

FÁBIO LÚCIO MARTINS NETO

**CONTRIBUIÇÃO DA ADUBAÇÃO VERDE PARA O CRESCIMENTO,
NUTRIÇÃO NITROGENADA E PRODUÇÃO DE CAFEIROS EM
DIFERENTES IDADES**

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
2016

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

M386c
2016
Martins Neto, Fábio Lúcio, 1981-
Contribuição da adubação verde para o crescimento,
nutrição nitrogenada e produção de cafeeiros em diferentes
idades / Fábio Lúcio Martins Neto. – Viçosa, MG, 2016.
ix, 70f. : il. ; 29 cm.

Inclui anexo.

Orientador: Ricardo Henrique Silva Santos.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Adubação verde. 2. Plantas - Nutrição. 3. Plantas - Efeito
do nitrogênio. 4. Café - Cultivo. 5. Produtividade.

I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia.

Programa de Pós-graduação em Fitotecnia. II. Título.

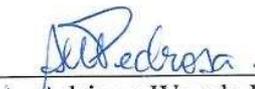
CDD 22 ed. 631.8

FÁBIO LÚCIO MARTINS NETO

**CONTRIBUIÇÃO DA ADUBAÇÃO VERDE PARA O CRESCIMENTO,
NUTRIÇÃO NITROGENADA E PRODUÇÃO DE CAFEEIROS EM
DIFERENTES IDADES**

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*.

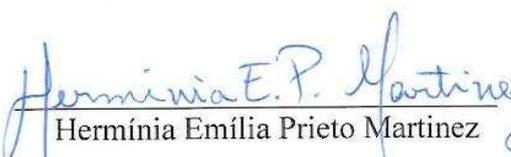
APROVADA: 9 de dezembro de 2016.



Adriene Woods Pedrosa



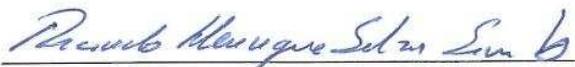
Yonara Poltronieri Neves



Hermínia Emília Prieto Martinez



Segundo Sacramento Urquiaga Caballero



Ricardo Henrique Silva Santos
(Orientador)

Dedico esta tese

Aos agricultores que praticam a adubação verde como forma de
manter ou melhorar a fertilidade de suas terras.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Ricardo Henrique Silva Santos pela confiança, orientação e paciência.

Ao Dr. Segundo Sacramento Urquiaga Caballero pela atenção e orientação na elaboração do projeto de pesquisa.

Ao Prof. Paulo Roberto Cecon pelos conselhos na área estatística.

A Prof^ª. Hermínia Emilia Prieto Martinez pelo apoio e incentivo.

A minha esposa, Roseli Oliveira Guedes Martins, e ao meu filho Elias Guedes Martins, pelo amor, carinho, companheirismo e compreensão nestes maravilhosos, mas difíceis últimos anos.

A minha mãe, Maria Brígida Salgado de Souza, pela minha formação humana e educacional, pelo incentivo e pela inspiração ao longo desta vida.

Ao Ricardo Henrique Silva Santos, Tatiana Pires Barrella, André Barrella Santos e Rodrigo Barrella Santos pela acolhida, amizade, e pelos momentos alegres e divertidos.

Ao meu pai, Fábio Lúcio Martins Júnior, por ter amado a minha mãe e possibilitar-me a vida.

Aos meus sogros, Araci de Azevedo Oliveira Guedes e Luiz Otávio Pereira Guedes, pela confiança e apoio.

A minha avó Dorinha (Maria Auxiliadora Lima Martins) e aos meus tios por sempre acreditarem em mim.

Aos amigos, Gilmadson Aguiar de Melo Júnior e Jessé Moreira Lima pelo incentivo profissional quando “tudo parecia perdido”.

Aos estagiários, Mateus Rodrigues, Maria de Paula Pimenta, Sérgio Rocha, Jeniffer Santana Evangelista e Jeovane Macedo, que tanto me ensinaram e toleraram.

Aos colegas do Laboratório de Agroecologia, Amanda Guedes, Anália Pacheco, Izabel Cristina Ferreira, Maristela Watthier e Thiago Vargas pelo aprendizado.

Aos funcionários do Laboratório de Agroecologia, José Francisco Duarte (Chiquinho), João Geraldo Pereira e, especialmente, Mariana Barros por suportar meus desabafos.

Aos funcionários do Departamento de Fitotecnia, Lídia Nunes, Paulo Márcio Freitas, Tatiani Gouvea e Wilson Carlos Reis.

A minha Banca de Qualificação (Dr. Paulo Lima – in memoriam, Prof. Gilberto Bernardo de Freitas, Prof. Ricardo Henrique Santos, Prof. Teógenes Senna Oliveira e Prof^a. Hermínia Emilia Prieto Martinez) pelos ensinamentos.

À Diretoria da Cooperativa dos Produtores Orgânicos e Biodinâmicos da Chapada Diamantina (Cooperbio), à Josiane Cotrim, Dr. Cristiano Miranda, Dr. José Luís dos Santos Rufino, Hércio Padrão, Prof^a. Sylvana Matsumoto e Sylvio Padilha por acreditarem na importância do meu trabalho e no meu profissionalismo.

Ao Centro Espírita Camilo Chaves (Viçosa-MG), ao Centro Espírita Caminho de Luz (Ervália-MG) e a Reginalda Célia Lopes e Ana Flávia Remmiggi Garcia pelo forte apoio espiritual, psicológico e terapêutico que me ajudaram a compreender e superar os momentos mais difíceis dessa etapa da minha vida.

A minha Banca de Defesa (Dr. Segundo Urquiaga, Dra. Adriene Pedrosa, Dra. Yonara Neves, Prof^a. Hermínia Martinez e Prof. Ricardo Henrique Santos).

A Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade.

À Marina Castro, em nome de todos os colegas de trabalho da extinta Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola (EBDA).

A Capes pela bolsa concedida após minha demissão da EBDA.

Meus sinceros agradecimentos.

BIOGRAFIA

FÁBIO LÚCIO MARTINS NETO, filho de Maria Brígida Salgado de Souza e Fábio Lúcio Martins Júnior, nasceu em Belo Horizonte, Minas Gerais na tarde de 28/08/1981. Criado na Bahia, graduou-se em Agronomia em 2006 pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) em Vitória da Conquista. No mesmo ano casou-se com Roseli Guedes. Iniciou o Mestrado em Agronomia (Fitotecnia) na UESB em 2007 sob a orientação da Prof^a. Sylvana Matsumoto e defendeu dissertação em 2009. Em 2010 tornou-se pai de Elias Guedes Martins. Iniciou o Doutorado em Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa (UFV) em 2012 e defendeu tese em 09 de dezembro de 2016.

SUMÁRIO

RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. CONTRIBUIÇÃO DA ADUBAÇÃO VERDE PARA A NUTRIÇÃO NITROGENADA DE CAFEEIROS COM DIFERENTES IDADES E AO LONGO DO TEMPO USANDO MARCAÇÃO ISOTÓPICA COM ¹⁵ N.....	3
RESUMO.....	3
2.1 INTRODUÇÃO.....	3
2.2 OBJETIVO.....	5
2.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	5
2.3.1 Local do experimento e tratamentos.....	5
2.3.2 Produção de leguminosa marcada com ¹⁵ N.....	8
2.3.3 Colheita da parte aérea da leguminosa e análises.....	8
2.3.4 Adubação nitrogenada dos cafeeiros.....	9
2.3.5 Amostragem dos cafeeiros, análises e cálculos.....	10
2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	12
2.4.1 Contribuição da adubação verde entre 90 e 210 dias após sua aplicação em cafeeiros entre 9 e 13 meses de idade.....	12
2.4.2 Contribuição da adubação verde para a nutrição de cafeeiros com 21 meses.....	19
2.4.3 Contribuição da AV 3 meses após a sua aplicação em cafeeiros com 9 e 21 meses de idade.....	23
2.4.4 Contribuição da AV 3 e 15 meses após a sua aplicação em cafeeiros com 6 meses de idade.....	25
2.5 CONCLUSÕES.....	28
2.6 REFERÊNCIAS.....	28
3. CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CAFEEIROS FERTILIZADOS COM ADUBO VERDE E COMPOSTO ORGÂNICO.....	30
RESUMO.....	30
3.1 INTRODUÇÃO.....	30
3.2 OBJETIVO.....	33
3.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	33
3.4 RESULTADOS.....	37
3.4.1 Características químicas do solo.....	37
3.4.2 Crescimento do cafeeiro.....	47
3.4.3 Nitrogênio foliar.....	57
3.4.4 Produção do cafeeiro.....	59

3.5 DISCUSSÃO	63
3.6 CONCLUSÕES	66
3.7 REFERÊNCIAS.....	67
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
ANEXO	70

RESUMO

MARTINS NETO, Fábio Lúcio, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2016. **Contribuição da adubação verde para o crescimento, nutrição nitrogenada e produção de cafeeiros em diferentes idades.** Orientador: Ricardo Henrique Silva Santos.

O objetivo foi determinar a contribuição da adubação verde (AV) para o crescimento, nutrição nitrogenada e produção de cafeeiros (*Coffea arabica*). No primeiro experimento determinou-se a contribuição do nitrogênio derivado da adubação verde (N_{dav}) à nutrição nitrogenada de cafeeiros com diferentes idades e ao longo do tempo após a aplicação da leguminosa *Crotalaria juncea*. Cultivou-se plantas de *Coffea arabica* em vasos e adubou-se com fertilizante nitrogenado e biomassa da leguminosa enriquecida com ^{15}N . Em cafeeiros com seis meses de idade determinou-se a contribuição da AV entre 90 e 210 dias após a aplicação da leguminosa. Para a avaliação da contribuição da AV ao longo do tempo após a aplicação da leguminosa, comparou-se a absorção do N_{dav} em cafeeiros com 21 meses de idade cuja AV ocorreu aos 6 meses com cafeeiro de mesma idade, mas cuja AV ocorreu aos 18 meses. Também se avaliou a contribuição da AV três meses após a aplicação em cafeeiros de 9 e 21 meses de idade e a contribuição da AV três e 15 meses após a aplicação de leguminosa em cafeeiros com 6 meses de idade. No segundo experimento, o objetivo foi verificar o efeito da AV sobre o crescimento e a produtividade de cafeeiros cultivados em campo ao longo de quatro safras. Estes cafeeiros foram adubados com diferentes doses de composto orgânico (CO) correspondentes à 25, 50, 75 ou 100% da dose de nitrogênio recomendada. Assim, conclui-se que: i) a AV contribui para a nutrição nitrogenada do cafeeiro até 15 meses após a aplicação da leguminosa; e ii) em campo, a AV aumenta o crescimento e a produtividade média de quatro anos agrícolas de cafeeiros adubados com diferentes quantidades de composto orgânico.

ABSTRACT

MARTINS NETO, Fábio Lúcio, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2016. **Green manure contribution to growth, nitrogen nutrition and coffee production at different ages.** Adviser: Ricardo Henrique Silva Santos.

Objective was to determine the green manuring (GM) contribution to the coffee (*Coffea arabica*) nitrogen nutrition, coffee growth and production. In the first experiment, was determined the contribution of nitrogen derived from green manuring (N_{dgm}) to coffee trees nitrogen nutrition with different ages and over time, after the application of the legume *Crotalaria juncea*. Coffee trees were cultivated in pots and fertilizers with nitrogen fertilizer and legume biomass enriched with ^{15}N . In coffee trees aged six month, the GM contribution was determined between 90 and 210 days after the legume application. In order to evaluate the GM contribution over the time after the legume application, the N_{dgm} in coffee plants aged 21 months whose GM occurred at six months was compared with coffee N_{dgm} of the same age, but whose GM occurred at 18 months. GM contribution was evaluated three months after application in coffee plants aged nine and 21 months and the GM contribution three and 15 months after the application of legume in coffee trees aged 6 month. In the second experiment, the objective was to verify the GM effect on coffee trees growth and productivity cultivated in the field during four years. These coffee trees were fertilized with different organic compound (OC) doses corresponding to 25, 50, 75 or 100% of the recommended nitrogen dose. The conclusions were: i) GM contributes to the coffee nitrogen nutrition until 15 months after the legume application; and ii) in the field, AV increases the coffee growth and four years average productivity of coffee cultivated with different organic compost amounts.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O cafeeiro (*Coffea arabica*) é uma planta que demanda grandes quantidades de nitrogênio (N) para crescimento e produção. Convencionalmente, este nutriente é fornecido pela aplicação de fertilizantes minerais e como possui alta mobilidade no sistema solo-planta-atmosfera pode contaminar os recursos hídricos pela lixiviação de nitratos no solo e contribuir para o aumento do efeito estufa pela emissão de óxido nitroso e, ainda ser perdido por volatilização de amônia.

Estes impactos ambientais e econômicos negativos da utilização de fontes solúveis de nitrogênio, como os fertilizantes minerais, têm requerido respostas ecologicamente sustentáveis que preservem os ecossistemas e a saúde humana. Por isso, se evidencia o interesse pelo uso da adubação verde na cafeicultura em face do cenário de mercados e movimentos que focam a sustentabilidade ambiental e social da agricultura e privilegiam métodos de produção que conservem os recursos produtivos e façam uso de métodos biológicos e ou ecológicos de manutenção da fertilidade do sistema de produção, privilegiando a ciclagem de nutrientes, o aproveitamento de resíduos orgânicos locais e regionais e a aquisição de N por meio da fixação biológica.

A adubação verde (AV) com leguminosas é uma das formas de se elevar a sustentabilidade da agricultura, pois estas plantas aumentam a cobertura e os teores de matéria orgânica no solo e, ao estabelecer associações com bactérias, permite a fixação do N atmosférico em sua biomassa, transferindo-o lentamente ao solo pelos processos de decomposição e mineralização. Além de cobrir o solo, protegendo-o da insolação do impacto das chuvas e aumentar os teores de matéria orgânica do solo, a AV proporciona uma série de benefícios para a qualidade biológica, física e química do solo. Entretanto, se não houver uma sincronia entre a disponibilidade de nitrogênio no solo e sua demanda pela planta, podem ocorrer perdas semelhantes às verificadas com o uso de fertilizantes minerais.

A AV pode ser um processo promissor para a redução do uso dos fertilizantes minerais e da adubação orgânica. No caso desta, faz-se necessária a aplicação de grandes quantidades para o fornecimento de nutrientes às culturas agrícolas, pois concentram pequenas quantidades de nutrientes. Entretanto, a utilização de grandes quantidades de

adubos orgânicos dificulta a operacionalização da adubação, aumentando os custos de transporte e de aplicação nas lavouras.

Em cafezais diversos estudos comprovam os benefícios da AV sobre as qualidades do solo, mas os seus resultados no crescimento, nutrição e produtividade do cafeeiro são escassos e contraditórios. Por isso, esta tese, escrita sob a forma de dois artigos científicos, teve como objetivos; i) determinar a contribuição da adubação verde (AV) para a nutrição nitrogenada de cafeeiros com diferentes idades e ao longo do tempo após a sua realização; e ii) avaliar se a AV aumenta o crescimento e a produtividade de cafeeiros cultivados com diferentes doses de composto orgânico (CO) ao longo de quatro safras. Ao final desta tese, é feita uma breve consideração sobre a utilização da adubação verde e da adubação orgânica na cafeicultura orgânica.

2. CONTRIBUIÇÃO DA ADUBAÇÃO VERDE PARA A NUTRIÇÃO NITROGENADA DE CAFEIROS COM DIFERENTES IDADES E AO LONGO DO TEMPO USANDO MARCAÇÃO ISOTÓPICA COM ¹⁵N

RESUMO

*O objetivo foi determinar a contribuição do nitrogênio derivado da adubação verde (N_{dav}) à nutrição nitrogenada de cafeeiros com diferentes idades e ao longo do tempo após a aplicação da leguminosa *Crotalaria juncea*. Cultivou-se plantas de *Coffea arabica* em vasos e adubou-se com fertilizante nitrogenado e biomassa da leguminosa enriquecida com ¹⁵N. Em cafeeiros com seis meses de idade determinou-se a contribuição da AV entre 90 e 210 dias após a aplicação da leguminosa. Para a avaliação da contribuição da AV ao longo do tempo após a aplicação da leguminosa, comparou-se a absorção do N_{dav} em cafeeiros com 21 meses de idade cuja AV ocorreu aos 6 meses com cafeeiro de mesma idade, mas cuja AV ocorreu aos 18 meses. Também se avaliou a contribuição da AV três meses após a aplicação em cafeeiros de 9 e 21 meses de idade e a contribuição da AV três e 15 meses após a aplicação de leguminosa em cafeeiros com 6 meses de idade. Retirou-se os cafeeiros dos vasos para a determinação da proporção de átomos em excesso do isótopo ¹⁵N, permitindo a verificação da contribuição da AV a partir da estimativa do N_{dav} . Conclui-se que: i) a AV contribui para a nutrição nitrogenada do cafeeiro até 15 meses após a aplicação da leguminosa, sendo máxima entre 157 e 168 dias após a aplicação da leguminosa, quando o N_{dav} correspondeu entre 18,55% e 19,44% do nitrogênio total.*

Palavras-chave: fertilização, decomposição, matéria orgânica, mineralização, cultivos de cobertura.

2.1 INTRODUÇÃO

O N é o nutriente requerido em maior quantidade pelo cafeeiro (*Coffea arabica* L.), tanto na sua formação, quanto na sua fase produtiva (Guimarães et al. 1999). O acúmulo deste nutriente em cafeeiros com seis meses de idade transplantados é de 1,5 g por planta e aos 30 meses chega a 79,4 g por planta (Correa et al. 1983).

A adubação verde (AV) com leguminosas pode fornecer parte do nitrogênio (N) necessária ao crescimento e produção dos cultivos agrícolas através da fixação biológica,

conforme constatado nas culturas de milho (Silva et al. 2006), brócolis (Diniz et al. 2007), uva (Ovalle et al. 2010) e cana-de-açúcar (Ambrosano et al. 2011). Cafeeiros em idade produtiva cresceram mais quando a adubação com composto orgânico foi suplementada pela aplicação da parte aérea da leguminosa *Crotalaria juncea* (Araújo et al. 2013).

Nos estudos de avaliação da contribuição da AV para a nutrição nitrogenada, a competição entre as espécies leguminosas utilizadas e o cafeeiro deve ser minimizada com a aplicação de parte aérea de leguminosa produzida fora da área do cultivo principal (Vilela et al. 2011; Araújo et al. 2013). Assim, é possível o estudo do efeito da AV sobre a nutrição, crescimento e produção de cafeeiros, sem o efeito da competição existente no cultivo consorciado, onde processos diferentes acontecendo ao mesmo tempo dificultariam a elucidação dos mecanismos atuantes na recuperação do nitrogênio derivado da adubação verde (N_{dav}) pelo cafeeiro.

Além disso, para a avaliação do fornecimento de N por leguminosas, são utilizados estudos que empregam técnicas isotópicas por meio do isótopo ^{15}N para determinar a proporção de N_{dav} recuperado pela cultura e sua contribuição para a nutrição nitrogenada (Boddey et al. 2000; Silva et al. 2006; Ovalle et al. 2010; Ambrosano et al. 2011; Araújo et al. 2013).

O enriquecimento isotópico é um procedimento que permite aumentar a concentração de ^{15}N acima de sua abundância natural e desse modo utilizar o ^{15}N como traçador isotópico (Silva et al. 2006). Nesses casos, os adubos verdes são cultivados com fertilizante enriquecido em ^{15}N para alcançar a marcação desejada de modo que permita enriquecer o solo e a planta 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}N -fertilizante para alcançar a marcação desejada (Ambrosano et al. 2003).

O N_{dav} é normalmente considerado menos suscetível a perdas que aquele proveniente dos fertilizantes minerais e grandes proporções de entradas de N_{dav} tendem a permanecer como N orgânico no solo ou são incorporadas na biomassa microbiana do solo, podendo ser imobilizado e remobilizado, antes de ser mineralizado e disponibilizado para a utilização pelas plantas ao longo do tempo (Matos et al. 2008; Matos et al. 2011). Uma vez mineralizado, o N_{dav} torna-se passível de absorção pelas culturas. A fixação biológica contribuiu com 23,6% do N da parte aérea do brócolis (Diniz et al. 2007). Mas de maneira geral a proporção de N_{dav} nas diversas culturas é baixa e variável, atingindo

11% do N_{total} em folhas de cana (Ambrosano et al. 2011) e 14% a 20% em folhas de videira (Ovalle et al. 2010).

Em cafeeiros, a contribuição do N_{dav} para o cafeeiro variou de 6,85% em cafeeiros com 15 meses até 17,93% em cafeeiros com 22 meses (Araújo et al. 2013). Estas mudanças na quantidade de N_{dav} acumulada pelo cafeeiro ao longo do tempo ainda não estão completamente esclarecidas. Talvez se a demanda por N crescer, a quantidade de N_{dav} recuperada pelo cafeeiro seja menor, indicando uma variação da contribuição da AV com a idade do cafeeiro.

2.2 OBJETIVO

O objetivo foi determinar a contribuição do nitrogênio derivado da adubação verde em cafeeiros com diferentes idades e ao longo do tempo após a sua realização.

2.3 MATERIAL E MÉTODOS

2.3.1 Local do experimento e tratamentos

O experimento foi conduzido entre janeiro de 2013 e junho de 2014 em vasos contendo uma planta de café (*Coffea arabica* L. cultivar Catuaí Vermelho 44) em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Minas Gerais. Os cafeeiros foram cultivados por 9, 11, 13 e 21 meses e receberam 60% da adubação nitrogenada via sulfato de amônio e 40% via adubação verde (AV) com parte aérea da leguminosa *Crotalaria juncea* L. O vaso constituiu a parcela experimental. O delineamento adotado foi inteiramente ao acaso com cinco repetições.

Para a avaliação da absorção do nitrogênio derivado da AV (N_{dav}), utilizou-se a marcação isotópica da leguminosa com ^{15}N . Os cafeeiros cultivados por 9, 11 e 13 meses receberam AV enriquecido com ^{15}N aos três meses após o transplântio, em março de 2013, conforme esquema na Tabela 1. Os cafeeiros cultivados por 21 meses foram separados em dois grupos. O primeiro grupo recebeu leguminosa marcada aos 3 meses após o transplântio (março de 2013) e leguminosa não marcada aos 15 meses após o transplântio (março de 2014) (Tabela 1). O segundo grupo recebeu leguminosa não marcada aos 3 meses após o transplântio (março de 2013) e leguminosa marcada aos 15 meses após o transplântio (março de 2014) (Tabela 1). Entre 15 e 21 meses não houve

adubação com AV e em todos os tratamentos foram fornecidas as adubações minerais conforme descrito.

O solo, oriundo de área cultivada, foi cuidadosamente colocado nos vasos mantendo-se a separação por camada (0-20 cm e 21-40 cm) original do campo. A caracterização química do solo está no Anexo. A adubação foi realizada conforme recomendação (Guimarães et al. 1999). Antes do plantio dos cafeeiros aplicou-se 65 g de P_2O_5 por vaso (50% como superfosfato simples e 50% como fosfato natural reativo com 28% de P_2O_5). Não foi necessário corrigir a acidez do solo.

As mudas de cafeeiros foram transplantadas para os vasos quando completaram três meses de idade, em janeiro de 2013, antes da AV e da adubação mineral. Os cafeeiros cultivados por até 13 meses foram transplantados para vasos de 60 dm^3 com área superficial de $0,16 \text{ m}^2$, e aqueles cultivados por 21 meses para vasos de 150 dm^3 e área superficial de $0,59 \text{ m}^2$.

Logo após o transplântio dos cafeeiros, foram fornecidos 10 g de K_2O por planta, divididos em três aplicações de sulfato de potássio, entre janeiro e março de 2013. Foram realizadas aplicações foliares de micronutrientes conforme Guimarães et al. (1999). Entre novembro de 2013 e fevereiro de 2014, também foram fornecidos 10 g de K_2O por planta, divididos em três aplicações de sulfato de potássio. A umidade do solo foi mantida a 80% da sua capacidade de campo, sendo monitorada por sensor dielétrico ECH_2O , modelo EC-10 (Decagon Devices Inc).

Tabela 1. Cronograma de aplicação da adubação verde marcada com ^{15}N (AV ^{15}N) ou não marcada (AV N), de avaliação destrutiva dos cafeeiros (\ddagger), idade dos cafeeiros quando receberam AV ^{15}N ; idade dos cafeeiros quando analisados e tempo de crescimento após a aplicação de AV ^{15}N

01/13	Mês/Ano						Idade dos cafeeiros quando receberam AV ^{15}N (meses)	Idade dos cafeeiros quando analisados (meses)	Tempo de crescimento após a AV ^{15}N (dias)
	03/13	06/13	08/13	10/13	03/14	06/14			
	AV ^{15}N	\ddagger					6	9	90
	AV ^{15}N		\ddagger				6	11	150
Transplântio das mudas com três meses de idade	AV ^{15}N			\ddagger			6	13	210
	AV N				AV ^{15}N	\ddagger	18	21	90
	AV ^{15}N				AV N	\ddagger	6	21	450

2.3.2 Produção de leguminosa marcada com ^{15}N

Foi utilizado o ^{15}N como traçador isotópico para a avaliação do fornecimento de N pela AV. Para isso, enriqueceu-se isotopicamente a leguminosa *Crotalaria juncea*, aumentando a sua concentração de ^{15}N acima de sua abundância natural. A leguminosa foi produzida fora da área do cultivo principal para evitar a competição existente no cultivo consorciado e seu efeito sobre a nutrição e o crescimento do cafeeiro.

A leguminosa marcada foi cultivada em vasos plásticos de 150 dm^3 em casa de vegetação. Os vasos foram preenchidos por substrato formado por areia média peneirada e vermiculita na proporção de 1:1. As sementes foram imersas em hipoclorito de sódio a 1% por cinco minutos e, posteriormente, em álcool 70% por 1 minuto. Em seguida foram lavadas com água deionizada. A semeadura foi realizada no mês de outubro na razão de 40 sementes por metro linear e 50 cm entre linhas. Após a emergência das plântulas foi realizado um desbaste, obtendo-se 50 plantas de *Crotalaria juncea* por vaso. A adubação do substrato foi de 300 mg dm^{-3} de fósforo (P_2O_5) pelo fertilizante superfosfato simples (18% P_2O_5) em uma única aplicação antes da semeadura, e 87 mg dm^{-3} de K_2O pelo fertilizante sulfato de potássio (47% K_2O), dividido em oito aplicações semanais após a semeadura.

Na adubação nitrogenada forneceu-se 330 mg dm^{-3} de N para as leguminosas, sendo 80 mg dm^{-3} de N na forma de ureia com 10% de átomos do isótopo de ^{15}N em excesso (% a. e. ^{15}N) - com o objetivo de se atingir uma marcação de 2% a. e. ^{15}N - e $250,0\text{ mg dm}^{-3}$ de N pela ureia comum, ambas as doses divididas em oito aplicações semanais, iniciada após o desbaste.

2.3.3 Colheita da parte aérea da leguminosa e análises

A parte aérea da leguminosa foi cortada aos 72 dias após a semeadura, independente da época de aplicação. Nesta colheita, quatro amostras foram pesadas, secas em estufa a $65\text{ }^\circ\text{C}$ até massa constante, para a determinação de umidade e determinação da matéria seca da parte aérea. As amostras foram trituradas inicialmente em moinho tipo willye com peneiras de malha mesh 20 e posteriormente em moinho de rolagem durante 24 horas. O N-total foi determinado pelo método Kjeldahl, descrito por Abreu et al. (2009). Após este processo, as amostras com material vegetal enriquecido com ^{15}N foram enviadas ao Laboratório John M. Day de Isótopos Estáveis da Embrapa Agrobiologia para a

determinação da concentração de átomos em excesso de ^{15}N pelo espectrômetro de massa Finnigan Mat, modelo Delta Plus.

A leguminosa não marcada foi produzida em campo entre os meses de outubro e dezembro, em período anterior a sua aplicação nos vasos. A leguminosa foi semeada na razão de 30 sementes por metro linear, com 30 cm entre linhas. Depois de 72 dias após a emergência, a leguminosa foi cortada ao nível do solo e amostras foram retiradas, pesadas e colocadas para secar em estufa a 65 °C até atingirem massa constante. Após este processo, as amostras foram moídas em moinho tipo willye (“moinho de facas”) com peneiras de malha mesh 20. O N-total foi determinado pelo método Kjeldahl, descrito por Abreu et al. (2009). Em seguida, foi calculada a quantidade de matéria fresca a ser aplicada nos vasos com cafeeiros conforme o tratamento.

Foram feitos dois ciclos de produção de leguminosa marcada. O primeiro ciclo forneceu leguminosa marcada para os cafeeiros cultivados entre 9 e 13 meses, enquanto o segundo ciclo forneceu leguminosa marcada para os cafeeiros cultivados até 21 meses. O primeiro ciclo de produção de leguminosa marcada ocorreu entre outubro e dezembro de 2012. A parte aérea da leguminosa marcada foi fornecida aos cafeeiros três meses após o transplântio, quando estavam com seis meses de idade. A leguminosa apresentou concentração de N na matéria seca de 3,4% e enriquecimento de 2,42% de átomos em excesso de ^{15}N (% a. e. ^{15}N). O segundo ciclo de produção de leguminosa marcada ocorreu entre dezembro de 2013 e fevereiro de 2014. A parte aérea da leguminosa marcada foi fornecida aos cafeeiros 15 meses após o transplântio, quando estavam com 18 meses de idade. A leguminosa apresentou concentração de N na matéria seca de 3,1% e enriquecimento de 2,44% a. e. ^{15}N .

2.3.4 Adubação nitrogenada dos cafeeiros

No primeiro ano, visando atender as necessidades nutricionais dos cafeeiros que foram conduzidos entre 9 e 13 meses de idade logo após o transplântio dos cafeeiros, a adubação nitrogenada foi realizada com o objetivo de fornecer ao cafeeiro 6 g de N, conforme recomendação (Guimarães et al. 1999), sendo 60% desta quantidade fornecida pelo fertilizante mineral e 40% pela leguminosa. No caso do fertilizante foi considerada uma eficiência de 50%, portanto foram aplicados 36 g de sulfato de amônio (6 g x 60% = 3,6 g / 50% = 7,2 g / 20% = 36 g) por vaso. No caso da leguminosa foi considerada uma

eficiência de 25% ($6 \text{ g} \times 40\% = 2,4 \text{ g} / 25\% = 9,6 \text{ g}$). Assim a partir da concentração de N nos tecidos da leguminosa (3,4% de N na matéria seca) foi determinada a quantidade de parte aérea a ser aplicada em cada vaso com cafeeiro: $9,6 \text{ g} / 3,4\% = 282,35 \text{ g}$ de matéria seca do adubo verde. A quantidade total de N aplicada, portanto, foi de 16,8 g de N (7,2 g fornecidos pelo sulfato de amônio e 9,6 g pela AV). A aplicação do fertilizante mineral foi dividida em três aplicações entre os meses de janeiro e março de 2013. A parte aérea da leguminosa foi fragmentada em pedaços de cinco a 10 cm, aplicados em março de 2013, três meses após o transplântio dos cafeeiros, sobre a superfície do solo.

No segundo ano, visando atender as necessidades nutricionais dos cafeeiros conduzidos até os 21 meses de idade, a adubação nitrogenada foi realizada com o objetivo de fornecer ao cafeeiro 15 g de N, conforme recomendação (Guimarães et al. 1999), sendo 60% desta quantidade fornecida pelo fertilizante mineral e 40% pela leguminosa. No caso do fertilizante foi considerada uma eficiência de 50%, portanto foram aplicados 90 g de sulfato de amônio ($15 \text{ g} \times 60\% = 9 \text{ g} / 50\% = 18 \text{ g} / 20\% = 90 \text{ g}$) por vaso. No caso da leguminosa foi considerada uma eficiência de 25% ($15 \text{ g} \times 40\% = 6 \text{ g} / 25\% = 24 \text{ g}$). Assim a partir da concentração de N nos tecidos da leguminosa (3,1% de N na matéria seca) foi determinada a quantidade de parte aérea a ser aplicada em cada vaso com cafeeiro: $24 \text{ g} / 3,1\% = 774,19 \text{ g}$. A quantidade total de N aplicada, portanto, foi de 42 g de N (18 g fornecidos pelo sulfato de amônio e 24 g pela AV). A aplicação do fertilizante mineral foi dividida em três aplicações entre os meses de novembro de 2013 e fevereiro de 2014. A parte aérea da leguminosa foi fragmentada em pedaços de cinco a 10 cm, aplicados sobre a superfície do solo em março de 2014, 15 meses após o transplântio dos cafeeiros.

2.3.5 Amostragem dos cafeeiros, análises e cálculos

Os cafeeiros foram inteiramente retirados dos vasos (avaliação destrutiva) aos 9, 11, 13 e 21 meses de idade, correspondendo ao período de 90, 150, 210 e 450 dias (3, 5, 7 e 15 meses), respectivamente após a aplicação da leguminosa para a determinação da matéria seca, da concentração de N total em cada órgão (raízes, ramos e folhas nos cafeeiros de 9, 11 e 13 meses; e raízes, ramo ortotrópico, ramos plagiotrópicos, folhas e frutos nos cafeeiros de 21 meses) e do N derivado da leguminosa (N_{dav}). Nesta ocasião

uma amostra da biomassa da AV remanescente sem decomposição na superfície do vaso foi retirada para determinação da concentração de N.

Amostras dos órgãos do cafeeiro e da biomassa remanescente da AV foram secas em estufa a 65 °C até massa constante, para a determinação de umidade e determinação da matéria seca. As amostras foram trituradas em moinho tipo willye com peneiras de malha mesh 20 e posteriormente em moinho de rolagem durante 24 horas. O N-total foi determinado pelo método Kjeldahl. Após este processo, as amostras com material vegetal foram enviadas ao Laboratório John M. Day de Isótopos Estáveis da Embrapa Agrobiologia para a determinação da concentração de átomos em excesso de ¹⁵N pelo espectrômetro de massa Finnigan Mat, modelo Delta Plus.

Os dados de matéria seca (MS), concentração de N na matéria seca (%N) e enriquecimento isotópico (enriq.¹⁵N) dos diferentes órgãos do cafeeiro permitiram o cálculo em qualquer período após a AV de (Ovalle et al. 2010):

1. Acúmulo de N total (g/planta):

$$N_{\text{total}} = MS \times \frac{\%N}{100}$$

- 2 Enriquecimento com excesso de átomos de ¹⁵N (% a.e. ¹⁵N):

Enriquecimento (%) = (% átomos de ¹⁵N planta) – 0,3664%; sendo o valor 0,3664% correspondente a ocorrência natural de ¹⁵N no N₂ atmosférico.

- 3 Estimativa da proporção de nitrogênio derivado da adubação verde (%):

$$N_{\text{dav}} (\%) = \frac{\text{enriq.}^{15}\text{N a.e.no café}}{\text{enriq.}^{15}\text{N a.e.na leguminosa}} \times 100$$

- 4 Estimativa da quantidade de nitrogênio derivado da adubação verde (g/planta):

$$N_{\text{dav}} (\text{g/planta}) = N_{\text{total}} \times \frac{N_{\text{dav}}(\%)}{100}$$

- 5 Eficiência de recuperação do N_{dav} (%):

$$\text{ERAV} (\%) = \frac{N_{\text{dav}} (\text{g/planta})}{N_{\text{aplicado via AV}} (\text{g/planta})} \times 100$$

Nos cafeeiros com 21 meses de idade, para compará-los aos cafeeiros com 9 meses de idade, pesou-se separadamente os ramos ortotrópico e plagiotrópico e calculou-se a média ponderada de ramos formada pelos dois tipos de ramos (ortotrópico e plagiotrópicos) para a determinação da concentração de N, do enriquecimento com ^{15}N e da estimativa do N_{dav} .

Os dados obtidos dos cafeeiros cultivados até 9, 11 e 13 meses, correspondentes aos períodos de 90, 150 e 210 dias após a AV, foram submetidos a análise de variância e de regressão e os coeficientes estimados das equações de regressão submetidos ao Teste t de Student ($p < 0,05$). Os dados obtidos dos cafeeiros cultivados até 21 meses foram submetidos à análise de variância e comparados pelo Teste F ($p < 0,05$).

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.4.1 Contribuição da adubação verde entre 90 e 210 dias após sua aplicação em cafeeiros entre 9 e 13 meses de idade

Os resultados da análise de variância das regressões indicaram significância a 1% de probabilidade pelo teste F para a relação entre as variáveis e o tempo de crescimento do cafeeiro após a realização da adubação verde (AV). Os parâmetros da regressão foram significativos ($p < 0,01$) pelo Teste t.

O acúmulo de matéria seca pelos órgãos do cafeeiro ocorreu linearmente entre 90 e 210 dias após a AV, quando os cafeeiros tinham entre 9 e 13 meses de idade com o fornecimento de 60% do nitrogênio via fertilizante mineral e 40% via aplicação de parte aérea da leguminosa cultivada fora dos vasos (Figura 1).

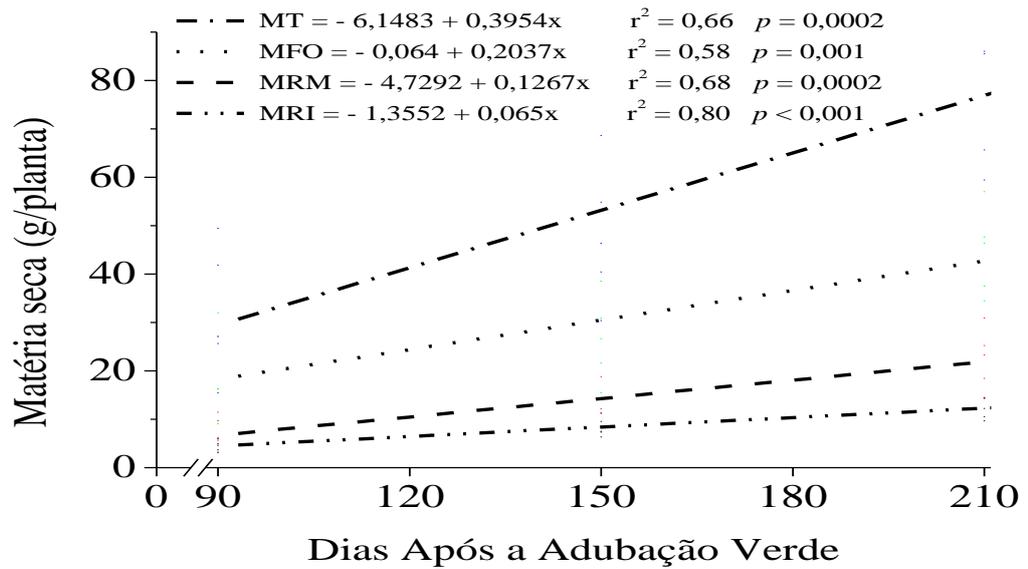


Figura 1. Acúmulo de matéria seca pelas raízes (MRI), ramos (MRM), folhas (MFO) e total (MT) de cafeeiros em função do tempo após a adubação verde. Os coeficientes de variação (CV) foram: MRI (21,46%), MRM (32,97%), MFO (29,51%) e MT (28,14%).

O crescimento do cafeeiro foi linear, sendo que aos 9 meses o acúmulo de matéria seca correspondeu a 29,44 g e aos 13 meses a 76,89 g. Entre os órgãos, as folhas foram os órgãos que mais acumulou matéria seca, seguidas pelos ramos e pelas raízes. Aos 210 dias após a AV, quando os cafeeiros tinham 13 meses, as folhas acumularam 42,7 g de matéria seca, representando 55,5% da matéria seca total do cafeeiro, seguidas pelos ramos (21,9 g e 28,5% do total) e raízes (12,3 g e 16% do total). A velocidade de acúmulo de matéria seca no período também foi maior nas folhas (0,2 g/dia), seguidas pelos ramos (0,1 g/dia) e raízes (0,06 g/dia). O mesmo padrão ocorreu em outro estudo com cafeeiro conduzido em vaso por 12 meses, quando a matéria seca das folhas, ramos e raízes corresponderam a 46,0%, 29,50% e 24,5% do total, respectivamente (Clemente et al. 2008).

A concentração de nitrogênio variou com o tempo de crescimento após a AV e os órgãos do cafeeiro, sendo que as maiores concentrações ocorreram nas folhas (Figura 2).

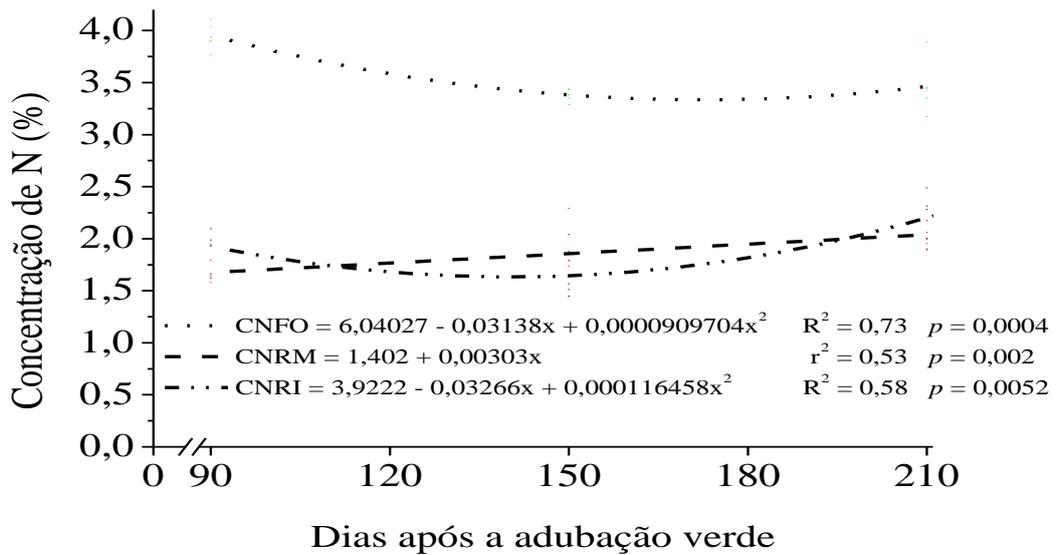


Figura 2. Concentração de N nas raízes (CNRI), ramos (CNRM), folhas (CNFO) de cafeeiros em função do tempo após a adubação verde. Os coeficientes de variação (CV) foram: CNRI (11,14%), CNRM (8,17%) e CNFO (4,82%).

A concentração de N nas folhas variou entre 3,95% aos 90 dias após a AV, diminuiu até 3,33% aos 172 dias e atingiu 3,46% aos 210 dias. Estes valores estavam superiores a faixa crítica (1,92% a 2,32%) para cafeeiros em primeiro anos pós-plantio (Clemente et al. 2008) indicando que a AV contribui com a nutrição nitrogenada do cafeeiro, pois 40% do N foi fornecido pela AV. Nas raízes a concentração variou entre 1,93% aos 90 dias, atingindo o mínimo de 1,63% aos 140 dias e chegando a 2,2% aos 210 dias. Nos ramos, a concentração foi crescente ao longo do tempo, variando entre 1,67% aos 90 dias e 2,04% aos 210 dias.

O acúmulo de nitrogênio total (N_{total}) no cafeeiro foi crescente variando de 0,88 g aos 90 dias após a AV até 2,16 g aos 210 dias (Figura 3). As folhas foram o órgão que mais acumularam N, entretanto a participação das folhas no acúmulo de N_{total} diminuiu ao longo do tempo, passando de 79% do N_{total} do cafeeiro aos 90 dias para 68% aos 210 dias. O acúmulo de N_{total} acompanhou o crescimento, uma vez que a diferença entre as concentrações de N nos ramos e nas raízes foram pequenas.

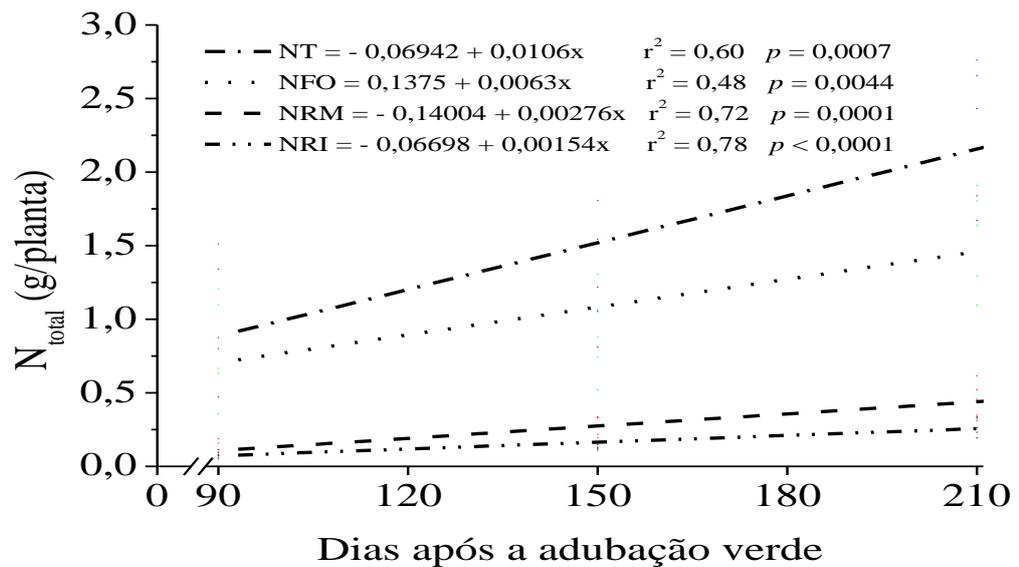


Figura 3. Acúmulo de nitrogênio (g/planta) em raízes (NRI), ramos (NRM), folhas (NFO) e total (NT) de cafeeiros em função do tempo após a adubação verde. Os coeficientes de variação (CV) foram: NRI (23,73%), NRM (33,37%), NFO (30,75%) e NT (28,75%).

O enriquecimento com ^{15}N do cafeeiro (planta inteira) variou com o tempo de crescimento após a AV, evidenciando que o cafeeiro absorveu N derivado da leguminosa (Figura 4). Essa mesma variação também foi verificada entre os órgãos do cafeeiro (Figura 5).

A proporção de N derivado do AV (N_{dav}) no cafeeiro variou em função do tempo de crescimento após a AV e entre os órgãos do cafeeiro, sendo máximo entre 157 e 168 dias após a AV (Figura 6). A proporção máxima de N_{dav} ocorreu aproximadamente 5 meses após a AV ^{15}N e correspondeu a 19,44% do N_{total} nos ramos aos 157 dias, enquanto nas raízes foi de 19,11% e nas folhas de 18,55% do N_{total} , aos 163 e 168 dias, respectivamente, quando os cafeeiros estavam com pouco mais de 11 meses de idade. Comportamento similar, mas com valores proporcionais menores, foi observado por Araújo et al. (2013) em cafeeiros com 11 meses de idade 5 meses após receberem AV ^{15}N , cujo N_{dav} nas folhas era de 9,18% do N_{total} . Como o N_{dav} distribuiu-se uniformemente entre os órgãos, pode-se, em trabalhos futuros, selecionar apenas um órgão da planta para estimar a proporção de N_{dav} .

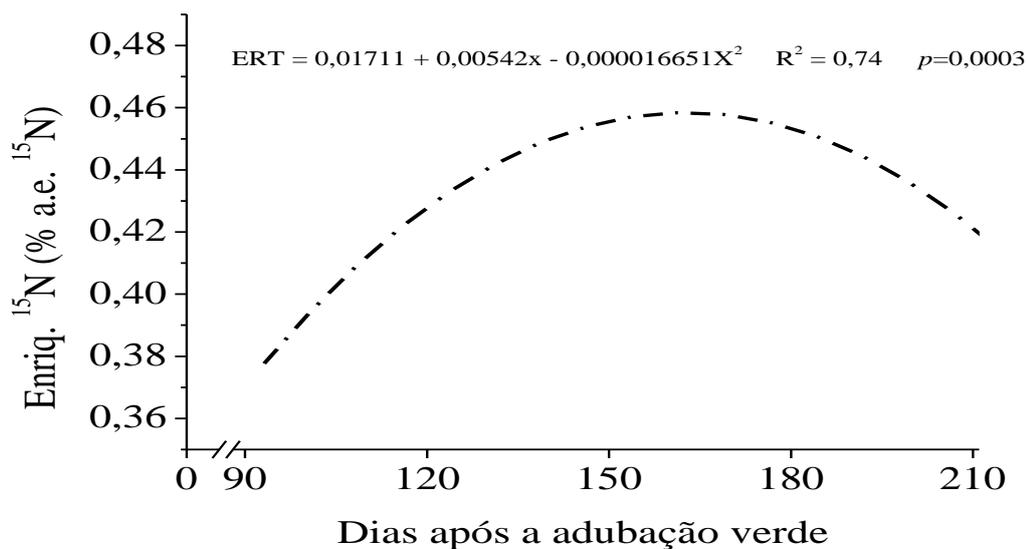


Figura 4. Média ponderada do enriquecimento com ^{15}N (% a.e. ^{15}N) de cafeeiros em função do tempo após a adubação verde. Coeficiente de variação (CV) = 10,20%.

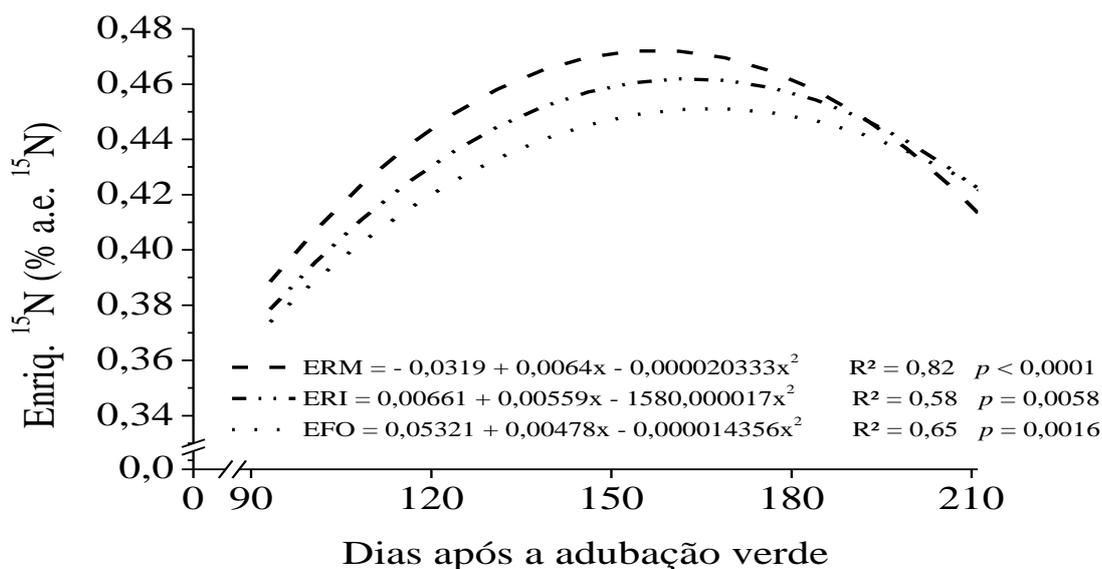


Figura 5. Enriquecimento com ^{15}N (% a.e. ^{15}N) em raízes (ERI), ramos (ERM), folhas (EFO) de cafeeiros em função do tempo após a adubação verde. Os coeficientes de variação (CV) foram: ERI (8,33%), ERM (4,69%) e EFO (6,59%).

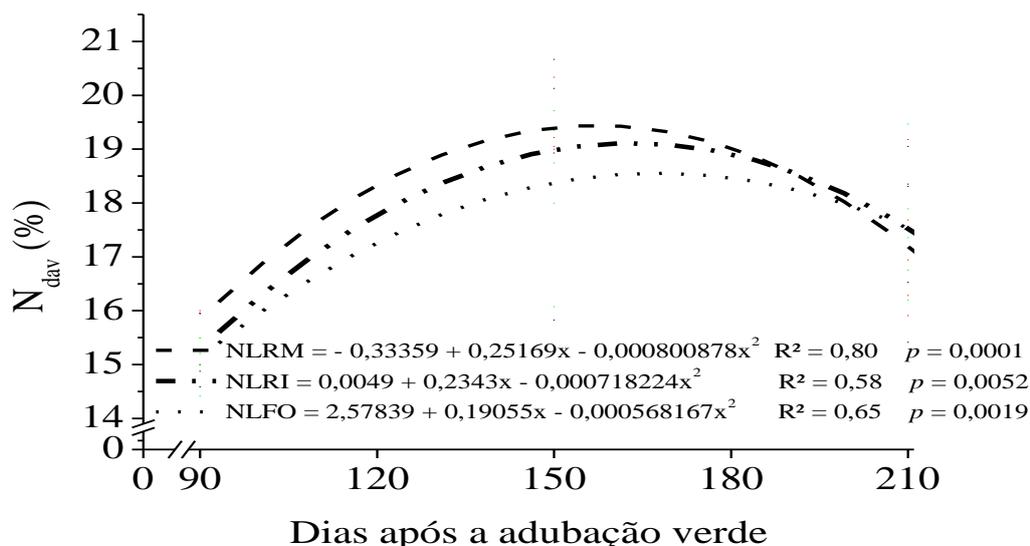


Figura 6. Estimativa da proporção de N derivado da adubação verde (N_{dav}) nas raízes (NLRI), ramos (NLRM) e folhas (NLFO) de cafeeiros em função do tempo após adubação verde. Os coeficientes de variação (CV) foram: NLRI (8,35%), NLRM (4,77%) e NLFO (6,65%).

Após a adubação verde, o N antes de ser lentamente disponibilizado para a utilização pelas plantas ao longo do tempo tendem a permanecer como N orgânico no solo ou ser incorporado pela biomassa microbiana do solo, podendo ser imobilizado e remobilizado (Matos et al. 2008; Matos et al. 2011). Em cultivos anuais, sucedendo a adubação verde, grande parte do N derivado da leguminosa permanece no solo, aumentando o seu estoque no solo, por isso raramente a recuperação de N pelas culturas anuais é superior a 20% (Silva et al. 2014).

Em termos quantitativos, entre 90 e 210 dias os cafeeiros acumularam linearmente de 0,14 g à 0,38 g de N_{dav} (Figura 7), apesar da estimativa da proporção do N_{dav} ter sido máxima entre 157 e 168 dias após a AV. Esse acúmulo de N_{dav} acompanhou o acúmulo de N_{total} , semelhantemente ao reportado por Araújo et al. (2013).

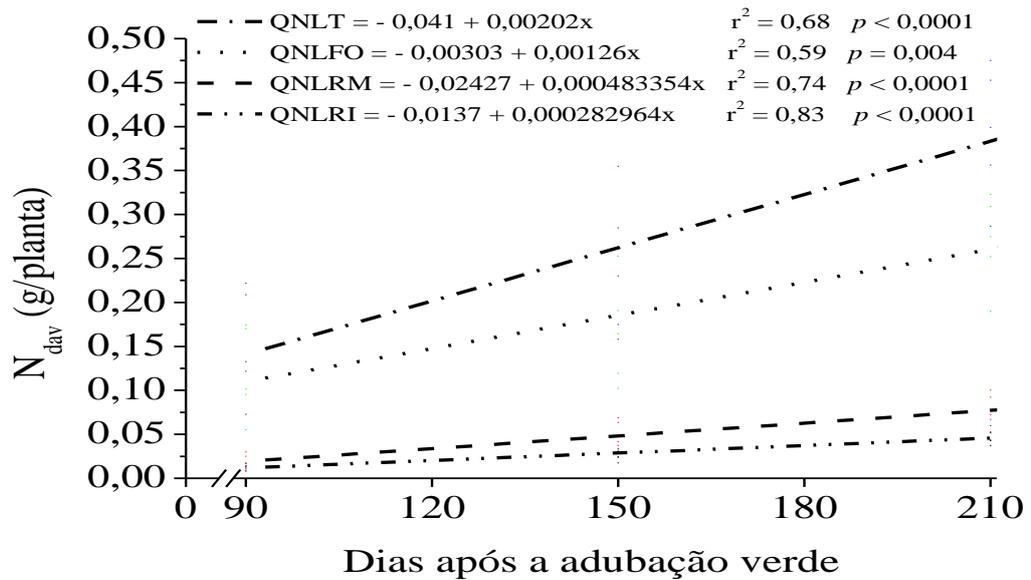


Figura 7. Estimativa da quantidade de nitrogênio derivado da adubação verde (N_{dav}) recuperado pelas raízes (QNLRI), ramos (QNLRM), folhas (QNLFO) e total (QNLT) de cafeeiros em função do tempo após adubação verde. Os coeficientes de variação (CV) foram: QNLRI (23,13%), QNLRM (32,21%), QNLFO (29,55%) e QNLT (28,12%).

Ao longo do tempo, houve aumento da eficiência de recuperação do nitrogênio derivado da adubação verde (ERAV), que variou entre 1,47% aos 90 dias e 3,99% aos 210 dias (Figura 8). Esta baixa eficiência de recuperação pode ter ocorrido: i) pela aplicação de uma dose muito alta de N, em decorrência de uma superestimação da demanda de N pelos cafeeiros, ou ii) devido a aplicação superficial da leguminosa.

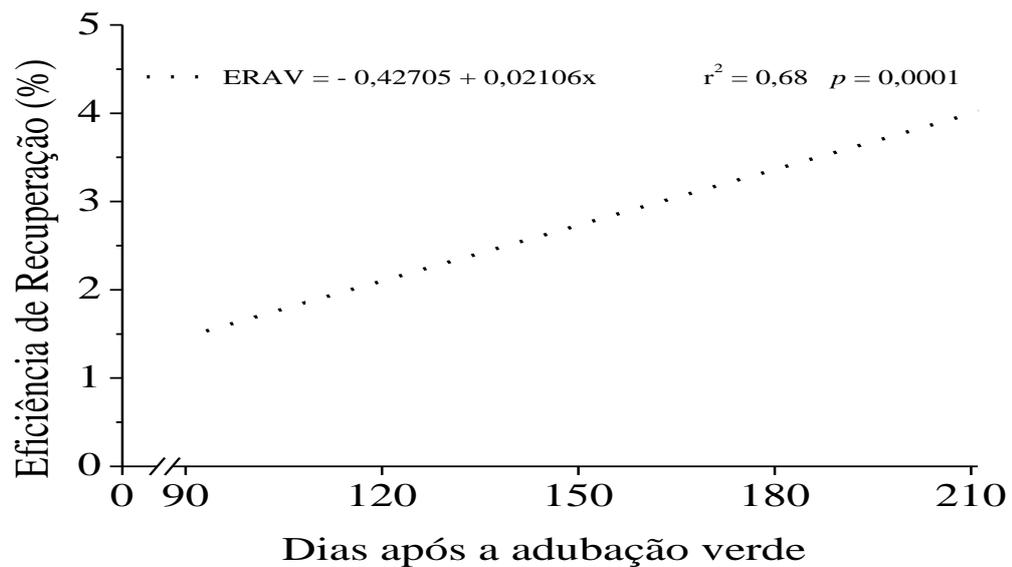


Figura 8. Eficiência de recuperação do nitrogênio derivado da adubação verde (ERAV) pelo cafeeiro em função do tempo após adubação verde. O coeficiente de variação (CV) igual a 28,05%.

2.4.2 Contribuição da adubação verde para a nutrição de cafeeiros com 21 meses

A matéria seca acumulada, a concentração, o acúmulo de N e o teor de N foliar em cafeeiro de 21 meses de idade que receberam AV marcada com ^{15}N aos 6 ou 18 meses de idade estão na Tabela 2.

Cafeeiros com 21 meses de idade que receberam AV marcada (AV^{15}N) aos 6 meses de idade acumularam 40% mais matéria seca e 27% mais N que aqueles que receberam AV^{15}N aos 18 meses. Entretanto, a quantidade de AV^{15}N aplicada aos cafeeiros com 18 meses de idade foi maior que a quantidade aplicada aos cafeeiros com 6 meses de idade, para que a quantidade de N se mantivesse constante.

Entre os órgãos do cafeeiro, tanto naqueles que receberam AV^{15}N aos 6 meses quanto nos que a receberam aos 18 meses, o maior acúmulo de matéria seca ocorreu nas folhas, correspondendo a 44,7% do total nos cafeeiros que receberam AV^{15}N aos 6 meses e 47,6% naqueles que a receberam aos 18 meses de idade. A concentração de N foi igual nas raízes, nos ramos plagiotrópicos e frutos, porém menor no ramo ortotrópico e nas folhas dos cafeeiros que receberam AV^{15}N aos 6 meses de idade. Entre os órgãos do cafeeiro, em ambos os tratamentos, a maior concentração de N estava nas folhas.

Tabela 2. Matéria seca, concentração e acúmulo de N nos órgãos do cafeeiro de 21 meses de idade que receberam adubação verde marcada com ^{15}N aos 6 ou 18 meses de idade.

	Idade do cafeeiro na época da adubação verde com ^{15}N							
	6 meses				18 meses			
Matéria seca (g/planta)								
Raízes	127,01	±	4,35	b CD*	104,26	±	8,55	a B
Ramo ortotrópico	98,72	±	3,47	a D	90,70	±	4,62	a B
Ramos plagiotrópicos	253,14	±	6,01	a B	108,96	±	4,10	b B
Folhas	505,20	±	12,37	a A	384,08	±	17,71	b A
Frutos	146,24	±	14,56	a C	118,64	±	19,67	a B
Total	1.130,31	±	19,85	a	806,64	±	35,55	b
Concentração de N (%)								
Raízes	2,01	±	0,13	a B	2,30	±	0,10	a B
Ramo ortotrópico	1,36	±	0,07	b C	1,56	±	0,02	a C
Ramos plagiotrópicos	1,86	±	0,05	a B	1,79	±	0,03	a C
Folhas	2,87	±	0,08	b A	3,18	±	0,05	a A
Frutos	2,17	±	0,05	a B	2,26	±	0,11	a B
Acúmulo de N (g/planta)								
Raízes	2,55	±	0,17	a C	2,42	±	0,27	a B
Ramo ortotrópico	1,34	±	0,09	a D	1,42	±	0,08	a B
Ramos plagiotrópicos	4,71	±	0,14	a B	1,95	±	0,10	b B
Folhas	14,47	±	0,42	a A	12,24	±	0,64	b A
Frutos	3,18	±	0,34	a C	2,67	±	0,42	a B
Total	26,24	±	0,59	a	20,70	±	1,13	b
Teor de N nas folhas (g/matéria seca)								
	0,03	±	0,001	a	0,03	±	0,001	a

* Médias (± Erro Padrão) seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúsculas na coluna não diferem pelos testes F ($p \leq 0,05$) e Tukey, ($p \leq 0,05$), respectivamente.

A quantidade de N_{total} (g/planta) foi maior nos cafeeiros que receberam $AV^{15}N$ aos 6 meses de idade, que naqueles que a receberam aos 18 meses, exceto nas raízes, no ramo ortotrópico e nos frutos. Entre os órgãos do cafeeiro, em ambos os tratamentos, o maior acúmulo de N estava nas folhas.

As maiores concentrações de N ocorreram nas folhas, sendo que nos cafeeiros cuja $AV^{15}N$ ocorreu aos 6 meses de idade o valor foi inferior (2,87%) ao verificado nos cafeeiros que receberam $AV^{15}N$ aos 18 meses (3,18%). Estes valores estavam dentro da faixa adequada (2,7–3,2%) (Martinez et al. 1999). Como na fase reprodutiva dos cafeeiros os frutos são os drenos preferenciais de N (Fenilli et al. 2007) pode ter ocorrido translocação de N das folhas para os frutos, que acumularam 14% do N da parte aérea do cafeeiro.

O maior acúmulo de N_{total} nos cafeeiros adubados com $AV^{15}N$ aos 6 meses de idade acompanhou o seu maior crescimento, principalmente das folhas e dos ramos plagiotrópicos, sendo que as folhas acumularam a maior quantidade. Entretanto, o teor de N nas folhas não variou em função da idade do cafeeiro na época da AV com ^{15}N .

O enriquecimento com ^{15}N , as estimativas da proporção e da quantidade recuperada de N_{dav} em órgãos de cafeeiro e eficiência de recuperação do nitrogênio da adubação verde (ERAV) em cafeeiros aos 21 meses de idade que receberam AV enriquecida com ^{15}N aos 6 e 18 meses de idade estão na Tabela 3.

O enriquecimento com ^{15}N diminuiu com o crescimento do cafeeiro, sendo menor nos órgãos dos cafeeiros que receberam $AV^{15}N$ aos 6 meses de idade, exceto nos frutos. Nos cafeeiros que receberam $AV^{15}N$ aos 6 meses, os órgãos foram marcados com proporções similares de átomos de ^{15}N em excesso, pois houve tempo de ocorrer translocação e redistribuição entre os órgãos, uniformizando o enriquecimento com ^{15}N no interior da planta.

A quantidade de N_{dav} nos órgãos do cafeeiro foi menor nos cafeeiros que receberam $AV^{15}N$ aos 6 meses de idade, exceto nas raízes, nos ramos plagiotrópicos e nos frutos (Tabela 3). Entre os órgãos, em ambos os tratamentos, as folhas acumularam a maior quantidade estimada de N_{dav} , 0,92 e 1,54 g por planta, respectivamente. A eficiência de recuperação do nitrogênio derivado da adubação verde (ERAV) foi maior nos cafeeiros com 21 meses de idade que receberam AV enriquecida com ^{15}N aos 18 meses de idade (Tabela 3). Entretanto, nas raízes, nos ramos plagiotrópicos e nos frutos, a eficiência de recuperação foi a mesma entre os tratamentos (Tabela 3). Em ambos os tratamento, as folhas foram o órgão que mais recuperou N_{dav} , quando comparadas com os outros órgãos.

Tabela 3. Enriquecimento com ^{15}N , quantidade e proporção de N derivado da adubação verde (N_{dav}) e eficiência de recuperação do nitrogênio da adubação verde (ERAV) e do fertilizante (ERF) em cafeeiros de 21 meses de idade que receberam adubação verde enriquecida com ^{15}N aos 6 ou 18 meses de idade.

	Idade do cafeeiro na época da adubação verde com ^{15}N							
	6 meses				18 meses			
Enriquecimento (% a.e. ^{15}N)								
Raízes	0,17	±	0,005	b A*	0,26	±	0,028	a AB
Ramo ortotrópico	0,18	±	0,004	b A	0,27	±	0,024	a AB
Ramos plagiotrópicos	0,19	±	0,014	b A	0,35	±	0,028	a A
Folhas	0,16	±	0,003	b A	0,31	±	0,025	a AB
Frutos	0,16	±	0,009	a A	0,20	±	0,015	a B
Planta inteira	0,17	±	0,003	b	0,29	±	0,023	a
Proporção de N_{dav} (%)								
Raízes	6,98	±	0,19	b A	10,53	±	1,16	a AB
Ramo ortotrópico	7,25	±	0,18	b A	11,17	±	0,97	a AB
Ramos plagiotrópicos	7,97	±	0,56	b A	14,34	±	1,15	a A
Folhas	6,40	±	0,14	b A	12,69	±	1,05	a AB
Frutos	7,05	±	0,22	b A	08,47	±	0,50	a B
Quantidade de N_{dav} (g/planta)								
Raízes	0,19	±	0,010	a CD	0,26	±	0,043	a B
Ramo ortotrópico	0,10	±	0,005	b D	0,16	±	0,019	a B
Ramos plagiotrópicos	0,38	±	0,036	a B	0,28	±	0,030	a B
Folhas	0,92	±	0,020	b A	1,57	±	0,176	a A
Frutos	0,24	±	0,029	a C	0,21	±	0,032	a B
Total	1,83	±	0,040	b	2,48	±	0,242	a
Eficiência de Recuperação do N_{dav} (%) **								
Raízes	0,79	±	0,0004	a CD	1,08	±	0,0018	a B
Ramo ortotrópico	0,42	±	0,0002	b D	0,67	±	0,0008	a B
Ramos plagiotrópicos	1,58	±	0,0015	a B	1,17	±	0,0013	a B
Folhas	3,83	±	0,0008	b A	6,54	±	0,0073	a A
Frutos	1,00	±	0,0012	a C	0,88	±	0,0013	a B
Total	7,63	±	0,0017	b	10,33	±	0,0101	a

* Médias (± Erro Padrão) seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúsculas na coluna não diferem pelos testes F ($p \leq 0,05$) e Tukey, ($p \leq 0,05$), respectivamente. ** A quantidade estimada de N fornecido pela adubação verde foi de 24 g/planta.

Nos cafeeiros com 21 meses de idade que receberam AV¹⁵N aos 18 meses a proporção de N_{dav} em todos os órgãos foi maior que nos cafeeiros que receberam aos 6 meses de idade (Tabela 3). Essa diferença ocorreu em função da maior quantidade de raízes presentes em cafeeiros com 18 meses em comparação com cafeeiros de 6 meses.

Estes valores são superiores ao verificados em outros estudos. Araújo et al. (2013), em experimento semelhante, verificou que 6,85% e 9,18% do N_{total} era proveniente da AV, 3 e 6 meses, respectivamente, após a sua aplicação. Em sistemas agroflorestais com cafeeiros, onde leguminosas arbóreas contribuíram com 20% do N_{total} absorvido pelo cafeeiro (Grossman et al. 2006). Em outras culturas a AV forneceu 11% do N_{total} em folhas de cana-de-açúcar (Ambrosano et al. 2011) e entre 14% e 20% em folhas de videira (Ovalle et al. 2010).

2.4.3 Contribuição da AV 3 meses após a sua aplicação em cafeeiros com 9 e 21 meses de idade

A contribuição da AV à nutrição nitrogenada do cafeeiro 3 meses após sua aplicação variou de acordo com a idade do cafeeiro (Tabela 4). O enriquecimento do cafeeiro com ¹⁵N foi 28% maior nos cafeeiros com 9 meses. A proporção de N_{dav} foi maior nas raízes e nos ramos dos cafeeiros com 9 meses (Tabela 4). Nas folhas a proporção de N_{dav} foi igual entre os tratamentos (Tabela 4). A quantidade de N_{dav} foi maior nos cafeeiros com 21 meses (Tabela 4). A eficiência de recuperação do N_{dav} 6,4 vezes maior nos cafeeiros com 21 meses (Tabela 4).

Tabela 4. Concentração de N, teor de N nas folhas, enriquecimento com ^{15}N , proporção e eficiência de recuperação de N derivado da adubação verde (N_{dav}), nos órgãos de cafeeiros com 9 e 21 meses de idade, 3 meses após a adubação verde marcada com ^{15}N .

	Idade do cafeeiro							
	9 meses			21 meses				
Enriquecimento (% a.e. ^{15}N)								
Raízes	0,37	±	0,007	a	0,26	±	0,028	b
Ramos	0,38	±	0,003	a	0,31	±	0,025	b
Folhas	0,37	±	0,005	a	0,31	±	0,025	a
Planta inteira	0,37	±	0,003	a	0,29	±	0,024	b
N_{dav} (%)								
Raízes	15,27	±	0,28	a	10,53	±	1,16	B
Ramos	15,83	±	0,15	a	12,89	±	1,01	B
Folhas	15,13	±	0,20	a	12,69	±	1,05	a
Frutos	-		-		8,47	±	0,50	
Quantidade de N_{dav} (g/planta)								
Raízes	0,01	±	0,001	b	0,26	±	0,043	a
Ramos	0,02	±	0,004	b	0,44	±	0,049	a
Folhas	0,12	±	0,023	b	1,54	±	0,174	a
Frutos	-		-		0,20	±	0,033	
Total	0,15	±	0,028	b	2,44	±	0,242	a
Eficiência de Recuperação do N_{dav} (%)**								
Raízes	0,14	±	0,0001	b	1,07	±	0,0018	a
Ramos	0,20	±	0,0004	b	1,83	±	0,0020	a
Folhas	1,24	±	0,0024	b	6,44	±	0,0072	a
Frutos	-		-		0,85	±	0,0014	
Total	1,58	±	0,29	b	10,18	±	1,01	a

* Médias (± Erro Padrão) seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste F ($p \leq 0,05$). A quantidade estimada de N fornecido pela adubação verde foi de 9,6 g/planta para o cafeeiro com 9 meses de idade e 24 g/planta para o cafeeiro com 21 meses de idade.

2.4.4 Contribuição da AV 3 e 15 meses após a sua aplicação em cafeeiros com 6 meses de idade.

Nos cafeeiros que receberam AV aos 6 meses de idade, a contribuição da AV à nutrição variou em função do tempo decorrido após a realização da AV. O enriquecimento com ^{15}N e a proporção de N derivado da AV (N_{dav}) nos órgãos de cafeeiros 3 e 15 meses após a AV marcada com ^{15}N (AV^{15}N) estão na Tabela 5.

O enriquecimento do cafeeiro com ^{15}N foi 1,2 vez maior. A proporção de N_{dav} em todos os órgãos foi maior 3 meses após a AV que 15 meses após (Tabela 5). Araújo et al. (2013) verificou em experimento semelhante onde a proporção de N_{dav} foi crescente entre 3 (6,85% do N_{total}) e 5 (9,18%) meses após a AV^{15}N , decrescendo em seguida e atingindo os valores de 7,41% e 4,15% aos 11 e 16 meses após a AV^{15}N , respectivamente.

A quantidade de N_{dav} foi maior nos 15 meses após a AV^{15}N . A eficiência de recuperação do N_{dav} foi 4,8 vezes maior 15 meses após a AV (Tabela 5), devido a maior capacidade de absorção decorrente do maior sistema radicular. Enquanto a biomassa das raízes do cafeeiro com 9 meses somava 4,5 g de matéria seca, a biomassa das raízes do cafeeiro com 21 meses somava 127 g. Além disso, a demanda nutricional por N do cafeeiro aos 21 meses de idade é muito maior que a demanda de cafeeiros aos 9 meses.

Nos cafeeiros com 9 meses, havia uma menor quantidade de N no solo, por isso a AV teve uma contribuição proporcionalmente maior. Já aos 21 meses essa contribuição proporcional diminui, pois ao se realizar a AV^{15}N , já havia uma quantidade maior de N no solo proveniente da AV anterior e do fertilizante aplicado. Contudo o cafeeiro aos 21 meses de idade, possuía muito mais raízes e maior era sua demanda nutricional, por isso absorveu mais N_{dav} .

Em trabalhos anteriores realizados com culturas anuais como milho (Silva et al. 2006) e cana-de-açúcar (Ambrosano et al. 2011), a amostragem foi realizada em apenas um momento do ciclo. Entretanto, em estudos da dinâmica do N no sistema solo-planta para culturas perenes, como o cafeeiro, a amostragem ao longo do tempo mostrou que a proporção de N_{dav} nos órgãos do cafeeiro variou no tempo, assim como o N derivado de fertilizantes minerais aplicados em cobertura (Fenilli et al. 2007) ou fertirrigação (Bruno et al. 2011; Bortolotto et al. 2012) pois o N_{dav} pode ser translocado de um órgão ao outro, além de maior interação no solo pelos processos de mineralização, imobilização e remineralização.

Tabela 5. Concentração de N, teor de N nas folhas, enriquecimento com ^{15}N , proporção e eficiência de recuperação de N derivado da adubação verde (N_{dav}) nos órgãos de cafeeiros 3 e 15 meses após a adubação verde em cafeeiros que receberam adubação verde marcada com ^{15}N aos 6 meses de idade.

	Tempo decorrido após a realização da adubação verde							
	3 meses				15 meses			
Enriquecimento (% a.e. ^{15}N)								
Raízes	0,37	±	0,007	a	0,17	±	0,005	b
Ramos	0,38	±	0,003	a	0,19	±	0,009	b
Folhas	0,37	±	0,005	a	0,16	±	0,003	b
Planta inteira	0,37	±	0,003	a	0,17	±	0,003	b
<hr/>								
N_{dav} (%)								
Raízes	15,27	±	0,28	a	6,98	±	0,19	b
Ramos	15,83	±	0,15	a	7,76	±	0,38	b
Folhas	15,13	±	0,20	a	6,40	±	0,14	b
Frutos	-				7,05	±	0,22	
<hr/>								
Quantidade de N_{dav} (g/planta)								
Raízes	0,01	±	0,001	b	0,18	±	0,013	a
Ramos	0,02	±	0,004	b	0,47	±	0,039	a
Folhas	0,12	±	0,023	b	0,92	±	0,020	a
Frutos	-		-		0,22	±	0,034	
Total	0,15	±	0,028	b	1,79	±	0,051	a
<hr/>								
Eficiência de Recuperação do N_{dav} (%) **								
Raízes	0,14	±	0,0001	b	0,75	±	0,0006	a
Ramos	0,20	±	0,0004	b	1,96	±	0,0016	a
Folhas	1,24	±	0,0024	b	3,83	±	0,008	a
Frutos	-		-		0,92	±	0,0014	
Total	1,56	±	0,29	b	7,46	±	0,0021	a

* Médias (\pm Erro Padrão) seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste F ($p \leq 0,05$). * Médias (\pm Erro Padrão) seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste F ($p \leq 0,05$). A quantidade estimada de N fornecido pela adubação verde foi de 9,6 g/planta para o cafeeiro com 9 meses de idade e 24 g/planta para o cafeeiro com 21 meses de idade.

A cinética de decomposição da biomassa e de liberação de nitrogênio pela AV apresenta uma fase inicial rápida seguida de outra mais lenta em decorrência de processos de decomposição dos constituintes químicos do material vegetal (Matos et al. 2011). A matéria seca remanescente de *Crotalaria juncea* 60 dias após ser aplicada correspondeu a 66,4% da massa original e 69,1% de N presente na biomassa de *Crotalaria juncea* L. havia sido mineralizado neste período (Araújo et al. 2013).

A concentração de N na massa remanescente da leguminosa 7 meses dias após a AV¹⁵N era de 1,23% da matéria seca, 44% da concentração inicial de 3,4%. Pereira (2014), nas mesmas parcelas experimentais e concomitante ao trabalho aqui relatado, verificou que a maior parte do N (mineral e orgânico) aportado à superfície do solo pela AV foi incorporada às frações mais estáveis da matéria orgânica do solo na camada entre 0 e 5 cm até 60 dias após a aplicação da AV. Segundo o autor, após esse período de 60 dias após a AV pode ter havido mineralização do N da matéria orgânica do solo e do material mais recalcitrante que ainda estava na superfície até 211 dias após a aplicação.

Assim, entre 60 e 211 dias após a AV, pode ter havido aumento da disponibilidade de formas de N mais assimiláveis pelo cafeeiro, resultando em valores máximos da proporção do N_{dav} entre 157 e 168 dias após a AV. Após esse período, o N pode ter voltado a ser incorporado às frações mais estáveis da matéria orgânica e o cafeeiro absorvido N de outras fontes, como o solo e o fertilizante mineral aplicado.

A AV com leguminosas pode ser um processo promissor e apropriado para a redução do uso de fertilizantes, como constatado nas culturas de milho (Silva et al. 2006) e cana-de-açúcar (Ambrosano et al. 2011). Cafeeiros em idade reprodutiva cresceram mais quando a adubação com composto orgânico foi suplementada pela AV (Araújo et al. 2013). Como a máxima contribuição da AV ocorreu entre 157 e 168 dias, quando o N_{dav} correspondeu a 19,44% e 18,55% do N_{total} nos ramos e folhas, respectivamente, a AV deve ser feita anualmente, pois a contribuição relativa do N_{dav} diminui ao longo do tempo, e sincronizada com o período de maior demanda nutricional dos cafeeiros. De acordo com Fenilli et al. (2007) 71,3% do N recuperado da adubação mineral pelo cafeeiro ocorreu aos 182 dias após a antese, respectivamente, correspondendo às épocas de maior taxa de acúmulo nos frutos. Para isso, considerando que a biomassa da leguminosa aplicada precisará ser decomposta e o N mineralizado, a AV deve ocorrer antes dos 182 dias após a antese.

2.5 CONCLUSÕES

1. A contribuição da adubação verde para a nutrição nitrogenada do cafeeiro é máxima entre 157 e 168 dias após a sua realização, com os valores de nitrogênio derivado da leguminosa atingindo o máximo entre 18,55% e 19,44% do nitrogênio total de acordo com os órgãos do cafeeiro, diminuindo após esse período.
2. O cafeeiro apresenta em seus tecidos nitrogênio derivado da adubação verde até 15 meses após a aplicação da leguminosa.
3. Três meses após a adubação verde, o enriquecimento com ^{15}N é maior em cafeeiros mais novos.
4. A eficiência de recuperação do nitrogênio derivado da adubação verde aumenta com o crescimento do cafeeiro.

2.6 REFERÊNCIAS

Abreu, M.F. et al., 2009. Análise química de fertilizantes orgânicos (urbanos). In: Silva FC. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica. p. 397-486.

Ambrosano, E.J. et al., 2011. ^{15}N -labeled nitrogen from green manure and ammonium sulfate utilization by the sugarcane ratoon. *Scientia Agricola*, 68:361–368.

Ambrosano E.J. et al. 2003. Nitrogen-15 labeling of *Crotalaria juncea* green manure. *Scientia Agricola*, 60:181-184.

Araújo, J.B.S. et al., 2013. Nitrogen fertilization of coffee: Organic compost and *Crotalaria juncea* L. *Revista Ceres*, 60:842–851.

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

Bortolotto, R.P. et al., 2012. Nitrogen fertilizer (^{15}N) leaching in a central pivot fertigated coffee crop. *Revista Ceres*, 59:477-475.

Bruno, I.P. et al., 2011. Fertilizer nitrogen in fertigated coffee crop: Absorption changes in plant compartments over time. *Field Crops Research*, 124:369-377.

Clemente, F.M.V.T. et al., 2008. Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes no cafeeiro em pós-plantio - primeiro ano. *Coffee Science*, 3:47–57.

Correa, J.B. et al. 1983. Extração de nutrientes pelos cafeeiros Mundo Novo e Catuaí. In: X Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 1983, Poços de Caldas. Anais..., Rio de Janeiro, IBC/GERCA, pp 177-183.

Diniz, E.R. et al., 2007. Green manure incorporation timing for organically grown broccoli. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 42:199–206.

Fenilli, T.A.B. et al., 2007. Growth, development, and fertilizer-15N recovery by the coffee plant. *Scientia Agricola*, 64:541–547.

Guimarães, P.T.G. et al., 1999. Cafeeiro. In: Ribeiro A.C. et al., Recomendações para o uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais. 5ª Aproximação. Viçosa, CSFSEMG/UFV, pp 289-302.

Grossman, J.M. et al., 2006. 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*, 38:769–784.

Martinez, H.E.P., et al., 1999. Diagnose foliar. In: Ribeiro A.C. et al., Recomendações para o uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais. 5ª Aproximação. Viçosa, CSFSEMG/UFV, pp 289-302.

Matos, E.S. et al., 2008. Green manure in coffee systems in the region of zona da mata, minas gerais: Characteristics and kinetics of carbon and nitrogen mineralization. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 32:2027–2035.

Matos, E.D.S. et al., 2011. Decomposition and nutrient release of leguminous plants in coffee agroforestry systems. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo do Solo*, 35:141–149.

Ovalle, C. et al., 2010. Estimating the contribution of nitrogen from legume cover crops to the nitrogen nutrition of grapevines using a 15N dilution technique. *Plant and Soil*, 334:247–259.

Pereira, W.D. 2014. Dinâmica do N e C em solo adubado com crotalária e sulfato de amônio. Dissertação de (mestrado). Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa. 49f.

Silva, E.C. et al., 2006. Aproveitamento do nitrogênio (15N) da crotalária e do milheto pelo milho sob plantio direto em Latossolo Vermelho de Cerrado. *Ciência Rural*, 36:739–746.

Silva, E.C et al., 2014. Adubação verde como fonte de nutrientes às culturas. In: Lima Filho et al. Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. Brasília, DF: Embrapa, p. 265-306.

Vilela, E.F. et al., 2011. Crescimento inicial de cafeeiros e fertilidade do solo adubado com mucuna, amendoim forrageiro ou sulfato de amônio. *Coffee Science*, 6:27–35.

3. CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CAFEEIROS FERTILIZADOS COM ADUBO VERDE E COMPOSTO ORGÂNICO

RESUMO

*Os resultados das pesquisas relacionando a adubação verde (AV) à produtividade do cafeeiro são escassos e contraditórios. O objetivo deste trabalho foi avaliar se a AV aumenta o crescimento e a produtividade de cafeeiros cultivados com diferentes doses de composto orgânico (CO) ao longo de quatro safras. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso e consistiu de um arranjo fatorial 4 x 2, com 4 doses de CO correspondentes à 25, 50, 75 ou 100% da dose de N recomendada sem ou com AV com *Crotalaria juncea*, produzida fora da área experimental. Os efeitos da AV não foram influenciados pelas doses crescentes de CO, porém houve uma tendência de maior influência da AV nas doses mais baixas de CO. A AV exerceu um efeito tampão, diminuindo as mudanças nas características químicas do solo. O aumento das doses de composto orgânico desequilibraram as características químicas do solo. A AV promove o crescimento e aumenta a produtividade média de quatro anos agrícolas de cafeeiros orgânicos adubados com diferentes quantidades de composto orgânico. A aplicação de doses crescentes de composto orgânico aumenta o crescimento e a produtividade do cafeeiro, havendo uma tendência de maior efeito na ausência da AV.*

Palavras-chave: altura, café, cafeicultura orgânica, leguminosa, ramos.

3.1 INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é o nutriente requerido em maior quantidade tanto na formação do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) como na produção de frutos. Quando o cafeeiro inicia a produção de frutos, a quantidade de nutriente requerida é estimada em função da produtividade esperada e concentração de N foliar. Assim, para produtividade entre 30 e 40 sacas por hectare, a dose de N pode chegar a 300 kg ha⁻¹ para atender a demanda vegetativa e reprodutiva do cafeeiro (Guimarães et al. 1999). Esta adubação deve começar tão logo inicie o estágio de expansão rápida dos frutos, entre 79 e 85 dias após a abertura das flores (Laviola et al. 2008; Guimarães & Reis, 2010), pois na fase reprodutiva do

cafeeiro, os frutos são os drenos preferenciais de N, podendo acumular até 49,9% do N total da parte aérea (Fenilli et al. 2007).

Em sistemas de produção de café orgânico a adubação deve ser feita priorizando-se a reciclagem de material orgânico. Para a manutenção da fertilidade do solo e a nutrição das plantas são utilizados composto orgânico, vermicomposto, palha de café, esterco de animais e/ou adubos verdes (Brasil, 2011). Pesquisas verificaram que doses crescentes de composto orgânico aumentaram a concentração de N das folhas de cafeeiros arábica (Araújo et al. 2007). Além disso, a substituição das fontes minerais de N e potássio (K) por fontes orgânicas durante a fase de formação do cafeeiro promoveram crescimento similar ao verificado com a adubação mineral (Araújo et al. 2008).

Em cafeeiros em produção é possível utilizar a palha de café como fonte de N, P, K e enxofre (S) com conseqüente redução das quantidades desses nutrientes na adubação mineral do cafeeiro, o que permite aumentos de produtividade de até 25% (Fernandes et al. 2013a). Pode-se reduzir as quantidades de N, P, K e S da adubação exclusivamente mineral - entre 6 a 44% para o N, 8 a 54% para o P, 28 a 100% para o K e de 8 a 68% para o S - com o uso de palha de café (2,5 e 20,0 Mg ha⁻¹) como adubo orgânico para o cafeeiro (Fernandes et al. 2013a). Utilizando esterco de galinha (2,5 e 5,0 Mg ha⁻¹) as quantidades de N, P, K e S da adubação exclusivamente mineral podem ser reduzidos de 14 a 28% para o N, de 50 a 83% para o P, de 8 a 18% para o K e de 21 a 46% para o S (Fernandes et al. 2013b).

Entretanto, os adubos orgânicos possuem baixa concentração de N, sendo necessárias doses elevadas, até 20,0 Mg ha⁻¹ de matéria seca, dependendo da fonte, para suprir as exigências do cafeeiro (Ricci et al. 2005; Araújo et al. 2007; Araújo et al. 2008; Fernandes et al. 2013a; Fernandes et al. 2013b). Esta grande quantidade e volume de adubo orgânico dificulta a operacionalização da adubação, desde a logística necessária para transportá-lo às lavouras, até o maior tempo utilizado para a sua aplicação no cafezal.

Por isso, a adubação verde (AV) com leguminosas pode ser um processo apropriado para a redução do uso de fertilizantes, como constatado nas culturas de milho (Silva et al. 2006) e cana-de-açúcar (Ambrosano et al. 2011). Em cafeeiros, a AV aumentou o crescimento dos cafeeiros comparativamente a cafeeiros que receberam somente fertilizante nitrogenado mineral (Vilela et al. 2011) e quando se suplementou a adubação com composto orgânico (Araújo et al. 2013).

Contudo, os resultados da AV verde sobre produtividade do cafeeiro são escassos e contraditórios. Em São Paulo, a AV diminuiu o crescimento e a produção dos cafeeiros

(Paulo et al. 2001, Paulo et al. 2006). A produtividade do cafeeiro pode ter sido influenciada negativamente devido: a) ao corte de raízes superficiais do cafeeiro por grade ou enxada rotativa utilizadas na incorporação dos adubos verdes; b) ao grande acúmulo de biomassa das leguminosas e/ou à capacidade das suas raízes explorarem camadas profundas do solo, aumentando a competição por água, luz e nutrientes; c) necessidade de nitrogênio para decompor a biomassa incorporada ao solo (Paulo et al. 2001; Paulo et al. 2006).

No Cerrado brasileiro, a consorciação com leguminosas herbáceas perenes, como amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*), *Macrotyloma axillare*, soja perene (*Neonotonia wightii*) e calopogônio (*Calopogonium mucunoides*) não interferiu na produtividade de cafeeiros com oito anos de idade (Santos et al. 2013). Na Zona da Mata mineira, a produtividade de cafezais orgânicos consorciados com leguminosas variou de acordo com a cultivar e a localidade (Moura et al. 2013). A AV com *Canavalia ensiformis* promoveu aumentos de produtividade do cafeeiro ao aumentar o teor de Ca^{2+} , a soma das bases, a CTC efetiva e a matéria orgânica do solo (Araújo et al. 2014).

Os resultados contraditórios sobre o efeito da AV na produtividade de cafeeiros podem ser devidos a variação de diferentes fatores, tais como: idade do cafeeiro, fertilidade do solo, adubação mineral ou orgânica, competição exercida pelos próprios adubos verdes, taxas de decomposição e mineralização de nutrientes e quantidade de nutrientes acumulados.

A quantidade de N encontrada na massa de adubos verdes consorciados com cafeeiros pode chegar a 444 kg ha⁻¹ pela *Crotalaria juncea* L. na soma de dois cortes (Ricci et al. 2005). Entretanto, diversos fatores influenciam a concentração de N nos adubos verdes consorciados com cafeeiros: a época de corte, como no florescimento (Paulo et al. 2006) ou antes do florescimento (Araújo & Balbino 2007); cortes sucessivos, aproveitando a rebrota após cada corte (Bergo et al. 2006); a época de semeadura com relatos nos meses de outubro (Moreira et al. 2014), novembro (Ricci et al. 2005), dezembro (Moreira et al. 2014) e janeiro (Theodoro et al. 2009).

Nos estudos sobre AV em cafezais, a competição entre as espécies utilizadas e o cafeeiro tem que ser minimizada pois há processos diferentes acontecendo ao mesmo tempo que dificultam a elucidação dos mecanismos atuantes na recuperação do nitrogênio derivado das leguminosas pelos cafeeiros. A aplicação de parte aérea de leguminosa produzida fora da área do cultivo principal permite o estudo do seu efeito sobre a nutrição,

crescimento e produção sem o efeito da competição existente no cultivo consorciado (Vilela et al. 2011).

O fornecimento de N ao cafeeiro deve ocorrer até 182 dias após a antese (Fenilli et al. 2007). Estudo sobre mineralização do nitrogênio derivado da leguminosa *C. juncea* verificou que a matéria seca remanescente correspondeu a 66,4% da massa original 60 dias após aplicação e que 69,1% de N presente na biomassa havia sido mineralizado neste período (Araújo et al. 2013). Assim, para sincronizar a AV com a necessidade de N pelo cafeeiro, é possível supor que a aplicação da leguminosa deva ocorrer até 182 dias após a antese pois o material precisará ser decomposto e o N mineralizado para ser aproveitado nos estádios de expansão e granação de frutos. Assim, o adubo verde deverá ser cortado até o final do mês de fevereiro, mineralizando N no estágio de granação de frutos.

No entanto, nas regiões cafeeiras do Brasil, essa sincronia é difícil, pois o período chuvoso que permite o crescimento da leguminosa inicia-se nos meses de outubro ou novembro e, por isso, os cortes dos adubos verdes antes de janeiro ou fevereiro resultam em pequena quantidade de massa e nutrientes acumulados. Por outro lado, a AV pode exercer um efeito residual e beneficiar o cafeeiro no longo prazo.

3.2 OBJETIVO

Analisar o efeito da adubação verde sobre as características químicas do solo, o crescimento e a produtividade do cafeeiro ao longo de quatro anos agrícolas e doses crescentes de composto orgânico.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em cafezal orgânico formado em fevereiro de 2009 com mudas de *Coffea arabica* cv. Oeiras no espaçamento de 2,0 metros entre linhas e 0,75 metros entre plantas. O cafezal localizava-se no Campo Experimental do Laboratório de Agroecologia do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (DFT/UFV), em Viçosa, MG, localizada em 20°45'14''S e 42°52'53''O e com 650 m de altitude. O local 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⁻¹. As características químicas do solo estão na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas iniciais do solo do cafezal orgânico em 2009.

pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	(t)	(T)	V	MO
H ₂ O	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³						%	g kg ⁻¹
5,2	8,0	50	2,0	0,8	0,3	3,8	2,93	3,23	6,73	44	1,4

pH em H₂O, KCl e CaCl₂ – Relação 1:2,5; P, K, Fe, Zn, Mn, Cu: extrator Mehlich-1; Ca, Mg, Al: extrator KCl 1 mol L⁻¹; H + Al, extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ – pH 7,0; S: extrator Fosfato monocálcio em ácido acético; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) = Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) = Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; MO = matéria orgânica pelo método Walkley & Black (C. Org. x 1,724).

O experimento foi delineado em blocos casualizados com quatro repetições disposto em arranjo fatorial 4x2, correspondente à quatro doses de composto orgânico (CO), equivalentes a 25, 50, 75 e 100% da dose de N recomendada para cafeeiro, e ausência ou presença (3 t ha⁻¹) de adubação verde (AV) com parte aérea de *Crotalaria juncea* e as avaliações do experimento foram realizadas de março de 2012 até agosto de 2015.

As parcelas experimentais possuíam área de 13,5 m², e eram formadas por uma linha com nove cafeeiros, considerando-se como área útil os 10,5 m² ocupados pelos sete cafeeiros centrais. As parcelas experimentais estavam separadas por bordaduras formadas por linhas de cafeeiros.

A quantidade de composto orgânico aplicada foi determinada em função da dose de nitrogênio recomendada (Guimarães et al. 1999), com base na estimativa da produtividade média da lavoura e da concentração de N do composto orgânico (2011/2012: 1,5% N; 2012/2013: 2,3% N; 2013/2014: 1,9% N; 2014/2015: 2,5% N). A dose de N foi parcelada em duas aplicações, durante o período chuvoso, entre os meses de outubro e janeiro de cada ano, a intervalos de 60 dias. Em 2011/2012, 2012/2013 e 2013/2014 e em 2014/2015 foram fornecidos 300 kg ha⁻¹ de N e em 2014/2015, 350 kg ha⁻¹ de N.

A AV consistiu da aplicação no mês de janeiro de 3,0 t ha⁻¹ de matéria seca da parte aérea de *C. juncea*, correspondendo a 450 g de matéria seca da parte aérea do adubo verde por cafeeiro. Como a concentração média de N na parte aérea da *Crotalaria juncea* foi de 1,75 % em 2012, 2,00% em 2013, 1,54% em 2014 e 1,93% em 2015, a AV forneceu 52,5 kg ha⁻¹ de N em 2012, 60,0 kg ha⁻¹ de N em 2013, 46,2% kg ha⁻¹ de N em 2014 e 57,9 kg ha⁻¹ de N em 2015.

O composto orgânico foi produzido com a formação de pilhas na seguinte proporção com base na massa: 60% capim elefante, 20% palha-de-café e 20% de cama-de-frango. Posteriormente, amostras frescas do composto orgânico foram pesadas e colocadas para secar em estufa a 65 °C até atingirem massa constante e determinado a concentração de N de acordo com Abreu et al. (2009).

O adubo verde *C. juncea* foi produzido em campo, fora da área do experimento, entre os meses de outubro e dezembro de cada ano em período anterior a sua utilização nas parcelas experimentais. A leguminosa foi semeada na razão de 30 sementes por metro linear, com 30 cm entre linhas. Depois de 70 dias após a emergência, a leguminosa foi cortada ao nível do solo e amostras foram retiradas, pesadas e secas em estufa a 65 °C por até atingirem massa constante. Após este processo, as amostras foram moídas e submetidas a análises químicas para determinação do N-total pelo método Kjeldahl, descrito por Abreu et al. (2009). Em seguida, foi calculada a quantidade de matéria fresca a ser aplicada nas linhas de cafeeiros das parcelas conforme o tratamento.

O efeito da AV e de doses crescentes de composto orgânico (CO) sobre as características químicas do solo foi avaliado a partir de amostras do solo retiradas em julho de 2014, cinco anos após a instalação do cafezal, para análises laboratoriais. A partir dos resultados das análises calculou-se a diferença entre os valores atuais (amostras de retiradas em 2014) e os valores anteriores (amostras de solo retiradas em 2009).

No final do período seco, no mês de setembro na região do estudo, foram realizadas as seguintes avaliações de crescimento: altura (m), diâmetro da copa (m), diâmetro do caule (cm), quantidade de nós no ramo ortotrópico, quantidade de nós nos ramos plagiotrópicos e quantidade de ramos plagiotrópicos. A medição da altura foi realizada com régua graduada disposta paralelamente do nível do solo até o último par de folhas no ápice do ramo ortotrópico. O diâmetro de copa foi medido com régua graduada disposta transversalmente no terço médio da planta. O diâmetro do caule (ramo ortotrópico) foi medido com paquímetro digital a 5 cm do solo. As contagens da quantidade dos nós nos ramos plagiotrópicos foram realizadas em quatro ramos previamente escolhidos no terço médio dos cafeeiros, sendo dois em cada lado da planta.

A altura, o diâmetro da copa, a quantidade de nós no ramo ortotrópico e a quantidade de ramos plagiotrópicos foram avaliados em 2012, 2013, 2014 e 2015. O número de nós nos ramos plagiotrópicos foi avaliado em 2014 e 2015.

Para determinação da concentração de N foliar, foram retiradas amostras de folhas do 3° ou 4° par, a partir do ápice do ramo plagiotrópico inserido no terço médio da planta

de café, no mês de dezembro, com os frutos em estágio de chumbinho, em 2012, 2013 e 2014. As folhas coletadas foram pesadas para determinação da matéria fresca e posteriormente, lavadas em água deionizada e secas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até atingir massa constante. Após este processo, as folhas foram moídas e submetidas a análises químicas para determinação do N-total pelo método Kjeldahl, descrito por Abreu et al. (2009).

Para avaliação da produção, foram avaliadas as colheitas de quatro anos agrícolas (2011/2012, 2012/2013, 2013/2014 e 2014/2015). Foram determinados a massa e o volume dos frutos colhidos. Posteriormente, foi retirada uma amostra de 0,5 kg de frutos para serem lavados e determinar a proporção de frutos “boias” em 2013/2014 e 2014/2015. Após esta avaliação, os frutos foram colocados para secagem natural em terreiro até atingirem 12% de umidade. Em seguida as amostras secas foram armazenadas durante um mês, após o qual foi feito o beneficiamento dos frutos secos para a obtenção da massa de grãos e do rendimento grãos beneficiados/frutos em coco.

Foram realizadas as seguintes análises estatísticas para avaliação do fatorial (4x2) – 4 doses de composto orgânico (CO) e duas de AV - para cada ano agrícola (2011/2012, 2012/2013, 2013/2014 e 2014/2015).

- a) Para as características de crescimento (altura, diâmetro do caule, diâmetro da copa, quantidade de ramos plagiotrópicos, quantidade de nós nos ramos plagiotrópicos e quantidade de nós no ramo ortotrópico) foi realizada a avaliação do fatorial para cada ano agrícola e a interação CO x AV foi desdobrada, independentemente da significância estatística.
- b) Para a concentração de nitrogênio foliar, proporção de frutos boia, rendimento grãos beneficiados/frutos em coco e produtividade incluiu-se o efeito do ano agrícola sobre a interação CO x AV. Com o objetivo de obter-se conclusões mais abrangentes sobre os valores médios de quatro anos agrícolas, procedeu-se a análise conjunta, desdobrando-se apenas as interações de primeira ordem, independentemente do nível de significância.

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade e homogeneidade e avaliados por meio de análise de variância pelo teste F (ao nível de 5% de probabilidade), seguido por testes de comparação entre as médias (Tukey) ou de análise de variância da regressão, quando pertinente, sempre ao nível de 5% de probabilidade. Os modelos foram escolhidos baseados na significância da regressão utilizando o teste F, no coeficiente de

determinação e no fenômeno em estudo. Os parâmetros da regressão foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste t.

3.4 RESULTADOS

3.4.1 Características químicas do solo

As concentrações médias e o aporte de nutrientes no adubo verde (AV) e no composto orgânico (CO) estão nas Tabela 2 e 3. A concentração média de N no AV foi de 1,81%, enquanto no CO foi de 2,05%, aportando 54,15 e 312,50 kg N ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. A concentração média de P₂O₅ no AV foi de 0,18%, enquanto no CO foi de 1,48%, aportando 5,50 e 207,36 kg P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹. A concentração média de K₂O no AV foi de 1,11%, enquanto no CO foi de 2,94%, aportando 33,20 e 424,77 kg K₂O ha⁻¹ ano⁻¹. A concentração média de Ca no AV foi de 1,15%, enquanto no CO foi de 5,58%, aportando 34,50 e 797,05 kg Ca ha⁻¹ ano⁻¹. A concentração média de Mg no AV foi de 0,32%, enquanto no CO foi de 0,67%, aportando 9,6 e 95,15 kg Mg ha⁻¹ ano⁻¹.

Os aportes de nutrientes da AV e das doses de CO influenciaram as características químicas do solo e após cinco anos houve diminuição da acidez ativa e da acidez potencial e aumento dos teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (CTC_e), capacidade de troca catiônica (CTC) e matéria orgânica (MO) e da saturação por bases (V%). Não houve interação entre a AV e as doses de CO sobre as mudanças da reação (pH) do solo. O pH aumentou igualmente em 1,7 tanto nas parcelas com AV quanto nas parcelas sem AV. As maiores doses de CO promoveram maiores aumentos do pH (Figura 1).

Tabela 2. Concentração (%) de nutrientes na biomassa do adubo verde *Crotalaria juncea* e no composto orgânico (100% da dose de N recomendada).

Nutriente	Adubação Verde					Composto Orgânico					pH (H ₂ O)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	
Ano Agrícola	Concentração (%)					%					
2011/2012	1,75	*	*	*	*	1,50	*	*	*	*	*
2012/2013	2,00	0,21	1,20	0,80	0,18	2,30	2,26	3,20	7,28	0,70	8,91
2013/2014	1,54	0,19	0,92	1,42	0,47	1,90	1,14	3,84	6,47	0,60	8,72
2014/2015	1,93	0,15	1,20	1,23	0,31	2,50	1,05	1,79	3,00	0,71	8,24
Média	1,81	0,18	1,11	1,15	0,32	2,05	1,48	2,94	5,58	0,67	8,62

* Dados não disponíveis

Tabela 3. Aporte (kg ha⁻¹) de nutrientes na biomassa do adubo verde *Crotalaria juncea* e no composto orgânico (100% da dose de N recomendada).

Nutriente	Adubação Verde					Composto Orgânico					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	
Ano Agrícola	Aporte					Aporte (100% da dose de N recomendada)					
						kg ha ⁻¹					
2011/2012	52,50	*	*	*	*	300,00	*	*	*	*	
2012/2013	60,00	6,30	36,00	24,00	5,40	300,00	294,78	417,39	949,57	91,30	
2013/2014	46,20	5,70	27,60	42,60	14,10	300,00	180,00	606,32	1021,58	94,74	
2014/2015	57,90	4,50	36,00	36,90	9,30	350,00	147,00	250,60	420,00	99,40	
Média	54,15	5,50	33,20	34,50	9,60	312,50	207,26	424,77	797,05	95,15	

* Dados não disponíveis

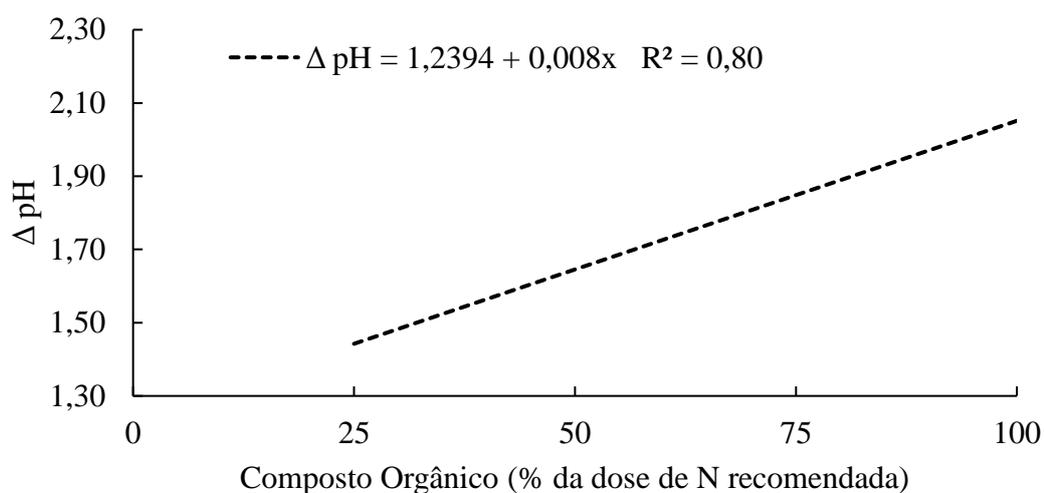


Figura 1. Mudanças na acidez ativa (pH) de solo de cafezais orgânicos em função da dose de composto orgânico após 5 anos de experimento.

Não houve interação entre a AV e as doses de CO sobre as mudanças do teor de P do solo. No solo sob cafeeiros com AV ocorreram aumentos menores nos teores de P do solo ($164,4 \text{ mg dm}^{-3}$) quando comparados com o solo sob cafeeiros sem AV ($282,9 \text{ mg dm}^{-3}$). Apesar da ausência de interação entre a AV e as doses de CO, ao desdobrar essa interação, verificou-se aumentos nas parcelas sem AV de $350,7 \text{ mg dm}^{-3}$ e $480,4 \text{ mg dm}^{-3}$ nas doses de CO correspondentes a 75 e 100% da recomendação de N, respectivamente (Figura 2). Nas parcelas com AV não foi possível estabelecer uma relação entre o aumento do teor de P e as doses de CO, optando-se por representar graficamente apenas a média desse fator (Figura 2).

Houve interação entre a AV e as doses de CO sobre as mudanças do teor de K. A AV promoveu maior aumento nos teores de K do solo apenas na dose de CO correspondente a 25% da recomendação de N, não havendo diferenças nas demais doses de CO. Na ausência da AV o aumento do teor de K no solo acompanhou as doses crescentes de CO. Nas parcelas com AV não foi possível estabelecer uma relação entre o aumento do teor de K e as doses de CO, optando-se por representar graficamente apenas a média ($280,44 \text{ mg dm}^{-3}$) desse fator (Figura 3).

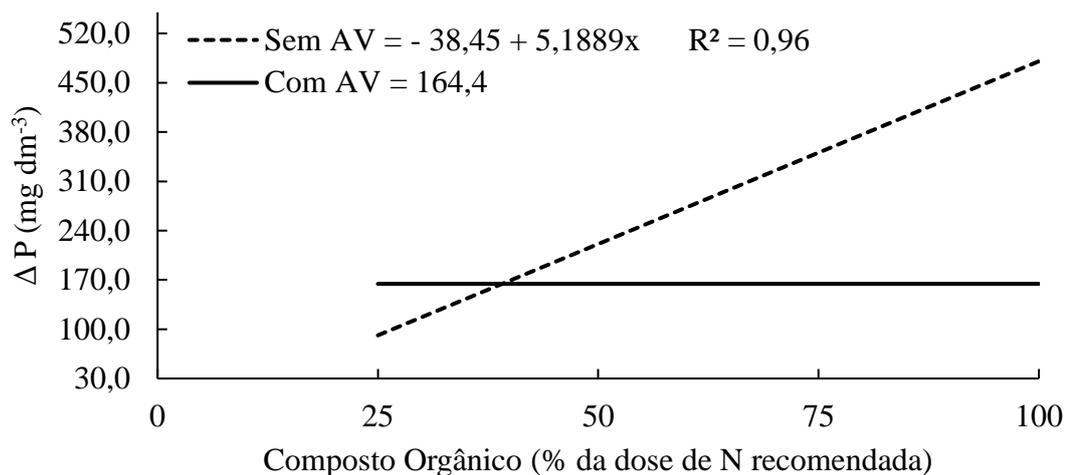


Figura 2. Mudanças no teor de P de solo de cafezais orgânicos com e sem adubação verde em função da dose de composto orgânico após 5 anos de experimento.

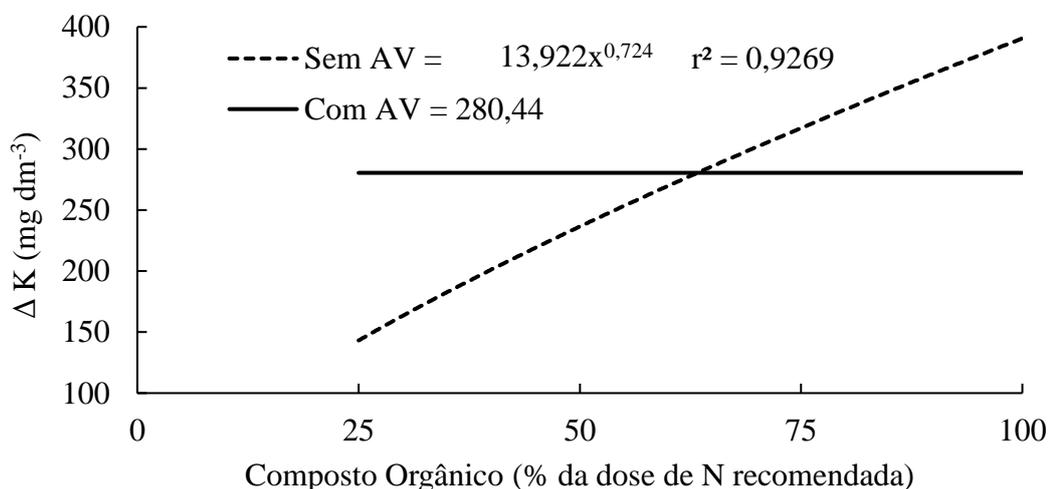


Figura 3. Mudanças no teor de K do solo de cafezais orgânicos com e sem adubação verde em função da dose de composto orgânico após 5 anos de experimento.

Não houve interação entre a AV e as doses de CO sobre as mudanças do teor de Ca do solo, sendo que este aumentou igualmente em $1,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ tanto nas parcelas com AV quanto nas parcelas sem AV. As maiores doses de CO promoveram maiores aumentos do teor de Ca (Figura 4).

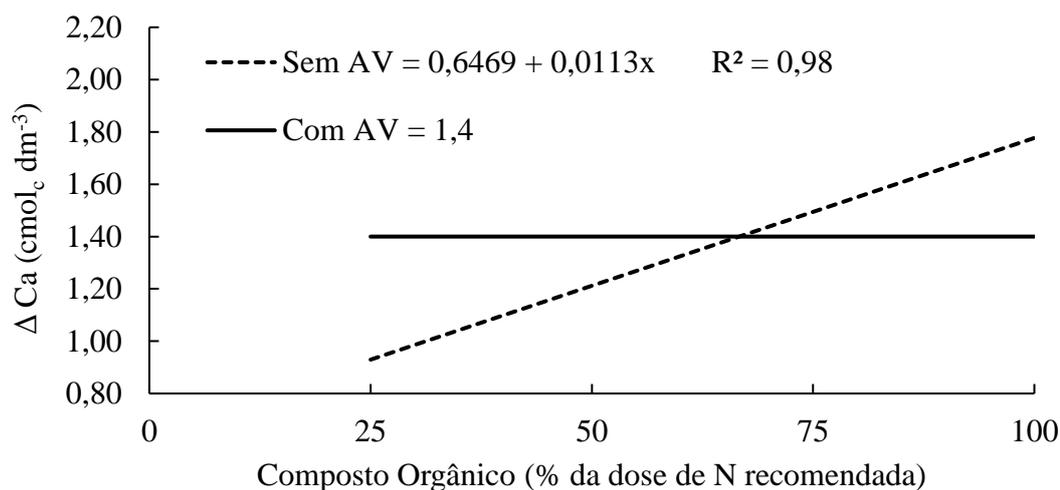


Figura 4. Mudanças no teor de Ca de solo de cafezais orgânicos com e sem adubação verde em função da dose de composto orgânico após 5 anos de experimento.

Não houve interação entre a AV e as doses de CO sobre as mudanças do teor de Mg do solo. No solo sob cafeeiros com AV ocorreram aumentos menores nos teores de Mg do solo ($0,2 \text{ mg dm}^{-3}$) quando comparados com o solo sob cafeeiros sem AV ($0,4 \text{ mg dm}^{-3}$). As quantidades crescentes de CO contribuíram para aumentos ainda maiores nas parcelas sem AV nas quantidades correspondentes a 75% e 100% da dose de N recomendada, optando-se por representar graficamente apenas a média desse fator (Figura 5).

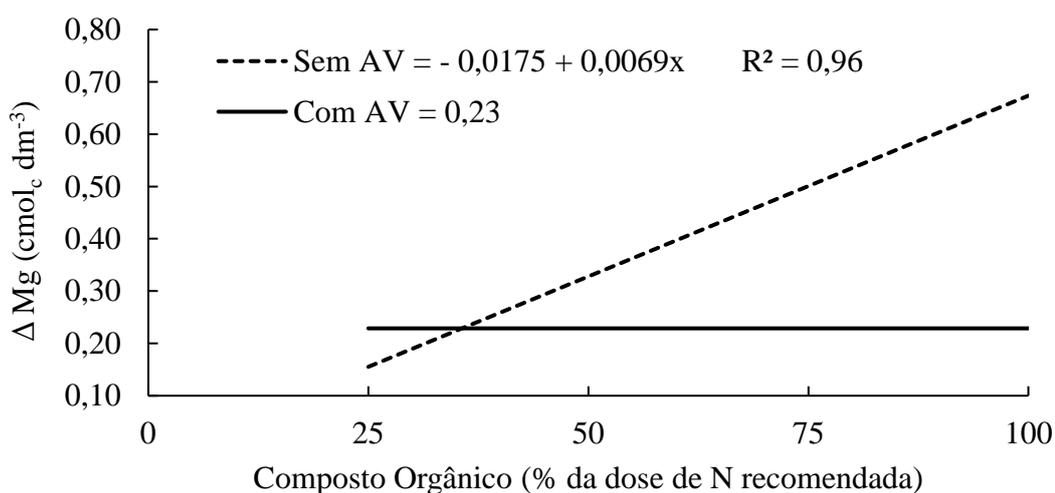


Figura 5. Mudanças no teor de Mg de solo de cafezais orgânicos com e sem adubação verde em função da dose de composto orgânico após 5 anos de experimento.

Não houve interação entre a AV e as doses de CO sobre as mudanças da acidez potencial (H + Al). A diminuição dos teores de H + Al não foi influenciado pela AV e variou de $-1,64 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ até $-2,32 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em função das doses crescentes de CO (Figura 6).

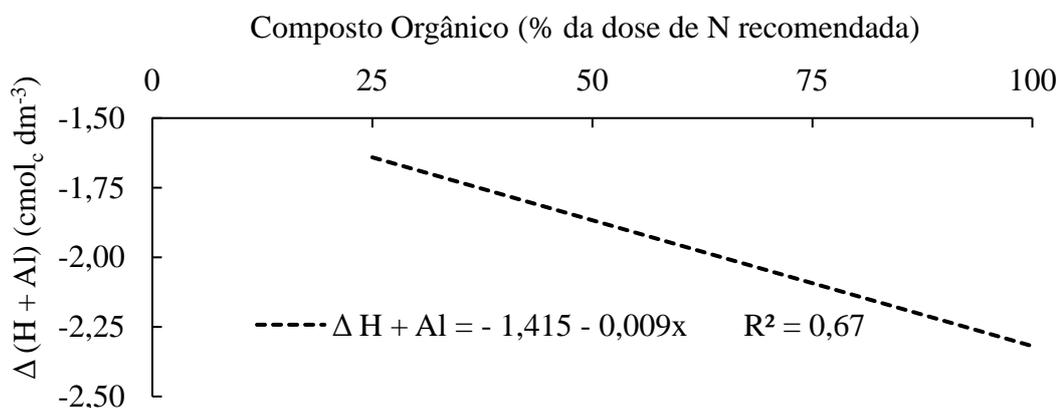


Figura 6. Mudanças na acidez potencial (H + Al) de solo de cafezais orgânicos com e sem adubação verde em função da dose de composto orgânico após 5 anos de experimento.

Houve interação entre a AV e as doses de CO sobre as mudanças na soma das bases no solo (SB). A AV não aumentou a soma das bases no solo, exceto na dose de CO correspondente a 100% da recomendação de N. Nesta dose, no solo sob cafeeiros com AV ocorreram aumentos menores na soma das bases no solo ($2,73 \text{ mg dm}^{-3}$) quando comparados ($p < 0,05$) com o solo sob cafeeiros sem AV ($3,84 \text{ mg dm}^{-3}$). Na ausência da AV o aumento da SB acompanhou as doses crescentes de CO. Nas parcelas com AV não foi possível estabelecer uma relação entre o aumento da soma das bases e as doses de CO optando-se por representar graficamente apenas a média desse fator (Figura 7).

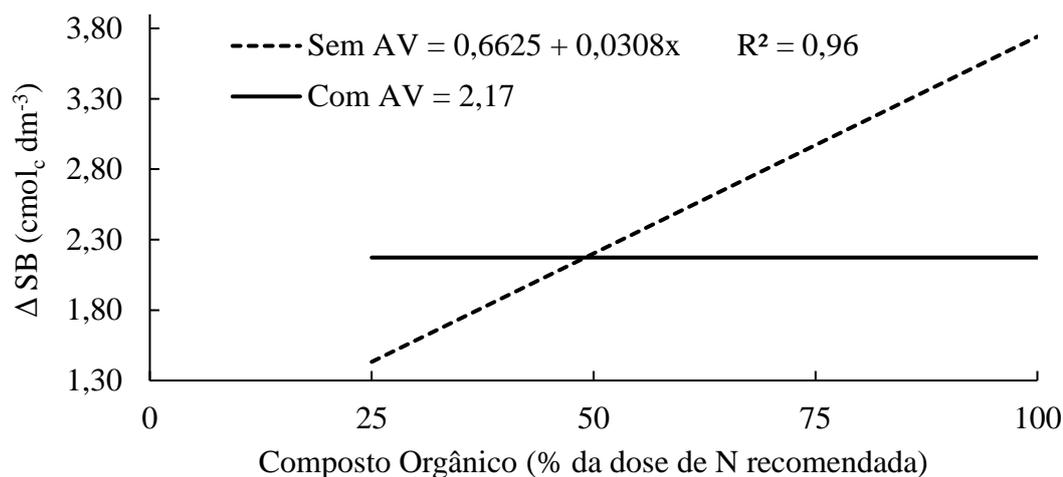


Figura 7. Mudanças na soma das bases (SB) no solo de cafezais orgânicos com e sem adubação verde em função da dose de composto orgânico após 5 anos de experimento.

Houve interação entre a AV e as doses de CO sobre as mudanças na capacidade de troca catiônica efetiva (CTC_e) do solo. Nas menores quantidades de CO, correspondentes a 25% e 50% da dose de N recomendada, a AV não aumentou a CTC_e e nas quantidades maiores (75% e 100% da dose de N recomendada), a AV promoveu aumentos menores na CTC_e. Nas quantidades de CO correspondentes a 75% e 100% da dose de N recomendada, a CTC_e do solo sem AV era de 2,43 e 3,54 cmol_c dm⁻³, respectivamente, enquanto a CTC_e do solo com AV era de 1,47 e 2,43 cmol_c dm⁻³, respectivamente. Na ausência de AV o aumento da CTC_e acompanhou as doses crescentes de CO. Nas parcelas com AV não foi possível estabelecer uma relação entre o aumento da CTC_e e as doses de CO, optando-se por representar graficamente apenas a média desse fator (Figura 8).

Não houve interação entre a AV e as doses de CO sobre as mudanças na capacidade de troca catiônica (CTC) do solo. A AV não alterou a CTC do solo, assim como as doses crescentes de CO também não alteraram.

Não houve interação entre a AV e as doses de CO sobre as mudanças da saturação por bases (V%) do solo. No solo sem AV o aumento da saturação por bases (V%) do solo (32) foi maior que no solo com AV (28). Na ausência de AV o aumento da saturação por bases (V%) acompanhou as doses crescentes de CO. Nas parcelas com AV não foi possível estabelecer uma relação entre o aumento da saturação por bases (V%) e as doses de CO, optando-se por representar graficamente apenas a média desse fator (Figura 9).

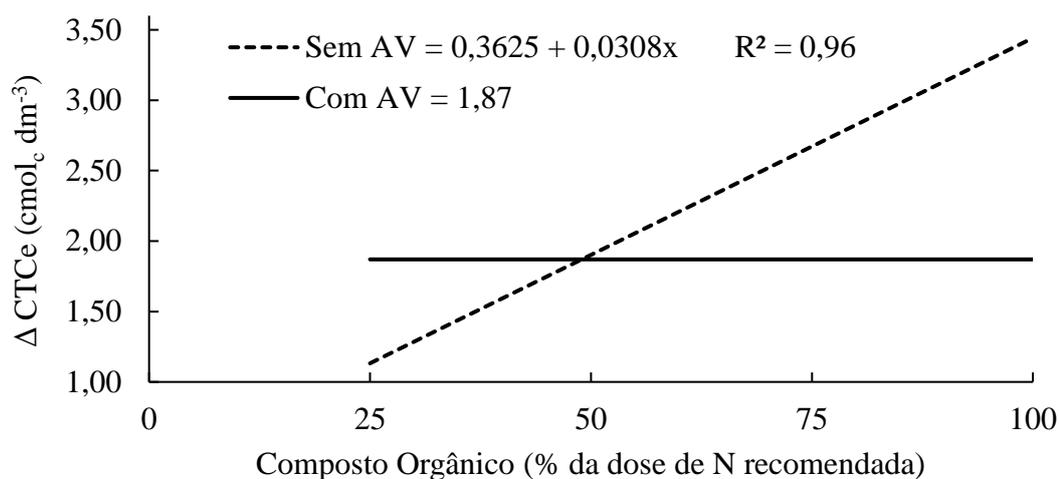


Figura 8. Mudanças na capacidade de troca catiônica efetiva (CTC_e) do solo de cafezais orgânicos com e sem adubação verde em função da dose de composto orgânico após 5 anos de experimento.

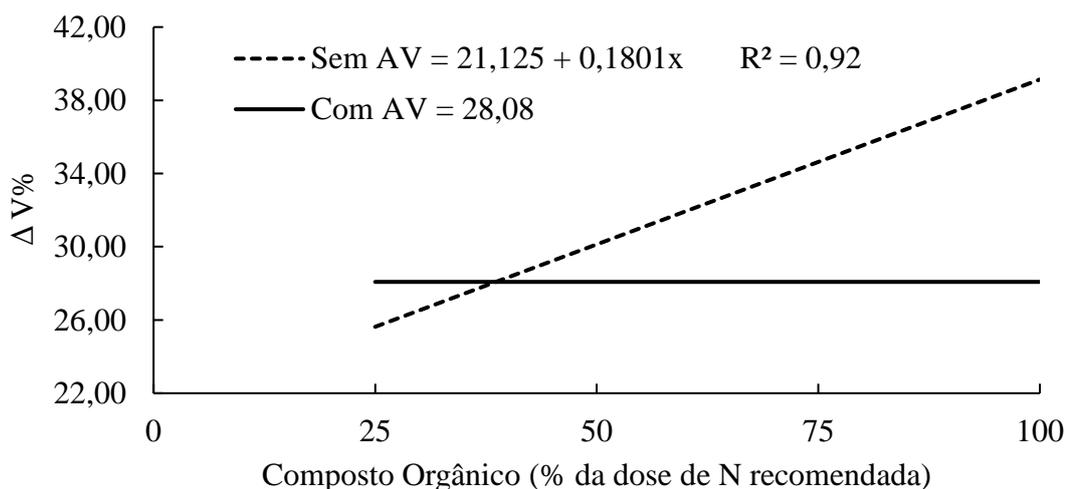


Figura 9. Mudanças na capacidade de troca catiônica efetiva (CTC_e) do solo de cafezais orgânicos com e sem adubação verde em função da dose de composto orgânico após 5 anos de experimento.

Houve interação entre a AV e as doses de CO sobre as mudanças do teor de matéria orgânica (MO) do solo. A AV promoveu maior aumento no teor de matéria orgânica (MO) do solo na dose de CO correspondente a 25% da recomendação de N, e menor aumento na dose de 75%. Na quantidade de CO correspondente a 25% da dose de N recomendada, o aumento do teor de MO do solo sem AV foi menor (1,1 g kg⁻¹) que o aumento do teor de MO do solo com AV (1,7 g kg⁻¹). Na quantidade de CO correspondente a 75% da dose de N recomendada, o aumento do teor de MO do solo sem

AV foi maior ($1,8 \text{ g kg}^{-1}$) que o aumento do teor de MO do solo com AV ($1,4 \text{ g kg}^{-1}$). Não houve diferenças nas demais doses de CO. Na ausência da AV o aumento da MO acompanhou as doses crescentes de CO. Nas parcelas com AV não foi possível estabelecer uma relação entre o aumento do teor de MO e as doses de CO optando-se por representar graficamente apenas a média desse fator (Figura 10).

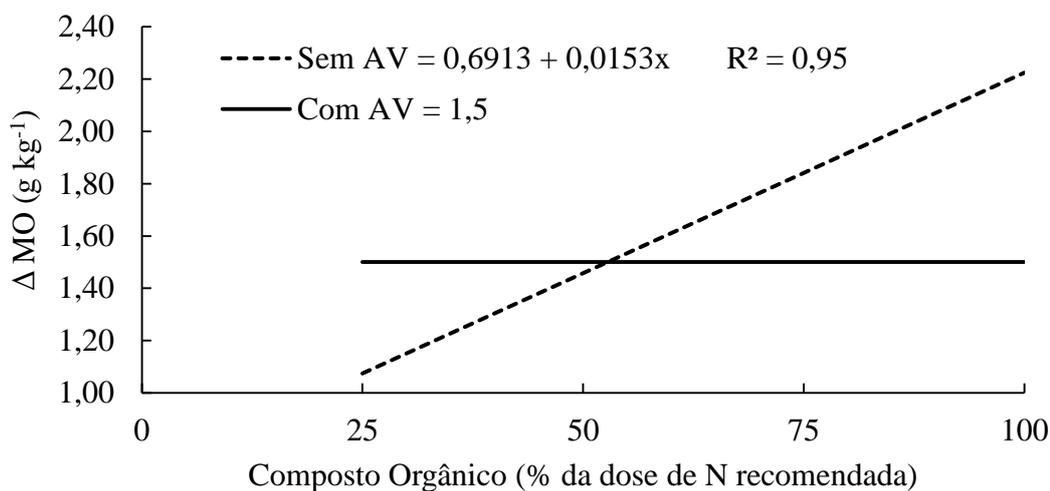


Figura 10. Mudanças no teor de matéria orgânica do solo de cafezais orgânicos com e sem adubação verde em função da dose de composto orgânico após 5 anos de experimento.

Ao final de cinco anos, a aplicação de CO elevou o pH e os teores de P, K, Ca, Mg e matéria orgânica, a capacidade de troca catiônica e a saturação por bases e diminuiu o teor de alumínio e a acidez potencial (Tabela 4).

Tabela 4. Características químicas iniciais (2009) e finais (2014) – média de todos os tratamentos - do solo do cafezal orgânico.

Características químicas do solo		pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	(t)	(T)	V	MO	
		H ₂ O	mg dm ⁻³					cmol _c dm ⁻³				%	g kg ⁻¹	
Ano Inicial		2009												
		5,2	8,0	50	2,0	0,8	0,3	3,8	2,93	3,23	6,73	44	1,4	
Ano Final		2014												
Tratamento														
CO		2014												
AV														
(% da dose de N recomendada)														
(g/planta)														
25	0	6,6	78,7	185,7	2,9	1,0	0	1,9	4,32	4,32	6,22	69	2,4	
50	0	7,1	273,9	327,2	3,3	1,2	0	1,7	5,33	5,33	7,03	76	2,9	
75***	0	7,1	330,7	329,2	3,6	1,2	0	1,8	5,66	5,66	7,46	76	3,4	
100	0	7,4	492,2	449,0	4,1	1,5	0	1,3	6,77	6,77	8,07	84	3,5	
25	450	6,7	72,5	338,0	3,1	1,0	0	2,3	4,89	4,89	7,19	68	3,1	
50	450	6,8	140,5	360,5	3,2	1,1	0	2,1	5,16	5,16	7,26	71	2,7	
75	450	6,6	142,8	289,0	3,0	0,9	0	2,2	4,70	4,70	6,90	68	2,8	
100	450	7,3	333,9	334,2	3,7	1,4	0	1,3	5,66	5,66	6,96	81	3,1	
Médias		0	7,05	293,88	322,78	3,48	1,23	0	1,68	5,52	5,52	7,20	77	3,05
		450	6,85	172,43	330,43	3,25	1,10	0	1,98	5,10	5,10	7,08	72	2,93
Média geral (ano 2014)			6,95	233,16	326,61	3,37	1,17	0	1,83	5,31	5,31	7,14	74	2,99

pH em H₂O, KCl e CaCl₂ – Relação 1:2,5; P, K, Fe, Zn, Mn, Cu: extrator Mehlich-1; Ca, Mg, Al: extrator KCl 1 mol L⁻¹; H + Al, extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ – pH 7,0; S: extrator Fosfato monocálcio em ácido acético; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) = Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) = Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; MO = matéria orgânica pelo método Walkley & Black (C. Org. x 1,724).

3.4.2 Crescimento do cafeeiro

Em todos os anos o efeito da adubação verde (AV) sobre as variáveis de crescimento do cafeeiro não foi influenciado pelas diferentes doses de composto orgânico (CO).

A análise do desdobramento indicou que em todos os anos, a AV aumentou a altura dos cafeeiros (Figura 11). A diferença entre os cafeeiros com e sem AV se ampliou com o tempo, sendo de 5% em 2012 e 12% em 2015.

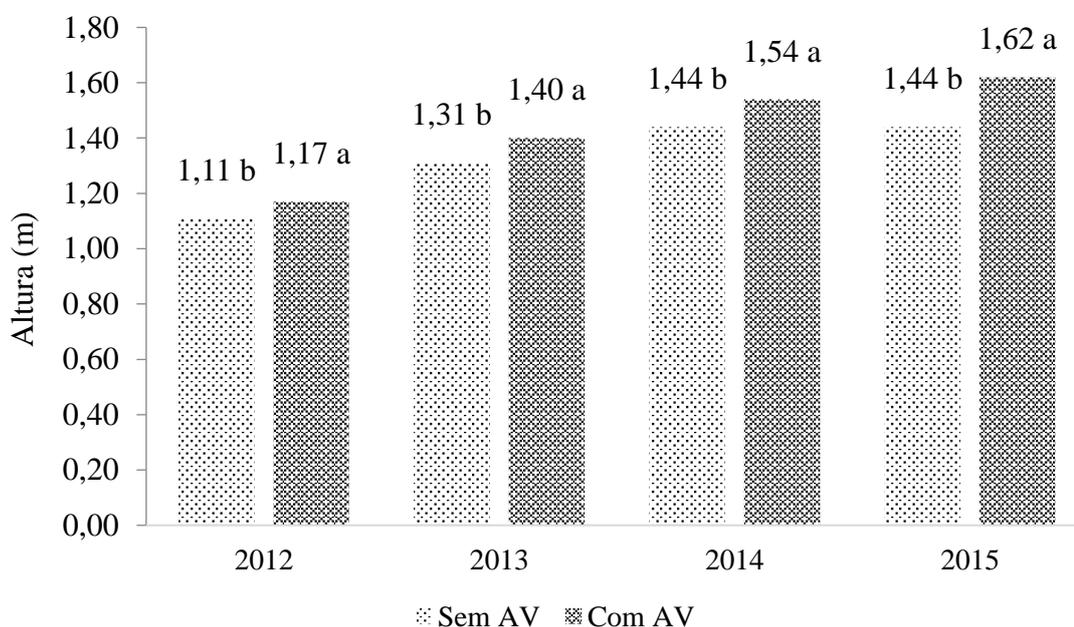


Figura 11. Altura (m) de cafeeiros orgânicos com e sem adubação verde (AV) em quatro anos. Médias dos tratamentos de quatro doses de adubo orgânico (25% a 100% da recomendação de nitrogênio). Médias seguidas por letras diferentes em cada ano são diferentes de acordo com o Teste F a 5% de probabilidade.

Em 2012 não foi possível ajustar um modelo de equação que representasse o comportamento da altura dos cafeeiros, sem e com AV, em função das doses crescentes de CO. Por isso, optou-se pela apresentação e comparação das médias. A altura de cafeeiros com AV (1,17 m) era estatisticamente igual à de cafeeiros sem AV (1,11 m). Com relação às doses de CO os valores encontrados foram: 25% da dose de CO, 1,09 m; 50% da dose, 1,14 m; 75% da dose, 1,13 m; e 100% da dose 1,20 m. Entretanto, entre 2013 e 2015, as doses crescentes de CO aumentaram a altura dos cafeeiros (Figura 12).

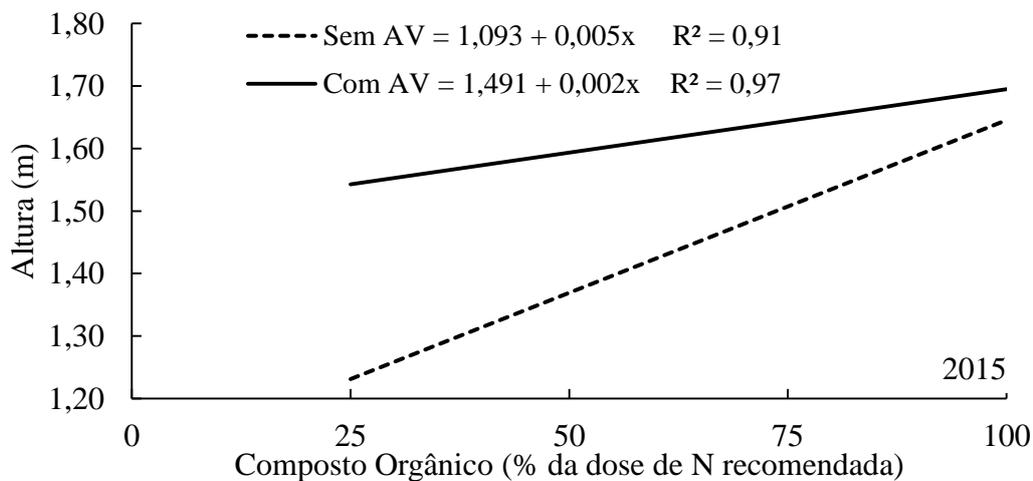
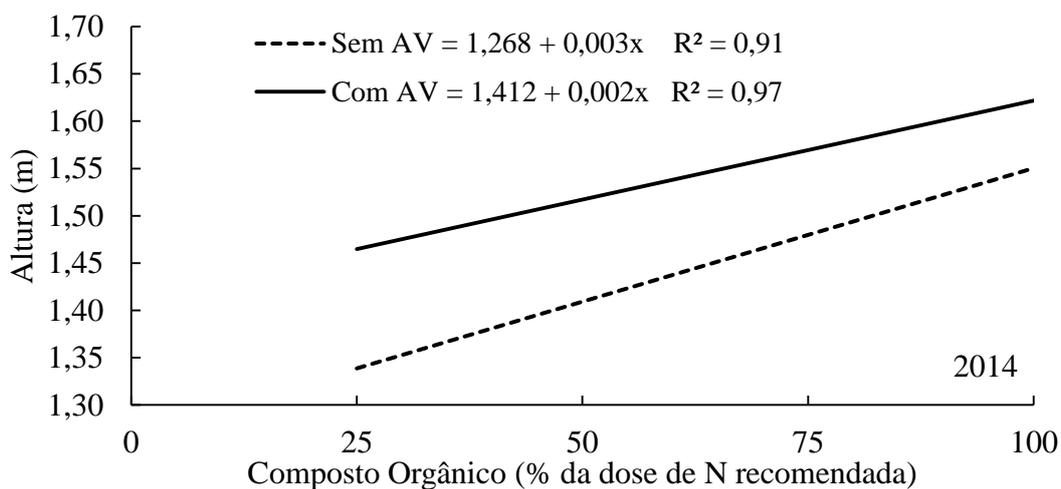
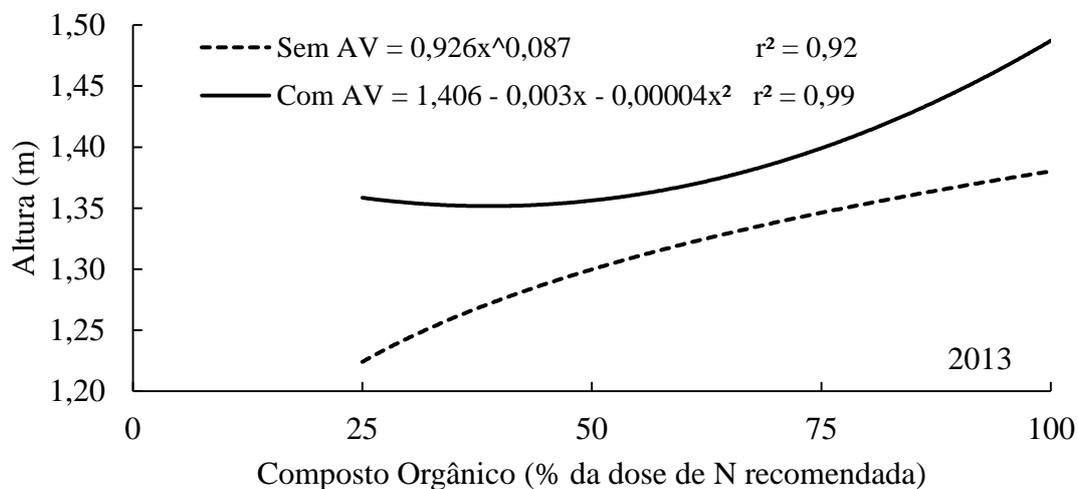


Figura 12. Altura de cafeeiros orgânicos com e sem adubação verde em função da dose de composto orgânico em 2013, 2014 e 2015.

O diâmetro de caule dos cafeeiros não foi influenciado pela AV em nenhum dos anos agrícola e nem pelas doses crescentes de CO em 2012 e 2015. Em 2013 e 2014 houve incremento do diâmetro do caule em função das doses crescentes de CO (Figura 13). Entretanto, em 2013, não foi possível ajustar um modelo de equação que representasse o comportamento do diâmetro do caule dos cafeeiros com AV em função das doses de CO. Por isso, optou-se pela apresentação e comparação das médias: o diâmetro do caule de cafeeiros com AV (3,70 cm) era estatisticamente igual à de cafeeiros sem AV (3,56 cm).

A AV aumentou o diâmetro da copa dos cafeeiros em todos os anos agrícolas (Figura 14) e a diferença entre os cafeeiros com e sem AV se ampliou com o tempo, sendo 7,61% maior nos cafeeiros com AV em 2012 e 12,04% em 2015. As doses crescentes de CO também aumentaram o diâmetro de copa dos cafeeiros (Figura 15).

A AV aumentou o número de ramos plagiotrópicos dos cafeeiros em todos os anos agrícolas, exceto em 2013 (Figura 16). As doses crescentes de CO também aumentaram o número de ramos plagiotrópicos dos cafeeiros em todos os anos agrícolas, exceto em 2013 (Figura 17). Em nenhum ano foi possível ajustar modelo de equação que representasse o comportamento da quantidade de ramos plagiotrópicos dos cafeeiros com AV em função das doses de CO, por isso optou-se por apresentar a média do número de ramos plagiotrópicos dos cafeeiros com AV (Figura 17).

A AV aumentou o número de nós nos ramos plagiotrópicos dos cafeeiros em 2014 e em 2015 (Figura 18) e as doses crescentes de CO aumentaram o número de nós nos ramos plagiotrópicos (Figura 19).

A AV aumentou o número de nós no ramo ortotrópico em 2012 e 2014. (Figura 20). O aumento das doses de CO incrementou o número de nós no ramo ortotrópico somente em 2012. Entretanto, não foi possível ajustar um modelo de equação que representasse o comportamento do número de nós no ramo ortotrópico dos cafeeiros sem e com AV em função das doses de CO em 2012. Com relação às doses de CO os valores encontrados foram: 22,15 nós (25%CO); 24,45 nós (50%CO); 24,36 nós (75%CO); e 26,56 nós. (100%CO).

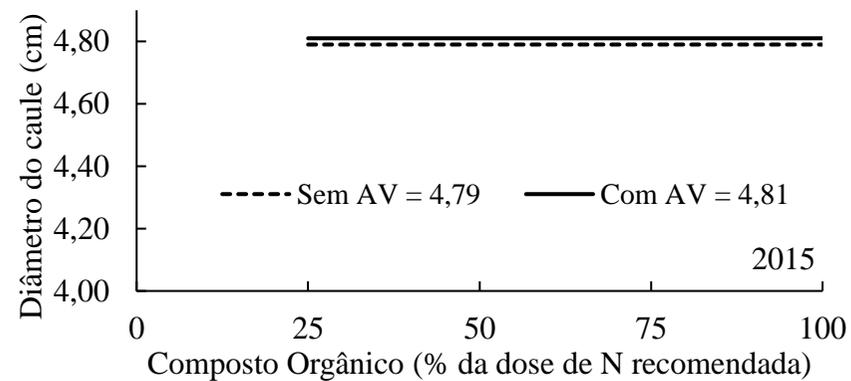
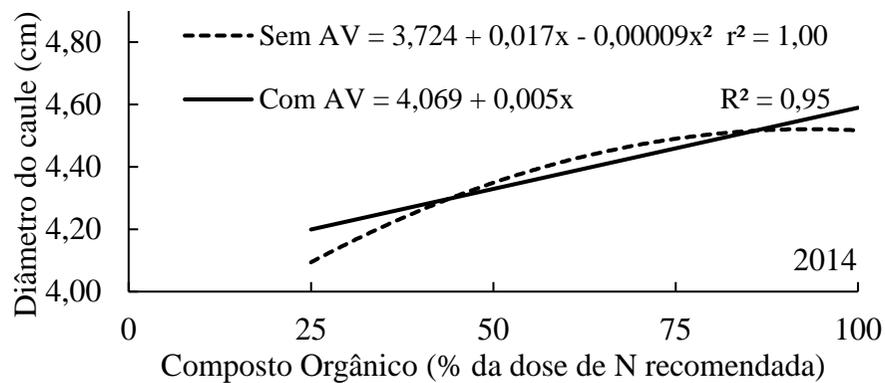
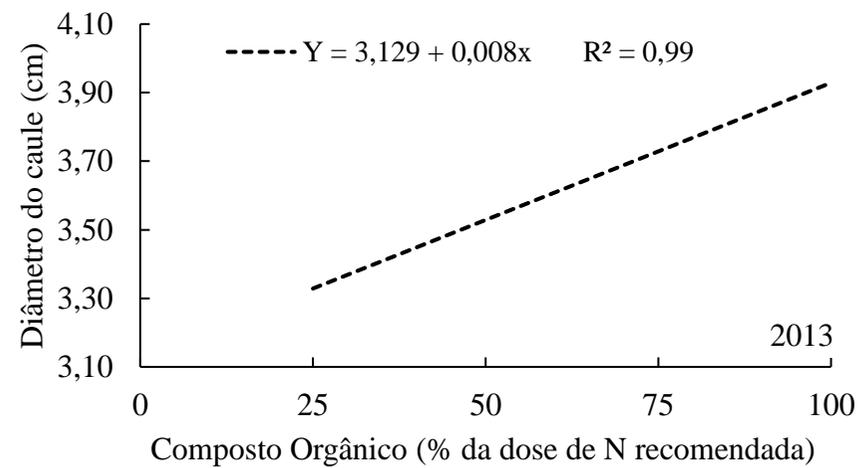
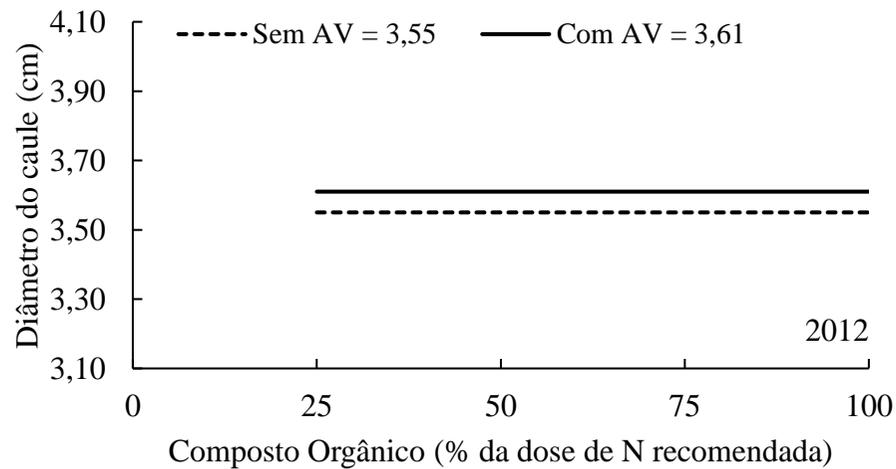


Figura 13. Diâmetro do caule de cafeeiros orgânicos com e sem adubação verde em função da dose de composto orgânico em 2012, 2013, 2014 e 2015.

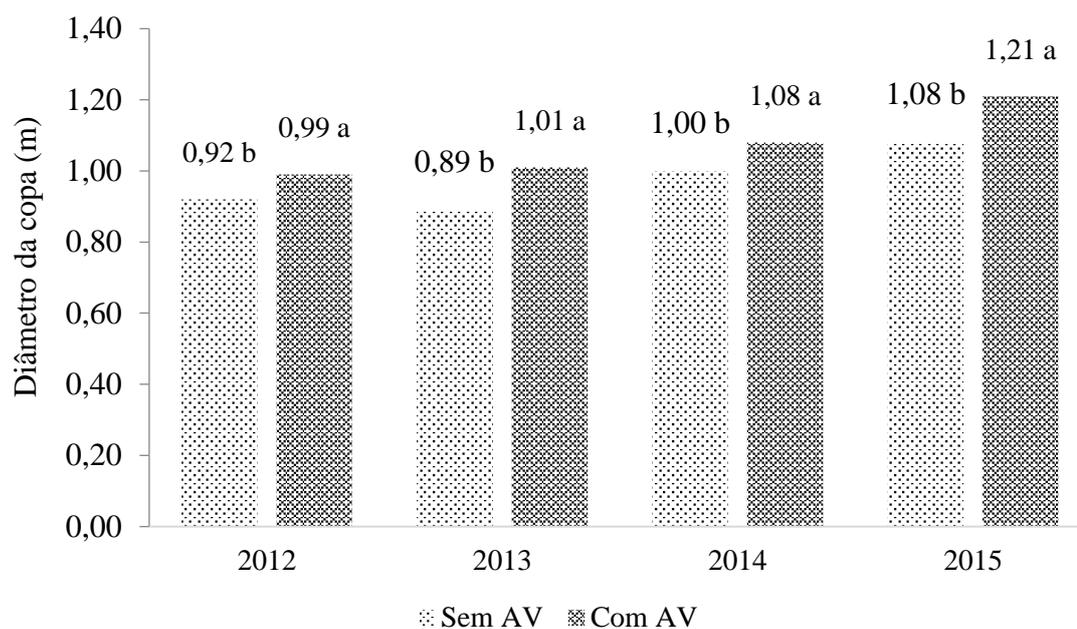


Figura 14. Diâmetro da copa (m) de cafeeiros orgânicos com e sem adubação verde (AV) em quatro anos. Médias dos tratamentos de quatro doses de adubo orgânico (25% a 100% da recomendação de nitrogênio). Médias seguidas por letras diferentes em cada ano são diferentes de acordo com o Teste F a 5% de probabilidade.

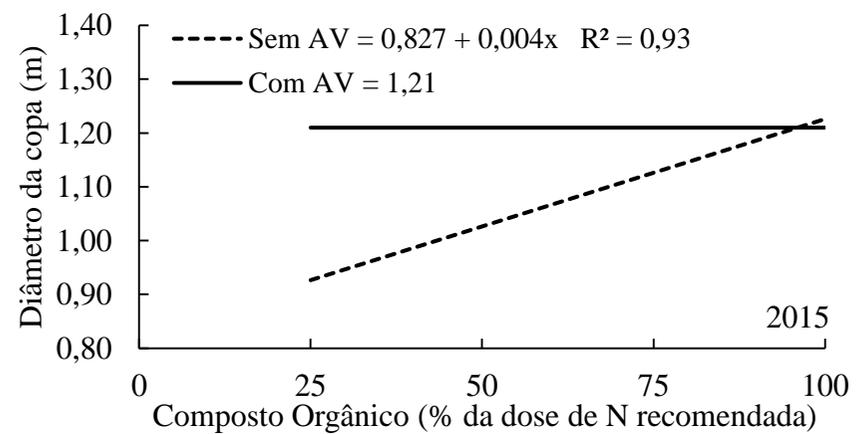
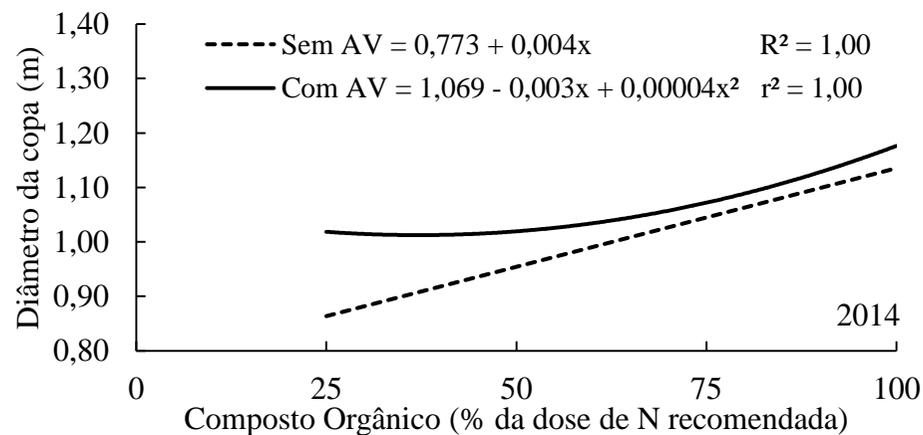
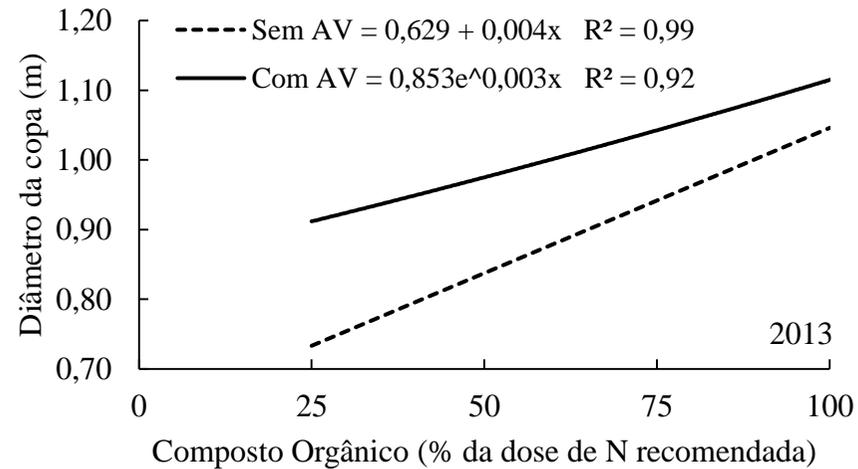
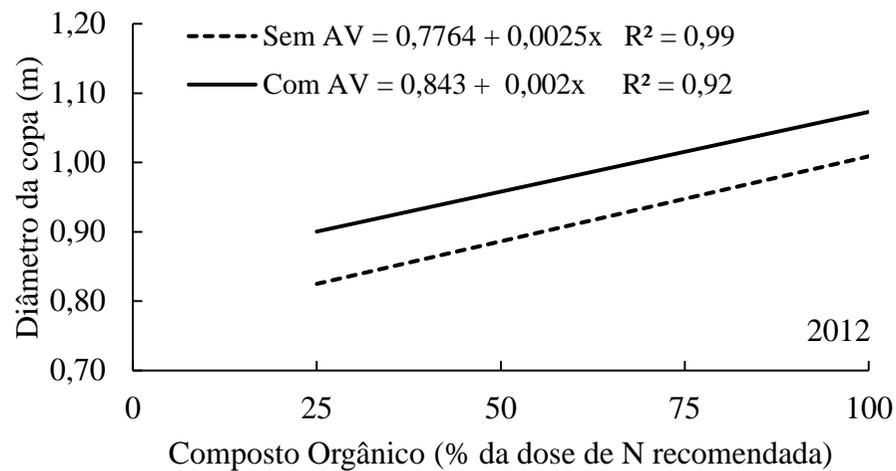


Figura 15. Diâmetro da copa de cafeeiros orgânicos com e sem adubação verde em função da dose de composto orgânico em 2012, 2013, 2014 e 2015.

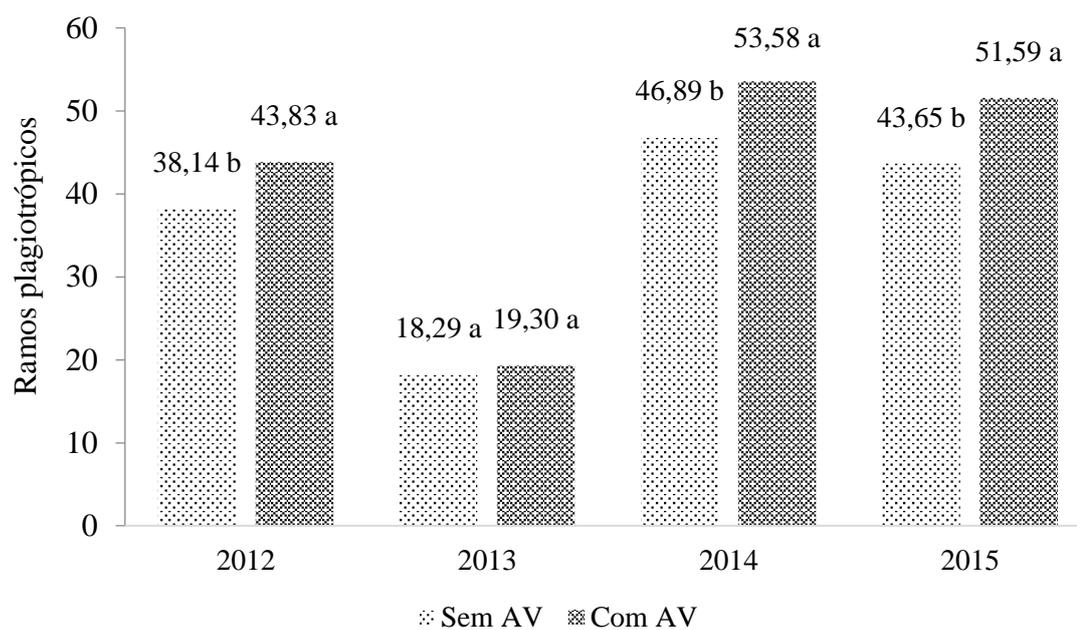


Figura 16. Número de Ramos plagiotrópicos de cafeeiros orgânicos com e sem adubação verde (AV) em quatro anos. Médias dos tratamentos de quatro doses de adubo orgânico (25% a 100% da recomendação de nitrogênio). Médias seguidas por letras diferentes em cada ano são diferentes de acordo com o Teste F a 5% de probabilidade.

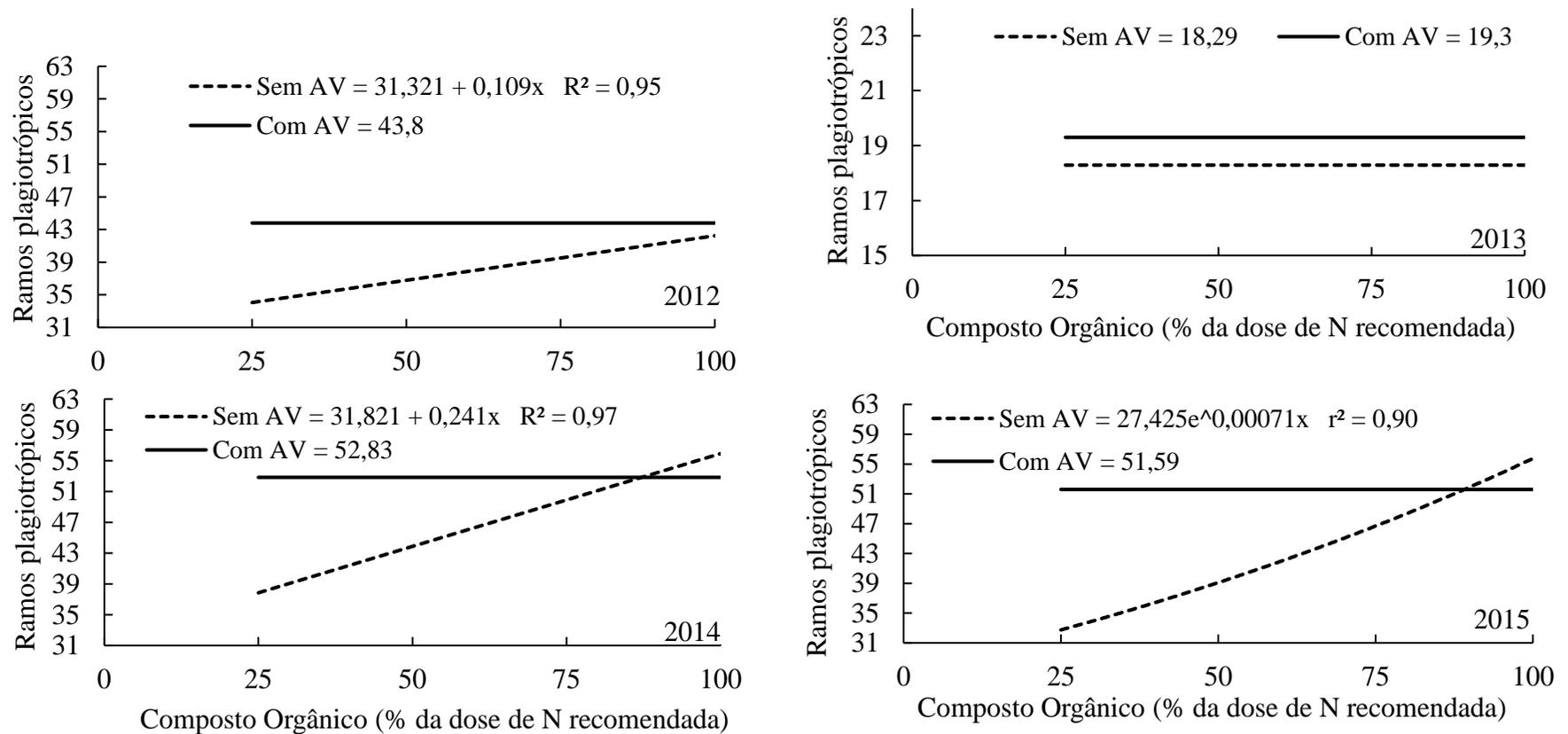


Figura 17. Número de ramos plagiotrópicos em cafeeiros orgânicos com e sem adubação verde em função da dose de composto orgânico em 2012, 2013, 2014 e 2015.

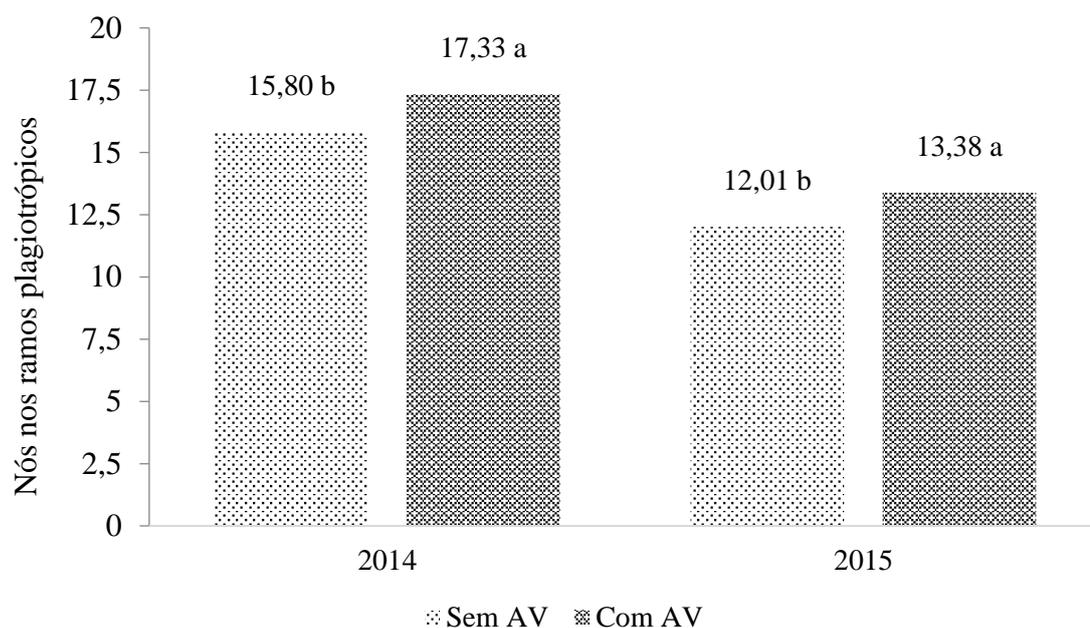


Figura 18. Número de nós nos ramos plagiotrópicos de cafeeiros orgânicos com e sem adubação verde (AV) em dois anos. Médias dos tratamentos de quatro doses de adubo orgânico (25% a 100% da recomendação de nitrogênio). Médias seguidas por letras diferentes nas colunas são diferentes de acordo com o Teste F a 5% de probabilidade.

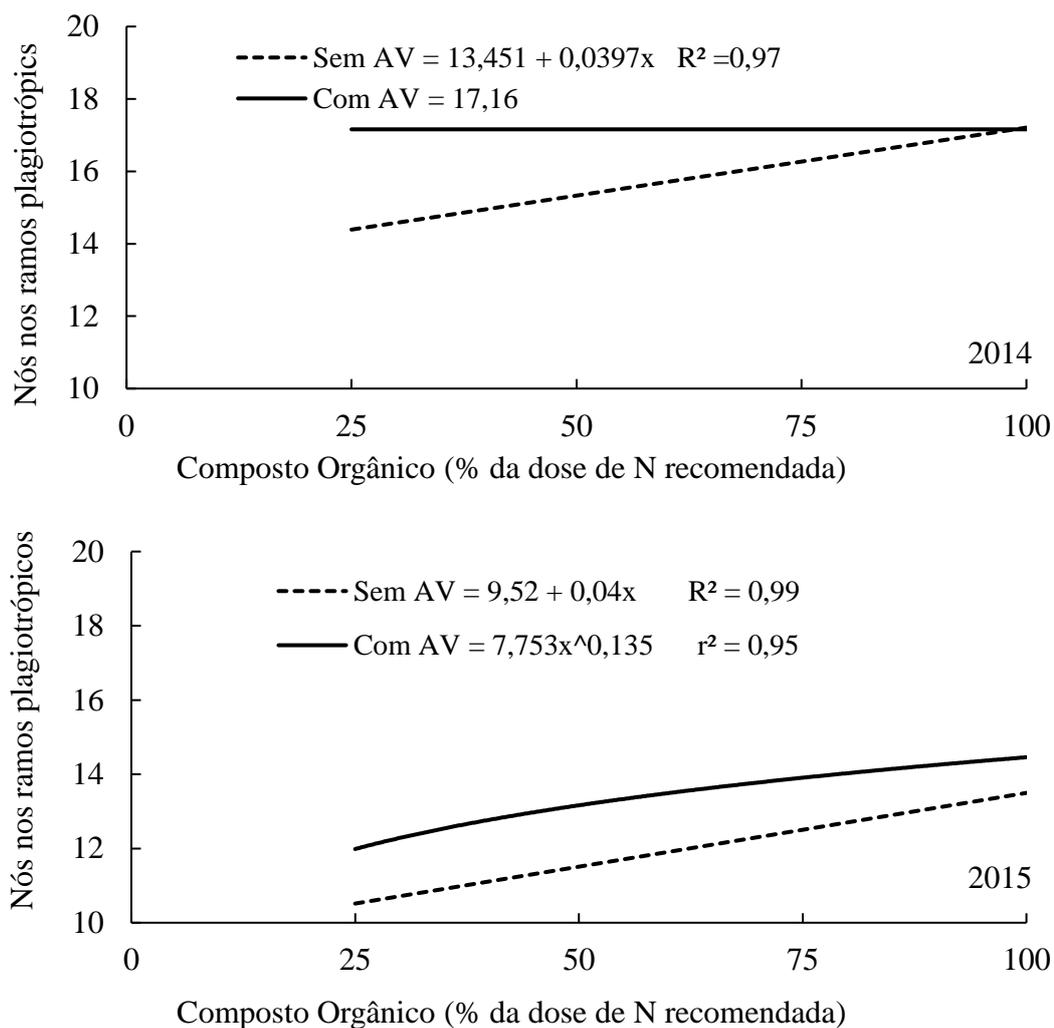


Figura 19. Número de nós nos ramos plagiotrópicos em cafeeiros orgânicos com e sem adubação verde em função da dose de composto orgânico em 2014 e 2015.

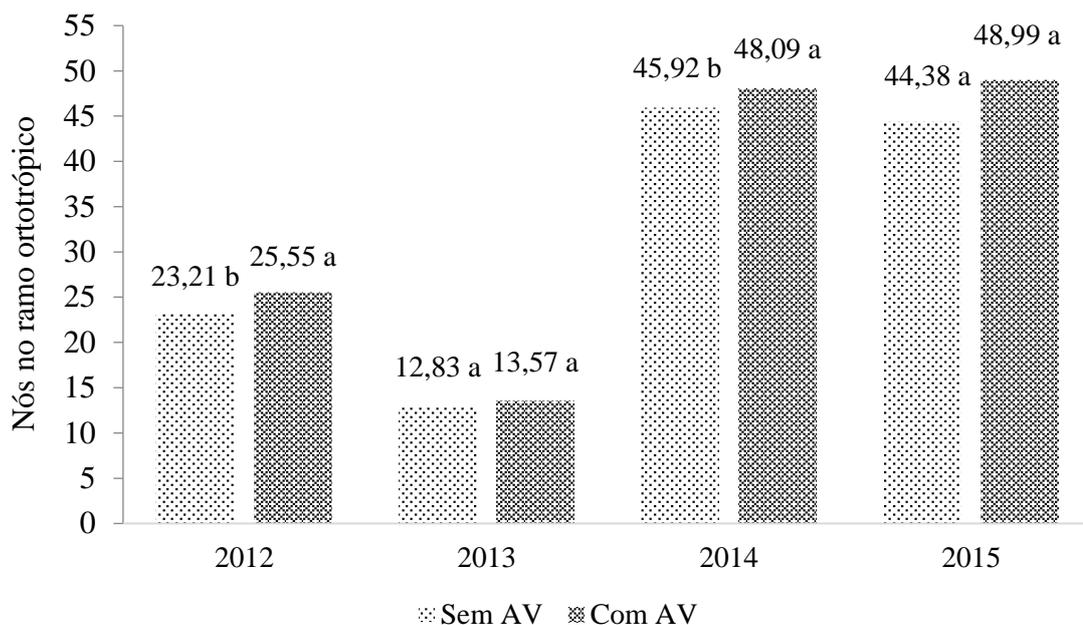


Figura 20. Número de nós no ramo ortotrópico de cafeeiros orgânicos com e sem adubação verde (AV) em quatro anos. Médias dos tratamentos de quatro doses de adubo orgânico (25% a 100% da recomendação de nitrogênio). Médias seguidas por letras diferentes nas colunas são diferentes de acordo com o Teste F a 5% de probabilidade.

3.4.3 Nitrogênio foliar

Pela análise de variância conjunta, o ano agrícola não interferiu na interação CO x AV para a variável concentração de N foliar. A interação CO x AV também não foi significativa. A AV aumentou em 9% o teor de N foliar apenas em 2014 (Figura 21). As doses crescentes de CO influenciaram o teor de nitrogênio foliar apenas em 2013 (Figura 22).

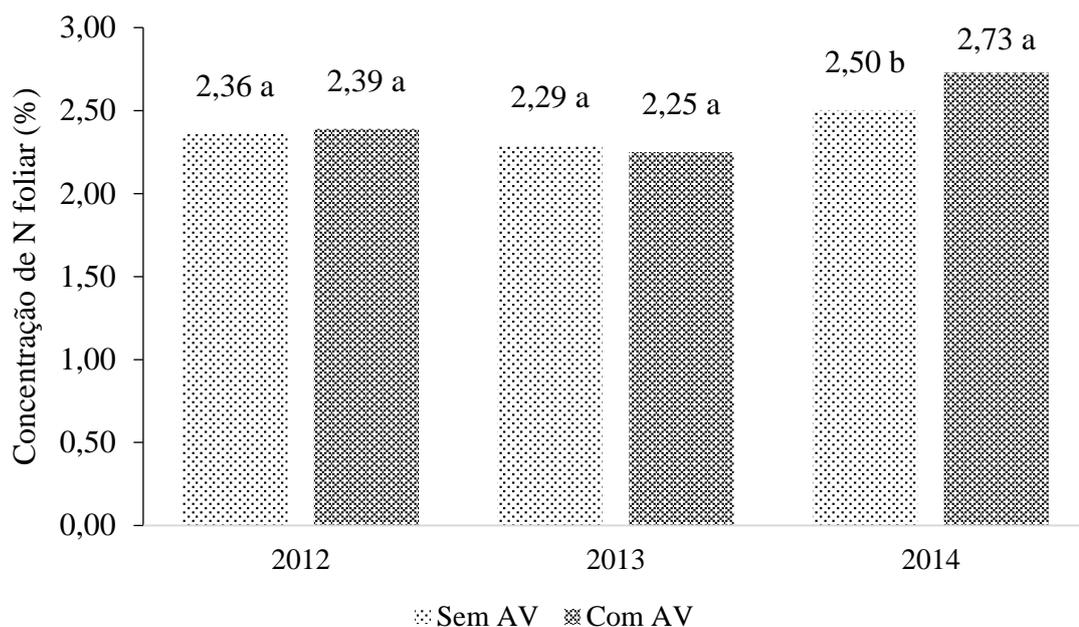


Figura 21. Concentração de nitrogênio foliar (%) de cafeeiros com e sem adubação verde em dezembro, durante a fase de chumbinho, de três anos agrícolas (2012, 2013 e 2014). Médias dos tratamentos de quatro doses de adubo orgânico (25% a 100% da recomendação de nitrogênio). Médias seguidas por letras diferentes em cada ano são diferentes de acordo com o Teste F a 5% de probabilidade.

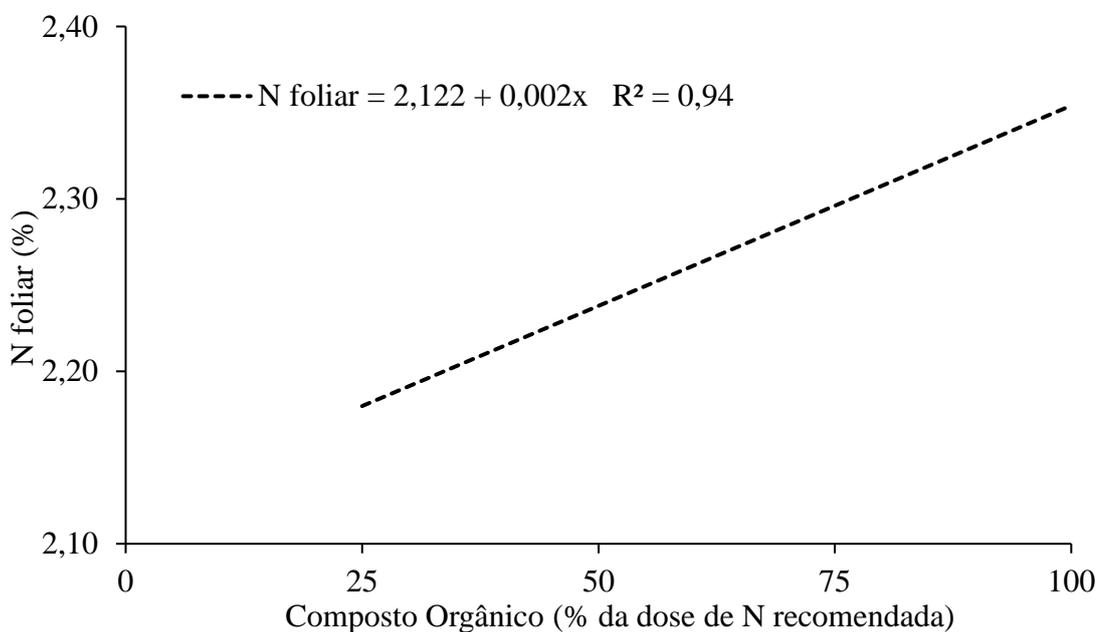


Figura 22. Concentração de N foliar em cafeeiros orgânicos em função da dose de composto orgânico em 2013.

3.4.4 Produção do cafeeiro

A proporção de frutos boa e o rendimento grãos beneficiados / frutos em coco não foram influenciadas pela AV e nem pelas doses de CO, variando apenas em função do ano de avaliação. A proporção de frutos boa foi maior no ano agrícola 2013/2014 ($38,31\% \pm 2,80$ – erro padrão da média - do total de frutos colhidos) que em 2014/2015 ($31,33\% \pm 2,43$) ($p = 0,0161$) e o rendimento foi menor no ano agrícola 2011/2012 e maior em 2014/2015 (Figura 23).

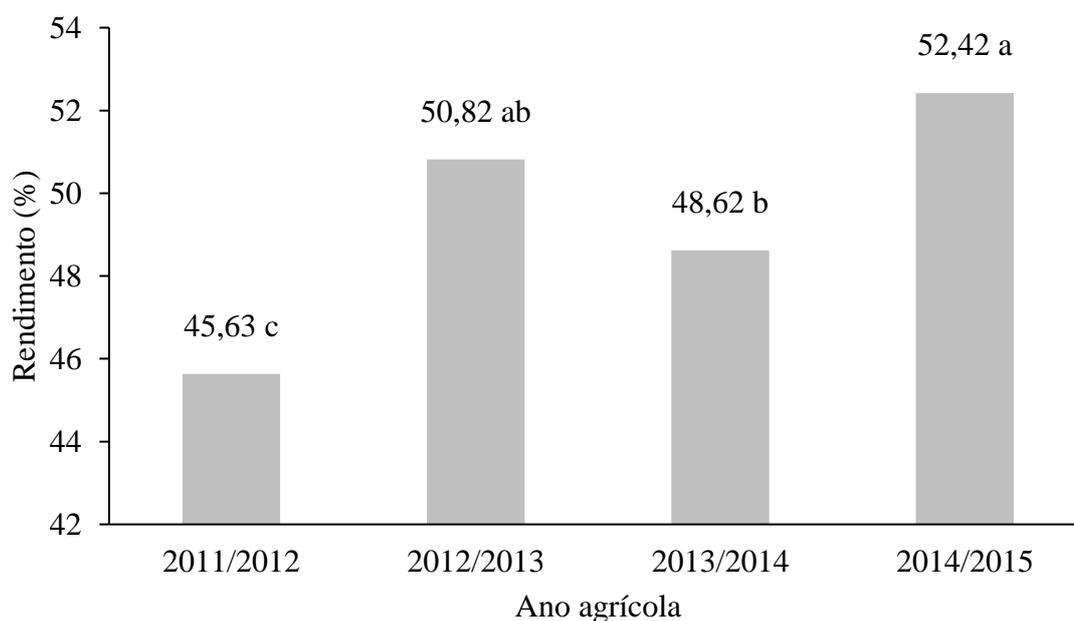


Figura 23. Rendimento de grãos beneficiados/fruto em coco (%) de cafeeiros orgânicos em quatro anos. Médias dos tratamentos com e sem adubação verde e de quatro doses de adubo orgânico (25% a 100% da recomendação de nitrogênio). Médias seguidas por letras diferentes em cada ano são diferentes de acordo com o Teste de Tukey a probabilidade de 5%.

A produtividade variou de acordo com o ano agrícola e foi influenciada pela AV e pela dose de CO, independentemente. A maior produtividade ocorreu em 2014, quando foram produzidas $21,4 \text{ sc ha}^{-1}$ de média entre os tratamentos sem e com AV em função das quatro doses de CO (Figura 24). AV aumentou em 73% e 37% a produtividade dos cafeeiros em 2012 e 2014, respectivamente, mas não influenciou a produtividade em 2013 e 2015 (Figura 25). As doses crescentes de CO aumentaram a produtividade em 2012, 2013 e 2014, mas não em 2015 (Figura 26).

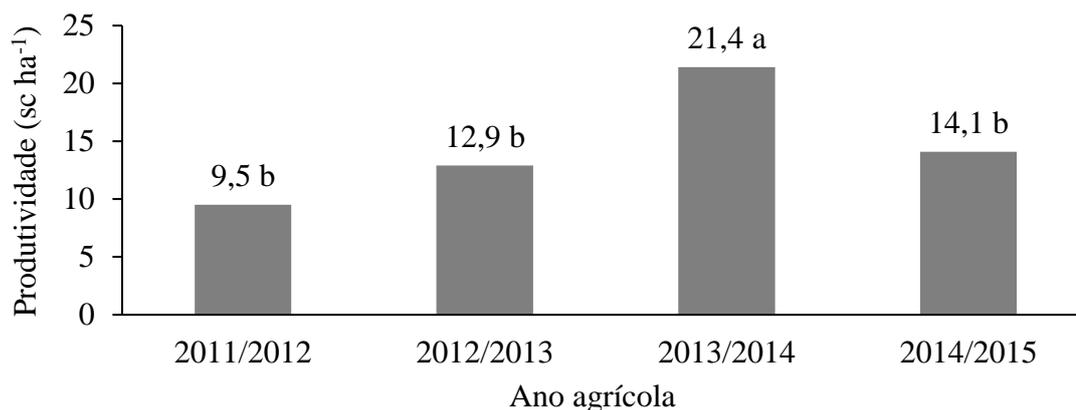


Figura 24. Produtividade (sc ha⁻¹) de cafezais orgânicos em quatro anos agrícolas. Médias dos tratamentos com e sem adubação verde e de quatro doses de composto orgânico (25% a 100% da dose N recomendada). Médias seguidas por letras diferentes em cada ano são diferentes de acordo com o Teste Tukey a 5% de probabilidade.

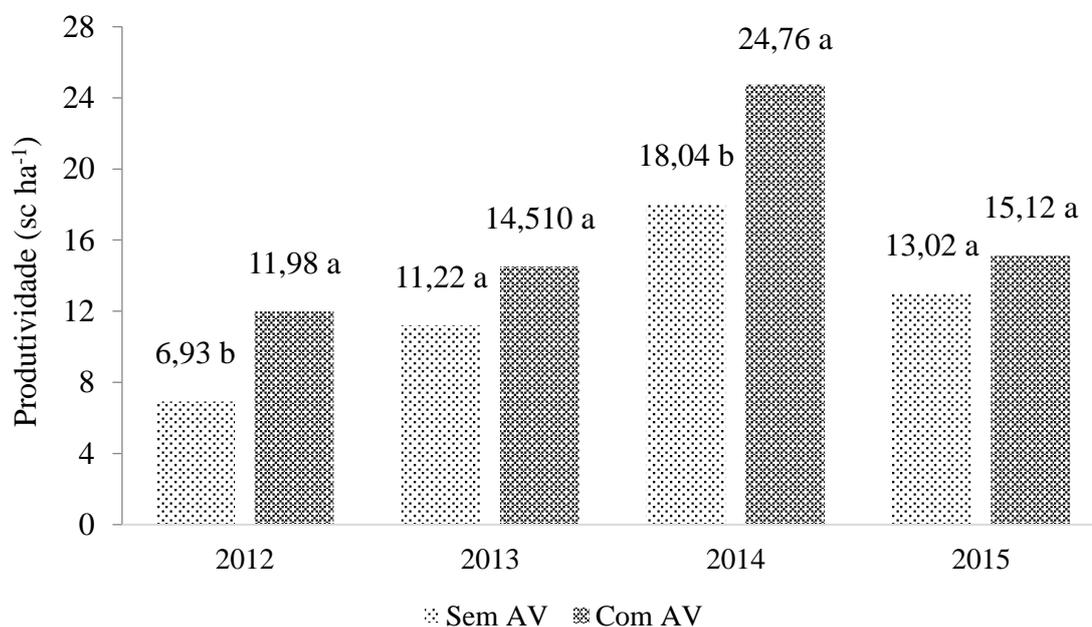


Figura 25. Produtividade (sc ha⁻¹) de cafeeiros orgânicos com e sem adubação verde (AV) em quatro anos. Médias dos tratamentos de quatro doses de adubo orgânico (25% a 100% da recomendação de nitrogênio). Em cada ano, médias seguidas por letras diferentes em cada ano são diferentes de acordo com o Teste F a 5% de probabilidade.

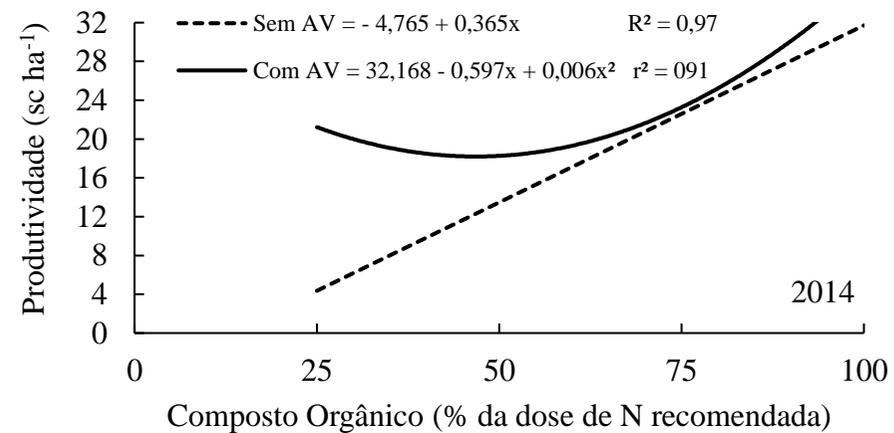
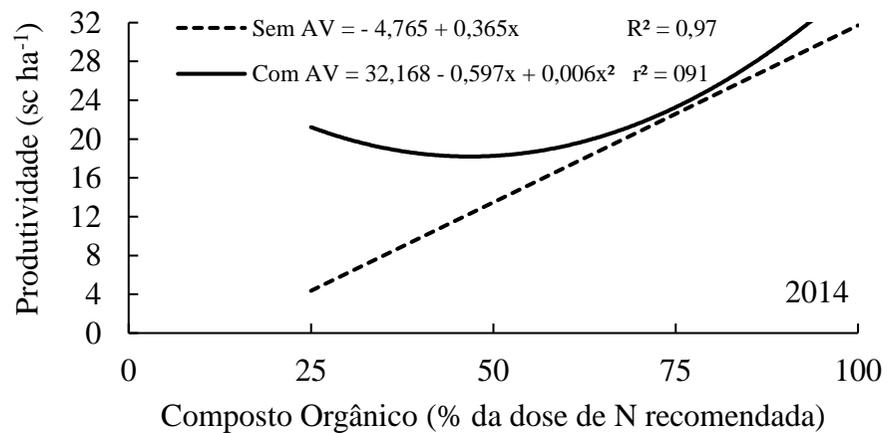
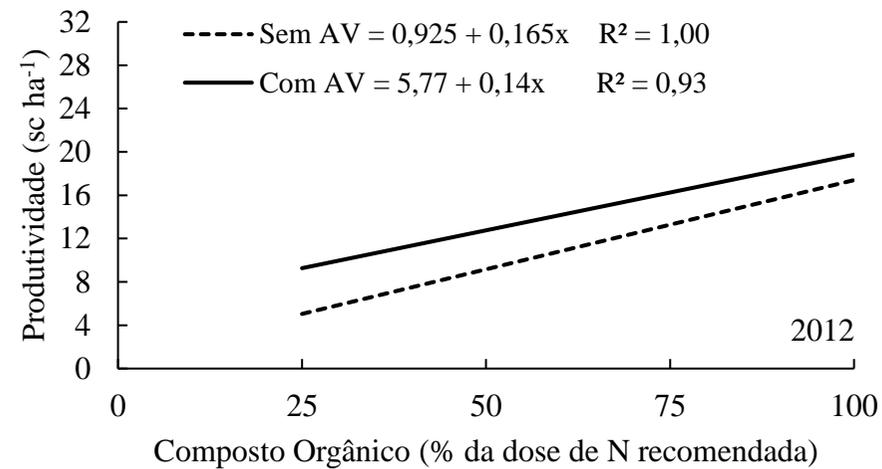
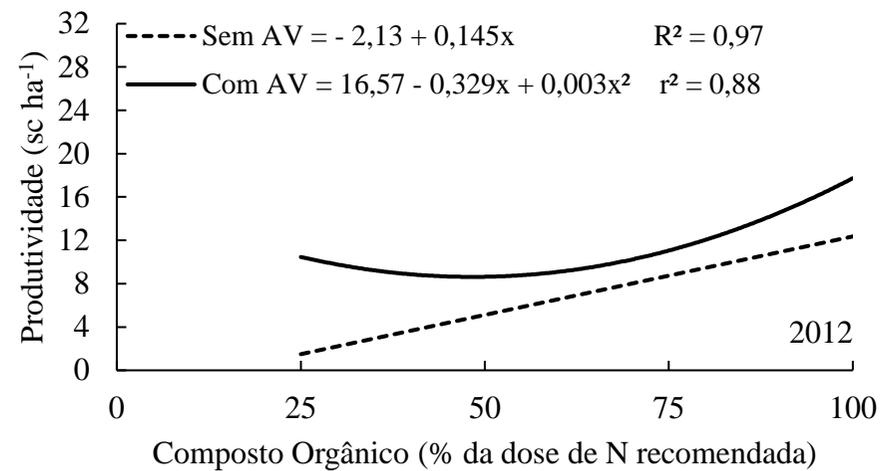


Figura 26. Produtividade de cafeeiros orgânicos com e sem adubação verde em função da dose de composto orgânico em 2012, 2013, 2014 e 2015.

Apesar de não ocorrer interação significativa entre a AV e as doses de CO, houve uma tendência de maior influência da AV sobre a produtividade nas doses mais baixas de CO. Por isso, decidiu-se desdobrar a interação entre a AV e as doses de CO, independentemente da significância estatística. Em 2012 e 2014 a AV aumentou em 4,12 e 3,66 vezes, respectivamente, a produtividade dos cafezais adubados com CO correspondente a 25% da dose de N de 2,16 sc ha⁻¹ para 11,05 sc ha⁻¹ em 2012 e de 4,76 sc ha⁻¹ para 22,20 sc ha⁻¹ em 2014 ($p<0,05$). Nas outras doses de CO não houve diferença significativa.

De acordo com a análise de variância conjunta da produtividade média de quatro anos agrícolas, a interação AV e dose de CO não foi influenciada pelo ano. Também não houve interação entre a AV e as doses de CO. Na média dos quatro anos agrícolas, a AV aumentou a produtividade do cafezal orgânico em 35% (Figura 27), assim como as doses crescentes de CO, que promoveram um efeito linear positivo (Figura 28). Assim como na análise de cada ano, apesar de não ocorrer interação significativa entre a AV e as doses de CO, na média de 4 anos também houve uma tendência de maior influência da AV sobre a produtividade nas doses mais baixas de CO. Assim, ao se desdobrar a interação entre AV e doses de CO, verificamos que a AV aumentou em 2,87 vezes a produtividade dos cafezais adubados com CO correspondente a 25% da dose de N de 4,77 sc ha⁻¹ para 13,68 sc ha⁻¹ ($p<0,05$) e que nas outras doses de CO não houve diferenças (Figura 28).

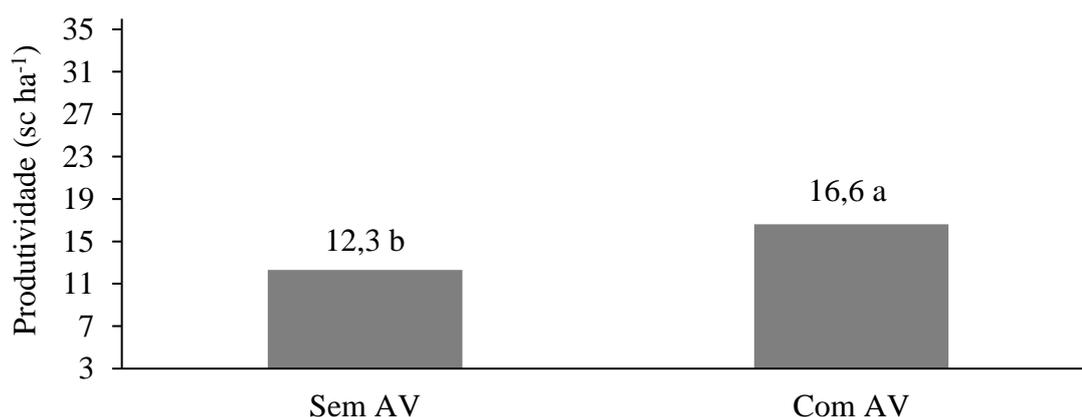


Figura 27. Produtividade média de quatro anos agrícolas (sc ha⁻¹) de cafezais orgânicos. Médias entre os tratamentos sem e com AV em função das quatro doses de CO (25% a 100% da dose de N recomendada). Médias seguidas por letras diferentes são diferentes de acordo com o Teste F a 5% de probabilidade.

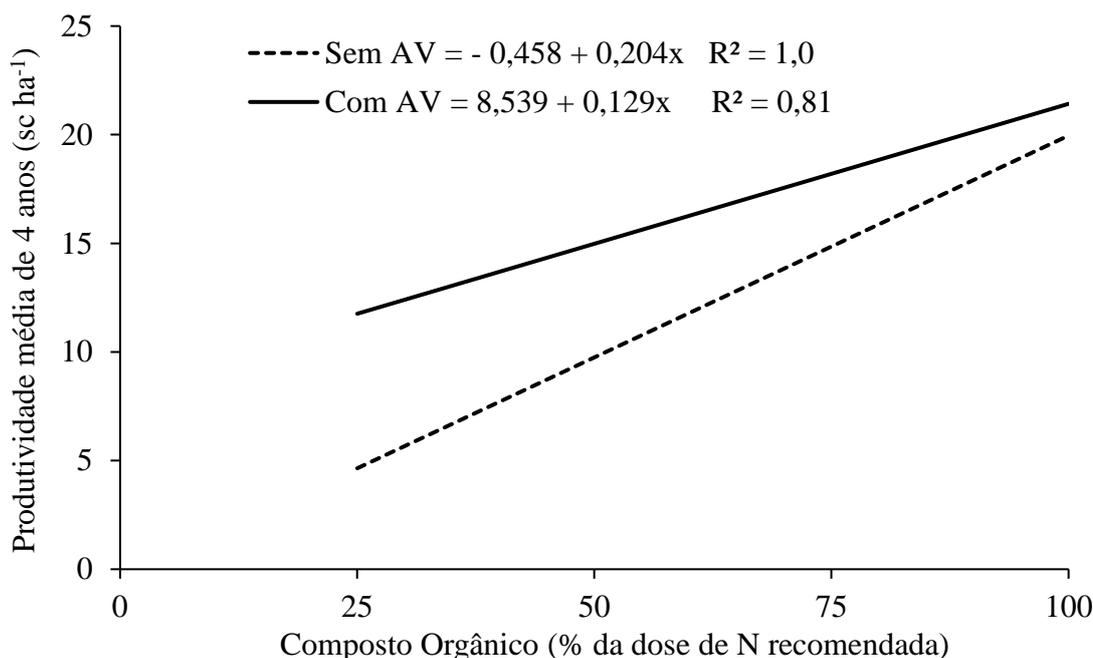


Figura 28. Produtividade média de quatro anos agrícolas (2012 a 2015) de cafezal orgânico com e sem adubação verde em função da dose de composto orgânico.

3.5 DISCUSSÃO

Ao final de cinco anos, a aplicação de CO forneceu excessivamente P e K aos cafeeiros orgânicos e desequilibrou os valores de pH, soma das bases e matéria orgânica do solo, conforme análise química do solo ao final do experimento em 2014

Como a *C. juncea* aplicada havia sido produzida fora da área do cultivo, foi possível avaliar seu efeito sobre as características químicas do solo, o crescimento, a nutrição e a produtividade do cafeeiros sem a interferência da competição existente no cultivo consorciado (Vilela et al. 2011). Entretanto, a quantidade de adubo verde (AV) aplicada (3 t ha⁻¹) seria facilmente produzida e manejada num sistema de consórcio, excetuando-se o aporte de massa das raízes.

A AV não influenciou o aumento da reação (pH) do solo, a diminuição da acidez potencial do solo (H+Al), o aumento da capacidade de troca catiônica e da matéria orgânica. Além disso, o aumento dos teores de P, Ca e Mg, da soma das bases, da capacidade de troca catiônica efetiva e da saturação por base, no solo foram menores quando se realizou a AV. Essa ausência de efeito da AV verde sobre as características do solo também foi constatada por outros autores ao utilizarem espécies leguminosas de ciclo curto (Bergo et al. 2006; Paulo et al. 2004; Paulo et al. 2006). Para alguns autores, os efeitos dos compostos orgânicos presentes nos resíduos vegetais de adubos verdes sobre

as características químicas do solo são transitórias (caracterizados por rapidez e curta duração) (Silva et al. 2014).

As doses crescentes de CO modificaram as características químicas do solo, exceto a capacidade catiônica do solo, pelo aumento do teor de matéria orgânica do solo e pelo fornecimento de nutrientes ao solo. Entretanto, ao final de 5 anos os valores de algumas das características químicas do solo estavam em níveis acima dos níveis adequados à produção do cafeeiro.

Independentemente da dose de CO, a AV aumentou o crescimento e a produtividade média de quatro anos agrícolas do cafeeiro. Em estudos anteriores verificou-se que cafeeiros em idade reprodutiva cresceram mais quando a aplicação de CO foi suplementada pela AV (Araújo et al. 2013). Ao longo dos quatro anos, a aplicação de doses crescentes de CO forneceram entre 75 e 300 kg de N por hectare/ano, enquanto a AV forneceu 45 kg de N por hectare/ano. Grande parte deste N pode ter sido absorvido pelo cafeeiro, pois em um estudo realizado anteriormente no mesmo local, os pesquisadores verificaram que a matéria seca remanescente de *Crotalaria juncea*, 60 dias após ser aplicada, correspondeu a 66,4% da massa original e que 69,1% de N presente nessa massa havia sido mineralizado neste período (Araújo et al. 2013).

Apesar dos efeitos da AV não terem sido influenciados pelas doses crescentes de CO para todas as variáveis estudadas, houve uma tendência de maior influência da AV nas doses mais baixas de CO. Isso deveu-se ao fato da maior participação da AV no fornecimento de N, e outros nutrientes, ao cafeeiro nas doses mais baixas de CO, quando a AV forneceu 38 e 23% do N ao cafeeiro, quando associada às doses correspondentes a 25 e 50% da dose de N recomendada, enquanto nas doses correspondentes a 75 e 100% a participação da AV diminuiu para 17% e 13%, respectivamente.

A AV não aumentou a concentração de N foliar, exceto em 2014. As menores concentrações nos outros anos podem ser atribuídas ao efeito de diluição do N na parte aérea do cafeeiro devido ao maior crescimento das plantas com AV (Ricci et al. 2005). Em outro estudo, a concentração de N foliar de cafeeiros consorciados com as leguminosas *Cajanus cajan*, *Canavalia ensiformis* ou *Flemingia congesta* foi equivalente à de cafeeiros solteiros (Bergo et al. 2006).

A concentração de nitrogênio foliar em 2012 e 2013 estava abaixo dos níveis considerados adequados (2,64% a 3,08%) para cafeeiros em produção na região de Viçosa (Martínez et al. 1999).

As características químicas do composto orgânico utilizados contribuíram para desequilibrar as relações entre os nutrientes. O alto valor de pH pode ter provocado a indisponibilidade de micronutrientes (Tabela 4). O excesso de fósforo pode ter indisponibilizado o zinco (Tabela 4). O excesso de cálcio pode ter deslocado outras bases (Tabela 4).

As doses crescentes de CO aumentaram a altura, o diâmetro do caule (exceto 2012 e 2015), o diâmetro da copa, a quantidade de ramos plagiotrópicos (exceto 2013), o número de nós nos ramos plagiotrópicos e a produtividade, mas não influenciaram o número de nós no ramo ortotrópico e a concentração de N foliar. Contudo, outros autores verificaram que doses crescentes de composto orgânico aumentaram a concentração de N das folhas de cafeeiros em formação (Araújo et al. 2007). Cafeeiros consorciados com leguminosas que não receberam adubação nitrogenada com fertilizante sintético estavam com a concentração de N foliar abaixo da faixa adequada e cafeeiros adubados com fertilizantes nitrogenados sintéticos e consorciados com leguminosas, a concentração estava adequada (3,1%) (Bergo et al. 2006).

A produtividade do cafezal orgânico com AV foi 35% superior a produtividade do cafezal sem AV. Estudos com outras leguminosas e em locais diferentes também verificaram resultados positivos da AV sobre a produtividade do cafeeiro. Pesquisa realizada na África mostrou que *Tephrosia vogelii* consorciada com cafeeiros arábica aumentou a produtividade dos cafezais em 22% (Bucagu et al. 2013). No Brasil, na Amazônia a leguminosa *Flemingia congesta* também consorciada com cafeeiros arábica aumentou a produtividade dos cafeeiros na primeira safra em 67% (Bergo et al. 2006) e na Zona da Mata de Minas Gerais, a adubação verde com *Canavalia ensiformis* também promoveu aumentos de produtividade do cafeeiro (Araújo et al. 2014). Esses aumentos de produtividade estão relacionados aos benefícios da adubação verde decorrentes da adição de N via fixação biológica (Bucagu et al. 2013) do aumento do pH, dos teores de P, K⁺ de Ca²⁺, do valor da soma das bases, da capacidade de troca catiônica efetiva, da saturação por bases e da matéria orgânica do solo (Vilela et al. 2011, Araújo et al. 2014).

Com a aplicação de 300 kg de N por hectare é possível atingir uma produtividade de 30 sc ha⁻¹. Neste trabalho, como a aplicação de composto orgânico na quantidade correspondente a 100% da dose de N recomendada (300 kg ha⁻¹) resultou em uma produtividade média de quatro anos agrícolas de 21,3 sc ha⁻¹, quando se esperaria 30 sc ha⁻¹ (Guimarães et al. 1999). É possível que uma parte do N do CO tenha sido imobilizada após a decomposição da matéria orgânica e mineralização. A recuperação de nitrogênio

derivado de CO variou entre 29,9% e 62,9% do nitrogênio total absorvido pelas plantas, de acordo com as propriedades químicas do composto (condutividade elétrica, relação C/N) e a espécie vegetal adubada (Ebid et al. 2008).

Ao mesmo tempo, ao final de cinco anos, a aplicação de CO forneceu excessivamente P e K aos cafeeiros orgânicos, levando-os à níveis no solo acima dos níveis recomendados (Guimarães & Reis, 2010). (Matiello) desequilibrou os valores de pH, soma das bases e matéria orgânica do solo, conforme análise química do solo ao final do experimento em 2014 (Tabela 4). Esses desequilíbrios podem ter, ainda, prejudicado a absorção de micronutrientes.

Mesmo havendo efeitos benéficos e de longo prazo promovidos pela aplicação de material orgânico através do CO, a recomendação da dose não deve ser baseada apenas na concentração de N. A concentração de outros nutrientes e o pH do material devem ser observados para a adequada nutrição do cafeeiro.

A qualidade dos frutos (proporção de frutos boa e o rendimento grãos beneficiados/frutos em coco) foi influenciada apenas pelos anos de avaliação, sugerindo uma dependência maior de fatores climáticos, como chuva e temperatura, que de fatores nutricionais.

3.6 CONCLUSÕES

1. O composto orgânico fornece excessivamente fósforo e potássio aos cafeeiros orgânicos e desequilibra os valores de pH, soma das bases, capacidade de troca catiônica, saturação por bases e matéria orgânica do solo.
2. A adubação verde evitou mudanças nas características químicas do solo promovidas pela aplicação de doses crescentes de composto orgânico, exceto o teor de potássio e a capacidade de troca catiônica.
3. A adubação verde aumenta o crescimento de cafeeiros orgânicos e a produtividade do cafezal orgânico adubado com diferentes quantidades de composto orgânico.
4. A aplicação de doses crescentes de composto orgânico aumenta o crescimento de cafeeiros orgânicos e a produtividade do cafezal orgânico, com maior efeito na ausência da adubação verde.

3.7 REFERÊNCIAS

- Abreu, M.F. et al., 2009. Análise química de fertilizantes orgânicos (urbanos). In: Silva FC. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica. p. 397-486.
- Ambrosano, E.J. et al., 2011. ^{15}N -labeled nitrogen from green manure and ammonium sulfate utilization by the sugarcane ratoon. *Scientia Agricola*, 68:361–368.
- Araújo, J. & Balbino, J., 2007. Manejo de guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) sob dois tipos de poda em lavoura cafeeira. *Coffee Science*, 2:61–68.
- Araújo, J.B.S. et al., 2007. Composto orgânico e biofertilizante supermagro na formação de cafeeiros: teores foliares. *Coffee Science*, 2:20-28.
- Araújo, J.B.S. et al., 2008. Composto orgânico e biofertilizante supermagro na formação de cafeeiros. *Coffee Science*, 3:115-123.
- Araújo, J.B.S. et al., 2013. Nitrogen fertilization of coffee: organic compost and *Crotalaria juncea* L. *Revista Ceres*, 60:842-851.
- Araújo, J.B.S. et al., 2014. Adubação nitrogenada em cafeeiros com biomassa de feijão-de-porco. *Coffee Science*, 9:336-346.
- Bergo, L.C. et al., 2006. Avaliação de espécies leguminosas na formação de cafezais no segmento da agricultura familiar no Acre. *Acta Amazônica*, 36:19-24.
- Brasil, 2011. Instrução Normativa n. 46, de 6 de outubro de 2011. Estabelece o Regulamento Técnico para os Sistemas Orgânicos de Produção Animal e Vegetal, bem como as listas de Substâncias Permitidas para uso nos Sistemas Orgânicos de Produção Animal e Vegetal. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, n. 194, p. 4, 7 out. 2011.
- Bucagu, C. et al., 2013. Managing *Tephrosia* mulch and fertilizer to enhance coffee productivity on smallholder farms in the Eastern African Highlands. *European Journal of Agronomy*, 48:19-29.
- Ebid, A. et al. 2008. Nitrogen uptake by radish, spinach and "Chingensai" from composted tea leaves, coffee waste and kitchen garbage. *Compost Science & Utilization*, 16:152-158.
- Fenilli, T.A.B. et al., 2007. Growth, development, and fertilizer- ^{15}N recovery by the coffee plant. *Scientia Agricola*, 64:541-547.
- Fernandes, A.L.T. et al., 2013a. Redução da adubação mineral do cafeeiro arábica com a utilização de palha de café. *Coffee Science*, 8:324-336.
- Fernandes, A.L.T., 2013b. Adubação orgânica do cafeeiro, com uso do esterco de galinha, em substituição à adubação mineral. *Coffee Science*, 8:486-499.

Guimarães, P.T.G. et al., 1999. Cafeeiro. In: Ribeiro A.C. et al., Recomendações para o uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais. 5ª Aproximação. Viçosa, CSFSEMG/UFV, pp 289-302.

Guimarães, P.T.G. & Reis T.H.P. 2010. Nutrição e adubação do cafeeiro. In: Reis PR, Cunha RL. Café arábica: do plantio à colheita. Lavras, U.R. EPAMIG SM, p. 343-414.

Laviola, B.G. et al., 2008. Acúmulo em frutos e variação na concentração foliar de NPK em cafeeiro cultivado em quatro altitudes. *Bioscience Journal*, 24:19-31.

Martinez, H.E.P., et al., 1999. Diagnose foliar. In: Ribeiro A.C. et al., Recomendações para o uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais. 5ª Aproximação. Viçosa, CSFSEMG/UFV, pp 289-302.

Moreira, G.M. et al., 2014. Consorciação em cafeeiros orgânicos por diferentes períodos com feiço-de-porco ou lablabe. *Coffee Science*, 9:456-464.

Moura, W. et al., 2013. Desempenho de cultivares de café em sistema de cultivo orgânico na Zona da Mata Mineira. *Coffee Science*, 8:256-264.

Paulo, E.M. et al., 2001. Produtividade do café Apatã em consórcio com leguminosas na região da Alta Paulista. *Bragantia*, 60: 195-199.

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

Paulo EM, et al., 2004. Comportamento do cafeeiro Apatã em consórcio com culturas anuais. *Bragantia*, 63: 275-281.

Ricci, M.S.F. et al., 2005. Growth rate and nutritional status of an organic coffee cropping system. *Scientia Agricola*, 62:138-144.

Santos, J.C.F. et al., 2013. Cultivation of perennial herbaceous legumes in weed management in coffee plantation on the Cerrado. *Journal of Agricultural Science and Technology B*. 3:420-428.

Silva, E.C. et al., 2006. Aproveitamento do nitrogênio (¹⁵N) da crotalária e do milheto pelo milho sob plantio direto em Latossolo Vermelho de Cerrado. *Ciência Rural*, 36:739-746.

Silva, E. C. et al., 2014. Adubação verde como fonte de nutrientes às culturas. In: Lima et al. Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. Brasília, DF: Embrapa, p. 265-306.

Theodoro, V.C.A. et al. 2009. Resposta de lavouras cafeeiras em transição agroecológica a diferentes manejos de solo. *Coffee Science*, 4:56-66.

Vilela, E.F. et al., 2011. Crescimento inicial de cafeeiros e fertilidade do solo adubado com mucuna, amendoim forrageiro ou sulfato de amônio. *Coffee Science*, 6:27-35.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adubação verde contribui com a nutrição nitrogenada do cafeeiro, aumenta o crescimento de cafeeiros cultivados em sistema de produção orgânica e a produtividade do cafezal orgânico adubado com diferentes quantidades de composto orgânico. Porém, nestes sistemas de produção a adubação orgânica deve ser a principal entrada de nitrogênio (N). Entretanto, um bom manejo nutricional deste nutriente – assim como dos demais - está relacionado com a capacidade de o sistema manter a reciclagem do N entre os seus componentes (cafeeiro, leguminosa, vegetação espontânea, solo, microrganismos, etc.) e com o monitoramento constantemente dos teores no adubo orgânico e no solo, evitando-se que os aportes constantes promovam desequilíbrios químicos no solo e nutricionais no cafeeiro.

ANEXO

Tabela 1. Características químicas iniciais do solo do cafezal orgânico do Vale da Agronomia em 2009.

pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	(t)	(T)	V	MO	P-rem
H ₂ O	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³							%	g kg ⁻¹	mg L ⁻¹
5,2	8,0	50	2,0	0,8	0,3	3,8	2,93	3,23	6,73	44	1,4	32,6

pH em H₂O, KCl e CaCl₂ – Relação 1:2,5; P, K, Fe, Zn, Mn, Cu: extrator Mehlich-1; Ca, Mg, Al: extrator KCl 1 mol L⁻¹; H + Al, extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ – pH 7,0; S: extrator Fosfato monocálcio em ácido acético; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) = Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) = Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; MO = matéria orgânica pelo método Walkley & Black (C. Org. x 1,724). P-rem = Fósforo Remanescente.

Tabela 2. Características químicas iniciais do solo colocado nos vasos em 2013.

Profundidade do Solo	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	(t)	(T)	V	N	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	S
cm	H ₂ O	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³							%	dag kg ⁻¹	mg L ⁻¹	mg dm ⁻³					
0 - 20	5,9	36,0	165	3,20	0,75	0,0	2,9	4,37	4,37	7,27	60,1	0,14	3,23	34,0	4,97	96,2	89,8	3,22	5,4
21 - 40	5,7	5,1	66	2,57	4,77	0,0	3,9	7,51	7,51	11,41	65,8	0,12	2,45	31,6	1,49	65,2	49,3	1,68	7,8

pH em H₂O, KCl e CaCl₂ – Relação 1:2,5; P, K, Fe, Zn, Mn, Cu: extrator Mehlich-1; Ca, Mg, Al: extrator KCl 1 mol L⁻¹; H + Al, extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ – pH 7,0; S: extrator Fosfato monocálcio em ácido acético; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) = Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) = Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; MO = matéria orgânica pelo método Walkley & Black (C. Org. x 1,724). P-rem = Fósforo Remanescente.