crotalária (N-leg) aplicada em dezembro/2010, em cafeeiros adubados com composto, na amostragem de abril/2011. Viçosa, MG, 2012

N-Composto <sup>1</sup> (g/planta)	% N-leg <sup>2</sup> Abril/11
7,5	19,4
15,0	20,7
22,5	16,4
30,0	15,2
média	17,9

<sup>1</sup>Correspondente a aplicações de 25% a 100% da dose de N recomendada.

<sup>2</sup>Adubações com crotalária (450 g/planta), correspondentes a dose de N de 6,03 g/planta em Jan/2010 e 7,85 g/planta em Dez/2010.

## **2.5 - DISCUSSÃO**

### **2.5.1 - Decomposição da crotalária**

O  $T_{1/2}$  do N-crotalária foi aos 33,3 dias, em dois de março, e aos 60 dias após a aplicação, em 29 de março, o N mineralizado correspondeu a 69,1% do N-total. Perin et al. (2006) obtiveram  $T_{1/2}$  do N de *Crotalaria juncea* aos 15 dias, e esse resultado mais rápido pode ser devido à época de corte em pleno período chuvoso, no mês de dezembro. Diniz et al. (2007) e Ribas et al. (2010) obtiveram com mucuna cinza  $T_{1/2}$  do N aos 24 dias e 28 dias, respectivamente, porém mais próximos de 33 dias do presente trabalho. Resultado semelhante foi obtido com as leguminosas amendoim forrageiro, cudzu tropical e siratro cortadas em janeiro que liberaram 50% do N, respectivamente, aos 30, 56 e 32 dias, e quando cortadas em abril aos 44, 110 e 86 (Espindola et al., 2006) com diminuição da velocidade de decomposição no corte em abril, no início do período frio e seco. Com a ervilhaca cortada no mês de outubro, no início do período chuvoso, 46% do N foi liberado nos 15 primeiros dias de decomposição (Aita & Giacomini, 2003), porém o corte no mês de abril, no início do período seco, de quatro leguminosas plantadas em dois locais diferentes, o  $T_{1/2}$  do N foi maior que 89 dias (Matos et al. 2011). A sincronização com a demanda pelo cafeeiro, com corte em janeiro permitiria atender ao período de granação e a partir de abril se mostra inadequada por encontrar-se no final do período de frutificação.

Além da quantidade de matéria seca e N adicionados pela crotalária, as datas de mineralização do N devem estar em sincronia com a demanda do cafeeiro. Segundo Laviola et al, (2008) 53% do N é acumulado durante a granação dos frutos de cafeeiros, entre o início de fevereiro até o início de maio. Sendo assim, a crotalária foi colocada sobre o solo em 29/01, em data sincronizada com o início do estágio de granação, com a mineralização de 50% e 69,1% do N, respectivamente, um e dois meses após o início da granação dos frutos. Apesar disso, o percentual de N-leg foi de 6,8% indicando uma contribuição pequena.

### **2.5.2 – Crescimento**

As doses de composto e crotalária não promoveram respostas diferenciadas no crescimento do cafeeiro nas avaliações de abril/2010 e novembro/2010, indicando que 25% de composto foram suficientes para atender a demanda do cafeeiro no período inicial de crescimento. Porém na avaliação de abril/2011, ao final do período de frutificação houve efeito dos tratamentos.

A crotalária promoveu aumentos significativos na ALT, ALTm e DC dos cafeeiros de 5,87%, 12,45% e 7,03% em abril/2011 e de 15,6%, 16,6% e 17,3% de incremento entre novembro/2010 e abril/2011, respectivamente. Nesse período houve resposta do cafeeiro à adubação complementar com crotalária, tanto sobre os valores absolutos, quanto no incremento entre as duas datas de avaliação, indicando que apenas o composto não foi eficiente para suprir a demanda do cafeeiro. Provavelmente, a resposta à adubação com crotalária seja devido à maior demanda durante o período de frutificação, com os frutos agindo como fortes drenos de nutrientes (Fenilli et al 2007b; Laviola et al. 2008) e o cafeeiro mantendo o crescimento vegetativo e reprodutivo simultaneamente (Fenilli et al 2007).

O aumento da ALT, ALTm e DC promovido pela crotalária permite supor também que houve um efeito de parcelamento da adubação, pois o composto foi aplicado em 04/11/2010 e a crotalária 49 dias após, em 22/12/2010. Apesar do aumento da dose de composto de 25% a 100%, a aplicação em dose única pode não ter promovido diferenças entre os tratamentos e por isso a aplicação parcelada poderia ter levado a uma diferenciação tanto nas variáveis de crescimento quanto na produtividade.

Araújo et al. (2008) observaram maior crescimento vegetativo em doses de 702 a 770 g/vaso de composto orgânico, no sétimo mês após o plantio em vasos de 10 dm<sup>3</sup>. Essas doses corresponderam a 64 a 70 g de N para covas com volumes de 64 dm<sup>3</sup>, valores tomados como referência no presente trabalho. Essa correspondência utilizada apresentou-se como um valor muito alto durante a fase de crescimento vegetativo nas condições de campo, pois a dose de 25% de N (17,5 g/cova) não se diferenciou de 100% (70 g/cova). A dose de 17,5 g/cova encontra-se próxima das recomendações de N para o Estado de Minas Gerais de 9 a 25 g/planta após o plantio das mudas (Guimarães et al., 1999) e 15 g/planta para o Espírito Santo (Lani et al., 2007). Por essa razão, a dose de 17,5 g de N, na forma de esterco de galinha, poderia ter sido utilizada como correspondente a 100% e, além disso, a aplicação poderia ter sido na coveta de plantio, após o enchimento das covas com o calcário e o adubo fosfatado, simulando o volume útil nos vasos de 7,0 dm<sup>3</sup>.

A dose de 17,5 g/cova de N fornecida por meio do composto orgânico, portanto, foi suficiente para a manutenção do cafeeiro na fase de crescimento, tendo em vista que não houve resposta de produtividade às doses aplicadas nem à complementação com crotalária. Porém, ao final do período de frutificação, a complementação com 7,8 g de N

por cafeeiro ( $52,3 \text{ kg ha}^{-1}$ ) por meio da parte aérea de crotalária promoveu maior ALT, ALTm e DC. Por essa razão, a soma da menor dose do composto com a crotalária, apresentou-se suficiente e forneceu o equivalente a  $28,8 \text{ g/cova de N}$  ou  $87,3 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Apesar desse efeito positivo da crotalária não se refletir em aumentos de produtividade, é de se esperar que essa tendência de melhor desenvolvimento do cafeeiro com a crotalária promovesse aumentos de produtividade na colheita seguinte.

Fidalsky e Chaves (2010) observaram na fase de formação de cafeeiros, maior crescimento em altura, diâmetro da copa, volume da copa e número de ramos com mucuna-cinza, leucena e amendoim-forrageiro em relação à testemunha, e maior altura e volume da copa em relação à aplicação de sulfato de amônio. Por ser adubação exclusiva, esse resultado indica que há possibilidade de substituição da adubação mineral pelas leguminosas e não somente a complementação de outras fontes. O aporte de  $20 \text{ Mg ha}^{-1}$  de matéria seca também colaborou para os resultados de maior crescimento com mucuna-cinza, leucena e amendoim-forrageiro que, comparado com a dose de  $3,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  do presente trabalho, permite supor que uma dose maior de crotalária poderia ter gerado aumentos no crescimento na fase de formação e na colheita. Numa situação de consórcio, é provável que não se obtenha  $20 \text{ Mg ha}^{-1}$  de matéria seca e adubo verde, a qual, se obtida, poderia gerar problemas de competição com o cafeeiro.

Fidalsky e Chaves (2010) observaram resposta diferenciada na comparação de diversos adubos orgânicos, com maiores produtividades de cafeeiros com mucuna-cinza, leucena e torta de filtro de cana-de-açúcar, resultando em  $3,5$ ;  $4,5$  e  $9,6 \text{ sc ha}^{-1}$ , respectivamente e próximos aos obtidos no presente trabalho com  $7,9 \text{ sc ha}^{-1}$ . Os autores relacionaram a baixa produtividade obtida com a necessidade de complementação dos adubos orgânicos aplicados em cobertura. Carvalho et al., (2010) obtiveram em três lavouras convencionais na 1ª colheita produtividades baixas de  $6,6$ ;  $9,1$  e  $12,1 \text{ sc ha}^{-1}$ . Fenilli (2006) também obtiveram rendimento baixo na primeira colheita ( $4,8 \text{ sc ha}^{-1}$ ), mesmo em sistema convencional com aplicação de  $280 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. Esses resultados, similares a produtividade obtida de  $7,9 \text{ sc ha}^{-1}$ , indicam que o cafeeiro ainda não havia atingido desenvolvimento suficiente na 1ª colheita para obtenção de maiores produtividades.

Ao contrário, a necessidade de um menor número de dias para aumentar o NNOM e NNPM, de 22 dias/nó entre nov-abr, indica um maior crescimento na parte

superior da copa e no ramo marcado nesse período. É possível que o efeito de dreno pelos frutos tenha promovido o menor crescimento em diâmetro ocorrido no período de frutificação entre nov-abr. O efeito de dreno é maior nas partes do cafeeiro próximas aos frutos, tendo sido observado por Fenilli et al. (2008) maior concentração e acúmulo de N nas partes vegetativas dos ramos, em relação às partes reprodutivas dos ramos.

### **2.5.3 - Análise de solo**

Apesar da melhoria em todos os indicadores de qualidade do solo com o aumento das doses de composto, o cafeeiro não apresentou resposta de ganhos de produtividade em função das doses. Tal fato indica que a menor dose de composto foi suficiente para que o cafeeiro atingisse o seu potencial produtivo na 1ª colheita, aos 27 meses de idade. Isso se evidencia através dos indicadores de solos na menor dose de composto com pH 6,4, ausência de  $Al^{3+}$  e saturação por bases de 61%, atingidos mesmo sem a aplicação de calcário, o qual foi aplicado somente no sulco de plantio. Além disso, os teores de P e K foram altos, o Ca, Mg, SB, CTCefetiva, CTC a pH 7 e MO foram médios, e o H+Al baixo, de acordo com Prezotti et al. (2010). É possível que, com o maior desenvolvimento do cafeeiro ano a ano, haja maior extração de nutrientes e as concentrações desses nutrientes no solo diminuam sob as maiores doses de composto.

O composto orgânico passa por um processo de maturação com aumento da humificação e mineralização da matéria orgânica (Melo et al., 2008). A parte mineralizada do adubo é prontamente disponibilizada e a parte humificada promove, continuamente, a agregação das partículas do solo e o aumento da CTC. Esse efeito positivo da adubação com matéria orgânica é visível nos resultados da análise de solo, contudo sem promover aumentos de produtividade, pelo menos na primeira colheita.

A aplicação do composto nas doses de 25% a 100% foi feita em dose única no mês de novembro de cada ano. Possivelmente, a aplicação parcelada do composto poderia ter levado a uma diferenciação tanto nas variáveis de crescimento, quanto na produtividade. O composto aplicado em 2010 encontrava-se bastante mineralizado, com 17% de carbono orgânico e relação C/N = 9/1. Compostos com alto grau de maturação devem ser aplicados de forma parcelada, principalmente em culturas perenes, para evitar perdas por lixiviação de amônio e nitrato (Melo et al., 2008). As perdas por volatilização podem ser consideradas baixas porque são maiores no início da decomposição, processo ocorrido anteriormente durante a compostagem (Ribas et al., 2010). Por isso, parte do N disponibilizado pelo composto, principalmente nas doses

mais altas, pode ter sido perdido por lixiviação ou ainda pode ter sido imobilizado pelos organismos do solo, que tendem a aumentar de acordo com a elevação da matéria orgânica no solo (Balota e Chaves, 2011). O N imobilizado permanece no sistema, pois o amônio é considerado um subproduto do metabolismo microbiano, que é liberado quando sua quantidade excede a demanda das células (Aquino et al., 2005) e permitiria a sua recuperação pelo cafeeiro. Portanto, o parcelamento do composto, nas doses maiores poderia diminuir prováveis perdas por lixiviação e volatilização e fornecer o N mineralizado nos momentos cruciais de maior demanda pelo cafeeiro.

O aumento da ALT, ALT<sub>m</sub> e DC pela crotalária permite supor que houve um efeito de parcelamento da adubação, pois o composto foi aplicado em 04/11/2010 e a crotalária 49 dias após, em 22/12/2010. Isso pode ter ocorrido porque há uma mineralização inicial de grande quantidade de N na decomposição de adubos verdes com o T<sub>1/2</sub> do N de diversas leguminosas variando entre 15 e 56 dias (Aita & Giacomini, 2003; Espindola et al., 2006; Perin et al., 2006; Diniz et al., 2007; Ribas et al., 2010).

Por apresentarem relação C/N menor que 25/1 as leguminosas tendem a não promover a imobilização do N do solo, disponibilizando-o para as culturas (Ambrosano et al., 2003). Por isso, considerando a mineralização de 32% a 46% do N em 15 dias (Aita & Giacomini, 2003; Matos et al., 2011) e 50% entre 30 e 72 dias (Espindola et al., 2006; Matos et al., 2011), tem-se uma contribuição de no mínimo 50% do N aplicado através da crotalária nos primeiros 70 dias após aplicação, totalizando 26,1 kg ha<sup>-1</sup> e que corresponderia a 19% da dose total de N recomendada de 140 kg ha<sup>-1</sup> por Guimarães et al. (1999).

Além da redução das perdas de N, o parcelamento da adubação com composto poderia permitir uma melhor sincronização com a demanda do cafeeiro. Na fase reprodutiva do cafeeiro, o acúmulo de matéria seca nos frutos ocorre com taxas crescentes até a 3<sup>a</sup> semana de fevereiro (Fenilli et al., 2007b) e os maiores acúmulos de N ocorrem nos estádios de expansão rápida, entre dez-jan e de granação entre fev-abr (Laviola et al., 2008). Portanto, a disponibilização do composto após a floração e no estádio de chumbinho, ocorre em um período de pequena demanda pelos frutos (Laviola et al., 2008), a qual pode atingir acúmulos de 8,5% a 48% do N da parte aérea de cafeeiros até a colheita em anos respectivos de carga baixa e alta (Fenilli et al., 2007a). O parcelamento com disponibilização dos adubos orgânicos após a floração (outubro),

no início da expansão rápida dos frutos e no início da granação (fevereiro), poderia ter favorecido a uma melhor resposta do cafeeiro às doses maiores de composto com redução provável de perdas e melhor aproveitamento do N aportado.

#### **2.5.4 - Teores foliares de N**

O maior teor foliar de N do cafeeiro com a crotalária, observado somente em abril/2010, pode estar relacionado à distribuição da precipitação. Nos meses seguintes a adubação em fevereiro/2010 a precipitação foi baixa (45,5 mm) e certamente não promoveu a lavagem dos nutrientes da matéria orgânica em decomposição para o solo a absorção pelo cafeeiro. O aumento das chuvas em março (184,8 mm), certamente, possibilitou que os nutrientes disponíveis através da mineralização da matéria orgânica fossem levados para o solo e absorvidos pelo cafeeiro. Adicionalmente, a mineralização de 69% do N-crotalária após 60 dias de decomposição, em 29/03/2010, pode ter contribuído para os maiores teores foliares de N avaliados em abril.

No 10º mês (Nov/2010) após a aplicação da crotalária, os teores foliares variaram em função das doses de composto. Nas doses correspondentes a 25% e 50% de composto os teores foram maiores na ausência de crotalária e na dose de 100% ocorreu o inverso com maior teor foliar no tratamento com crotalária. Houve, portanto, um efeito residual da crotalária. Essa tendência indica que houve uma maior quantidade de N disponível no solo na maior dose de composto junto com o N residual da crotalária. Indica também, uma provável imobilização do N mineralizado do composto pelos microorganismos do solo para a decomposição da matéria orgânica residual da crotalária. Por essa razão, o material restante e com menor teor de N pode ter acarretado uma redução dos teores foliares nas doses de 25% e 50% de composto, imobilizando N no processo de decomposição.

Na dose de 75% não houve diferença nos teores foliares com ou sem crotalária e na dose de 100% de composto, os teores foliares foram maiores na presença de crotalária, permitindo supor que o aporte de N nessa dose foi suficiente para atender a demanda para a decomposição da crotalária remanescente e para elevar os teores foliares do cafeeiro. Na adubação de milho cultivado em vasos e adubado com crotalária, Ambrosano et al. (2003 e 2009) observaram que a leguminosa não causou imobilização de N devido à relação C/N baixa. Porém o milho é cultura anual e de ciclo curto e teria menos influencia da matéria orgânica remanescente e mais recalcitrante no solo. No presente trabalho, aos 60 dias após o corte da crotalária a matéria seca

remanescente foi 66,4% e o N remanescente foi 30,1%, com um empobrecimento em N na matéria orgânica não decomposta, a qual permaneceu no solo e pode ter imobilizando N para a decomposição e levado a redução dos teores foliares em dezembro/2010.

A redução dos teores foliares com o aumento das doses de composto em dezembro/2010 sugere uma provável imobilização do N no solo logo após a aplicação do composto. O aumento dos teores foliares proporcionalmente às doses de composto é o mais provável. Araujo et al. (2007) observaram aumentos dos teores foliares de N com o aumento das doses de composto orgânico, em cafeeiros cultivados em vasos e na fase de formação. De forma semelhante houve aumento dos teores foliares de N em função do aumento das doses de composto em junho/2010 e abril/2011. Pode-se supor que após imobilização inicial em dezembro/2010, o N do composto foi mineralizado e absorvido pelo cafeeiro proporcionalmente às doses, conforme avaliado em abril/2011.

O composto aplicado em Nov/2010 apresentou pH 9,5, relação C/N de 8/1 e 168 g kg<sup>-1</sup> de carbono orgânico. Estes valores encontram-se próximos aos indicados para que o composto esteja maduro, com pH alcalino, relação C/N e carbono orgânico adequados para que ocorra mineralização de N (Herberts, et al., 2005; Valente et al., 2009). Outros autores observaram compostos bioestabilizados com 222 a 287 g kg<sup>-1</sup> de carbono orgânico, relação C:N entre 9/1 a 13/1 (Silva et al., 2009c); pH 10 e relação C/N em torno de 10/1 (Silva et al., 2008), permitindo afirmar que o composto aplicado encontrava-se maduro. Apesar dos indicadores de maturação adequados houve redução dos teores foliares de N no mês subsequente em função do aumento das doses aplicadas (Figura 2). Esse efeito ocorre em função da imobilização inicial do N pelo aumento da biomassa microbiana seguida de mineralização do N (Herberts, et al., 2005; Valente et al., 2009).

### **2.5.5 - Teores foliares de <sup>15</sup>N**

#### **2.5.5.1 - Avaliação no primeiro ano de crescimento (abril e junho/2010)**

A diminuição dos percentuais foliares de N-leg de 9,96% para 6,08%, em relação ao N-total, em abril/2010 com o aumento das doses de composto evidenciou um efeito de diluição do N-leguminosa. Essa diminuição foi pequena apesar da dose de 6,03 g/planta de N de a crotalária ter variado de 45% a 17% do total de N aplicado, quando somada às doses de N do composto (7,5 a 30,0 g/planta). Por essa razão, seria esperada uma maior diluição do <sup>15</sup>N contido na crotalária pelo N proveniente do composto nas

maiores doses. Variação maior foi obtida por Silva et al. (2009b), com o fornecimento de 1,0 g de N-crotalária por vaso na parte aérea de milho, cujos teores de N-crotalária diminuíram de 44,6% a 14,0%, nas doses de uréia de 0,0 a 2,25 g/vaso. A menor variação do percentual de N-leg com o composto em relação à uréia pode estar relacionada à maior disponibilidade do N-uréia, que é totalmente solúvel. Além disso, o composto aplicado em dose única dois meses antes da crotalária pode ter interferido menos nos teores foliares do cafeeiro em comparação ao trabalho de Silva et al. (2009b) que aplicou a crotalária simultaneamente à primeira dose de uréia.

Esse mesmo raciocínio pode ser aplicado a crotalária marcada aplicada em dezembro/2010, dois meses após a aplicação do composto, o que resultou em teores foliares de 17,93% de N-leg, independentemente da dose de composto. A ausência de interferência das doses de composto sobre os percentuais de N-leg, indica que não houve diluição do N aplicado via crotalária marcada pelo N do composto. Isso pode ser devido a não aplicação simultânea dos adubos, pois o N mineralizado durante o processo de compostagem é rapidamente disponibilizado. O N aplicado pode ser perdido por lixiviação (Melo et al., 2008) e volatilização (Fenilli et al., 2008), ou imobilizado pelos microorganismos do solo e liberado lentamente na forma de amônio como subproduto do metabolismo microbiano, quando sua quantidade excede a demanda das células (Aquino et al., 2005).

O mesmo ocorre com os adubos verdes com uma mineralização inicial rápida de grande quantidade de N seguida de uma diminuição da velocidade de mineralização (Aita & Giacomini, 2003; Espindola et al., 2006; Ribas et al., 2010; Matos et al., 2011). Por essa razão, uma aplicação simultânea do composto e da crotalária, faria coincidir a maior mineralização de N das duas fontes na fase inicial e provavelmente ocorreria um efeito de diluição do N da crotalária com o aumento das doses de composto.

O aumento do teor foliar de N-leg em junho/2010 em relação a abril/2010 sugere um aumento do N da crotalária disponível no solo em relação à outra fonte de adubação, o composto orgânico. No entanto, Ambrosano et al. (2009) observaram diferenças não significativas entre 40% e 42,4% de N derivado da parte aérea de crotalária e mucuna-preta, como única fonte de N, na parte aérea de milho em cinco amostragens aos 20, 40, 60, 80 e 100 dias após a emergência. Possivelmente, as diferenças observadas sejam devidas ao intervalo de dois meses entre a aplicação do composto e da crotalária, com elevação do N disponibilizado pela crotalária, de aplicação mais recente. Por outro lado,

as leguminosas utilizadas como única fonte de N por Ambrosano et al. (2009) indicam que houve um fornecimento constante de N evidenciado pelo N-leg semelhante nas cinco datas avaliadas.

Diferente do adubo verde, em cafeeiro adubado com sulfato de amônio marcado, o N foliar derivado do fertilizante correspondeu a 24,4%, 40,7%, 44,8% e 49,6% do N-total, aos 63, 126, 182 e 263 dias após a antese (Fenilli et al., 2007a), indicando uma tendência crescente que deve estar relacionada ao aumento do N no solo após a aplicação de cada parcela do adubo. Essas variações permitem supor que a separação dos períodos de aplicação do composto e da crotalária podem ser benéficos para o fornecimento do N de forma mais distribuída para o cafeeiro.

A adubação do cafeeiro é feita no período chuvoso ente outubro e março. Porém, a adubação durante o inverno, apesar de não reduzir o declínio e não alterar os padrões de crescimento permite a melhora do desempenho do cafeeiro após este período (DaMatta et al., 1999). Por essa razão, o maior teor de N-leg em junho, da aplicação de janeiro, poderia proporcionar um efeito prolongado até o final do inverno, contribuir para a floração e redução dos efeitos de bienalidade.

#### **2.5.5.2 - Avaliação no segundo ano de crescimento (dezembro/2010 abril/2011)**

O percentual de N-leg em dezembro/2010 pode estar relacionado à matéria orgânica remanescente de crotalária aplicada em jan/2010. A redução do N-leg em abril/2011 em relação a dezembro/2010, que diminuiu de 7,41% para 4,15%, certamente está relacionada à diluição do  $^{15}\text{N}$  aplicado em janeiro/2010 com o início da adubação com composto em novembro e a aplicação de crotalária comum em dezembro.

Ambrosano et al. (2011) obtiveram 4,1% de N derivado de crotalária em folhas de cana-de-açúcar na segunda colheita após a aplicação da leguminosa. Esse percentual é semelhante a 4,15% de N-leg observado em abr/2011, no segundo ano após a aplicação da crotalária. Em cultivo convencional, ao final de dois anos consecutivos de aplicação de sulfato de amônio marcado em cafeeiros, encontrava-se no litter 28,4% e 23,4% do N aplicado e no solo 17,9% e 12,6% do N aplicado (Fenilli et al., 2008), indicando uma permanência aproximada de 46,3% e 36,0% do N. Portanto, apesar de não ter sido feito o cultivo sucessivo com crotalária marcada na mesma parcela, é de se esperar que, uma segunda aplicação de crotalária tenderia a elevar os teores de N-FBN no solo e o aumento da contribuição nos percentuais foliares no cafeeiro.

Araujo et al. (2005) obtiveram 12,8% de N-leguminosa na parte aérea de trigo aplicando 100 kg N ha<sup>-1</sup> com crotalária. Ovalle et al (2010) adubaram com 68 a 194 kg de N por ha com leguminosas precoces e tardias, respectivamente, de forma complementar a 40 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral e obtiveram em folhas de videira 14% e 20% (médias de dois anos) de N-leguminosas. Ambrosano et al. (2011) obtiveram 10,9% N derivado de crotalária em folhas de cana-de-açúcar adubadas com 196 kg N ha<sup>-1</sup> de leguminosa. O percentual de 6,85% proveniente da primeira aplicação encontra-se abaixo dos valores encontrados na literatura e o de 17,93% da segunda aplicação, se aproxima dos resultados encontrados. Apesar da grande diferença entre as doses de N fornecida pelas leguminosas nos diversos trabalhos, o percentual de N derivado das leguminosas nas folhas não apresenta uma relação direta com a dose fornecida, levando a crer que outros fatores predominam na dinâmica de mineralização e absorção desse N. No entanto, o fator época de adubação pode ter levado a grande diferença nos teores nos dois anos seguidos. No primeiro ano a aplicação foi no final de janeiro, próximo ao período de acúmulos decrescentes de N pelo cafeeiro (Fenilli et al., 2007b; Laviola et al., 2008) ao contrário do segundo ano no qual a crotalária foi aplicada em dezembro no início do estágio de expansão rápida e acúmulos crescentes.

## **2.6 - CONCLUSÕES**

Após o início da fase reprodutiva, o cafeeiro apresenta maior crescimento com adubação de cobertura com a parte aérea de crotalária.

Até o florescimento o cafeeiro não apresenta aumento do crescimento em resposta à complementação do composto com a parte aérea de crotalária juncea.

O aumento das doses de composto promove a elevação do pH, P, K, Ca, Mg, Soma de bases, CTCefetiva, saturação de bases e matéria orgânica, e redução da acidez potencial.

A aplicação da biomassa da parte aérea de crotalária complementa a adubação com composto orgânico no fornecimento de N para o cafeeiro.

O composto orgânico eleva os teores foliares de N no cafeeiro.

Com a crotalária aplicada ao cafeeiro cerca de dois meses após o composto, a proporção foliar de N-leguminosa no cafeeiro independe da dose de composto.

O uso do isótopo  $^{15}\text{N}$  permite a identificação da contribuição do N-leguminosa para o cafeeiro, com percentuais foliares de N derivado de *Crotalaria juncea* de 9,2% a 17,9%.

## 2.7 - BIBLIOGRAFIA

- AITA, C. & GIACOMINI, S.J. Decomposição e mineralização de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n. 4, p. 601-612, Ago. 2003.
- AMBROSANO, E. J. et al.  $^{15}\text{N}$ -labeled nitrogen from green manure and ammonium sulfate utilization by the sugarcane ratoon. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 3, p.361-368, Jun. 2011.
- AMBROSANO, E. J. et al. Nitrogen mineralization in soils amended with sunnhemp, velvet bean and common bean residues. **Scientia Agricola**, v.60, n.1, p.133-137, Jan./Mar. 2003.
- AMBROSANO, E. J. et al. Nitrogen supply to corn from sunn hemp and velvet bean green manures. **Scientia Agricola**, v.66, n.3, p.386-394, Mai./Jun. 2009.
- AQUINO, A. M. et al. Biomassa microbiana, colóides orgânicos e nitrogênio inorgânico durante a vermicompostagem de diferentes substratos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 11, p.1087-1093, Nov. 2005.
- ARAÚJO, A. S. F. et al. Utilização de nitrogênio pelo trigo cultivado em solo fertilizado com adubo verde. (*Crotalaria juncea*) e/ou uréia. **Ciência Rural**, v35, n.2, p.284-289, mar-abr, 2005.
- ARAÚJO, J. B. S. et al. Composto orgânico e biofertilizante supermagro na formação de cafeeiros: teores foliares. **Coffee Science**, v. 2, n. 1, p. 20-28, jan./jun. 2007.
- ARAÚJO, J. B. S. et al. Composto orgânico e biofertilizante supermagro na formação de cafeeiros. **Coffee Science**, v. 3, n. 2, p. 115-123, jul./dez. 2008.
- ARAÚJO, J.; BALBINO, J. Manejo de guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) sob dois tipos de poda em lavoura cafeeira. **Coffee Science**, v. 2, n. 1, p. 61-68, jan./jun. 2007.
- BALOTA, E. L.; CHAVES, J. C. D. Enzymatic activity and mineralization of carbon and nitrogen in soil cultivated with coffee and green manures. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n.5, p.1573-1583, Out. 2010.
- BARRELA, T.P. **Manejo de espécies de leguminosas em cafezal sob cultivo orgânico**. 105 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.
- BARTHOLO, G. F.; GUIMARÃES, P. T. G.; MENDES, A. N. G. Produtividade de cultivares de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) submetidas a diferentes épocas de parcelamento da adubação. **Ciência e agrotecnologia**, v.27, n.4, p. 816-821, jul./ago., 2003.

- BERGO, L.C. et al. Avaliação de espécies leguminosas na formação de cafezais no segmento da agricultura familiar no Acre. **Acta Amazônica**, v.36, n.1, p.19-24. Março 2006.
- DA MATTA, F.M., AMARAL, J. A. T.; RENA, A.B. Growth periodicity in trees of *Coffea arabica* L. in relation to nitrogen supply and nitrate reductase activity. **Field Crops Research**, v. 60, n. 3, p. 223-229, Fev. 1999.
- DADALTO, G. G.; XAVIER, E. L. M. Coeficientes técnicos de produtos agrícolas no Estado do Espírito Santo. Vitória, ES: **INCAPER**, 2008. 84 p.
- DINIZ, E. R. et al. Gren manure incorporation timing for organically grown broccoli. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 42, n.2, p. 199-206, fev. 2007
- ESPINDOLA, J.A.A. et al. Decomposição e mineralização de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n. 2, p. 321-328, Mar./Abr. 2006.
- FENILLI, T.A.B. **Destino do nitrogênio (<sup>15</sup>N) fertilizante em uma cultura de café**. 2006. 100 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- FENILLI, T.A.B. et al. Fertilizer <sup>15</sup>N balance in a coffee cropping system: a case study in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p.1459-1469, Ago. 2008.
- FENILLI, T.A.B. et al. Growth, development, and fertilizer-<sup>15</sup>N recovery by the coffee plant. **Scientia Agricola**, v.64, n.5, p.541-547, Set./Out. 2007b.
- FENILLI, T.A.B. et al. The <sup>15</sup>N isotope to evaluate fertilizer nitrogen absorption efficiency by the coffee plant. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 79, n. 4, dez. 2007a.
- FIDALSKI, J.; CHAVES, J. C. D. Respostas do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) IAPAR-59 à aplicação superficial de resíduos orgânicos em um latossolo vermelho distrófico típico. **Coffee Science**, v. 5, n. 1, p. 75-86, jan./abril. 2010.
- GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais (5ª Aproximação)**. Viçosa, MG: CSFSEMG/UFV, p. 289-302, 1999.
- HERBETS, R. et al. Compostagem de resíduos sólidos orgânicos: aspectos biotecnológicos. **Revista Saúde e Ambiente**, v. 6, n. 1, p. 41-50, 2005.
- LANI, J. A.; PREZOTTI, L. C.; BRAGANÇA, S. M. Cafeeiro. In: PREZOTTI, L. C. et al. (Ed.). **Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo – 5ª aproximação**. Vitória, ES, SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. p. 111-118.
- LAVIOLA, B. G. et al. Acúmulo em frutos e variação na concentração foliar de NPK em cafeeiro cultivado em quatro altitudes. **Bioscience Journal**, v. 24, n. 1, p. 19-31, Jan./Mar. 2008.
- MARTINEZ, H. E. P.; CLEMENTE, J. M. O uso do cultivo hidropônico de plantas em pesquisa. Cadernos didáticos. Viçosa: UFV, 2011. 76 p.

- MATOS, E. S. et al. Decomposition and nutrient release of leguminous plants in coffee agroforestry systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p.141-149. Feb. 2011.
- MELO, L. C. A.; SILVA, C. A.; DIAS, B. O. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, Feb. 2008.
- MIYAZAWA, M. et al. Análise química vegetal. In.: SILVA, F. C. (Ed.). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Embrapa, Brasília, p.191-233, 2009.
- OVALLE, C. et al. Estimating the contribution of nitrogen from legume cover crops to the nitrogen nutrition of grapevines using a  $^{15}\text{N}$  dilution technique. **Plant Soil**, v. 334, n. 1, p. 247–259, Set. 2010.
- PAUL, E. A.; CLARK, F. E. Dynamics of residue decomposition and soil organic matter turnover. In: SOIL microbiology and biochemistry. 2nd ed. San Diego: **Academic**, 1996. p. 158-179.
- PAULO, E.M. et al. Produtividade do cafeeiro Mundo Novo enxertado e submetido à adubação verde antes e após recepa da lavoura. **Bragantia**, v. 65, n.1, p.115-120. 2006.
- PERIN, A. et al. Sunnhemp and millet as green manure for tropical maize production. **Scientia Agricola**, v.63, n.5, p.453-459, Set./Out. 2006.
- RIBAS, R. G. T. Decomposição, liberação e volatilização de nitrogênio em resíduos culturais de mucuna-cinza (*Mucuna cinérea*). **Ciência e agrotecnologia**, v. 34, n. 4, Ago. 2010
- RICCI, M.S.F. et al. Growth rate and nutritional status of an organic coffee cropping system. **Scientia Agricola**, v.62, n.2, p.138-144. Abr. 2005.
- ROCHA, A. C. et al. Recomendações para café arábica. In: PREZOTTI, L. C. Recomendação de Fertilizantes, Calcário e Gesso Para as Principais Culturas do Espírito Santo. Incaper, ES. 2010. Disponível em: <http://www.incaper.es.gov.br/?a=downloads/index>. Acesso em 01/09/2011.
- SILVA, A. G. et. Al. Compostagem de lodo de tanque séptico e resíduos vegetais. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 13, n. 4, p. 371-379, out./dez. 2008.
- SILVA, E. C. et al. Aproveitamento de nitrogênio pelo milho, em razão da adubação verde, nitrogenada e fosfatada. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.44, n.2, p.118-127, fev. 2009a
- SILVA, E. C. et al. Aproveitamento do nitrogênio ( $^{15}\text{N}$ ) da crotalaria e do milheto pelo milho sob plantio direto em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Ciência Rural**, v.36, n.3, p.739-746, Jun. 2006.
- SILVA, F. A. de M. ; VILLAS BOAS, R. L; SILVA, R. B. da. Parâmetros de maturação para diferentes compostos orgânicos. **Rev. Bras. de Agroecologia**. V.4(1): p.67-78. 2009b.
- SILVA, F. C. et al. Métodos de análises químicas para avaliação de fertilidade de solo. In.: SILVA, F. C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. Ed. **Embrapa**. p. 107-189, 2009.

SNOECK, D.; ZAPATA, F.; DOMENACH, A. M. Isotopic evidence of the transfer of nitrogen fixed by legumes to coffee trees. **Biotechnology Agronomy Society and Environment**, **4** (2), 95–100, 2000.

THEODORO, V. C. A.; MENDES, A. N. G.; GUIMARÃES, R. J. Resposta de lavouras cafeeiras em transição agroecológica a diferentes manejos de solo. **Coffee Science**, v. 4, n. 1, p. 56-66, jan./jun. 2009.

VALENTE, B.S. et al. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de zootecnia**, v. 58 (R): 59-85, 2009.

VILELA, E. F. et al. Crescimento inicial de cafeeiros e fertilidade do solo adubado com mucuna, amendoim forrageiro ou sulfato de amônio. **Coffee Science**, v. 6, n. 1, p. 27-35, jan./abr. 2011

## 3 - CAPÍTULO 2

### ADUBAÇÃO NITROGENADA DE CAFEEIROS COM BIOMASSA DE FEIJÃO DE PORCO

#### 3.1 - RESUMO

As leguminosas usadas como adubos verdes promovem o ingresso de N no agroecossistema através da fixação biológica. Normalmente seu cultivo ocorre em consórcio com resultados negativos ou nulos para o cafeeiro. Em função desse problema foi feito o cultivo do cafeeiro em vasos, com aplicação da parte aérea de feijão-de-porco (FP), objetivando a avaliação do crescimento e produção do cafeeiro, bem como do aproveitamento da biomassa de FP sem a interferência do consórcio. O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa-MG e implantado em março de 2009 com o cv. Oeiras. O cultivo foi em vasos de 60 L, com um cafeeiro por vaso, associando adubação mineral (AM) e matéria seca da parte aérea de FP. Os tratamentos foram: 1) 100% da AM (100-AM); 2) 30% da AM (30-AM); 3) 148g/planta de FP + 30-AM (FP-1); 4) 584g/planta de FP + 30-AM (FP-2). O Delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro tratamentos e quatro repetições. As doses de N-mineral foram de 30 g/planta no 1º ano e 21 g/planta no 2º ano e as de K<sub>2</sub>O foram de 30 g/planta no 1º ano e 31 g/vaso no 2º ano, correspondentes a dose 100% da AM. A dose de 584 g/planta de FP correspondeu a 15,8 e 17,6 g/planta de N, em dezembro de 2009 e 2010, respectivamente. O FP foi cultivado no campo sem marcação ou em vasos com sulfato de amônio a 2% de <sup>15</sup>N. Os tratamentos 3 e 4 receberam FP marcado com <sup>15</sup>N e FP comum em anos alternados. Avaliaram-se o crescimento, produção, os teores foliares de N e o N derivado do feijão-de-porco (N-leg), e também os efeitos sobre o solo. Até o início da fase reprodutiva dos cafeeiros com adubação mineral complementada com FP apresentam crescimento similar àqueles adubados com adubação mineral completa. Os percentuais foliares de N-leg em abril-junho/2010 foram de 4,68% e 18,65% nas doses respectivas de 146 e 584 g/planta. A adubação com a parte aérea de feijão-de-porco promove aumentos da produtividade do cafeeiro e dos teores de Ca<sup>2+</sup>, soma de bases, CTC efetiva, matéria orgânica do solo. O percentual de N derivado do feijão-de-porco nos cafeeiros é proporcional à dose fornecida.

**Palavras-chave:** *Canavalia ensiformis* (L.), adubação verde, nitrogênio. <sup>15</sup>N.

### 3.2 - INTRODUÇÃO

As leguminosas utilizadas como adubos verdes promovem o ingresso de nitrogênio fixado biologicamente nos agroecossistemas e também a reciclagem de nutrientes do solo. Normalmente o cultivo é feito em consórcio, semeando-se nas entrelinhas dos cafeeiros. Observam-se trabalhos com cafeeiros que estudam o potencial das leguminosas em relação à adubação nitrogenada para a sua substituição (Bergo et al., 2006), complementação (Ricci et al., 2005; Theodoro et al., 2009) ou a adição da leguminosa mantendo a adubação usual com N (Bergo et al., 2006; Paulo et al., 2006; Barrella, 2010).

Entretanto os efeitos das leguminosas consorciadas sobre a produtividade de cafeeiros são contraditórios. Os diversos trabalhos observados apresentam também variações no manejo e na espécie de leguminosa com predominância de resultados prejudiciais ao cafeeiro ou ausência de efeito. Bergo et al. (2006) observaram aumentos de produtividade do cafeeiro com *Flemingia congesta* e *Mucuna aterrima* e diminuição com guandu e feijão-de-porco, tanto com adição de adubação mineral nitrogenada como sem. Paulo et al. (2006) observaram redução na produtividade de cafeeiros adubados com adubação mineral nitrogenada e em consórcio com guandu, porém no consórcio com *Crotalaria juncea*, *Crotalaria spectabilis*, mucuna-anã ou soja a produtividade foi igual à testemunha. Tais resultados indicam que outros fatores, além do aporte de biomassa e N pelas leguminosas interferem na produtividade do cafeeiro.

As razões do insucesso do consórcio com leguminosas podem estar associadas às variáveis do manejo que não consideram a sincronia com as demandas do cafeeiro. A maior parte dos trabalhos efetua o corte das leguminosas no florescimento (Bergo et al., 2006; Paulo et al., 2006; Matos et al., 2011), sem considerar a demanda para a produção do café. Outros autores propõem a antecipação do plantio para o início do período das chuvas (Araujo e Balbino, 2007) e a diminuição do tempo de consórcio das leguminosas (Araujo e Balbino, 2007; Barrella, 2010) visando à redução da competição e a mineralização do N antes que os frutos dos cafeeiros estejam formados.

A época de semeadura e de corte das leguminosas podem ser fatores determinantes para o manejo em função da sincronia com a demanda de nutrientes pelo cafeeiro. Nesse sentido Barrella (2010) estudou o corte da leguminosa aos 30, 60, 90 e 120 dias após a semeadura de feijão-de-porco ou labe labe, observando diminuição no diâmetro da copa e número de folhas com o aumento do tempo de consórcio. A autora

relata também, resultados diferentes em dois anos de cultivo. No primeiro ano a produtividade foi maior na testemunha, porém no segundo ano, apenas no maior tempo de consórcio com 120 dias, a produtividade foi menor que a testemunha. Certamente o maior tempo de consórcio com o feijão-de-porco pode induzir a problemas de competição, também observados por Paulo et al. (2006) com guandu.

A sincronia da sementeira e corte da leguminosa deve ser feita em função da demanda do cafeeiro e os estádios de formação dos frutos. A adubação mineral é feita no início do período chuvoso até o mês de fevereiro (Bartholo et al., 2003; Fenilli et al., 2007) e certamente o adubo verde deverá atender ao cafeeiro no mesmo período. Nesse período os ganhos de acúmulo de N são de 36% na fase de expansão rápida, entre dezembro e janeiro e de 47% na fase de granação, entre fevereiro e abril (Laviola et al., 2008). Como a mineralização do N-leguminosa depende da lavagem do material orgânico e da sua decomposição, a aplicação do adubo verde deve ocorrer de forma sincronizada no início de cada estádio ou até o mês de fevereiro, a partir do qual as taxas de acúmulo de N passam a ser decrescentes (Fenilli et al., 2007; Laviola et al., 2008).

Os acúmulos de N em cafeeiros são diferenciados e as recomendações são baseadas nos teores foliares de N e na expectativa de produção (Guimarães et al., 1999). Em anos de carga baixa e alta, os acúmulos de N nos frutos representam 8,5% e 47,8% do N acumulado na parte aérea, correspondendo a 38,0 e 281,2 kg N ha<sup>-1</sup> (Fenilli et al., 2007b). Portanto a transferência de N para os cafeeiros precisa ser avaliada de forma independente em cada ano.

As leguminosas também interferem nos atributos do solo e nos teores foliares de nutrientes em cafeeiros, observando-se resultados diversos. Paulo et al. (2006) observaram maiores teores de matéria orgânica e K, e maior CTC em consórcio com guandu em relação à testemunha sem leguminosas. Porém, Bergo et al. (2006) não observaram diferenças nos atributos dos solo entre os tratamentos testemunha e consórcio com feijão-de-porco.

Os teores foliares de N em cafeeiros também apresentam resultados complementares das leguminosas na adubação. Ricci et al., (2005) observaram aumento dos teores foliares de N em cafeeiros cultivados com crotalária em consórcio complementado a adubação com cama de aviário em relação à testemunha sem a leguminosa. Bergo et al. (2006) observaram maiores teores foliares de N na associação

da adubação verde com adubação nitrogenada em relação à leguminosa somente, indicando um melhor efeito das duas fontes associadas.

Após o corte e a decomposição da biomassa, tanto da parte aérea quanto da raiz o N é liberado e disponibilizado no solo para as culturas. Ambrosano et al. (2009) cultivaram milho em vasos adubados com a parte aérea ou a raiz de *Crotalaria juncea* ou mucuna-preta, e relataram acúmulos na parte aérea de milho de 40,0% a 42,4% de N derivado da parte aérea e 4,8% a 5,7% de N derivado da raiz. Esses dados evidenciam que o maior acúmulo de matéria seca e N na parte aérea também se refletem em maior contribuição para a cultura.

No entanto são poucos os estudos que identificam quanto do N presente nos cafeeiros é proveniente das leguminosas. Snoeck et al. (2000) relatam em *Leucaena leucocephala* 52% N derivado da FBN e que 42,3% do N nos cafeeiros foram derivados dessa leguminosa. Na cultura do milho Silva et al. (2009) observaram 45,4% de N derivado da parte aérea de crotalária usada como único adubo e 23,4% a 16,5% quando suplementado com diferentes doses de uréia. Na cultura da uva, Ovalle et al. (2010) observaram nas folhas 14% e 20% de N derivado de leguminosas precoces e tardias, respectivamente, cultivadas em consórcio.

Estes estudos baseiam-se em técnicas isotópicas nas quais o enriquecimento isotópico é um procedimento que permite aumentar a concentração de  $^{15}\text{N}$  acima da abundância natural do ar. Desse modo é possível utilizar o  $^{15}\text{N}$  como traçador isotópico, usando como estratégia de marcação o cultivo de adubos verdes em ambiente controlado, visando à inibição da fixação biológica e uma boa absorção do  $^{15}\text{N}$ -fertilizante para alcançar a marcação desejada (Ambrosano *et al.*, 2003).

Para avaliação de cafeeiros adubados com fertilizantes marcados, os compartimentos que melhor refletem a composição isotópica da planta toda são os frutos, os ramos vegetativos e o caule (Fenilli et al., 2007a). Do ponto de vista prático o melhor é amostrar folhas da porção vegetativa do ramo em produção tanto em relação à concentração de N quanto ao enriquecimento com  $^{15}\text{N}$  (Fenilli et al., 2007a).

Alguns trabalhos indicam que a produção em cultivo solteiro da leguminosa seguida de corte e aplicação contribuem para os cafeeiros sem os efeitos de competição acarretados pelo crescimento simultâneo nas entrelinhas. Fidalski & Chaves (2010) compararam 17 materiais orgânicos quanto à adubação de cafeeiros e observaram que a altura, diâmetro da copa, volume da copa e número de ramos do cafeeiro foram maiores

após a aplicação de amendoim forrageiro em relação à testemunha e as produtividades foram maiores com fornecimento de mucuna-cinza e leucena. A adubação com a parte aérea de mucuna-preta produzida em cultivo solteiro, contribui positivamente para o crescimento do cafeeiro com aumentos do perímetro do caule, número de nós, diâmetro da copa e número de folhas (Vilela et al., 2011). Portanto, o potencial de adubação da biomassa da leguminosa pode ser determinado na ausência do consórcio, o qual envolve também o efeito da competição com o cafeeiro.

Considerando que o efeito das leguminosas cultivadas em consórcio pode acarretar problemas de competição com o cafeeiro e que as diversas variáveis do sistema devem ser estudadas para a compreensão do sistema produtivo é que se propôs o presente trabalho. Sendo assim, objetivou-se avaliar o crescimento e a produção iniciais de cafeeiros e o teor de N-leguminosa nos cafeeiros adubados com biomassa da parte aérea de feijão-de-porco, e o efeito do fornecimento da leguminosa sobre características do solo.

### **3.3 - MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.3.1 – Localização e descrição do experimento**

O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa-MG, localizada a 20°45'14''S e 42°52'53'' W, a 650 m de altitude. A região apresenta inverno frio e seco e verão quente e chuvoso, com temperatura média de 19,4 °C (máxima 26,4 °C e mínima 14,8 °C) e precipitação média de 1.221 mm ano<sup>-1</sup>.

O experimento foi implantado em 24 vasos com um cafeeiro por vaso, seis tratamentos e quatro repetições. Os cafeeiros foram adubados com 100% de adubação mineral (100-AM) ou 30% de adubação mineral (30-AM). As adubações com matéria seca da parte aérea de FP foram com 146 g/vaso (FP-1) ou 584 g/vaso (FP-2), associadas à dose 30-AM. As doses de FP foram determinadas em experimento prévio e corresponderam à biomassa de adubo verde produzida em vasos similares, aos 40 e 80 dias após a semeadura. Os cafeeiros receberam no 1º ano e no 2º ano biomassa de FP comum (FP) ou FP enriquecido com <sup>15</sup>N (<sup>15</sup>N-FP). Os tratamentos foram: 1) 100-AM; 2) 30-AM; 3) 30-AM + <sup>15</sup>N-FP-1 no Ano 1; 4) 30-AM + <sup>15</sup>N-FP-2 no Ano 1; 5) 30-AM + <sup>15</sup>N-FP-1 no Ano 2; 6) 30-AM + <sup>15</sup>N-FP-2 no Ano 2 (Tabela 1 e Figura 1). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso.

O experimento foi implantado em março de 2009 com mudas de *Coffea arabica* cv. Oeiras e conduzido até julho de 2011. As mudas foram transplantadas para vasos de 60 L preenchidos com substrato de subsolo (2/3) e areia (1/3), acrescidos de 63 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por vaso (75% de superfosfato simples e 25% de termofosfato magnesiano). As recomendações de adubação do substrato foram feitas de acordo com Guimarães et al. (1999), baseadas nos resultados de análise de rotina (Tabela 2).

Tabela 1. Percentuais de adubação mineral (AM) e doses de feijão-de-porco comum (FP) e marcado (<sup>15</sup>N-FP) correspondentes aos tratamentos aplicados em dois anos de cultivo de cafeeiros em vasos. Viçosa, 2012

Tratamento	AM	FP	Ano 1	N	Ano 2	N
	(%)	(g)		(g/planta)		(g/planta)
1	100	----	100-AM	30,0	100-AM	21,0
2	30	----	30-AM	9,0	30-AM	6,3
3	30	146	30-AM + <sup>15</sup> N-FP	11,8	30-AM + FP	10,7
4	30	584	30-AM + <sup>15</sup> N-FP	24,8	30-AM + FP	24,0
5	30	146	30-AM + FP	11,8	30-AM + <sup>15</sup> N-FP	10,7
6	30	584	30-AM + FP	24,8	30-AM + <sup>15</sup> N-FP	24,0

Tratamentos: 100% de Adubação mineral (100-AM); 30% de Adubação mineral (30-AM); 146g/planta de feijão-de-porco + 30-AM (FP-1); 584g/planta de feijão-de-porco + 30-AM (FP-2).

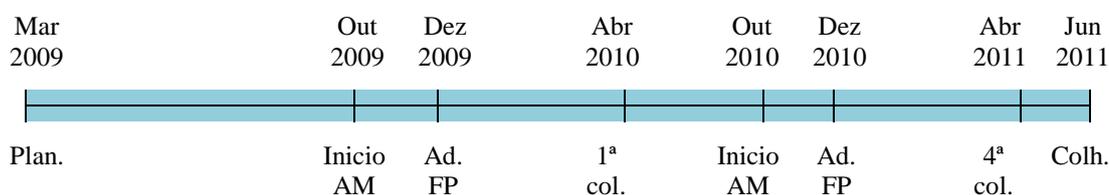


Figura 1. Linha do tempo do plantio até a 1ª colheita. Plan.: plantio do cafeeiro; AM: adubação mineral; FP: adubação com FP; 1ª col.: 1ª coleta foliar; 4ª col.: 4ª coleta foliar; Colh.: colheita do café. Viçosa, MG, 2012.

### 3.3.2 – Adubações de Cobertura ou Pós Plantio

As recomendações de adubação do substrato foram feitas de acordo com Guimarães et al. (1999), baseadas nos resultados de análise do substrato (Tabela 2) realizadas de acordo com Silva et al. (2009). A amostragem foi feita anualmente coletando-se quatro amostras simples por vaso até 20 cm de profundidade.

Para os cálculos de adubação e calagem, após o plantio, foram utilizados os resultados de análise de solo do tratamento 100-AM (Tabela 2) e a adubação de produção foi calculada considerando a produção de 180 g/planta de café beneficiado,

correspondente a 20 sc ha<sup>-1</sup> para uma população de 6.667 pl/ha. A amostragem foi feita coletando-se quatro amostras simples por vaso até 20 cm de profundidade. O cálculo da necessidade de calagem foi realizado pelo método de neutralização do Al<sup>3+</sup> e da elevação dos teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> (Alvarez V. & Ribeiro, 2009). Em 06 agosto de 2009 aplicou-se 21 g/vaso (1,5 Mg/ha) de calcário dolomítico, para correção até a profundidade de 7 cm, mais 20 g/vaso de gesso. Em 2010 aplicou-se 54 g/vaso (3,9 Mg/ha) de calcário dolomítico, dividida em duas doses fornecidas em set/10 e jan/11.

Tabela 2. Resultados da análise de rotina e do teor de matéria orgânica (MO), em solo cultivado com cafeeiros e fertilizados com adubação mineral e feijão-deporco. Viçosa, MG, 2012

Data	Trat. <sup>1</sup>	pH	P	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	(t)	(T)	V	MO
			- (mg dm <sup>-3</sup> ) -		----- (cmolc dm <sup>-3</sup> ) -----							(%)	(dag/kg)
12/2008	Substrato <sup>2</sup>	5,80	2,8	18,0	0,30	0,80	0,00	1,49	1,15	1,15	2,64	44,0	-----
07/2009	Substrato <sup>3</sup>	4,68	18,9	332,0	0,89	0,16	0,10	2,40	1,95	2,05	4,35	44,8	0,52
08/2010	100-AM	4,30	77,9	35,0	0,70	0,1	1,00	4,13	0,89	1,89	5,02	18,0	1,10
08/2010	30-AM	4,50	116,1	42,0	0,80	0,1	0,70	4,62	1,01	1,71	5,63	18,0	1,20
08/2010	FP-1	4,10	106,4	50,0	1,00	0,1	1,20	5,78	1,23	2,43	7,81	18,0	1,20
08/2010	FP-2	4,10	123,0	108,0	1,20	0,1	1,20	6,27	1,58	2,78	7,85	20,0	1,70
01/2012	100-AM	5,30	28,4	31,0	0,90	0,43	0	2,53	1,41	1,41	3,95	36,0	1,67
01/2012	30-AM	5,32	30,2	30,5	1,00	0,47	0	2,85	1,55	1,58	4,40	36,0	1,65
01/2012	FP-1	5,30	30,2	32,7	0,92	0,40	0	2,72	1,41	1,41	4,13	34,0	1,80
01/2012	FP-2	5,47	34,5	48,7	1,37	0,55	0	2,77	2,05	2,05	4,82	42,7	2,55

<sup>1</sup>Tratamentos: 100% de Adubação mineral (100-AM); 30% de AM (30-AM); 146g de FP + 30-AM (FP-1); 584g de FP + 30-AM (FP-2).

<sup>2</sup>Análise do substrato sem adição dos adubos e corretivos.

<sup>3</sup>Análise do substrato com 100% da AM após o plantio dos cafeeiros.

pH em água, relação 1:2,5; P – K: extrator Mehlich 1; H + Al: Extrator acetato de Cálcio 0,5 mol/L – pH 7,0; MO = C. Org. x 1,724 (Walkley-Black).

As adubações de pós-plantio, de 1º ano e de produção corresponderam a 15, 30 e 21 g/vaso de N via uréia, e 15, 30 e 31 g/vaso de K<sub>2</sub>O via sulfato de potássio para o tratamento 100-AM. As doses de N aplicadas constam na Tabela 1. As adubações de 1º ano e de produção foram aplicadas em entre outubro e fevereiro e divididas em oito parcelas para evitar risco de efeito salino devido ao experimento ser conduzido em menor volume de substrato. Os adubos foram dissolvidos em água, e aplicou-se 500 mL/planta, visando reduzir perdas de N por volatilização. As adubações anuais de cobertura com micronutrientes foram de 30 e 9 g/planta de FTE BR 12® (Zn: 9%; B: 1,8%; Cu: 0,8%; Mn: 2%) nos tratamentos com 100% e 30% de AM, respectivamente.

### 3.3.3 - Produção de FP marcado (<sup>15</sup>N-FP) e FP comum (FP)

O feijão de porco marcado foi cultivado em caixas de fibra de vidro em casa de vegetação. As sementes de feijão-de-porco foram imersas em hipoclorito a 1% por 5',

depois em álcool 70% por 1' e a seguir lavadas com água destilada e semeadas. As caixas tinham capacidade para 500 L e área superior ao nível do substrato de 0,74 m<sup>2</sup>, sendo que cada caixa foi preenchida com 260 L de substrato. O substrato foi composto por uma mistura de areia lavada: vermiculita na proporção 1:1. A adubação do substrato foi de 300 mg dm<sup>-3</sup> de fósforo na forma de super fosfato simples, 29 mg dm<sup>-3</sup> de K na forma de sulfato de potássio e 130 mg dm<sup>-3</sup> de N na forma de sulfato de amônio enriquecido com <sup>15</sup>N. Foram aplicados ao todo 33,3 g de N por caixa na forma de sulfato de amônio com 2 % de <sup>15</sup>N a.e. Os teores de cálcio e magnésio foram corrigidos obedecendo a uma relação 3:1.

O nitrogênio e o potássio foram aplicados em parcelas e as duas primeiras corresponderam à metade das seguintes. A adubação com N e K foi parcelada em sete vezes aos 5, 12, 19, 25, 33, 37, 41 e 57 dias após a semeadura de FP. O parcelamento visou evitar o efeito salino sobre plantas em ambiente muito restrito dos vasos. No ano de 2009 a semeadura foi em 01 de setembro e o corte em 01 de dezembro aos 92 dias após a semeadura (DAS). No ano de 2010 a semeadura foi em 27 de setembro e o corte foi em 22 de dezembro.

Os micronutrientes foram aplicados via solução de Hoagland e Arnon (1950) apud Martinez e Clemente (2011) na seguinte formulação: B = 46 μmol L<sup>-1</sup>; Cu = 0,3 μmol L<sup>-1</sup>; Fe + EDTA = 45 μmol L<sup>-1</sup>; Mn = 12,6 μmol L<sup>-1</sup>; Mo = 0,1 μmol L<sup>-1</sup> e Zn = 1,3 μmol L<sup>-1</sup> completando o volume para 1000 mL com água destilada, aplicando-se desta solução 0,5 mL dm<sup>-3</sup> de substrato.

O FP foi irrigado duas vezes por dia e o controle de irrigação foi estabelecido em função do volume de água drenado da base das caixas, com aumento da irrigação na ausência de água drenada e diminuição no caso contrário, retornando às caixas o volume drenado.

O feijão-de-porco comum foi semeado no campo sem aplicação de corretivos e adubos, após a inoculação com estirpe de *Bradyrhizobium* apropriada. A semeadura foi no espaçamento de 0,5 x 0,2 m com uma semente por cova. Na colheita, quatro amostras de FP e <sup>15</sup>N-FP foram pesadas, secas em estufa a 65 °C até biomassa constante, para a determinação de umidade e determinação da biomassa da matéria seca. Tanto o FP quanto o <sup>15</sup>N-FP foram aplicados nos vasos em 01 de dezembro de 2009 e 22 de dezembro de 2010, nos anos agrícolas de 2009/10 e 2010/11, respectivamente.

Após secagem das amostras em estufa a 65°C, e trituração em moinho Tipo Wiley moagem foi determinado o teor de N (método Kjeldahl). O FP colhido em 01/12/2009 apresentou 81,0% de umidade e 26,0 g kg<sup>-1</sup> de N, fornecendo 3,8 e 15,2 g de N por planta nas doses correspondentes a FP-1 e FP-2, respectivamente. O FP colhido em 22/12/2010 apresentou 81,4% de umidade e 30,3 g kg<sup>-1</sup> de N, fornecendo 4,4 e 17,7 g de N por planta nas doses correspondentes a FP-1 e FP-2.

As doses de <sup>15</sup>N-FP foram ajustadas para fornecerem a mesma quantidade de N do FP não marcado e os teores de N no <sup>15</sup>N-FP foram de 17,2 g kg<sup>-1</sup> e 23,4 g kg<sup>-1</sup> nas duas datas respectivas. Quatro dias antes da adubação coletaram-se quatro amostras de FP comum que foram secas em estufa a 65 °C e pesadas para a determinação da matéria seca a ser aplicada. No dia da adubação aplicou-se 90% de cada dose de FP e também se coletou os 10% restantes que foram secos em estufa a 65 °C juntamente com uma segunda amostra de FP para determinação da matéria seca. Quatro dias após, com o segundo resultado de matéria seca a dose de 90% aplicada foi recalculada e corrigida aplicando-se o restante da dose de FP para completar 100%.

O material vegetal marcado foi pesado e pulverizado em moinho de rolagem durante 24 horas, e nestas amostras, foi determinado o enriquecimento de <sup>15</sup>N com o auxílio do espectrômetro de massa Finnigan Mat, modelo Delta plus, do Laboratório de Nitrogênio da Embrapa Agrobiologia. O enriquecimento de <sup>15</sup>N do FP foi de 1,51% em 01/12/2009 e de 0,482% em 22/12/2010.

### **3.3.4 - Avaliação de crescimento**

Foi avaliado o crescimento total dos cafeeiros medindo-se a altura total (ALT) e o diâmetro de copa (DC). Também foi avaliado o crescimento da parte superior da copa demarcando-se o segundo entrenó a partir do ápice da planta e medindo-se as variáveis de crescimento acima do entrenó marcado (Figura 2). A avaliação a partir do entrenó demarcado representou o crescimento líquido dos cafeeiros influenciados pelos tratamentos nos períodos de abril a novembro/2010 (21 meses após o plantio) e novembro/2010 a abril/2011 (26 meses após o plantio). Os ramos plagiotrópicos do entrenó demarcado foram avaliados visando evitar erros na escolha aleatória de ramos. Foram medidas as variáveis acima do entrenó demarcado: altura (ALTm); número de ramos plagiotrópicos (NRPm) e número de nós do ramo ortotrópico (NNOm). No ramo plagiotrópico superior ao entrenó demarcado avaliou-se: comprimento do ramo

(CRPm), número de nós (NNPm), número de nós reprodutivos (NNrPm) e número de folhas (NFPm).

Ao final do experimento foi feita a contagem de Ponteiros Mortos (PM) na planta inteira e na parte superior da copa (PMPm).

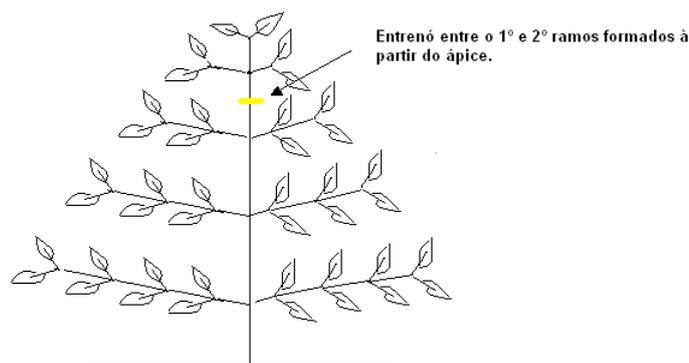


Figura 2. Representação do café com demarcação abaixo do 2º nó para avaliação do crescimento. Viçosa, 2012.

### 3.3.5 – Colheita de café

A colheita foi realizada semanalmente nos meses de abril a junho de 2011, colhendo-se apenas os frutos maduros. Após cada colheita foi feita a pesagem dos frutos e a determinação do percentual de bóia. Os frutos foram secos na condição ambiente até 12% de umidade, beneficiados e pesados.

### 3.3.6 – Características do solo

Foram coletadas amostras compostas de três amostras simples por vaso, na profundidade de 20 cm. Foram analisados o pH em água (relação 1:2,5); P e K (extrator Mehlich 1); Ca, Mg e Al (extrator KCl, 1 mol L<sup>-1</sup>); H + Al (Extrator acetato de Cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> – pH 7,0); e matéria orgânica (MO = C. Org. x 1,724. Walkley-Black) de acordo com Silva et al. (2009a).

### 3.3.7 – Teor de N-total e N-leguminosa nos cafeeiros

Foram coletadas amostras do 3º ou 4º par de folhas, a partir do ápice do ramo plagiotrópico, inserido no terço médio da planta de café, em abril, junho e novembro de 2010 e em abril de 2011. As amostragens de abril e junho visam representar o teor de

N-total e N-leg nos cafeeiros após o ciclo de crescimento do ano 2009-2010. A amostragem de novembro/2010 representa estes teores imediatamente antes da nova adubação com leguminosas e a amostragem em abril de 2011 indica os efeitos da adubação verde sobre os teores de N-total e N-leg no segundo ano de crescimento (2010-2011). As folhas foram lavadas em água deionizada e colocadas para secar em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até atingir biomassa constante, conforme descrito por Miyazawa et. al (2009). Após esse processo, os materiais vegetais foram pesados e moídos em moinho tipo Wiley e passados por peneira, após o que foi determinado o teor de <sup>15</sup>N.

A estimativa da fração do N proveniente do feijão de porco (N-leg) foi obtida pela seguinte equação (WARENBURG, 1992):

$$\%N - leg = \frac{\%15N \text{ a. e. no café}}{\%15N \text{ a. e. na leg}} \times 100$$

onde o % <sup>15</sup>N a.e. no café é o percentual de átomos em excesso de <sup>15</sup>N no café; e % <sup>15</sup>N a.e. na leg é o percentual de átomos em excesso de <sup>15</sup>N no feijão-de-porco.

### **3.3.8 - Análises estatísticas**

As análises estatísticas foram realizadas no programa SISVAR. A avaliação do crescimento e produção do cafeeiro, das características físico químicas do solo e dos teores de N foi feita nos tratamentos 1; 2; 3 e 4. Os dados foram submetidos à análise de variância e a comparação das médias foi feita pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A avaliação dos percentuais de N-leg foi feita nos tratamentos 3; 4; 5 e 6, utilizando o esquema de parcelas subdivididas. Os percentuais de N-leg foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade.

## **3.4 – RESULTADOS**

### **3.4.1 – Crescimento e produção**

Nas diversas variáveis de crescimento dos cafeeiros avaliadas aos 21 meses após o plantio, não houve diferenças devido aos tratamentos, pelo teste F ( $p \geq 0,05$ ), indicando que o tratamento 30-AM foi suficiente para nutrir o cafeeiro durante esse período. Os valores das variáveis de crescimento constam na Tabela 3.

Aos 26 meses após o plantio houve efeito significativo dos tratamentos ( $p < 0,05$ ) sobre o crescimento do cafeeiro nas variáveis ALT e NNOM. Os tratamentos FP-2 e

100-AM resultaram em maior altura que 30-AM, com altura intermediária devido ao tratamento FP-1 (Tabela 4), indicando que a dose de 584 g/vaso de FP permitiu a complementação da dose de 30% da adubação mineral. O maior número de nós ortotrópicos acima do ponto marcado foi obtido com 100-AM em relação a 30-AM (Tabela 4). Os tratamentos com FP resultaram em valores intermediários do número de nós ortotrópicos, não se diferenciando da menor nem da maior dose de AM.

Tabela 3. Crescimento do cafeeiro adubado com adubação mineral mais parte aérea de feijão-de-porco, avaliados aos 21 meses após o plantio. Viçosa-MG, 2012

Tratamentos	ALT <sup>ns</sup> (cm)	NRP <sup>ns</sup>	DC <sup>ns</sup> (cm)	CRPm <sup>ns</sup> (cm)	NNPm <sup>ns</sup>	NNrPm <sup>ns</sup>	NFPm <sup>ns</sup>
100-AM	66,34	26,28	69,72	23,33	9,64	5,60	12,47
30-AM	60,33	23,25	61,15	22,38	9,25	6,38	9,00
FP-1	63,80	24,50	75,45	25,59	9,00	6,13	12,13
FP-2	69,10	28,75	85,35	23,49	9,00	6,63	11,63
Média	64,89	25,69	72,92	23,70	9,22	6,18	11,31
CV (%)	9,93	10,20	18,45	10,31	11,82	12,8	16,31

Tratamentos: 100% de Adubação mineral (100-AM); 30% de AM (30-AM); 146g/planta de feijão-de-porco + 30-AM (FP-1); 584g/planta de FP + 30-AM (FP-2).

<sup>ns</sup>: não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Adubação Mineral (AM); Feijão-de-Porco (FP); Altura total (ALT); número de ramos plagiotrópicos (NRP); diâmetro da copa (DC); comprimento do ramo plagiotrópico marcado (CRPm); número de nós do ramo plagiotrópico marcado (NNRm); número de folhas do ramo plagiotrópico marcado (NFRm).

Tabela 4. Crescimento e ponteiros mortos em cafeeiros com adubação mineral e parte aérea de feijão-de-porco aos 26 meses após o plantio. Viçosa-MG, 2012

Tratamentos	ALT (cm)	ALTm <sup>ns</sup> (cm)	NNOm	NRPm <sup>ns</sup>	DC <sup>ns</sup>	PM <sup>ns</sup>	PMm <sup>ns</sup>
100-AM	81,44 a	45,40	17,56 a	31,19	81,58	11,47	5,69
30-AM	67,70 b	36,90	13,75 b	24,00	61,13	10,25	7,00
FP-1	75,53 ab	42,73	15,00 ab	25,75	90,13	7,00	4,25
FP-2	83,53 a	42,85	16,25 ab	27,50	100,00	17,50	4,50
Média	77,05	41,97	15,64	27,11	38,69	11,56	5,36
CV (%)	7,06	18,56	8,58	13,34	20,48	53,50	51,80

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

<sup>ns</sup>: não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Tratamentos: 100% de Adubação mineral (100-AM); 30% de AM (30-AM); 146g/planta de feijão-de-porco + 30-AM (FP-1); 584g/planta de FP + 30-AM (FP-2).

Altura Total (ALT); Altura acima do ponto demarcado (ALTm); Número de Nós do ramo Plagiotrópico acima do ponto demarcado (NNRm); Número de Ramos Plagiotrópicos acima do ponto demarcado (NRPm); Diâmetro da Copa (DC); Ponteiros Mortos (PM); Ponteiros Mortos acima do ramo demarcado (PMm).

O número de folhas no ramo marcado reduziu em todos os tratamentos, aos 26 meses após o plantio (Tabela 5), com elevada percentagem de ponteiros mortos

(Tabelas 4 e 5). O número de folhas por ramo marcado caiu de 11,31 após o florescimento para 2,06 na colheita (Tabelas 3 e 5), indicando que houve intensa queda de folhas. Dos 27,11 ramos contados acima do ponto marcado, 11,56 apresentaram ponteiros mortos equivalendo a 43% do total (Tabela 4). Nos dois ramos marcados no ano anterior 1,38 apresentaram morte dos ponteiros (Tabela 5), equivalendo a 69%.

Tabela 5. Médias do crescimento de ramos marcados de cafeeiro adubados com adubação mineral e parte aérea de feijão-de-porco aos 26 meses após o plantio. Viçosa-MG, 2012

Tratamentos <sup>1</sup>	CRPm <sup>ns</sup>	NNPm <sup>ns</sup>	NFPm <sup>ns</sup>	PMPm <sup>ns</sup>
(%)	(cm)	(cm)		
100-AM	37,34	15,44	0,90	1,79
30-AM	36,49	15,10	2,23	1,46
FP1	41,09	14,75	2,50	1,00
FP2	39,85	15,13	2,63	1,25
Média	38,69	15,10	2,06	1,38
CV (%)	20,48	18,99	131,25	47,39

<sup>1</sup>100-AM: 100% de Adubação mineral; 30-AM: 30% de Adubação mineral; FP1: 146g de FP + 30%-AM; FP2: 584g de FP + 30%-AM.

ns: Sem diferença significativa pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Comprimento do Ramo Plagiotrópico marcado (CRPm); Número de Nós do ramo Plagiotrópico marcado (NNPm); Número de Folhas do ramo Plagiotrópico marcado (NFPm); ponteiros mortos nos dois ramos plagiotrópicos marcados (PMPm).

Na colheita houve diferenças significativas quanto à biomassa de frutos cereja e grãos beneficiados pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). A menor produção de frutos cereja e de café beneficiado foi obtida com o tratamento 100-AM e as maiores produções foram com a maior dose complementar de FP com 584 g/vaso (Tabela 6). O tratamento 30-AM resultou em valor intermediário nas duas variáveis produtivas e o FP-1 resultou em maior produção de cereja e intermediário quanto ao café beneficiado (Tabela 6).

Observa-se que após o cultivo houve diferenças significativas entre os tratamentos quanto aos teores de  $\text{Ca}^{2+}$ , SB, t e MO do solo pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). O tratamento FP-2 promoveu maiores teores e 100-AM e FP-1 os menores, com o tratamento 30-AM resultando em condição intermediária exceto quanto aos teores de MO, para a qual FP-2 foi superior a todos os tratamentos (Tabelas 7 e 8). Nas variáveis Ca, SB e t o tratamento 30-AM resultou em valores intermediários (Tabelas 7 e 8).

Tabela 6. Médias das variáveis de café bóia, cereja, coco e beneficiado (Benef.), de cafeeiros adubados com adubação mineral e parte aérea de feijão-de-porco. Viçosa-MG, 2012

Tratamentos <sup>1</sup>	Bóia <sup>ns</sup> (%)	Cereja (g/planta)	Coco <sup>ns</sup> (g/planta)	Benef. (g/planta)
100AM	40,09	173 4 b	63,9	16,37 b
30AM	38,49	375,8 ab	94,9	20,12 ab
FP1	47,61	508,4 a	131,9	38,53 ab
FP2	29,35	593,7 a	159,9	54,61 a
CV (%)	52,27	34,27	55,68	50,67

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

<sup>1</sup>100-AM: 100% de Adubação mineral; 30-AM: 30% de Adubação mineral; FP1: 146g de FP + 30%-AM; FP2: 584g de FP + 30%-AM.

Tabela 7. Médias de pH, teores de P, K, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e H+Al em solos cultivados com cafeeiros e fertilizados com adubação mineral e feijão-de-porco, 34 meses após o plantio. Viçosa, 2012

Tratamento <sup>1</sup>	pH <sup>ns</sup>	P <sup>ns</sup>	K <sup>ns</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+ns</sup>	H+Al <sup>ns</sup>
		(mg dm <sup>-3</sup> )	(mg dm <sup>-3</sup> )	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )
100-AM	5,30	28,43	31,0	0,90 b	0,43	2,53
30-AM	5,32	30,22	30,5	1,00 ab	0,47	2,85
FP-1	5,30	30,17	32,7	0,92 b	0,40	2,72
FP-2	5,47	34,52	48,7	1,37 a	0,55	2,77
CV(%)	6,23	10,47	34,64	16,50	21,99	18,79

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

ns: Sem diferença significativa pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

<sup>1</sup> Tratamentos: 100% de Adubação mineral (100-AM); 30% de Adubação mineral (30-AM); 146g de FP + 30-AM (FP1); 584g de FP + 30-AM (FP2)

Tabela 8. Médias da soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC total (T), saturação por bases (V), e teor de matéria orgânica (MO) em solos cultivados com cafeeiros e fertilizados com adubação mineral e feijão-de-porco, 34 meses após o plantio. Viçosa, 2012

Tratamento <sup>1</sup>	SB	(t)	(T) <sup>ns</sup>	V <sup>ns</sup>	MO
	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	(%)	(g kg <sup>-1</sup> )
100-AM	1,413 b	1,413 b	3,947	36,00	1,667 b
30-AM	1,555 ab	1,580 ab	4,403	36,00	1,650 b
FP-1	1,408 b	1,408 b	4,130	34,00	1,800 b
FP-2	2,050 a	2,050 a	4,818	42,75	2,550 a
CV(%)	15,73	15,24	11,65	16,84	6,23

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

ns: Sem diferença significativa pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

<sup>1</sup> Tratamentos: 100% de Adubação mineral (100-AM); 30% de Adubação mineral (30-AM); 146g de FP + 30-AM (FP-1); 584g de FP + 30-AM (FP-2)

### 3.4.2 - Teores foliares de N-total

Os teores foliares de N foram influenciados pelos tratamentos ( $p < 0,05$ ) nos meses de abril e junho/2010 e abril/2011. Em abril/2010 o teor foliar de N foi maior com o tratamento 100-AM em relação aos demais (Tabela 9). Em junho/2010 os tratamentos com AM resultaram em maiores teores que os tratamentos com FP. Em abril/2011 o teor foliar de N foi maior com o tratamento 100-AM em relação a FP-1 e os tratamentos 30-AM e FP-2 resultaram em valores intermediários, não se diferenciando de 100-AM e FP-1.

Tabela 9. Teores foliares de N-total em cafeeiros adubados com feijão-de-porco e adubação mineral, amostrados em abril, junho e novembro/2010 e abril/2011. Viçosa, MG, 2012

Crotalaria (g/planta)	Abr/2010	Jun/2010	Nov/2010 <sup>ns</sup>	Abr/2011
	N (%)			
100-AM	4,01 a	4,51 a	3,82	2,14 a
30-AM	3,30 b	4,09 a	2,99	2,08 ab
FP-1	2,79 b	3,25 b	2,51	1,60 b
FP-2	3,04 b	3,17 b	2,39	2,03 ab
DMS	0,65	0,50	1,58	0,52

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

<sup>1</sup>Tratamentos: 100% de Adubação mineral (100%-AM); 30% de Adubação mineral (30-AM); 146g de FP + 30-AM (FP-1); 584g de FP + 30-AM (FP-2).

### 3.4.3 - Percentual de N-leg do FP aplicado no primeiro ano (dezembro/2009)

**Final do primeiro período de crescimento (abril e junho de 2010).** Nas análises de abril e junho/2010, houve efeito da dose de FP ( $p < 0,05$ ) sobre o N derivado da leguminosa aplicado em dezembro/2009. Os teores de N-leg constam na Tabela 10. Na média dos dois meses, o N-leg foi cerca de quatro vezes maior com o tratamento FP-2 em relação a FP-1 (Tabela 11), indicando uma resposta proporcional a dose aplicada e independente da proporção do N aplicado como AM.

**Segundo período de crescimento (novembro/2010 e abril/2011).** Na amostragem foliar de novembro/2010 e abril/2011 houve interação entre as doses de FP e os meses ( $p < 0,05$ ). Nos dois meses avaliados o N-leg foi maior com a dose de 584 g/vaso (Tabela 12). Com a maior dose houve diminuição do teor de N-leg de novembro/2010 para abril/2011, mas com a menor dose não houve diferença no teor de N-leg nas duas datas (Tabela 11).

Tabela 10. Percentuais foliares em cafeeiros de N derivado de feijão-de-porco (N-leg) aplicado em dezembro/2009, em duas épocas de coleta. Viçosa, MG, 2012

FP (g/planta)	% N-leg		
	abr/10	jun/10	média
584	19,28	18,27	18,78 a
146	5,27	4,88	5,08 b
CV (%)	6,65		

Médias seguidas de pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Tabela 11. Percentual de N derivado de feijão-de-porco (N-leg) em novembro/2010 e abril/2011 em cafeeiros adubados com <sup>15</sup>N-FP em dezembro/2009. Viçosa, MG, 2012

FP (g/vaso)	Novembro/2010		Abril/2011	
	N-leg (%)		N-leg (%)	
584	17,20 aA		10,74 aB	
146	3,88 bA		3,50 bA	
CV parcela (%)			13,29	
CV sub parcela (%)			17,35	

Médias seguidas de pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste F ( $p \geq 0,05$ ).  
Médias seguidas de pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste F ( $p \geq 0,05$ ).

#### 3.4.4 - Efeito da aplicação de FP no ano 2

Nos tratamentos com feijão-de-porco marcado aplicado em dezembro/2010 e amostragem foliar em abril/2011, o N-leg foi de 35,4% e 9,6%, nas doses respectivas de 584 e 146 g/vaso de <sup>15</sup>N-FP.

### 3.5 - DISCUSSÃO

#### 3.5.1 – Crescimento

A menor dose de adubo mineral aplicada no presente trabalho, de 30% da recomendação, foi suficiente para nutrir o cafeeiro até o início do período reprodutivo, mas aos 26 meses essa adubação foi insuficiente, alcançando-se maior altura e número de nós no na parte superior do ramo ortotrópico com 100% da adubação mineral e na maior dose de feijão-de-porco.

Vilela et al. (2011) observaram efeito positivo em cafeeiros adubados com a parte aérea de leguminosas (amendoim forrageiro ou mucuna cinza) ao final de um ano de cultivo em vasos, com maiores valores de perímetro do caule, número de nós do

ramo ortotrópico, diâmetro da copa, e número de folhas em relação à adubação com sulfato de amônio. O trabalho de Vilela et al. (2011) evidencia o efeito positivo da adubação verde no fornecimento de macro e micronutrientes, além do N, permitindo supor que na ausência de adubação mineral de cobertura, a substituição com leguminosas poderia ser feita. O presente trabalho evidencia o efeito da dose de 584 g/planta de feijão-de-porco mais 30% de adubação mineral, a qual foi suficiente para promover altura similar a 100% da adubação mineral. Em relação a 30% da adubação mineral houve o aumento do número de nós na parte superior do ramo ortotrópico de 9% e 18% nos tratamentos complementares com 146 g/planta e 584 g/planta de feijão-de-porco, e aumento de 28% com 100% da adubação mineral, complementando parcialmente a adubação mineral sem igualar a dose 100%.

Bergo et al. (2006) observaram efeitos positivos de *Flemingia congesta* e negativos de feijão-de-porco em consórcio com cafeeiros, sobre a altura e o diâmetro da copa com ou sem N mineral, em dose igual à testemunha sem adubo verde, evidenciando o efeito potencial de competição da leguminosa. No entanto, no presente trabalho, a biomassa da parte aérea do FP promoveu elevação na altura e número de nós do ramo ortotrópico na parte superior da copa foi equivalente a 100% da adubação mineral, evidenciando que os fatores de competição no consórcio podem não permitir a manifestação dos benefícios de aporte de nutrientes pelas leguminosas.

Em condições de campo, Fidalsky & Chaves (2010) também verificaram o potencial de leguminosas aplicadas na dose de 20 t/ha de matéria seca, em substituição a 95 kg N ha<sup>-1</sup> (sulfato de amônio) e testemunha sem N. Os autores observaram maior altura, volume da copa e produtividade com leucena e mucuna-cinza em relação à adubação com sulfato de amônio. Porém, as quantidades de N aplicadas por Fidalsky & Chaves (2010) corresponderam a 522 a 626 kg N ha<sup>-1</sup>, bem acima de 25,3 a 118,0 kg N ha<sup>-1</sup> utilizados no presente trabalho. Possivelmente, o efeito complementar da aplicação da biomassa não decomposta associada com parte da AM seja o fator que permitiu resultado promissor, visto que Fidalsky & Chaves (2010), mesmo com altas doses de biomassa/N identificaram a necessidade de complementação com adubação mineral da maioria dos 17 adubos orgânicos avaliados.

### **3.5.2 – Produtividade**

Os resultados indicam o efeito do FP em fornecer nutrientes, explicando a maior produtividade do cafeeiro no tratamento com 30% de AM mais 584 g/planta de FP em

relação à adubação com 100% de adubação mineral. Mesmo sem diferenças nas variáveis de crescimento até os 20 e 27 meses após o plantio do cafeeiro, os dois tratamentos diferiram em relação à produção, indicando que a associação entre a fonte mineral e a orgânica foi mais eficiente. O aporte total de N na implantação e nos anos agrícolas de 2009/10 e 2010/11 foi respectivamente de 30, 60 e 21 g/planta no tratamento 100-AM, enquanto que com a dose mais alta de feijão de porco acrescida de 30% da adubação mineral o aporte total de foi de 9, 33, e 24 g/planta, indicando que, mesmo com uma dose total de N menor, a combinação de 30% de AM e FP resultou em maior produção que a adubação mineral exclusiva. Além disso, o tratamento com 584 g/planta de FP resultou em maior teor de Ca, SB, CTCefetiva e MO em relação 100-AM, indicando que o FP na maior dose contribui para a melhoria das condições de solo e para a maior produtividade.

O número de folhas por ramo marcado caiu de 11,31, após o florescimento, para 2,06 na colheita, indicando que houve queda de folhas motivada pela drenagem de nutrientes para os frutos e também devido ao padrão fenológico, típico da espécie, que perde folhas no inverno seco da região. Dos 27,11 ramos presentes acima do ponto marcado, 11,56 apresentaram ponteiros mortos equivalendo a 43% do total. Nos dois ramos plagiotrópicos marcados 1,38 apresentaram morte dos ponteiros, equivalendo a 69%. Esse maior percentual nos ramos marcados se deve a maior drenagem de nutrientes para os frutos nesses ramos, os quais foram ramos produtivos com média de 6,18 nós reprodutivos por ramo, enquanto os ramos da parte superior dos cafeeiros, sem frutos, visualmente apresentaram menos ponteiros mortos.

O esgotamento de carboidratos na planta é a principal causa da morte de ponteiros (Rena et al., 2001; Laviola et al., 2007) e durante a estação de crescimento dos frutos ocorre decréscimo nos teores de macronutrientes nas folhas de cafeeiros (Valarini et al., 2005), com grande acúmulo de matéria seca e nutrientes nos frutos (Laviola et al., 2008; Fenilli et al., 2007).

Bergo et al. (2006) observaram menores produtividades em cafeeiros consorciados com feijão-de-porco com ou sem adubação nitrogenada, indicando um efeito de competição do FP. Porém, o aumento da produtividade do cafeeiro adubado com FP além de 30% da AM permite supor que, na ausência do consórcio, a adubação com FP pôde complementar a AM sem apresentar um provável efeito alelopático indicado por Guimarães et al. (2002) *apud* Bergo et al. (2006).

Efeito positivo do consórcio com *Flemingia congesta* sobre a produtividade de cafeeiros foi observado por Bergo et al. (2006). Produtividades similares entre cafeeiros solteiros com aqueles consorciados com leguminosas foram observados com mucuna-preta e guandu (Bergo et al., 2006), *C. spectabilis*, *C. juncea*, mucuna anã e soja (Paulo et al., 2006). Efeitos negativos da consorciação foram observados com feijão-de-porco (Bergo et al., 2006), guandu (Paulo et al., 2006), feijão-de-porco e labe labe (Barrella, 2010). Cada um dos diversos trabalhos encontrados na literatura apresenta peculiaridades que podem levar ao insucesso do consórcio para a maioria dos adubos verdes.

O corte no pleno florescimento, no mês de abril (Bergo et al., 2006) certamente não é o mais adequado tendo em vista que o cafeeiro encontra-se no final do período de frutificação (Laviola et al., 2006) e também por que a leguminosa pode crescer muito e competir com o cafeeiro. Mesmo com adubação mineral completa, a produtividade do cafeeiro não aumentou no consórcio com *C. spectabilis*, *C. juncea*, mucuna anã e soja, e reduziu com guandu o qual permaneceu maior tempo em consórcio e produziu mais biomassa (Paulo et al., 2006). Nesse último caso, além do fator época de corte, o tempo de convivência no consórcio se evidencia como outro fator de insucesso. Mesmo com redução do tempo de consórcio e sem o corte no florescimento houve redução de produtividade de cafeeiros em dois anos de cultivo (Barrella, 2010) e nesse caso, o uso de enxada rotativa nas entre linhas antes da semeadura das leguminosas e a ocupação total das entrelinhas com cinco linhas de leguminosas podem ser fatores que prejudicam o sistema radicular do cafeeiro ou acentuam efeitos de competição devida à alta densidade de plantio da leguminosa nas entrelinhas e a proximidade dos cafeeiros.

Independentemente dos fatores que interferem no consórcio é possível observar que a adubação com a parte aérea de FP permite um efeito complementar ao adubo mineral e que as variáveis interferentes devem ser trabalhadas para aperfeiçoar o potencial de reciclagem de nutrientes e o aproveitamento do N fornecido pelas leguminosas.

### **3.5.3 – Características físicas e químicas do solo**

O aumento da matéria orgânica nos tratamentos com adubação mineral comparativamente à análise inicial do substrato (jul/2009) foi de 221% e 217%, respectivamente para 100-AM e 30-AM. Esse aumento se deve ao crescimento das raízes, ao acúmulo de matéria orgânica proveniente da queda folhas do cafeeiro e a das

plantas daninhas que foram capinadas e não retiradas dos vasos. No tratamento FP-2 o aumento de matéria orgânica foi de 390% em relação ao teor inicial e 171% a mais que a média dos tratamentos com adubação mineral. O maior acúmulo de matéria orgânica no tratamento FP-2 contribuiu para os maiores valores de  $\text{Ca}^{2+}$ , SB e t em relação aos tratamentos 100-AM e FP-1, podendo explicar a maior produtividade de grãos beneficiados nesse tratamento. Observando os teores de matéria orgânica com tratamento FP-1 verifica-se que este não foi suficientemente elevado para diferir dos tratamentos exclusivos com AM. Os valores similares das variáveis SB e t podem ser atribuídos à correção do  $\text{Al}^{3+}$  através da calagem aplicada no substrato.

Os valores baixos de pH e saturação por bases foram recorrentes na análise de solos e indicam que a correção do substrato pelo método da “neutralização do  $\text{Al}^{3+}$  e da elevação dos teores de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ” não supriu a necessidade em quantidade adequada, pelo menos nas condições do experimento. Mesmo pelo “Método da saturação por bases” a recomendação de correção seria pequena ( $0,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e ainda não corrigiria o problema observado. Apesar da calagem do segundo ano ter sido equivalente a  $3,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ , o pH e a saturação por bases apresentaram valores baixos correspondentes a 5,3 e 37%. A acidificação do solo é devida também, a adição de fertilizantes e a grande quantidade de nutrientes absorvidos pelo cafeeiro. Balota e Chaves (2011) relatam em cultivo de cafeeiros com adubação mineral e adubos verdes cultivados nas entrelinhas, pH de 4,4 e 6,0 e saturação por bases de 34% e 62% sob a copa de cafeeiros e nas entrelinhas, respectivamente. Por isso, a não adição inicial de calcário e a extração de nutrientes pelo cafeeiro contribuíram para os baixos valores de pH nos vasos.

Certamente, o efeito condicionador da matéria orgânica também interferiu nas diferenças da produtividade. É provável que a matéria orgânica tenha melhorado as condições do substrato e favorecido o melhor desempenho do cafeeiro com a maior dose de FP. Os teores intermediários de  $\text{Ca}^{2+}$ , bem como a maior SB e CTCefetiva no tratamento 30-AM, sugerem que houve menor extração de nutrientes do solo, evidenciada pelo menor crescimento dos cafeeiros em ALT e NNOM. A aplicação de 1/3 da calagem e gesso em ago/09 foi insuficiente para a correção do substrato o que pode ser observado no pH entre 4,1 e 4,5 e na saturação por bases entre 18% e 29% . Por essa razão foi aplicada a calagem total calculada equivalente a  $3,9 \text{ Mg ha}^{-1}$  no ano seguinte. A aplicação foi em duas parcelas (set/10 e jan/11) observando-se elevação do pH para valores entre 5,3 e 5,5, neutralização do  $\text{Al}^{3+}$  e elevação da saturação por bases

entre 36% e 43%. Mesmo assim, o pH atingido após a colheita foi baixo e a saturação por bases não atingiu 60% do valor recomendado (Guimarães et al., 1999).

Outros autores verificaram a contribuição dos adubos verdes para a melhoria dos atributos do solo com aumentos dos teores de K, P,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , SB e com as leguminosas mucuna cinza e amendoim forrageiro, mesmo com maior crescimento dos cafeeiros (Vilela et al., 2011); aumentos de 35% no carbono orgânico sob a copa de cafeeiros adubados com leucena, durante dez anos e em condições de campo (Balota e Chaves, 2011); elevação dos teores de K em profundidades variáveis com mucuna-cinza, leucena, guandu e amendoim forrageiro (Fidalky e Chaves, 2010).

Além dos nutrientes fornecidos, a matéria orgânica libera ligantes orgânicos hidrossolúveis com grupos funcionais hidroxílicos ( $\text{CO}^-$ ) e carboxílicos ( $\text{COO}^-$ ) presentes nos extratos vegetais dos adubos verdes que são responsáveis por alterações químicas no perfil do solo, mobilizando cátions básicos solúveis em profundidade (Franchini et al., 2001). Os ligantes orgânicos hidrossolúveis promovem o aumento do pH, dos teores de Ca, Mg e K trocáveis e a diminuição da acidez potencial e do Al trocável em profundidade (Diehl, et al., 2008). Por essa razão, é provável que no tratamento FP-2 a maior quantidade de FP tenha melhorado as condições do substrato em todo o seu perfil.

#### **3.5.4 - Teores de N-total**

O maior teor de N-total nos cafeeiros com 100% de adubação mineral em relação aos outros tratamentos pode ser devido à maior quantidade de N fornecida, ao parcelamento da adubação mineral em contraste com o FP aplicado em dose única e à dinâmica de decomposição do FP e disponibilização do seu N. Mesmo com menores aportes de N o tratamento 30-AM resulta em maiores teores foliares de N que os tratamentos com 146 e 584 g de FP por planta sugerindo uma menor disponibilidade de N com a aplicação de FP ou efeito de diluição na planta, em decorrência de maior crescimento. O parcelamento da adubação mineral é benéfico para o cafeeiro (Sobreira et al., 2011), porém esse fator não foi predominante sobre os teores foliares porque o acréscimo de FP aos 30% de AM induziu a uma redução dos teores. Como o tratamento 30-AM apresentou tendência de maior teor foliar com menor quantidade de N aplicado, pode-se inferir que a dinâmica de decomposição do FP tenha sido mais importante para a redução dos teores foliares de N.

O maior teor foliar no tratamento com 100% de adubação mineral em relação a 146 g de FP por planta mais 30 % de adubação mineral, avaliada em abril/2011, é

decorrente da menor produtividade de 16,37 g/planta do primeiro em relação a 38,53 g/planta do segundo tratamento. Portanto a maior produtividade pode ter levado à maior exportação de N para os frutos e menores teores foliares.

Os menores teores foliares de N com o fornecimento de FP podem ser decorrentes da liberção parcial do N contido no FP durante a decomposição e de sua imobilização na biomassa microbiana. As leguminosas apresentam relação C:N baixa e aumentam os teores de N disponível no solo (Ambrosano et al., 2003), contudo no início da decomposição das leguminosas há mineralização rápida do N seguida de uma mineralização lenta (Aita & Giacomini, 2003; Espindola et al., 2006; Matos et al., 2011). Matos et al. (2011) relataram mineralização em litter-bags de 32% do N em 15 dias,  $T_{1/2}$  acima de 72 dias e cerca de 80% até 360 dias em quatro leguminosas diferentes, cultivadas em condições de campo. Portanto, pode-se supor que apenas parte do N do FP foi disponibilizado e, como a biomassa microbiana aumenta com a aplicação de leguminosas (Balota e Auler, 2011; Balota e Chaves et al., 2011), parte do N mineralizado tende a ficar retido na biomassa microbiana e ser re-mineralizado posteriormente (Balota e Auler, 2011; Matos et al., 2011).

O teor foliar de 3,83 dag kg<sup>-1</sup> avaliado no estádio de chumbinho estava acima do limite de 2,50 dag kg<sup>-1</sup> indicado como baixo (Guimarães et al., 1999). O mesmo teor encontrava-se acima da faixa crítica entre 2,24-3,38 dag kg<sup>-1</sup> (Martinez et al., 2003) e acima de 2,25 e 2,79 dag kg<sup>-1</sup> (Farnezi et al., 2009), indicando que a adubação adotada não foi subdimensionada.

Houve um esgotamento dos cafeeiros que pode ser constatado através da morte de ponteiros e morte de ramos em todos os tratamentos, com médias de 11,6 ponteiros mortos por planta e 5,4 por planta nos ramos plagiotrópicos desenvolvidos entre abr/2010 e abr/2011. O esgotamento de carboidratos na planta é a principal causa da morte de ponteiros (Rena et al., 2001) e durante a estação de crescimento dos frutos ocorre decréscimo nos teores de macronutrientes nas folhas de cafeeiros (Valarini et al., 2005). Esse problema poderia ter sido atenuado pela aplicação de uma dose maior que 21 kg de N por vaso, como a utilizada por Fenilli et al. (2007a) em condições de campo, que adubou a lavoura de café com 37 g de N por planta e obteve teores foliares altos de 3,54 dag kg<sup>-1</sup> ao final do período de frutificação na primeira colheita.

As perdas de N podem ocorrer por lixiviação (Fenilli et al., 2007a; Ambrosano et al., 2009; Harmand et al., 2011) ou volatilização (Fenilli et al., 2007a). As perdas por

lixiviação são maiores em solo arenoso em relação a argiloso (Ambrosano et al., 2009), chegando a perdas de 50% do N-amoniaco de dejetos de suínos em solo arenoso (Giacomini et al., 2009). Por isso, é provável que a mistura do substrato com 1/3 de areia tenha favorecido a lixiviação e perda de N. Paralelamente, o aumento da matéria orgânica no substrato, indica imobilização de N na matéria orgânica do solo (MOS), chegando a acumular no tratamento com adubação mineral exclusiva 221% a mais de matéria orgânica ao final do experimento em relação ao início. As perdas por lixiviação e volatilização juntamente com a acumulação da matéria orgânica no substrato, imobilizando parte dos nutrientes, podem ter contribuído para diminuir a disponibilidade de N, não atendendo à demanda simultânea de crescimento vegetativo e reprodutivo do cafeeiro e induzido ao baixo teor foliar de N em abr/2011 .

### **3.5.5 – Percentuais foliares de N-leg**

**Abril e junho de 2010 (Primeiro período de crescimento após a aplicação do FP marcado).** A contribuição do FP aplicado em dezembro/2009 correspondeu a 45,8% do total de N aplicado no substrato na dose de 584 g/vaso, enquanto o percentual de N-leg médio de abril e junho foi de 18,78%, permitindo supor que a maior contribuição foi proveniente do N mineral aplicado e do solo. No tratamento com 146 g/vaso de feijão de porco a contribuição da leguminosa foi de 17,4% do total de N aplicado no substrato e o percentual de N-leg médio entre novembro/2009 e abril/2010 foi de 5,08% nas folhas dos cafeeiros.

Ambrosano et al. (2009) relatam percentuais de 40% a 42,4% de N derivado da parte aérea de crotalária ou mucuna-preta, como única fonte de N, na parte aérea de milho em cinco amostragens aos 20, 40, 60, 80 e 100 dias após a emergência. Essa pequena variação entre as datas de amostragem também ocorreu nas folhas dos cafeeiros entre os meses de abr-2010 e jul-2010, indicando que as leguminosas proporcionaram um fornecimento constante de N evidenciados pelos teores foliares semelhantes nas duas datas.

Resultados da proporção de N-leg em culturas, relatados por diversos autores, são variados. Ovalle et al (2010) observaram em folhas de videira médias 15% e 28% de N-leg precoces e tardias, respectivamente, com doses de N variando de 68 a 194 kg ha<sup>-1</sup>, complementando 40 kg N ha<sup>-1</sup> de adubação mineral. Ambrosano et al. (2011) obtiveram 10,9% N derivado de crotalária em folhas de cana-de-açúcar adubadas com 196 kg N ha<sup>-1</sup>, e Araujo et al. (2005) obtiveram 12,8% de N-leg na parte aérea de trigo aplicando

100 kg ha<sup>-1</sup> de N com crotalária. O percentual de 18,78% com a dose equivalente a 101 kg ha<sup>-1</sup> de N (população de cafeeiros estimada em 6.667 pl ha<sup>-1</sup>), encontra-se próximo dos valores de Ovalle et al. (2010) em consórcio e mais altos que os observados por Araujo et al. (2005) e Ambrosano et al. (2011) com aplicação da parte aérea de crotalária em trigo e milho, indicando boa resposta do cafeeiro ao FP. O teor médio de N-leg aos 5 e 7 meses após a aplicação da menor dose de FP (3,8 g de N por planta) em dez/2009, foi de 5,08% e bem abaixo dos teores observados por Ovalle et al (2010) em videira, Araujo et al. (2005) em trigo e Ambrosano et al. (2011) em milho. Como a dose de 146 g/vaso foi estimada para uma produção de feijão-de-porco aos 40 dias, a realização do corte ao final desse período de crescimento resultaria em uma contribuição pequena para o cafeeiro.

**Novembro/2010 e abril/2011 (segundo período de crescimento após a aplicação do FP marcado).** Nesse período, teve início um novo ciclo de adubação com os adubos minerais a partir de outubro e com o FP não marcado em dezembro/2010. O N-leg determinados no 17º mês após a aplicação do FP indica que houve um efeito residual maior da dose de 584 g/vaso de FP, com 10,74% de N-leg em relação a 3,5% na dose de 146 g/vaso. Tal resultado permite supor que parte do N foi mineralizado do FP e absorvido pelo cafeeiro durante o primeiro ano após a adubação. Possivelmente, o restante do N que permaneceu no substrato foi gradativamente mineralizado da matéria orgânica remanescente. Esse N pode permanecer no solo através do aumento da biomassa dos microorganismos do solo impulsionado pela adição de matéria orgânica (Balota e Chaves, 2010). O N proveniente da decomposição de leguminosas tende a apresentar uma mineralização inicial rápida e redução da velocidade de decomposição no material restante e mais recalcitrante, como já discutido anteriormente.

Em experimento com cana-de-açúcar, Ambrosano et al. (2011) aplicaram 70 kg ha<sup>-1</sup> de N através de sulfato de amônio (SA) e 196 kg ha<sup>-1</sup> com crotalária juncea e relataram frações de N-leg em folhas de 11,1% e 5,5%, e de N-SA de 6,9% e 1,7%, no primeiro e segundo anos após a aplicação, respectivamente. No presente trabalho, a aplicação de 584 g/vaso de FP (15,2 g/vaso de N-FP) no Ano 1 promoveu teores de N-leg de 18,78% no ano de aplicação e 10,74% no ano seguinte. Ao contrário dos trabalhos de Ambrosano et al. (2011) e Ovalle et al. (2010) as doses de N do FP aplicadas por vaso foram maiores que as de N mineral, tendo fornecido aos cafeeiros no

tratamento FP-2 15,8 g/planta de N pelo FP e 9 g/planta de N pelo adubo mineral. Por essa razão, se pode afirmar que houve boa resposta do cafeeiro a aplicação do FP.

Silva et al. (2009b) obtiveram teores de N derivado de 1,0 g de N-crotalária por vaso na parte aérea de milho, que diminuíram de 44,6% a 14,0%, nas doses de uréia de 0,0 a 2,25 g/vaso. De forma semelhante o teor foliar variou com a dose de FP e por isso, o efeito complementar da leguminosa depende da dose aplicada. No presente experimento as doses de N foram de 3,8 e 15,8 g/vaso em FP-1 e FP-2, respectivamente, para uma dose 9 g/vaso de N mineral.

**Teores de N-leg em cafeeiros adubados com FP em dezembro de 2010.** Na amostragem foliar de abril/2011 após a aplicação do FP em dezembro/2010, o N-leg foi de 35,4% e 9,6%, correspondentes a uma proporção de 3,7:1 de FP-2/FP-1. Essa proporção encontra-se similar à proporção encontrada no Ano1 e próxima de 4:1 relativa à quantidade de FP aplicado de 584g : 146g.

Os maiores percentuais de N derivado do FP aplicado no segundo ano podem ser devidos a maior proporção de N fornecido pelo FP em relação à adubação mineral. O N fornecido foi de 30 g/planta no primeiro ano e de 21 g/planta no segundo, correspondendo a uma redução de 30%. As proporções entre o N do FP e o N da adubação mineral aplicados nos dois anos seguidos, respectivamente, foram de 0,31 e 0,70 na dose de 146 g/planta de FP e de 1,76 e 2,81. Na menor dose de FP o aumento do N aplicado nos vasos foi proporcional a 124% e na maior dose foi de 60%.

Outros autores observaram variações do percentual de N, com variação nas doses de N-mineral ou de N do adubo verde, que corroboram com os resultados de elevação do N derivado do FP com o aumento das doses de FP ou da proporção entre o N-FP em relação ao N-uréia. Ovalle et al. (2010) verificaram em folhas de videira com leguminosas tardias e precoces cultivadas nas entre linhas, percentuais de 20% N derivado de tardias e de 14% de precoces. Nos dois anos de cultivo as leguminosas tardias forneceram mais N que as precoces, sendo as quantidades de N no 1º ano de 128 e 68 kg ha<sup>-1</sup> e no 2º ano de 194 e 157 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. O aumento do percentual de N derivado de leguminosa com a diminuição proporcional do N-mineral, foi observado por Silva et al. (2009b), que obtiveram redução de 44,6% a 14,0% na parte aérea de milho, com o fornecimento constante de 1,0 g de N-crotalária por vaso e variação nas doses de uréia de 0,0 a 2,25 g/vaso. Nos dois casos, tanto a variação na

dose de leguminosa, quanto na proporção promovem a variação nos percentuais foliares de N derivados dos adubos.

### 3.6 - CONCLUSÕES

Até o início da fase reprodutiva, os cafeeiros adubados com feijão-de-porco complementado com adubação mineral apresentam crescimento similar àqueles adubados com adubação mineral completa.

A adubação com a parte aérea de feijão-de-porco promove aumentos da produtividade do cafeeiro e dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$ , soma de bases, CTC efetiva, matéria orgânica do solo.

O percentual de N derivado do feijão-de-porco nos cafeeiros é proporcional à dose fornecida.

A adubação com feijão-de-porco apresenta efeito residual no ano seguinte a aplicação, contribuindo para a nutrição nitrogenada dos cafeeiros.

### 3.7 – BIBLIOGRAFIA

ALVAREZ V., V. H.; RIBEIRO, A. C. Calagem. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5ª Aproximação)**. Viçosa, MG: CSFSEMG/UFV, p. 43-60, 1999.

AMBROSANO, E. J. et al.  $^{15}\text{N}$ -labeled nitrogen from green manure and ammonium sulfate utilization by the sugarcane ratoon. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 3, p.361-368, Jun. 2011.

AMBROSANO, E. J. et al. Nitrogen supply to corn from sunn hemp and velvet bean green manures. **Scientia Agricola**, v.66, n.3, p.386-394, Mai./Jun. 2009.

AMBROSANO, E. J. et al. Nitrogen-15 labeling of *Crotalaria juncea* green manure. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 1, p.181-184, Jan./Mar. 2003.

ARAÚJO, A. S. F. et al. Utilização de nitrogênio pelo trigo cultivado em solo fertilizado com adubo verde. (*Crotalaria juncea*) e/ou uréia. **Ciência Rural**, v35, n.2, p.284-289, mar-abr, 2005.

ARAÚJO, J.; BALBINO, J. Manejo de guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) sob dois tipos de poda em lavoura cafeeira. **Coffee Science**, v. 2, n. 1, p. 61-68, jan./jun. 2007.

BALOTA, E. L. & CHAVES, J. C. D. Microbial Activity in Soil Cultivated with Different Summer Legumes in Coffee Crop. **Brazilian Archives of Biology Technology**, v.54 n. 1: pp. 35-44, Jan/Feb 2011.

BALOTA, E. L.; CHAVES, J. C. D. Enzymatic activity and mineralization of carbon and nitrogen in soil cultivated with coffee and green manures. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n.5, p.1573-1583, Out. 2010.

BARRELA, T.P. **Manejo de espécies de leguminosas em cafezal sob cultivo orgânico**. 105 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, MG, 2010.

BARTHOLO, G. F.; GUIMARÃES, P. T. G.; MENDES, A. N. G. Produtividade de cultivares de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) submetidas a diferentes épocas de parcelamento da adubação. **Ciência e agrotecnologia**, v.27, n.4, p. 816-821, jul./ago., 2003

BERGO, L.C. et al. Avaliação de espécies leguminosas na formação de cafezais no segmento da agricultura familiar no Acre. **Acta Amazônica**, v.36, n.1, p.19-24. Março 2006.

BERNSTEIN, L.; ROY, J. Industry. In.: Metz, B. et al. (eds). **Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007**. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg3/en/ch7s7-4-3-2.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/ch7s7-4-3-2.html)> Acesso em: 16 novembro 2010.

DIEHL, R. C.; MIYAZAWA, M. & TAKAHASHI, H. W. Compostos orgânicos hidrossolúveis de resíduos vegetais e seus efeitos nos atributos químicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32 (Número Especial), p.2653-2659, 2008.

FARNEZI, M. M. M.; SILVA, E. B.; GUIMARAES, P. T. G. Diagnose nutricional de cafeeiros da região do Alto Jequitinhonha (MG): normas dris e faixas críticas de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 969-978, ago. 2009.

FENILLI, T. A. B. et al. Growth, development, and fertilizer-<sup>15</sup>N recovery by the coffee plant. **Scientia Agricola**, v.64, n.5, p.541-547, Set./Out. 2007b.

FENILLI, T. A. B. et al. The <sup>15</sup>N isotope to evaluate fertilizer nitrogen absorption efficiency by the coffee plant. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 79, n. 4, p.767-776, dez. 2007a.

FIDALSKI, J.; CHAVES, J. C. D. Respostas do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) IAPAR-59 à aplicação superficial de resíduos orgânicos em um latossolo vermelho distrófico típico. **Coffee Science**, v. 5, n. 1, p. 75-86, Jan./Abril. 2010.

GIACOMINI, S. J. et al. Aproveitamento pelo milho do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em plantio direto e preparo reduzido do solo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.44, n.7, p.761-768, jul. 2009.

GODOY, L. J. G. et al. Índice relativo de clorofila e o estado nutricional em nitrogênio durante o ciclo do cafeeiro fertirrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p.217-226, Fev. 2008.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais (5a Aproximação)**. Viçosa, MG: CSFSEMG/UFV, p. 289-302, 1999.

- JALONEN, R.; NYGREN, P. & SIERRA, J. Transfer of nitrogen from a tropical legume tree to an associated fodder grass via root exudation and common mycelial networks. **Plant, Cell and Environment**, v.32, n. 10, 1366–1376, Out. 2009.
- LAVIOLA, B. G. et al. Acúmulo em frutos e variação na concentração foliar de NPK em cafeeiro cultivado em quatro altitudes. **Bioscience Journal**, v. 24, n. 1, p. 19-31, Jan./Mar. 2008.
- LAVIOLA, B. G. et al. Dinâmica de N e K em folhas, flores e frutos de cafeeiro arábico em três níveis de adubação. **Bioscience Journal**, v. 22, n.3, p.33-47, Set./Dez. 2006.
- LAVIOLA, Bruno Galvêas et al. Alocação de fotoassimilados em folhas e frutos de cafeeiro cultivado em duas altitudes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 11, Nov. 2007.
- MARTINEZ, H. E. P. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.38, n.6, p.703-713, Jun. 2003.
- MARTINEZ, H. E. P.; CLEMENTE, J. M. **O uso do cultivo hidropônico de plantas em pesquisa. Cadernos didáticos**. Viçosa: UFV, 2011. 76 p.
- MATOS, E. S. et al. Decomposition and nutrient release of leguminous plants in coffee agroforestry systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p.141-149. Fev. 2011.
- MIYAZAWA, M. et al. Análise química vegetal. In.: SILVA, F. C. (Ed.). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Embrapa, p.191-233, 2009.
- OVALLE, C. et al. Estimating the contribution of nitrogen from legume cover crops to the nitrogen nutrition of grapevines using a <sup>15</sup>N dilution technique. **Plant Soil**, v. 334, n. 1, p. 247–259, Set. 2010.
- PAULO, E.M. et al. Produtividade do cafeeiro Mundo Novo enxertado e submetido à adubação verde antes e após recepa da lavoura. **Bragantia**, v. 65, n.1, p.115-120. 2006.
- RENA, A.B.; BARROS, R.S.; MAESTRI, M. Desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro. In: ZAMBOLIM L. **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, p.101-128, 2001.
- RICCI, M.S.F. et al. Growth rate and nutritional status of an organic coffee cropping system. **Scientia Agricola**, v.62, n.2, p.138-144. Abr. 2005.
- ROCHA, A. C. et al. Recomendações para café arábica. In: PREZOTTI, L. C. **Recomendação de Fertilizantes, Calcário e Gesso Para as Principais Culturas do Espírito Santo**. Incaper, ES. 2010. Disponível em: <http://www.incaper.es.gov.br/?a=downloads/index>. Acesso em 01/09/2011.
- SAKAI, R. H.; et al. N transfer from green manures to lettuce in an intercropping cultivation system. **Acta Scientiarum**, v. 33, n. 4, p. 679-686, 2011.
- SILVA, E. C. et al. Aproveitamento de nitrogênio pelo milho, em razão da adubação verde, nitrogenada e fosfatada. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.44, n.2, p.118-127, fev. 2009a.
- SILVA, E. C. et al. Utilização do nitrogênio (<sup>15</sup>N) residual de coberturas de solo e da uréia pela cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 6, p.965-974, dez. 2006.

SILVA, F. C. et al. Métodos de análises químicas para avaliação de fertilidade de solo. In.: SILVA, F. C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. Ed. **Embrapa**. Brasília, p. 107-189, 2009.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. [Eds.]. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. P. 276-374.

SOBREIRA, F. M. et al. Adubação nitrogenada e potássica de cafeeiro fertirrigado na fase de formação, em plantio adensado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 46, n. 1, p. 9-16, jan. 2011.

THEODORO, V. C. A.; MENDES, A. N. G.; GUIMARÃES, R. J. Resposta de lavouras cafeeiras em transição agroecológica a diferentes manejos de solo. **Coffee Science**, v. 4, n. 1, p. 56-66, jan./jun. 2009.

VALARINI, V.; BATAGLIA, O. C.; FAZUOLI, L. C. Macronutrientes em folhas e frutos de cultivares de café arábica de porte baixo. **Bragantia**, v.64, n.4, p.661-672, 2005.

VILELA, E. F. et al. Crescimento inicial de cafeeiros e fertilidade do solo adubado com mucuna, amendoim forrageiro ou sulfato de amônio. **Coffee Science**, v. 6, n. 1, p. 27-35, jan./abr. 2011.

WARENBURG, F. R. Nitrogen fixation in soil and plant systems. In.: KNOWLES, R. & BLACKBURN, T. H. (Ed.). **Nitrogen isotope techniques**. Academic Press, Inc. 1992. p. 127-156.

#### 4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho teve-se como pressuposto que as leguminosas consorciadas apresentam problemas de competição com os cafeeiros. Esses problemas são decorrentes de ações de manejo que normalmente trabalham em função de maiores acúmulos de N pela leguminosa e não consideram outros aspectos como os estádios fenológicos do cafeeiro, do clima e do solo. Por essa razão, optou-se por investigar a contribuição da leguminosa em cultivo solteiro, sem a interferência do consórcio, transferindo a biomassa acumulada para a adubação do cafeeiro em época mais propícia para atender a demanda de crescimento e frutificação.

Apesar de não ter sido observado efeito das doses de composto e crotalária sobre a primeira colheita de café, os aumentos no diâmetro da copa com o composto e da altura e do diâmetro da copa com a crotalária ao final do período de frutificação, indicam um aumento do potencial de resposta das plantas com o aumento das doses. Os efeitos positivos do aumento das doses de composto também permitem antever aumentos na produtividade à medida que a lavoura cafeeira atinja sua maturidade após o 3º ano.

Em relação à contribuição do N derivado das leguminosas (N-leg), é necessário que experimentos destrutivos, em que a biomassa dos cafeeiros possa ser avaliada. Os dados observados permitiram verificar contribuições de percentuais foliares de N-leg que chegaram a 9,2% e a 17,9% da crotalária associada com o composto orgânico. Tal diferença indica a necessidade de aprimorar o conhecimento estudando o efeito da época de aplicação da leguminosa em relação ao cafeeiro, da sincronia ou parcelamento dos adubos utilizados e da interferência do clima na disponibilização do N contido na biomassa. Especialmente, o menor percentual de 9,2% derivado da crotalária aplicada no fim de janeiro, permite supor que a antecipação da adubação para o mês de dezembro permita uma contribuição maior.

No experimento em vasos o efeito do feijão-de-porco com a dose de 30% da adubação mineral foi evidente e permite a indicação da biomassa dessa leguminosa para a adubação do cafeeiro. As contribuições de 5,3% e 19,3% de N derivado do feijão-de-porco após a 1ª adubação e de 5,1% e 18,9% após a 2ª adubação, nas doses respectivas de 146 e 584 g/planta, apontam para uma resposta proporcional a dose de biomassa aplicada. Entretanto, a ausência de coleta de biomassa dos cafeeiros, não permite

estabelecer o acúmulo de N da leguminosa no cafeeiro e a eficiência da utilização do adubo verde pelo cafeeiro. Por essa razão, experimentos de caráter destrutivos são necessários.

Os percentuais de N-leg observados nos dois experimentos com doses de 3,0 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca de crotalária e de 4,0 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca de feijão-de-porco estimada para os vasos, permitem afirmar que mesmo nessas doses que não são altas, as contribuições de N derivado das leguminosas, sobre os teores foliares, atingem 18% a 19%. Tal fato permite antever que: menores doses de biomassa e N de leguminosas, alcançadas com menor tempo de consórcio podem contribuir para a adubação; que problemas advindos da competição podem ser diminuídos ou minimizados, permitindo aumentos de produtividade para o cafeeiro; e que os adubos de fontes minerais ou orgânicas podem ser reduzidos pela produção in loco das leguminosas.

Entre os aspectos de detalhes experimentais, alguns merecem destaque. O tamanho dos vasos (60 L) foi insuficiente para a condução do experimento por um período maior que dois anos. Por isso, o aumento do volume dos vasos para avaliação por duas ou mais colheitas é necessário. Em relação a adubação dos cafeeiros, que apresentam demandas nutricionais variando a cada ano, faz-se necessário padronizar a adubação para trabalhar com os adubos marcados com <sup>15</sup>N. Experimentos separados para as fases de implantação, de 1º ano, de 2º ano e de produção, poderiam solucionar o problema e permitir avaliações qualitativas e quantitativas do N no solo e na planta. Dessa forma seria possível a realização de experimentos “destrutivos” em vasos que permitiriam a coleta da planta ao final de cada fase.

## ANEXOS

### Tabelas do capítulo 1

Tabela 1. Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrados médios (QM) de variáveis do crescimento de cafeeiros adubados com composto e parte aérea de crotalária. Marcação do entrenó em out/2009 e avaliações em abr/2010. Viçosa-MG, 2012

FV	GL	QM					
		ALT (cm <sup>2</sup> )	ALTm (cm <sup>2</sup> )	NRP	NRPm↓	NRPm↑	NNOm
Bloco	3	188,023813	93,712244	48,221354	7,319444	19,491258	2,224174
Composto	1	17,746986 <sup>ns</sup>	12,418721 <sup>ns</sup>	7,710938 <sup>ns</sup>	3,280405 <sup>ns</sup>	3,221163 <sup>ns</sup>	0,281486 <sup>ns</sup>
Crotalária	3	0,540280 <sup>ns</sup>	2,835176 <sup>ns</sup>	7,507813 <sup>ns</sup>	0,364872 <sup>ns</sup>	2,257281 <sup>ns</sup>	0,062570 <sup>ns</sup>
Comp x Crot	3	46,511174 <sup>ns</sup>	22,453613 <sup>ns</sup>	14,283854 <sup>ns</sup>	5,316999 <sup>ns</sup>	2,109112 <sup>ns</sup>	0,667477 <sup>ns</sup>
Erro	21	35,499877	7,801713	8,539807	2,904784	1,736410	0,314926
CV (%)		10,37	11,81	14,48	26,11	9,96	6,88
Média		55,52	23,65	19,64	6,54	13,22	8,15

Altura total (ALT); Altura acima do ponto marcado (ALTm); Número de ramos plagiotrópicos totais (NRP), abaixo (NRPm↓) e acima do ponto marcado (NRPm↑); número de nós do ramo ortotrópico acima da marcação (NNOm).  
ns: não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Tabela 2. Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrados médios (QM) de variáveis do crescimento em ramos marcados de cafeeiros, adubados com composto e parte aérea de crotalária. Marcação do entrenó em out/2009 e avaliações em abr/2010. Viçosa-MG, 2012

FV	GL	QM		
		CRPm	NNPm	NFPm
Bloco	3	145,965306	6,895850	29,906818
Composto	1	4,255543 <sup>ns</sup>	0,712408 <sup>ns</sup>	1,378552 <sup>ns</sup>
Crotalária	3	0,984200 <sup>ns</sup>	0,090951 <sup>ns</sup>	0,567379 <sup>ns</sup>
Comp x Crot	3	9,126522 <sup>ns</sup>	0,337163 <sup>ns</sup>	0,864545 <sup>ns</sup>
Erro	21	8,937881	0,502740	2,461602
CV (%)		13,99	9,62	11,75
Média		21,37	7,37	13,35

Comprimento (CRPm), número de nós (NNPm), número de nós reprodutivos (NNrPm) e número de folhas (NFPm) do ramo plagiotrópico marcado.  
ns: não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Tabela 3. Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrados médios (QM) do crescimento de cafeeiros adubados com composto e parte aérea de crotalária. Marcação do entrenó em abril/2010 e avaliações em novembro/2010 (A), abril/2011 (B) e incremento (B-A). Viçosa-MG, 2012

FV	GL	QM				
		ALT	ALTM	NRPm	NNOm	DC
A						
Bloco	3	456,081858	38,419983	9,838282	1,815115	767,219332
Composto	3	22,218935 <sup>ns</sup>	1,461333 <sup>ns</sup>	0,312061 <sup>ns</sup>	0,034490 <sup>ns</sup>	45,973945 <sup>ns</sup>
Crotalária	1	2,034094 <sup>ns</sup>	0,013244 <sup>ns</sup>	1,453044 <sup>ns</sup>	0,071197 <sup>ns</sup>	2,022865 <sup>ns</sup>
Comp x Crot	3	48,640082 <sup>ns</sup>	3,363973 <sup>ns</sup>	1,496033 <sup>ns</sup>	0,239794 <sup>ns</sup>	74,437412 <sup>ns</sup>
Erro	21	28,948636	3,263500	1,156668	0,198539	63,486486
CV (%)		9,65	16,47	12,23	7,81	13,45
Média		57,76	10,97	8,79	5,71	59,23
B						
Bloco	3	365,678896	433,653110	53,660899	6,927865	233,980923
Composto	3	47,721401 <sup>ns</sup>	18,051286 <sup>ns</sup>	3,113248 <sup>ns</sup>	0,259252 <sup>ns</sup>	90,030937*
Crotalária	1	206,989014*	228,625967**	12,715294 <sup>ns</sup>	1,491869 <sup>ns</sup>	351,218419**
Comp x Crot	3	35,060437 <sup>ns</sup>	6,062908 <sup>ns</sup>	4,296544 <sup>ns</sup>	0,544761 <sup>ns</sup>	16,187164 <sup>ns</sup>
Erro	21	27,011300	18,230868	5,024329	0,767466	26,197415
CV (%)		5,95	9,35	10,12	6,46	5,24
Média		87,38	45,64	22,15	13,57	97,64
B-A						
Bloco	3	1200,598355	541,391799	80,584476	10,631711	1496,105981
Composto	3	47,962755 <sup>ns</sup>	16,319570 <sup>ns</sup>	1,873421 <sup>ns</sup>	0,192446 <sup>ns</sup>	107,045569 <sup>ns</sup>
Crotalária	1	167,983910*	225,158524**	5,571706 <sup>ns</sup>	0,911183 <sup>ns</sup>	299,932706*
Comp x Crot	3	22,348691 <sup>ns</sup>	7,635605 <sup>ns</sup>	2,637261 <sup>ns</sup>	0,098294 <sup>ns</sup>	32,668169 <sup>ns</sup>
Erro	21	34,615539	22,567490	5,678430	1,014745	50,293034
CV (%)		18,60	13,70	17,84	12,82	18,46
Média		31,62	34,68	13,35	7,86	38,42

Altura total (ALT). Altura (ALTM). Número de ramos plagiotrópicos (NRPm); número de nós do ramo ortotrópico e (NNOm) acima do ponto marcado. Diâmetro da copa (DC).

\*\*, \* e ns: significativo a 1% e 5% de probabilidade e não significativo pelo teste F, respectivamente.

Tabela 4. Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrados médios (QM) do diâmetro da copa de cafeeiros adubados com composto, avaliado em abril/2011. Viçosa-MG, 2012

FV	GL	QM
Bloco	3	233,980923
Composto	(3)	90,030937*
Linear	1	239,901713**
Quadrática	1	14,502950 <sup>ns</sup>
Desvio	1	15,687249
Crotalária	3	351,218419**
Comp x Crotalria	3	16,187164 <sup>ns</sup>
Erro	21	26,197415
CV (%)		5,24
Média		97,64

\*\*, \*: significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 5. Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrados médios (QM) do crescimento de ramos marcados de cafeeiros sob adubações com composto e parte aérea de crotalária. Marcação do entrenó em abril/2010 e avaliações em novembro/2010 e abril/2011. Viçosa-MG, 2012

FV	GL	QM			
		CRPm	NNPm	NNrPm	NFPm
A					
Bloco	3	7,066643	0,094695	0,233756	2,646840
Composto	3	2,007984 <sup>ns</sup>	0,320476 <sup>ns</sup>	0,165600*	1,277401 <sup>ns</sup>
Crotalária	1	0,025487 <sup>ns</sup>	0,259902 <sup>ns</sup>	0,010852 <sup>ns</sup>	0,070594 <sup>ns</sup>
Comp x Crot	3	3,699217 <sup>ns</sup>	0,328700 <sup>ns</sup>	0,028166 <sup>ns</sup>	1,124190 <sup>ns</sup>
Erro	21	2,299666	0,155754	0,050925	0,671860
CV (%)		12,48	7,17	21,78	8,23
Média		12,15	5,51	1,04	9,96
B					
Bloco	3	181,238101	7,934362	2,033053	77,328199
Composto	3	113,076692 <sup>ns</sup>	1,998613 <sup>ns</sup>	0,297238 <sup>ns</sup>	17,820627 <sup>ns</sup>
Crotalária	1	1,010438 <sup>ns</sup>	0,469263 <sup>ns</sup>	0,748170 <sup>ns</sup>	0,962335 <sup>ns</sup>
Comp x Crot	3	88,137271 <sup>ns</sup>	0,341853 <sup>ns</sup>	0,099628 <sup>ns</sup>	2,904744 <sup>ns</sup>
Erro	21	47,910076	0,896198	0,420541	7,491682
CV (%)		18,55	8,19	53,59	16,48
Média		37,31	11,56	1,21	16,61
B-A					
Bloco	3	128,554069	6,783717	1,595332	55,620333
Composto	3	89,302976 <sup>ns</sup>	0,881996 <sup>ns</sup>	0,701564 <sup>ns</sup>	14,241245 <sup>ns</sup>
Crotalária	1	1,356840 <sup>ns</sup>	1,427585 <sup>ns</sup>	0,578673 <sup>ns</sup>	0,511591 <sup>ns</sup>
Comp x Crot	3	88,049336 <sup>ns</sup>	0,448394 <sup>ns</sup>	0,147533 <sup>ns</sup>	6,461165 <sup>ns</sup>
Erro	21	50,815872	0,560166	0,459547	6,256948
CV (%)		28,34	12,37	389,42	37,61
Média		25,16	6,05	0,17	6,65

Comprimento (CRPm), número de nós (NNRm), número de nós reprodutivos (NNrRm) e número de folhas (Folhas) do ramo plagiotrópico marcado.

ns: não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Tabela 6. Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrados médios (QM) das taxas de crescimento de cafeeiros adubados com composto e parte aérea de crotalária. Avaliações de abril a novembro/2010 e de novembro/2010 a abril/2011. Viçosa-MG, 2012

FV	GL	QM		
		NNOm (2 <sup>a</sup> )	DC (2 <sup>a</sup> )	NNRm (2 <sup>a</sup> )
Bloco	3	43,321098	23,623833 <sup>ns</sup>	75,528648
Composto	3	3,393960 <sup>ns</sup>	0,490153 <sup>ns</sup>	33,427439 <sup>ns</sup>
Crotalaria	1	5,945734 <sup>ns</sup>	9,159778*	2,649651 <sup>ns</sup>
Comp x crotal	3	20,245613 <sup>ns</sup>	0,967177 <sup>ns</sup>	18,111546 <sup>ns</sup>
erro (a)	9	5,545473	1,475270	12,228052
Período	1	6308,539117**	53,802775**	9946,611449**
Período x comp	3	0,811963 <sup>ns</sup>	0,878348 <sup>ns</sup>	12,030012 <sup>ns</sup>
Período x crotal	1	0,038637 <sup>ns</sup>	7,285613 <sup>ns</sup>	29,996981 <sup>ns</sup>
Período x comp x crotal	3	5,776991 <sup>ns</sup>	2,489365 <sup>ns</sup>	32,320285 <sup>ns</sup>
erro (b)	36	29,846291	5,388556	15,689826
CV parcela (%)		7,18	27,74	10,06
CV subparcela (%)		16,66	53,03	11,39
Média geral:		32,79	4,38	34,78

ns, \* e \*\*: não significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Tabela 7. Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrados médios (QM) de variáveis relacionadas à colheita em cafeeiros adubados com composto e biomassa da parte aérea de crotalária. Viçosa-MG, 2012

FV	GL	QM			
		Bóia	Cereja	Coco	Prod.
Bloco	3	72,032946	30256305,48	233530,10	27,681335
Composto	3	926,954211 <sup>ns</sup>	4232001,09 <sup>ns</sup>	199658,41 <sup>ns</sup>	17,857337 <sup>ns</sup>
Crotalária	1	134,728374 <sup>ns</sup>	6931605,55 <sup>ns</sup>	212955,81 <sup>ns</sup>	1,813308 <sup>ns</sup>
Comp x Crot	3	47,173066 <sup>ns</sup>	2773755,44 <sup>ns</sup>	316920,53 <sup>ns</sup>	18,547964 <sup>ns</sup>
Erro	21	372,482411	5370305,39	104093,04	8,634332
CV (%)		85,5	45,07	28,99	37,43
Média		22,69	5142,08	1112,74	7,85

Bóia (%); Cereja (kg/ha); Coco (kg/ha); Prod.: produtividade de café beneficiado (kg/ha); benef.: beneficiado.  
ns: não significativo 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 8. Fontes de variação graus de liberdade e quadrados médios do pH, P, K, Ca, Mg e H+Al em solo cultivado com cafeeiros adubados com composto orgânico e crotalária. Viçosa, MG, 2012

FV	GL	QM				
		P	K	Ca	Mg	H+Al
Bloco	3	289254,333333	194406,375000	10,017083	0,374479	1,019167
Composto	(3)	116211,000000**	43816,041667*	1,187083**	0,047812*	0,390833*
Linear	1	334890,000000**	123210,0000**	3,481000**	0,126562**	0,961000**
Quadrática	1	420,500000 <sup>ns</sup>	3828,1250 <sup>ns</sup>	0,031250 <sup>ns</sup>	0,015312 <sup>ns</sup>	0,211250 <sup>ns</sup>
Desvio	1	13322,500000	4410,0000	0,049000	0,001562	0,000250
Crotalaria	1	1152,000000 <sup>ns</sup>	578,000000 <sup>ns</sup>	0,320000 <sup>ns</sup>	0,002813 <sup>ns</sup>	0,361250*
Comp x Crot.	3	44331,000000 <sup>ns</sup>	5242,083333 <sup>ns</sup>	0,665833 <sup>ns</sup>	0,026146 <sup>ns</sup>	0,017083 <sup>ns</sup>
Erro	21	22583,761905	13785,589286	0,253750	0,013765	0,081786
CV (%)		45,13	21,22	15,53	17,79	14,67
Média		333,00	553,19	3,24	0,659	1,95

ns, \* e \*\*: não significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Tabela 9. Fontes de variação graus de liberdade e quadrados médios do H+Al, soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC total (T), saturação por bases (V) e matéria orgânica (MO) em solo cultivado com cafeeiros adubados com composto orgânico e crotalária. Viçosa, 2012

FV	GL	QM				
		SB e t	T	V	pH	MO
Bloco	3	22,477083	14,272500	966,083333	0,482500	2,104167
Composto	(3)	3,477083**	1,730833**	239,416667**	0,312500**	0,520833*
Linear	1	10,302250**	5,112250**	680,625000**	0,812250**	1,560250**
Quadrática	1	0,080000 <sup>ns</sup>	0,031250 <sup>ns</sup>	32,000000 <sup>ns</sup>	0,125000 <sup>ns</sup>	0,001250 <sup>ns</sup>
Desvio	1	0,049000	0,049000	5,625000	0,000250	0,001000
Crotalaria	1	0,361250 <sup>ns</sup>	0,001250 <sup>ns</sup>	66,125000 <sup>ns</sup>	0,211250 <sup>ns</sup>	0,211250 <sup>ns</sup>
Comp x Crot.	3	1,218750 <sup>ns</sup>	1,082083*	37,708333 <sup>ns</sup>	0,043750 <sup>ns</sup>	0,217083 <sup>ns</sup>
Erro	21	0,460417	0,310595	37,702381	0,055833	0,118929
CV (%)		12,85	7,69	8,66	3,51	15,77
Média		5,28	7,25	70,87	6,72	2,19

ns, \* e \*\*: não significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Tabela 10. Fontes de variação graus de liberdade e quadrados médios da CTC total (T) do desdobramento da interação dos fatores composto x crotalaria, em solo cultivado com cafeeiros adubados com composto orgânico e crotalaria. Viçosa, 2012

	FV	GL	T
Bloco		3	14,272500
Composto		3	1,730833**
Crotalaria		1	0,001250 <sup>ns</sup>
Comp x Crot.		(3)	1,082083*
Desdobramento composto dentro de crotalaria			
Composto sem crotalaria		3	2,455625**
Composto com 450 g de crotalaria		3	0,357292 <sup>ns</sup>
Desdobramento: crotalaria dentro de composto			
Crotalaria – 25% composto		1	1,445000*
Crotalaria – 50% composto		1	0,080000 <sup>ns</sup>
Crotalaria – 75% composto		1	1,711250*
Crotalaria – 100% composto		1	0,011250 <sup>ns</sup>
Erro		21	0,310595
CV (%)			7,69
Média			7,25

ns, \* e \*\*: não significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Tabela 11. Fontes de variação, graus de liberdade e quadrados médios do teor foliar de N de cafeeiros adubados com composto e crotalaria, avaliado em Abril/2010. Viçosa, 2012

F.V.	G.L.	Q.M. Abr/2010
Bloco	3	0,101807
Composto	(3)	0,050980 <sup>ns</sup>
Crotalaria	1	0,546361**
Crot x Comp	3	0,090673 <sup>ns</sup>
Erro	21	0,057505
CV (%)		9,45
Média geral		2,54

ns e \*\*: não significativo e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Tabela 12. Fontes de variação, graus de liberdade e quadrados médios do teor foliar de N em cafeeiros adubados com composto, avaliado em Junho/2010 e Abr/2011. Viçosa, MG, 2012

F.V.	G.L.	Q.M.	
		Jun/2010	Abr/2011
Bloco	3	0,052113	0,021808
Composto	(3)	0,188296**	0,156880**
Linear	1	0,522751**	0,434275**
Quadrática	1	0,005792 <sup>ns</sup>	0,012217 <sup>ns</sup>
Desvio	1	0,036346	0,024148
Crotalária	1	0,114123 <sup>ns</sup>	0,091375 <sup>ns</sup>
Crot x Comp	3	0,061092 <sup>ns</sup>	0,056635 <sup>ns</sup>
Erro	31	0,040310	0,022183
CV (%)		7,59	7,22
Média geral		2,64	2,06

ns e \*\*: não significativo e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Tabela 13. Fontes de variação, graus de liberdade e quadrados médios do teor foliar de N de cafeeiros adubados com composto e crotalária, avaliado em novembro/2010. Viçosa, MG, 2012

F.V.	G.L.	Q.M.
		Nov/2010
Bloco	3	0,025920
Composto	3	0,084313 <sup>ns</sup>
Crotalária	1	0,060776 <sup>ns</sup>
Crot x Comp	(3)	0,275366**
Desdobramento composto dentro de crotalária		
Composto sem crotalaria	3	0,280177**
Composto com 450 g de crotalaria	3	0,079503 <sup>ns</sup>
Desdobramento: crotalária dentro de composto		
Crotalaria – 25% composto	1	0,245834*
Crotalaria – 50% composto	1	0,341983*
Crotalaria – 75% composto	1	0,001792 <sup>ns</sup>
Crotalaria – 100% composto	1	0,297267*
Erro	21	0,051016
CV (%)		8,84
Média geral		2,55

ns e \*\*: não significativo e significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Tabela 14. Fontes de variação, graus de liberdade e quadrados médios do N foliar derivado de crotalaria aplicada em Jan/2010, avaliado em Abr e Jun/2010 e em Nov/2010 e Abr/2011. Viçosa, 2012

F.V.	G.L.	Q.M.	
		Abr-Jun	Nov-Abr
Bloco	3	2,583372	1,736978
Composto	(3)	31,780887**	2,868236 <sup>ns</sup>
Linear	1	66,881842**	-----
Quadrática	1	2,880320 <sup>ns</sup>	-----
Desvio	1	25,580498	-----
erro (a)	9	5,669252	1,020935
Mês	1	43,124045**	84,991097**
Mês*Composto	3	1,275196 <sup>ns</sup>	1,078984 <sup>ns</sup>
erro (b)	12	2,050277	0,602252
CV parcela (%)		29,70	17,49
CV subparcela (%)		17,86	13,43
Média geral		8,02	5,78

<sup>ns</sup> e \*\*: não significativo e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Tabela 15. Fontes de variação, graus de liberdade e quadrados médios da matéria seca e do N remanescente na matéria seca de crotalaria juncea ao longo de 60 dias. Viçosa, MG, 2012

F.V.	G.L.	Q.M.	
		Matéria seca	Nitrogênio
Bloco	3	293,330141	440,901555
Dias	8	707,727968**	3411,120953**
Erro	24	39,962028	90,818122
CV (%)		7,16	12,59
Média geral		88,25	75,67

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

## Tabelas do capítulo 2

Tabela 16. Fontes de Variação, graus de liberdade e quadrados médios das características de crescimento de cafeeiros adubados com de feijão-de-porco e adubo mineral, aos 20 meses após o plantio. Viçosa, 2012

FV	GL	QM						
		ALT	NRP	DC	CRPm	NRPm	NrRPm	FRPm
Bloco	3	164,00	58,87	224,30	5,86	0,454	1,169	0,954
Tratamento	3	54,88 <sup>ns</sup>	22,62 <sup>ns</sup>	408,38 <sup>ns</sup>	7,27 <sup>ns</sup>	0,287 <sup>ns</sup>	0,620 <sup>ns</sup>	9,329 <sup>ns</sup>
Resíduo	8	42,11	7,06	186,23	6,02	1,174	0,632	3,335
CV (%)		64,89	25,69	72,92	23,70	9,22	6,18	11,31
Média		9,93	10,20	18,45	10,31	11,82	12,8	16,31

<sup>ns</sup>: não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Altura total (ALT); número de ramos plagiotrópicos (NRP); diâmetro da copa (DC); comprimento do ramo plagiotrópico marcado (CRPm); número de nós do ramo plagiotrópico marcado (NRPm); número de nós reprodutivos do ramo plagiotrópico marcado (NrRPm); número de folhas do ramo plagiotrópico marcado (FRPm).

Tabela 17. Fontes de Variação, graus de liberdade e quadrados médios da análise de variância das características de crescimento de cafeeiros adubados diferentes doses de feijão-de-porco e adubo mineral, aos 27 meses após o plantio. Viçosa, 2012

FV	GL	QM						
		ALT	ALTm	NNOm	DC	NRPm	PM	PMm
Bloco	3	137,22	30,99	1,31	7,83	13,73	99,79	16,90
Tratamento	3	192,68*	38,80 <sup>ns</sup>	9,06*	13,98 <sup>ns</sup>	30,40 <sup>ns</sup>	77,06 <sup>ns</sup>	6,31 <sup>ns</sup>
Resíduo	8	29,82	61,96	1,78	64,28	12,90	42,13	8,22
CV (%)		77,05	41,97	15,64	38,69	27,11	11,56	5,36
Média		7,06	18,56	8,58	20,48	13,34	53,50	51,80

ns e \*: não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Altura total (ALT); altura acima do entrenó marcado (ALTm); número de nós do ramo ortotrópico acima do entrenó marcado (NNOm); diâmetro de copa (DC); número de ramos plagiotrópicos acima do entrenó marcado (NRPm); PM = ponteiros mortos dos ramos plagiotrópicos; PMm = ponteiros mortos dos ramos plagiotrópicos acima do ponto marcado.

Tabela 18. Fontes de variação, graus de liberdade e quadrados médios das características de crescimento no ramo marcado em cafeeiros adubados com diferentes doses de feijão-de-porco e adubo mineral, aos 27 meses após o plantio. Viçosa, 2012

FV	GL	QM			
		CRPm	NNPm	NFPm	PMPm
Bloco	3	7,83	3,21	11,81	0,736
Tratamento	3	13,98 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	1,90 <sup>ns</sup>	0,347 <sup>ns</sup>
Resíduo	8	64,28	8,00	5,28	0,458
CV (%)		38,69	15,10	2,06	1,38
Média		20,48	18,99	131,25	47,39

ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Comprimento do ramo plagiotrópico marcado (CRPm); número de nós do ramo plagiotrópico marcado (NRPm); número de folhas do ramo plagiotrópico marcado (FRPm) e ponteiros mortos no ramo plagiotrópico marcado (PMPm).

Tabela 19. Fontes de variação, graus de liberdade e quadrados médios da produtividade de cafeeiros adubados com diferentes doses de feijão-de-porco e adubo mineral, aos 27 meses após o plantio. Viçosa, 2012

FV	GL	QM			
		Bóia	cereja	coco	Beneficiado
Bloco	3	787,722123	33216,643850	2762,026742	115,903823
Tratamento	3	224,752856 <sup>ns</sup>	134084,973000*	7056,132142 <sup>ns</sup>	1250,779023*
Erro	9	417,897962	20007,865583	3934,024169	269,622723
CV (%)		52,27	34,27	55,68	50,67
Média geral		38,89	412,80	112,64	32,41

ns e \*: não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Tabela 20. Fontes de variação, graus de liberdade e quadrados médios dos resultados da análise de solo cultivado com cafeeiros adubados com adubação mineral e feijão-de-porco. Viçosa, 2012

FV	GL	QM					
		P	K	Ca	Mg	Al <sup>3+</sup>	H+Al
Bloco	3	11,179276	55,500000	0,028333	0,003410	0,000625	0,081242
Tratamento	3	26,922826 <sup>ns</sup>	304,166667 <sup>ns</sup>	0,195000*	0,016743 <sup>ns</sup>	0,000625 <sup>ns</sup>	0,071164 <sup>ns</sup>
Erro	9	10,423482	153,333333	0,030000	0,010438	0,000625	0,260774
CV (%)		10,47	34,64	16,50	21,99	400,00	18,79
Média		30,84	35,75	1,050	0,464	0,00625	2,718

ns e \*: não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Tabela 21. Fontes de variação, graus de liberdade e quadrados médios dos resultados da análise de solo cultivado com cafeeiros adubados com adubação mineral e feijão-de-porco. Viçosa, 2012

FV	GL	QM					
		SB	t	T	V	pH	MO
Bloco	3	0,037670	0,047366	0,212467	1,229167	0,011667	0,006106
Tratamento	3	0,368388*	0,365584*	0,572877 <sup>ns</sup>	58,562500	0,028333 <sup>ns</sup>	0,731056**
Erro	9	0,063826	0,060427	0,253579	39,229167	0,060000	0,014261
CV (%)		15,73	15,24	11,65	16,84	4,580	6,23
Média		1,604	1,604	4,324	37,19	5,350	1,917

ns, \*\* e \*: não significativo e significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Tabela 22. Fontes de variação, graus de liberdade e quadrados médios do teor foliar N em cafeeiros adubados com feijão-de-porco e adubação mineral amostrados em Abril, junho e novembro/2010 e abril/2011. Viçosa, 2012

F.V.	G.L.	Q.M.			
		Abr/2010	Jun/2010	Nov/2010	Abr/2011
Bloco	3	0,017245	0,002068	0,329948	0,009014
Tratamento	3	1,112700**	1,7055236**	1,683509 <sup>ns</sup>	0,243166*
Erro	9	0,086102	0,052077	0,513822	0,056620
CV (%)		8,93	6,08	24,47	12,13
Média geral		3,27	3,75	2,93	1,96

ns, \*\* e \*: não significativo e significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Tabela 23. Fontes de variação, graus de liberdade e quadrados médios do percentual de N derivado de feijão-de-porco (N-leg), em folhas de cafeeiros coletadas em dois anos seguidos, quatro meses após a adubação com doses da parte aérea de FP marcado com  $^{15}\text{N}$  (FP- $^{15}\text{N}$ ). Viçosa, MG, 2012

F.V.	G.L.	Q.M.	
		Ndl%	
		Abr-Jun/2010	Nov/10-Abr/2011
BLOCO	3	3,691606	0,742492
FP- $^{15}\text{N}$	1	750,897006 **	422,919225**
Erro 1	3	0,628556	1,378425
Mês	1	1,967006 <sup>ns</sup>	46,717225**
FP- $^{15}\text{N}$ x Mês	(1)	0,387506 <sup>ns</sup>	36,905625**
Desdobramento de FP- $^{15}\text{N}$ dentro de Mês			
FP dentro do mês de abril	1	-----	354,844800 **
FP dentro do mês de junho	1	-----	104,980050 **
Desdobramento de Mês dentro de FP- $^{15}\text{N}$			
Mês dentro de 146 g de FP	1	-----	0,288800 <sup>ns</sup>
Mês dentro de 584 g de FP	1	-----	83,334050**
Erro 2	6	1,763940	2,347058
CV parcela (%)		6,65	13,29
CV subparcela (%)		11,13	17,35
Média		11,93	8,83

ns e \*\*: não significativo e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.