

NAIN PERALTA ANTONIO

**CONTRIBUÇÃO DA MUCUNA-CINZA NO FORNECIMENTO DE
MACRONUTRIENTES PARA A PRODUÇÃO DE BRÓCOLIS**

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
2018

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

T

P426m
2018 Peralta Antonio, Nain, 1984-
Contribuição da mucuna-cinza no fornecimento de
macronutrientes para a produção de brócolis / Nain Peralta
Antonio. – Viçosa, MG, 2018.
ix, 104 f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Ricardo Henrique Silva Santos.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Adubação verde. 2. Química do solo. 3. Efeitos residuais.
4. Brócolis - Nutrição. 5. Sucessão ecológica. 6. Solos -
Produtividade. 7. Brócolis - Crescimento. 8. *Mucuna aterrina*
cv.. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Fitotecnia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. II. Título.

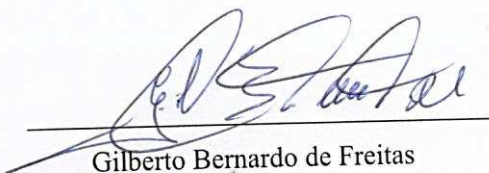
CDD 22. ed. 631.874

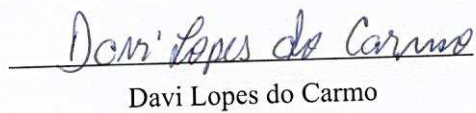
NAIN PERALTA ANTONIO

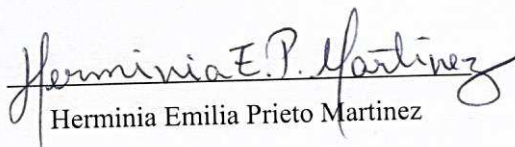
**CONTRIBUÇÃO DA MUCUNA-CINZA NO FORNECIMENTO DE
MACRONUTRIENTES PARA A PRODUÇÃO DE BRÓCOLIS**

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*.

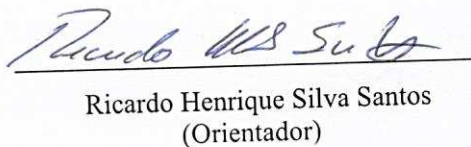
APROVADA: 06 de julho de 2018.


Gilberto Bernardo de Freitas


Davi Lopes do Carmo


Herminia Emilia Prieto Martinez


Leonardus Vergütz


Ricardo Henrique Silva Santos
(Orientador)

À minha esposa Aracely Martínez López

Aos meus filhos Abril Peralta Martínez e Nain Peralta Martínez

Aos meus pais Florencia Antonio Morales e Agustín Peralta Canseco

Esta conquista é nossa

AGRADECIMENTOS

Durante o doutorado novos conhecimentos acadêmicos foram obtidos, importantes experiências foram adquiridas com a minha família e novas pessoas chegaram à nossa vida. O grau acadêmico adquirido, é só uma pequena parte das muitas coisas que levarei de Viçosa. A todos os que estiveram ao meu lado eu agradeço sinceramente.

Agradeço a Deus por permitir que a vida em Viçosa fosse muito agradável, com saúde e amor.

A minha esposa, por estar ao meu lado durante todo o tempo, deixando de lado uma parte das suas aspirações.

Aos meus filhos, que são fonte de inspiração e também um motivo para continuar avançando dia a dia.

Ao Prof. Ricardo Santos, pela sua grande ajuda e sua amizade durante todo o período do doutorado, tanto no âmbito acadêmico quanto no âmbito familiar.

À minha colega Maristela, sua ajuda foi importante para obter este novo grau acadêmico.

Aos técnicos do laboratório de Agroecologia, Mariana, José Francisco e João pela sua ajuda no trabalho de campo e laboratório.

À professora Hermínia Martínez e ao professor Leonardo Vegütz, pela sua contribuição no planejamento da pesquisa de tese.

Aos professores Gilberto Freitas e Samuel Valadares pelo seu tempo e suas ideias contribuídas no exame de qualificação.

Ao Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), por me permitir ter realizado os meus estudos de doutorado.

À universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia pela oportunidade de realização do doutorado.

Aos meus colegas de laboratório pela sua ajuda e com os quais desfrutei e aprendi novas coisas.

Aos muitos amigos conhecidos durante o doutorado, os momentos convividos durante o futebol, churrascos, aniversários, etc. Serviram para relaxar o corpo, a mente, o espírito e para compartilhar, trocar e aprender novos conhecimentos.

BIOGRAFIA

Nain Peralta Antonio, filho de Agustín Peralta Canseco e Florencia Antonio Morales, agricultor e dona de casa, respectivamente. Nasceu em San Isidro Lachiguxe, Santa Maria Guienagati, Oaxaca.

Formou-se como Engenheiro Agrônomo em 2009 no Instituto Tecnológico de Comitancillo, orientado pelo professor Pedro Marquez Castillo.

Adquiriu o grau de Mestre em Ciências em Fruticultura em 2013, no Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, orientado pelo professor Alberto Enrique Becerril Román.

Obteve o título de Doutor em Ciências em 2018, na Universidade Federal de Viçosa, no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, orientado pelo professor Ricardo H. Silva Santos.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	5
CAPÍTULO 1. ADUBAÇÃO VERDE E ADUBAÇÃO MINERAL: EFEITO NO CRESCIMENTO, PRODUÇÃO, ACÚMULO E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE NUTRIENTES EM BRÓCOLIS	12
1. INTRODUÇÃO	13
2. MATERIAIS E MÉTODOS	15
2.1 Adubo verde	15
2.2 Cultivar de brócolis	15
2.3 Delineamento experimental e tratamentos	16
2.4 Crescimento de plantas.....	17
2.5 Produção e índice de colheita.....	17
2.6 Matéria seca	17
2.7 Acúmulo de nutrientes.....	17
2.8 Eficiência de recuperação e eficiência de utilização	17
2.9 Análise de dados.....	18
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
3.1 Crescimento das plantas	18
3.2 Produção e índice de colheita (IC)	20
3.3 Acúmulo de matéria seca	22
3.4 Acúmulo de nutrientes.....	23
3.5 Eficiência de recuperação (ER) e eficiência de utilização (EU).....	24
4. CONCLUSÕES	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
CAPÍTULO 2. ADUBAÇÃO VERDE E ADUBAÇÃO MINERAL: EFEITO NA NUTRIÇÃO DE BRÓCOLIS E NAS MUDANÇAS QUÍMICAS DA SOLUÇÃO DO SOLO	35
1. INTRODUÇÃO	36
2. MATERIAIS E MÉTODOS	38
2.1 Adubo verde	38
2.2 Cultivar de brócolis	39
2.3 Tratamentos e delineamento experimental	39
2.4 Crescimento de plantas.....	40

2.5	Produção e índice de colheita	40
2.6	Acúmulo de matéria seca	40
2.7	Acúmulo de nutrientes.....	40
2.8	Eficiência de recuperação e eficiência de utilização	41
2.9	Solução do solo	41
2.10	Acidez ativa (pH), condutividade elétrica (CE) e teores de N, P, K, Ca, Mg e S da solução do solo.....	41
2.11	Relação entre características da solução do solo e o crescimento da cultura.....	42
2.12	Análise de dados.....	42
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
3.1	Crescimento das plantas	42
3.2	Produção e índice de colheita.....	44
3.3	Acúmulo de matéria seca	47
3.4	Acúmulo de nutrientes.....	48
3.5	Eficiência de recuperação e eficiência de utilização	49
3.6	Acidez ativa (pH) e condutividade elétrica (CE) da solução do solo	52
3.7	Teores de N, P, K, Ca, Mg e S da solução do solo	55
3.8	Relação entre características da solução do solo e o crescimento das culturas	59
	CONCLUSÕES	61
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
	CAPÍTULO 3. EFEITO RESIDUAL DE ADUBO VERDE NA PRODUÇÃO, EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO E DINÂMICA DE NUTRIENTES NA SOLUÇÃO DO SOLO	69
2.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	73
2.1	Adubo verde	73
2.2	Cultivares de brócolis.....	73
2.3	Tratamentos e delineamento experimental	74
2.4	Efeito residual na produção de matéria seca da braquiária.....	75
2.5	Matéria seca e acúmulo total de nutrientes nas duas culturas.....	75
2.6	Eficiência de recuperação e eficiência de utilização	76
2.7	Solução do solo	76
2.8	Acidez ativa (pH), condutividade elétrica (CE) e teor de N, K, Ca, Mg e S da solução do solo.....	76
2.9	Análise de dados.....	77
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
3.1	Efeito residual na produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes na braquiária	77
3.2	Matéria seca e acúmulo total de nutrientes obtido pelas culturas de brócolis e braquiária.	82

3.4 Eficiência de recuperação (ER) e eficiência de utilização (EU).....	86
5. CONCLUSÕES	97
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
CONSLUSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES DE PESQUISA.....	103

RESUMO

PERALTA-ANTONIO, Nain, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2018. **Contribuição da mucuna-cinza no fornecimento de macronutrientes para a produção de brócolis.** Orientador: Ricardo Henrique Silva Santos.

Adubação verde pode ser uma alternativa viável do ponto de vista agrônomo, econômico, social e ambiental para substituir parcial ou totalmente aos fertilizantes sintéticos. Para testar as hipóteses de que os efeitos promovidos pela adubação mineral sobre a produção, ganho de matéria seca, acúmulo e eficiência de utilização de nutrientes em cultivos sucessivos e características da solução do solo, podem ser igualados pela adubação verde (isolada ou em conjunto com adubo mineral), foram realizados experimentos. Os objetivos foram avaliar a resposta de crescimento, produção, ganho de matéria seca, acúmulo e eficiência de utilização dos nutrientes nos cultivos sucessivos de brócolis e braquiária, manejados com mucuna cinza e adubação mineral aplicadas isoladamente ou em conjunto; avaliar as mudanças da acidez ativa, condutividade elétrica e teor de N, P, K, Ca, Mg e S da solução de solo com os diferentes tratamentos de adubação na primeira cultura; assim como, avaliar o efeito residual dos tratamentos sobre a produção de matéria seca e acúmulo de macronutrientes na braquiária e nas características da solução do solo no segundo cultivo. Similar efeito na produção, ganho de matéria seca, acúmulo de nutrientes, eficiência de recuperação (ER) e eficiência de utilização (EU) em brócolis obteve-se com adubação verde (5 o 10 t/ha de mucuna cinza) e o controle na primeira cultura. Menor crescimento, produção, matéria seca e ER de macronutrientes obteve-se com adubação verde (5 o 10 t/ha de mucuna cinza) em comparação com adubação mineral na primeira cultura. Adubação verde em conjunto com adubo mineral promove crescimento de plantas, matéria seca, acúmulo, ER e EU de nutrientes semelhante ao obtido adubação mineral na alta dose (100% ou 200% da dose recomendada). Adubação verde (isolada ou em conjunto com adubação mineral) promovem efeito residual na segunda e demonstram efeitos a mediano prazo. Maior condutividade elétrica e teor de N, K, Ca, Mg e S na solução do solo ocorre na etapa de crescimento inicial das culturas, maiores valores em solos adubados com fertilizante mineral na primeira cultura e maiores valores em solos adubados com adubação verde (isolado ou combinado) na segunda cultura.

ABSTRACT

PERALTA-ANTONIO, Nain, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2018. **Contribution of velvet-bean in the supply of macronutrients for the production of broccoli.** Adviser: Ricardo Henrique Silva Santos.

Green manure can be a viable agronomically, economical, social and environmental alternative to partially or totally replace synthetic fertilizers. To test the hypotheses that the effects promoted by mineral fertilization on yield, dry matter gain, accumulation and nutrient utilization efficiency in successive crops and soil solution characteristics can be obtained by green manure (alone or combined), experiments were carried out with objectives to evaluate the response of growth, yield, dry matter gain, accumulation and utilization efficiency of macronutrients in the successive broccoli and brachiaria crops, managed with velvet-bean and mineral fertilization applied alone or in combination; to evaluate the changes of the active acidity, electrical conductivity and N, P, K, Ca, Mg and S contents of the soil solution with the different treatments of fertilization in the first crop; as well as to evaluate the residual effect of the treatments on dry matter production, accumulation and utilization efficiency of macronutrient and soil solution characteristics in the second crop (brachiaria grass). The effect on yield, dry matter gain, nutrient accumulation, recovery efficiency (RE) and efficiency of use (UE) in broccoli was obtained with green manure (5 to 10 t/ha of velvet-bean) and control in first crops. Lower growth, yield, dry matter and RE of macronutrients were obtained with green fertilization (5 or 10 t/ha of velvet-bean) compared to mineral fertilization in the first crop. Green manure in conjunction with mineral fertilizer promotes growth of plants, dry matter, accumulation, RE and UE of nutrients was similar to that obtained mineral fertilization at high dose (100% or 200% of the recommended dose). Green manure (alone or combined) promote residual effect in the second crop and demostred medium-term effects. Higher electrical conductivity and N, K, Ca, Mg and S content in the soil solution occurs in the initial growth stage of the crops, higher values in soils fertilized with mineral fertiilization in the first crop and higher values in soils fertilized with green manure (alone or combined) in the second culture.

INTRODUÇÃO GERAL

O brócolis de cabeça única têm ganhado importância no Brasil nos últimos anos, devido à sua utilização na culinária e pelo conteúdo de compostos relacionados com a saúde. Novas variedades estão sendo ofertadas no mercado e espera-se que sua produção continue em aumento nos próximos anos, devido a que, (Gomes et al., 2016). Grandes quantidades de nutrientes são requeridos pelo brócolis durante seu ciclo produtivo. Antes dos 30 após o transplante há a maior taxa de crescimento (6,8 g/m/dia), a alocação de matéria seca da parte aérea se divide entre as folhas (entre 68% e 83%) e caule (entre 17% e 32%) e as plantas apresentam a menor velocidade de absorção de nutrientes (0,5, 0,4 e 0,4 y kg/ha/dia de N, K e Ca, respectivamente. Entre 31 e 53 após o transplante, a partição de matéria seca se divide entre a folha (81% da MS total), caule (18% da MS total) e inflorescência (1% da MS total) e aumenta a velocidade de absorção de nutrientes (2,3, 0,3, 2,0, 2,4 e 0,3 kg/ha/dia de N, P, K, Ca e Mg). Entre 51 e 71 após o transplante, 59%, 20% e 21% da matéria seca total corresponde à folha, caule e inflorescência e velocidade de absorção de N, P, K, Ca e Mg de 5,3, 0,7, 5,3, 3,4 e 0,4 kg/ha/dia, respectivamente. Posterior aos 71 dias do transplante, 49%, 19% e 39% da matéria seca total corresponde à folha, caule e inflorescência e velocidade de absorção do N, P, K, Ca e Mg alcança valores de 4,9, 0,9, 5,2, 6,1 e 0,3 kg/ha/dia (Rincón et al.,1999).

As plantas de brócolis podem acumular na parte aérea ao redor de 4,37, 0,20, 3,34, 1,56, 0,32 e 0,24 g/planta de N, P, K, Ca, Mg e S (Cecílio Filho et al., 2017) e dependendo do cultivar, das características edafoclimáticas e do manejo agrônômico, a quantidade de nutrientes acumulado na parte aérea da planta pode alcançar valores que flutuam entre 244 e 472 kg de N, entre 29 e 67 kg de P, entre 241 e 624 kg de K, entre 221 e 330 kg de Ca e entre 23 e 45 kg de Mg. Durante a colheita, do total de nutrientes acumulados na parte aérea, entre o 13,0% e 16,7% de N, entre o 13,8% e 17,2% do P, entre 8,6% e 12,0% de K, entre 2,6% e 5,0% de Ca e entre 6,5% e 6,7% do Mg é removido junto com a inflorescência (Magnifico et al., 1989; Rincón et al.,1999). Por isso as práticas de adubação são indispensáveis para esta cultura.

Em sistema de produção convencional a principal fonte de nutrientes para a cultura são os fertilizantes minerais, enquanto que para sistemas onde se procura menor impacto ambiental a principal fonte de nutrientes são os fertilizantes orgânicos. O efeito da adubação sobre o crescimento, rendimento, produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes é influenciado por diversos fatores, tais como o cultivar, tipo e dose de

adubação e características do clima e do solo. De forma geral, tem-se relatos de que o aumento na dose de nutrientes, até certo ponto, resulta em plantas com maior área foliar, número de folhas, produção, ganho de matéria seca e acúmulo de nutrientes (Basumatary et al., 2017; El-Bassiony et al., 2017; Kumar et al., 2017; Moreno-Cornejo et al., 2017; Lozano Fernandez et al., 2018).

A maioria das pesquisas focadas no manejo nutricional de brócolis tem sido realizadas com adubação mineral. Contudo, a necessidade atual de reduzir o risco de poluição ambiental sem afetar a produção de alimentos, tem levado à procura de alternativas para reduzir ou substituir parcial ou totalmente à fertilização mineral. Entre alternativas de adubação se encontra a adubação verde, sobressaindo diferentes espécies de leguminosas, devido à sua capacidade de produção de biomassa, composição mineral e sua capacidade de incorporar de N atmosférico ao sistema de produção (Thériault et al., 2009; Freitas et al., 2011; Valadares et al., 2016; Diniz et al., 2017a).

Existem relatos de que doses crescentes de adubação verde (0 a 12 t/ha de matéria seca) afetam o crescimento, produção, acúmulo de matéria seca e nutrientes na cultura de brócolis, principalmente nas doses mais altas (Siqueira et al., 2009; Diniz et al., 2010; Diniz et al., 2015).

Em regiões com solos com baixa fertilidade ou com restrição hídrica, a produção de biomassa do adubo verde pode ser limitada, sendo insuficiente para fornecer quantidades significativas pela cultura subsequente. Neste caso a adubação verde atua como complemento à adubação mineral ou orgânica para promover resultados similares ou maiores que os conseguidos com a aplicação isolada (Diniz et al., 2010; Subaedah et al., 2016; Xie et al., 2016). Assim altos rendimentos e maior teor e acúmulo de nutrientes utilizando menor quantidade de fertilizantes sintéticos podem ser atingidos (Dabin et al., 2016; Tejada et al., 2008).

Os nutrientes fornecidos pelas adubações favorecem às culturas, mas em alguns casos, aplicações inadequadas podem aumentar a probabilidade de poluição ambiental, tanto em solo quanto em depósitos de água. O efeito da adubação é avaliado através de seu efeito na produção, mas, este parâmetro pode ter pouca precisão, pois a produção pode ser afetada por outros fatores bióticos ou abióticos, além de não indicar quais possíveis mecanismos estariam envolvidos nos seus efeitos. Uma alternativa de avaliação é a utilização de índices de eficiências associados aos nutrientes aplicados. Através deles é possível conhecer como o adubo afeta a absorção de nutrientes e como a

planta utiliza os nutrientes absorvidos para a produção de matéria seca (Bueren e Struik, 2017).

Entre os diferentes índices de eficiência relatados na literatura a eficiência de recuperação, que indica a quantidade de nutriente que foi recuperado pela planta por cada unidade de nutriente aplicado, a informação fornecida ajuda a entender a dinâmica da reserva nutricional do solo e as possíveis perdas dos nutrientes aplicados. A eficiência de utilização que indica a quantidade de matéria seca produzida por cada unidade de nutriente absorvido e é utilizado para entender como muda a capacidade da planta para utilizar os nutrientes em função do tipo ou dose de adubo utilizado (Fageria e Baligar, 2005; Moll et al., 1982).

Estudos onde foram avaliados diversos índices de eficiência na cultura de brócolis têm sido desenvolvidos com adubação mineral e particularmente na eficiência de utilização do N e P (Castellanos et al., 2001; Bakker et al., 2009; Erdem et al., 2010; El-Bassiony et al., 2017; Hussain et al., 2016; Hussain et al., 2017; Vågen et al., 2007; Yadav et al., 2014; Zebarth et al., 1995). No caso da adubação verde são escassos os trabalhos que avaliam a eficiência dos macronutrientes. Diniz et al. (2015) e Diniz et al. (2017b) avaliaram a eficiência fisiológica e eficiência de recuperação de N com a utilização de *Crotalaria juncea* e *Mucuna pruriens*, respectivamente. Tomando em conta que com os adubos verdes, além do fornecimento N, também é possível fornecer quantidades potencialmente importantes dos demais macronutrientes (Almeida e Câmara, 2011; Barbosa et al., 2011; Padovan et al., 2011), é importante conhecer a eficiência desses outros macronutrientes e comparar com adubação mineral.

O efeito da adubação mineral ou adubação verde inicialmente ocorre nas características do solo. Especificamente na solução do solo pode ter suas características modificadas e conhecer seu comportamento melhorará a compreensão dos efeitos que posteriormente influenciará na produção agrícola e no ambiente (Miranda et al., 2006).

A dinâmica dos nutrientes da solução do solo apresenta variações espaciais e temporais em função da interação com os componentes do solo, necessidade nutricional da cultura e fornecimento de nutrientes através de adubação (Miranda et al., 2006). Embora as adubações aumentem a reserva de nutriente no solo, esse aumento pode não ser refletido na solução do solo, uma vez que os nutrientes podem ser perdidos por lixiviação, escoamento superficial ou volatilização ou incluso imobilizado rapidamente pelos microrganismos e minerais do solo (Heuck et al., 2015; Huang et al., 2017; Li et al., 2017; Roy et al., 2017).

O crescimento da cultura é outro fator que influencia a solução solo. Há pouca influência na fase inicial do crescimento da planta, pela sua menor capacidade de absorção de nutrientes. No caso de brócolis, sua maior velocidade de absorção de N, P, K, Ca, Mg e S ocorre quando a planta alcança seu máximo crescimento da parte aérea (Rincón et al., 1999), pelo que se espera maior efeito sobre a solução do solo nesta etapa fonológica.

A dose e tipo de adubo utilizado também podem modificar as características da solução do solo (Carmo et al., 2016). Nutrientes fornecidos através da adubação verde estão principalmente na forma orgânica e para serem liberados à solução do solo precisam passar pelo processo de mineralização, que por sua vez, será influenciado pela ação dos microrganismos (Li et al., 2017). Durante a decomposição dos resíduos orgânicos são liberados diversos compostos orgânicos de baixo peso molecular (como os ácidos cítrico, oxálico, succínico, malônico e maleico) e cátions como K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+ , os quais têm alta capacidade de reagir com o H^+ , pelo que se espera aumento do pH da solução do solo (Adeleke et al., 2017; Brady e Weil, 2013). Já para nutrientes fornecidos com adubação mineral, por estarem na forma inorgânica incrementam rapidamente sua concentração na solução do solo, resultando no aumento da condutividade elétrica pela maior concentração de íons (Oliveira et al., 2011). Quando são utilizados adubos nitrogenados como a ureia ou sulfato de amônia espera-se diminuição do pH da solução do solo (Brady e Weil, 2013).

Em sistemas de cultivos sucessivos de culturas de ciclo curto, os nutrientes fornecidos através das práticas de adubação podem ser utilizados pela primeira cultura ou pela(s) cultura(s) subsequente(s). Ao fato de que os nutrientes remanescentes no solo sejam são aproveitados pelas culturas subsequentes é conhecido como efeito residual. Dependendo das características do solo, do tipo de adubo utilizado, da dose aplicada, da quantidade de nutrientes removidos pela primeira cultura e da quantidade de nutrientes remanescentes no solo será a magnitude do efeito residual na cultura subsequente (Båth et al., 2006; Diniz et al., 2017b; Silva et al., 2006; Suarez-Tapia et al., 2018). Avaliar o efeito residual permite conhecer o efeito das adubações através do tempo o que contribui para a melhor compreensão do efeito da adubação a longo prazo (Sugihara et al., 2016).

Diante do exposto, as hipóteses deste trabalho são que o efeito da adubação verde dependerá da dose utilizada; maior concentração de nutrientes na solução do solo será obtido com adubação mineral na primeira cultura; há diferente efeito residual

quando uma mesma dose de nutrientes é aplicada com adubação mineral ou adubação verde. Menor efeito residual espera-se com adubação mineral. Já para adubação verde espera-se maior efeito residual em comparação com adubação mineral.

Para verificar se a adubação verde promove efeito similar a adubação mineral um experimento foi conduzido com o objetivo de avaliar o efeito da adubação verde (pura ou combinada com adubação mineral) e adubação mineral sobre crescimento, produção, matéria seca, acúmulo e eficiência de nutrientes no cultivo de brócolis de cabeça única (Capítulo 1).

Um segundo experimento foi conduzido com o objetivo de avaliar o crescimento, produtividade, matéria seca produzida, eficiência de recuperação e utilização dos macronutrientes aplicados; assim como as mudanças da acidez ativa, condutividade elétrica e teor de macronutrientes da solução de solo em cultivo de brócolis não adubado ou adubado com mucuna cinza (pura ou combinada) e adubação mineral, em doses diferentes ao avaliado no primeiro experimento (Capítulo 2).

Com o objetivo de avaliar o efeito residual dos tratamentos de adubação (aplicado inicialmente na primeira cultura de brócolis) em culturas subsequentes, capim braquiária foi semeado sem adubação nos mesmos vasos onde foram estabelecidos os brócolis, nos dois experimentos. O efeito residual dos tratamentos avaliou-se sobre a produção de matéria seca, acúmulo, eficiência de recuperação e eficiência de utilização do N, P, K, Ca, Mg e S na braquiária. Para conhecer o efeito dos tratamentos nas duas culturas, a matéria seca produzida, acúmulo, eficiência de recuperação e eficiência de utilização do N, P, K, Ca, Mg e S foi determinada, considerando conjuntamente as culturas de brócolis e a braquiária. Com o objetivo de conhecer o efeito residual da adubação verde (pura ou combinada) e adubação mineral sobre as características da solução do solo, medições semanais foram feitas durante o cultivo da braquiária do segundo experimento (Capítulo 3).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adeleke, R., C. Nwangburuka, and B. Oboirien. 2017. Origins, roles and fate of organic acids in soils: A review. *South African Journal of Botany* 108: 393–406.
- Imeida, K., and F.L.A. Câmara. 2011. Produtividade de biomassa e acúmulo de nutrientes em adubos verdes de verão, em cultivos solteiros e consorciados. *Revista Brasileira de Agroecologia* 6(2): 55–62.

- Bakker, C.J., C.J. Swanton, and A.W. McKeown. 2009. Broccoli growth in response to increasing rates of pre-plant nitrogen. II. Dry matter and nitrogen accumulation. *Canadian Journal of Plant Science* 89(3): 539–548.
- Barbosa, C.E.M., E. Lazarini, P.R.F. Picoli, and S. Ferrari. 2011. Determinação da massa seca, teor de nutrientes e cobertura do solo de espécies semeadas no outono-inverno. *Revista Brasileira de Ciência Agrárias* 6(2): 265–272.
- Basumatary, P., B.D. Narzary, D.B. Phookan, and A. Basumatary. 2017. Combined effect of nitrogen, phosphorus, potassium and boron on yield and quality of broccoli [*Brassica oleraceae* (L.) var. *italica*]. *Research on Crops* 18(3): 468–471.
- Båth, B., J. Malgeryd, A.R. Stintzing, and H. Åkerhielm. 2006. Surface mulching with red clover in white cabbage production. nitrogen uptake, ammonia losses and the residual fertility effect in ryegrass. *Biological Agriculture & Horticulture* 23(3): 287–304.
- Brady, N.C., and R.R. Weil. 2013. *Elementos da natureza e propriedades dos solos*. 3a ed. Bookman Editora.
- Bueren, E.T.L. van, and P.C. Struik. 2017. Diverse concepts of breeding for nitrogen use efficiency. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 37(5): 50.
- Carmo, D.L. do, C.A. Silva, J.M. de Lima, G.L. Pinheiro, D.L. do Carmo, C.A. Silva, J.M. de Lima, and G.L. Pinheiro. 2016. Electrical Conductivity and Chemical Composition of Soil Solution: Comparison of Solution Samplers in Tropical Soils. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 40: 1–16.
- Castellanos, J.Z., S. Villalobos, J.A. Delgado, J. Muñoz-Ramos, A. Sosa, P. Vargas, I. Lazcano, E. Alvarez-Sanchez, and S.A. Enriquez. 2001. Use of best management practices to increase nitrogen use efficiency and protect environmental quality in a broccoli-corn rotation of Central Mexico. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 32(7–8): 1265–1292.
- Cecílio Filho, A.B., V.M.V. Carmona, and A.A.S. Junior. 2017. Broccoli growth and nutrient accumulation. *Científica* 45(1): 95–104.
- Dabin, Z., Y. Pengwei, Z. Na, Y. Changwei, C. Weidong, and G. Yajun. 2016. Contribution of green manure legumes to nitrogen dynamics in traditional winter

- wheat cropping system in the Loess Plateau of China. *European Journal of Agronomy* 72: 47–55.
- Diniz, E.R., A.R. Almeida, U.J.B.M. Mattos, T.O. Vargas, W.D. Pereira, and R.H.S. Santos. 2010. Efeito de doses de adubo verde no crescimento e produção de brócolis orgânico. *Horticultura Brasileira* 28: S2819–S2826.
- Diniz, E.R., T. de O. Vargas, A.F. Guedes, R.H.S. Santos, S. Urquiaga, and A.J. Modolo. 2017a. Doses of *Crotalaria juncea*: Residual effect on zucchini and maize crop in sequence to broccoli. *Revista Ceres* 64(6): 600–606.
- Diniz, E.R., T.O. Vargas, W.D. Pereira, R.H.S. Santos, S. Urquiaga, and A.J. Modolo. 2017b. Levels of *Crotalaria juncea* on growth, production, recovery and efficiency of the use of N in broccoli. *Horticultura Brasileira* 35: 395–401.
- Diniz, E.R., T.O. Vargas, R.H.S. Santos, A.R. Almeida, and U.J.B.M. Mattos. 2015. Crescimento e produção de brócolis adubado com doses de mucuna-cinza em casa de vegetação. *Semina: Ciências Agrárias* 36(3): 1277–1286.
- El-Bassiony, A.E.-M.M., S.I. Shedeed, Z.F. Fawzy, and F.S. Abd El-Aal. 2017a. Influence of different levels of phosphorus supply on growth, yield and quality of some broccoli varieties under sandy soil. *Bioscience Research* 14(3): 694–704.
- El-Bassiony, A.E.-M.M., S.I. Shedeed, Z.F. Fawzy, and F.S. Abd El-Aal. 2017b. Influence of different levels of phosphorus supply on growth, yield and quality of some broccoli varieties under sandy soil. *Bioscience Research* 14(3): 694–704.
- Erdem, T., L. Arın, Y. Erdem, S. Polat, M. Deveci, H. Okursoy, and H.T. Gültaş. 2010. Yield and quality response of drip irrigated broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) under different irrigation regimes, nitrogen applications and cultivation periods. *Agricultural Water Management* 97(5): 681–688.
- Fageria, N.K., and V.C. Baligar. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy* 88: 97–185.
- Freitas, G.B. de, M.S. Rocha, R.H.S. Santos, L.M. da S. Freitas, and L. de A. Resende. 2011. Broccoli yield in response to top-dressing fertilization with green manure and biofertilizer. *Revista Ceres* 58(5): 645–650.

- Gomes, G.P., L.S. Gonçalves, A. Sekyia, M.P. Euzebio, R.P. Robaina, and G.D. Marinho. 2016. Registro e proteção de olerícolas no Brasil, período de 1998 a 2014. *Horticultura Brasileira* 34(1): 19–25.
- Heuck, C., A. Weig, and M. Spohn. 2015. Soil microbial biomass C:N:P stoichiometry and microbial use of organic phosphorus. *Soil Biology and Biochemistry* 85: 119–129.
- Huang, J., Y. Duan, M. Xu, L. Zhai, X. Zhang, B. Wang, Y. Zhang, S. Gao, and N. Sun. 2017. Nitrogen mobility, ammonia volatilization, and estimated leaching loss from long-term manure incorporation in red soil. *Journal of Integrative Agriculture* 16(9): 2082–2092.
- Hussain, M.J., A.J.M.S. Karim, A.R.M. Solaiman, M.S. Islam, and m. rahman. 2016. Effect of urea super granule and prilled urea on yield and yield attributes of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica* L.). *The Agriculturists* 14(2): 95–112.
- Hussain, M.J., A.J.M.S. Karim, A.R.M. Solaiman, M.S. Islam, and M. Rahman. 2017. Effect of different levels of urea super granule and prilled urea on the crop quality, nutrient uptake and soil nutrient status of broccoli. *The Agriculturists* 15(2): 24–39.
- Kumar, P., M.L. Bhardwaj, D. Kumar, R. Kumar, D. Tripathi, K.S. Thakur, N. Bharat, N. Gautam, S. Kumar, and B. Dogra. 2017. Comparative performance of organic and inorganic fertilizers on plant growth, head yield, soil health and severity of black rot in sprouting broccoli cv Green Head. *International Journal of Farm Sciences* 7(1): 69–76.
- Li, X.G., B. Jia, J. Lv, Q. Ma, Y. Kuzyakov, and F. Li. 2017. Nitrogen fertilization decreases the decomposition of soil organic matter and plant residues in planted soils. *Soil Biology and Biochemistry* 112: 47–55.
- Lozano Fernandez, J., L.F. Orozco Orozco, and L.F. Montoya Munera. 2018. Efecto de la fertilización nitrogenada, fosfórica y potásica sobre el rendimiento de cultivares de brócoli. 2018 71(1): 8375–8386.
- Magnifico, V., V. Lattanzio, A. Elia, and M. Molfetta. 1989. Growth and nutrient removal by broccoli raab. *Advances in Horticultural Science* 3: 68–72.

- Miranda, J., L. Marciano da Costa, H.A. Ruiz, and R. Einloft. 2006. Composição química da solução de solo sob diferentes coberturas vegetais e análise de carbono orgânico solúvel no deflúvio de pequenos cursos de água. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 30:633-647.
- Moll, R.H., E.J. Kamprath, and W.A. Jackson. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal* 74: 562–564.
- Moreno-Cornejo, J., A. Caballero-Lajarín, Á. Faz, and R. Zornoza. 2017. Pepper crop residues and chemical fertilizers effect on soil fertility, yield and nutritional status in a crop of *Brassica oleracea*. *Journal of soil science and plant nutrition* 17(3): 648–661.
- Oliveira, M.I.L. de, T. Becquer, W.J. Goedert, L. Vilela, and P. Deleporte. 2011. Ion concentrations in the solution of an Oxisol under different management systems. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 46(10): 1291–1300.
- Padovan, M.P., I.S. Motta, L.F. Carneiro, M.R. Moitinho, and S.F.L. Fernandes. 2011. Acúmulo de fitomassa e nutrientes e estágio mais adequado de manejo do feijão de-porco para fins de adubação verde. *Revista Brasileira de Agroecologia* 6(3): 182–190.
- Rincón, L., J. Sáez, J.A. Perez, M.D. Gomez, and C. Pellicer. 1999. Crecimiento y absorción de nutrientes del brócoli. *Investigación agraria. Producción y Protección Vegetales* 14(1–2): 225–236.
- Roy, E.D., E. Willig, P.D. Richards, L.A. Martinelli, F.F. Vazquez, L. Pegorini, S.A. Spera, and S. Porder. 2017. Soil phosphorus sorption capacity after three decades of intensive fertilization in Mato Grosso, Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 249: 206–214.
- Silva, E.C. da, T. Muraoka, S. Buzetti, M.E. da C. Veloso, and P.C.O. Trivelin. 2006. Aproveitamento do nitrogênio (¹⁵N) da crotalária e do milho pelo milho sob plantio direto em Latossolo Vermelho de Cerrado. *Ciência Rural* 36(3): 739–746.

- Siqueira, R.G., R.H.S. Santos, D. Perigolo, S. Urquiaga, R.G.T. Ribas, and L.A. Peternelli. 2009. Nutrição nitrogenada e produção de brócolis cultivado com diferentes doses de mucuna em duas épocas. *Revista Ceres* 56(6): 826–833.
- Suarez-Tapia, A., I.K. Thomsen, J. Rasmussen, and B.T. Christensen. 2018. Residual N effect of long-term applications of cattle slurry using winter wheat as test crop. *Field Crops Research* 221: 257–264.
- Subaedah, S., A. Aladin, and Nirwana. 2016. Fertilization of nitrogen, phosphor and application of green manure of crotalaria juncea in increasing yield of maize in marginal dry land. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 9: 20–25.
- Sugihara, Y., H. Ueno, T. Hirata, M. Komatsuzaki, and H. Araki. 2016. Contribution of N derived from a hairy vetch incorporated in the previous year to tomato n uptake under hairy vetch-tomato rotational cropping system. *The Horticulture Journal* 85(3): 217–223.
- Tejada, M., J.L. Gonzalez, A.M. García-Martínez, and J. Parrado. 2008. Effects of different green manures on soil biological proprieties and maize yield. *Bioresource Technology* 99: 1758–1767.
- Thériault, F., K.A. Stewart, and P. Seguin. 2009. Use of perennial legumes living mulches and green manures for the fertilization of organic broccoli. *International Journal of Vegetable Science* 15(2): 142–157.
- Vågen, I.M., T.S. Aamlid, and A.O. Skjelvåg. 2007. Nitrogen fertilization to broccoli cultivars at different planting times: Yield and nitrogen use. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science* 57: 35–44.
- Valadares, R.V., L. de Ávila- Silva, R. da S. Teixeira, R.N. de Sousa, and L. Vergütz. 2016. Green Manures and crop residues as source of nutrients in tropical environment. p. 51–84. *In* Larramendy, M.L., Soloneski, S. (eds.), *Organic Fertilizers - From Basic Concepts to Applied Outcomes*. 1st ed. InTech, Rijeka.
- Xie, Z., S. Tu, F. Shah, C. Xu, J. Chen, D. Han, G. Liu, H. Li, I. Muhammad, and W. Cao. 2016. Substitution of fertilizer-N by green manure improves the sustainability of yield in double-rice cropping system in south China. *Field Crops Research* 188: 142–149.

- Yadav, G.S., M. Datta, S. Babu, C. Debnath, S.N. Bhowmik, M.A. Ansari, and S.V. Ngachan. 2014. Effect of zero tillage basin planting and N nutrition on growth, yield, water productivity and nitrogen use efficiency of late planted broccoli (*Brassica oleracea* var *italica*) in North East Hilly Region of India. *The Indian Journal of Agricultural Sciences* 84(11): 1434–1438.
- Zebarth, B.J., P.A. Bowen, and P.M.A. Toivonen. 1995. Influence of nitrogen fertilization on broccoli yield, nitrogen accumulation and apparent fertilizer-nitrogen recovery. *Canadian Journal of Plant Science* 75(3): 717–725.

CAPÍTULO 1. ADUBAÇÃO VERDE E ADUBAÇÃO MINERAL: EFEITO NO CRESCIMENTO, PRODUÇÃO, ACÚMULO E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE NUTRIENTES EM BRÓCOLIS

RESUMO: A adubação verde é uma alternativa à necessidade atual de reduzir a dependência à adubação mineral e aumentar a produtividade das culturas. O objetivo foi avaliar o efeito da adubação verde (isolado ou em conjunto com adubação mineral) e adubação mineral sobre crescimento, produção, índice de colheita (IC), produção de matéria seca (PMS), acúmulo, eficiência de recuperação (ER) e eficiência de utilização (EU) dos macronutrientes no cultivo de brócolis. Os tratamentos foram: 1) controle, sem adubação; 2) 100% da dose recomendada aplicado com adubação mineral (AM100); 3) 5 t/ha de mucuna cinza (MC5); 4) adubação mineral igual aos nutrientes fornecidos com MC5 (AM=MC5); 5) MC5 + adubação mineral igual aos nutrientes fornecidos com AM100 (MC5+AM=AM100). Foram avaliados o crescimento, produção, IC, PMS (folha, pecíolo, caule, inflorescência, raiz e total), acúmulo de nutrientes, ER e EU de N, P, K, Ca, Mg e S. O crescimento de planta, produção, IC, PMS (da folha, pecíolo, caule, inflorescência e raiz) e acúmulo de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) de plantas adubadas com MC5 não se diferenciaram do controle. Menor crescimento, produção, IC, PMS, acúmulo, ER e EU de macronutrientes obteve-se com MC5 em comparação com AM=MC5. Menor produção, IC, PMS (do caule, inflorescência e total), acúmulo de N, Ca e Mg e maior ER (de N e Ca) e EU (de N, Ca e Mg) obteve-se com MC5+AM=AM100 em comparação com AM100. Conclui-se que a mucuna cinza quando aplicada em dose de 5 t/ha, não afeta o crescimento, produção, PMS e acúmulo de nutrientes. A adubação mineral promove maior ER de macronutrientes em comparação com adubação verde, com a mesma quantidade de nutrientes fornecida. A adubação conjunta mineral e adubo verde promove crescimento de plantas, PMS (de folha, caule e raiz) acúmulo, ER e EU de P, K e S semelhante ao obtido adubação mineral na dose recomendada.

Palavras chave: *Brassica oleracea* var. *itálica*, *Mucuna cinerea*, sin. *Stizolobium cinereum*, nitrogênio, enxofre, área de dossel

ABSTRACT: Green manure is an alternative to the current need to reduce dependence on mineral fertilization and increase crop productivity. The objective of this study was to evaluate the effect of green manure (isolated or in conjunction with mineral fertilization) and mineral fertilization on growth, yield, harvest index (HI), dry matter

production (DMP), accumulation, recovery efficiency (RE) and utilization efficiency (UE) of macronutrients in broccoli crop. The treatments were: 1) control, without fertilization; 2) 100% of the recommended dose applied with mineral fertilization (MF100); 3) 5 t/ha of velvet-bean (VB5); 4) mineral fertilization equal to the nutrients supplied with VB5 (AM=VB5); 5) VB5 + mineral fertilization equal to the nutrients supplied with MF100 (VB5+MF=MF100). Growth, yield, HI, DMP (leaf, petiole, stem, inflorescence, root and total), nutrient accumulation, RE and UE of N, P, K, Ca, Mg and S were evaluated. Plant growth, yield, HI, DMP (leaf, petiole, stem, inflorescence and root) and accumulation of nutrients (N, P, K, Ca, Mg and S) of plants fertilized with VB5 did not differ from the control. Lower growth, yield, HI, DMP, accumulation, RE and UE of macronutrients were obtained with VB5 compared to MF=VB5. Lower yield, HI, DMP (of stem, inflorescence and total), accumulation of N, Ca and Mg and higher RE (of N and Ca) and UE (of N, Ca and Mg) were obtained with VB5+MF=MF100 compared to MF100. It is concluded that the velvet-bean when applied at a dose of 5 t/ha, does not affect the growth, production, DMP and accumulation of nutrients. Mineral fertilization promotes higher RE of macronutrients compared to green manure, with the same amount of nutrients supplied. The green manure applied with mineral fertilization promoted plant growth, DMP (leaf, stem and root) accumulation, RE and UE of P, K and S similar to that obtained mineral fertilization at the recommended dose.

Keywords: *Brassica oleracea* var. *itálica*, *Mucuna cinerea*, sin. *Stizolobium cinereum*, nitrogen, sulfur, canopy area

1. INTRODUÇÃO

O brócolis de cabeça única é uma cultura demandante de nutrientes durante seu ciclo produtivo. A maior demanda nutricional inicia aproximadamente aos 15 dias após o transplante e se mantém até o colheita da inflorescência. Após duas semanas do transplante há incremento da taxa de crescimento e acúmulo de nutrientes nas folhas e pecíolo, posteriormente ocorre acúmulo de nutrientes na inflorescência e também aumenta o acúmulo de nutrientes no caule (Carranza et al., 2008; Cecílio Filho et al., 2017).

Tem-se comprovado que o crescimento, produção e acúmulo de nutrientes em brócolis pode ser influenciado pelo tipo e dose de adubo utilizado. O aumento na dose de nutrientes, até certo ponto, resulta em plantas com maior área foliar, número de folhas, produção, ganho de matéria seca e acúmulo de nutrientes (Basumatary et al.,

2017; El-Bassiony et al., 2017; Kumar et al., 2017; Lozano Fernandez et al., 2018; Moreno-Cornejo et al., 2017).

A maioria das pesquisas focadas no manejo nutricional do brócolis tem sido realizada com adubação mineral. Contudo, nos últimos anos o interesse por práticas mais conservacionistas gerou diversas pesquisas focados em insumos orgânicos para a nutrição da cultura, sendo a adubação verde uma dessas alternativas, principalmente espécies leguminosas pela sua capacidade de fixar nitrogênio atmosférico e incorporá-lo ao sistema de produção (Diniz et al., 2017; Freitas et al., 2011; Thériault et al., 2009). Embora, existam trabalhos com adubação verde, o conhecimento gerado até o momento é insuficiente para explicar as diferentes respostas da cultura, pois fatores como dose utilizada, qualidade do adubo utilizado, clima e características químicas, físicas e biológicas do solo podem influenciar as respostas da cultura.

Doses crescentes de adubação verde (0 a 12 t/ha de matéria seca) afetam o crescimento, produção, acúmulo de matéria seca e nutrientes na cultura de brócolis, principalmente nas doses mais altas (Diniz et al., 2010; Diniz et al., 2015; Siqueira et al., 2009). Outros estudos têm relatado que a aplicação conjunta de matéria orgânica (na forma de resíduos de culturas, esterco, composto ou vermicomposto) e fertilizante mineral tem efeito superior à aplicação isolada de cada tipo de adubo e, ainda, os efeitos podem ser similares às doses recomendadas com adubação mineral para as culturas (Ghugre et al., 2007; Blind et al., 2015; Kumar et al., 2017; Lodhi et al., 2017; Meena et al., 2017; Moreno-Cornejo et al., 2017).

O efeito da adubação é avaliado através de seu efeito na produção. Contudo este parâmetro pode ter pouca precisão, pois a produção pode ser afetada por outros fatores bióticos ou abióticos, além de não indicar quais possíveis mecanismos estariam envolvidos nesses efeitos. Uma alternativa de avaliação é a utilização de índices de eficiências associados aos nutrientes aplicados. Através deles é possível conhecer como o adubo afeta a produção, a absorção de nutrientes e como a planta utiliza os nutrientes absorvidos para a produção de matéria seca (Bueren e Struik, 2017). A eficiência de recuperação serve para conhecer a quantidade de nutriente que foi recuperado pela planta por cada unidade de nutriente aplicado. A eficiência de utilização indica a quantidade de matéria seca produzida por cada unidade de nutriente absorvido (Fageria e Baligar, 2005; Moll et al., 1982).

Para o brócolis, as avaliações dos índices de eficiência tem focado em fertilizantes minerais solúveis e particularmente na eficiência de utilização do N e P

(Bakker et al., 2009; Castellanos et al., 2001; Erdem et al., 2010; El-Bassiony et al., 2017; Hussain et al., 2016; Hussain et al., 2017; Vågen et al., 2007; Yadav et al., 2014; Zebarth et al., 1995). Um número menor de pesquisas avaliou a eficiência de adubos orgânicos, como composto para avaliar a eficiência de P (Buchanan e Gliessman, 1990) e resíduos de culturas para avaliar a eficiência de N (Øvsthus et al., 2017) e também de adubação verde para avaliar a eficiência de N (Diniz et al., 2015; Diniz et al., 2017).

Escassos trabalhos têm avaliado a eficiência dos nutrientes com adubação verde. Os relatos de Diniz et al. (2015) e Diniz et al. (2017) avaliaram a eficiência fisiológica e eficiência de recuperação de N com a utilização de *Crotalaria juncea* e *Mucuna pruriens*. Tomando em conta que os adubos verdes, além de fornecer N, também é possível fornecer quantidades potencialmente importantes dos outros macronutrientes (Almeida e Câmara, 2011; Barbosa et al., 2011; Padovan et al., 2011), é importante conhecer a eficiência dos outros macronutrientes com este tipo de adubação quando comparado com adubação mineral.

Diante do exposto a presente pesquisa teve como objetivo avaliar o efeito da adubação verde (isolado ou em conjunto com adubação mineral) sobre crescimento, produção, matéria seca, acúmulo e eficiência de nutrientes no cultivo de brócolis de cabeça única.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Adubo verde

Mucuna cinza (*Mucuna cinerea*, sin. *Stizolobium cinereum*), semeada em campo na Universidade Federal de Viçosa (20°45'14" S e 42°52'53" W) e colhida ao momento da floração (15/04/2016), foi utilizada como adubo verde. Após a colheita, a biomassa foi cortada em segmentos de 8 cm, secada em estufa e armazenada até o momento da sua utilização. As características químicas da mucuna cinza foram determinadas a partir de amostras representativas de folhas (8,13 de relação C/N e 43,1, 5,3, 0,35, 1,2, 1,64, 0,23, 0,23 dag/kg MS de carbono orgânico, N, P, K, Ca, Mg e S) e caule (19,9 de relação C/N e 39,8, 2,0, 0,22, 1,4, 0,74, 0,11, 0,10 e 19,9 dag/kg MS de carbono orgânico, N, P, K, Ca, Mg e S).

2.2 Cultivar de brócolis

Brócolis de cabeça única BRO 68[®] foi semeado (17/08/2016) em bandejas de isopor e mantidas em casa de vegetação. Mudanças com quatro folhas expandidas foram transplantadas (23/09/2016) individualmente em vasos de plástico de 20 L preenchidos

com solo (pH de 5,4, teor de 5,7, 90, 17,5 mg dm⁻³ de P, K, S, teor de 2,3, 0,4, 0,0, 2,48, 2,93, 2,93, 5,41 e 54 cmol_c dm⁻³ de Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, H+Al, SB, t, T e V e 15,0 de P-rem).

2.3 Delineamento experimental e tratamentos

Com base na análise do solo e as recomendações para a cultura do brócolis (Fontes, 1999) definiu-se os tratamentos (com base em MS): 1) controle, sem adubação; 2) 100% da dose recomendada aplicado com adubação mineral (AM100); 3) 5 t/ha de mucuna cinza (MC5); 4) adubação mineral com mesma quantidade de nutrientes fornecida com MC5 (AM=MC5); 5) MC5 + adubação mineral com mesma quantidade de nutrientes fornecida com AM100 (MC5+AM=AM100). Doses de 280, 400, 100, 160, 97,2 e 30 kg/ha de N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg e S foram fornecidas com AM100 e MC5+AM=AM100, respectivamente. Doses de 182,5, 32,5, 78,5, 59,5, 8,5 e 8,25 kg/ha de N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg e S foram fornecidas com MC5 e AM=MC5, respectivamente.

Foi utilizado o delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. Uma planta por vaso considerou-se como unidade experimental.

A dose recomendada de cada nutriente foi dividida entre o volume de solo de um ha a 20 cm de profundidade (2 milhões de L de solo), multiplicado por 20 (volume de solo em L vaso⁻¹) para determinar a dose por planta para cada tratamento.

Ureia (46% de N), Ca(NO₃)₂ (14% de N, 18% de Ca e 0,5% de Mg), KCl (58% de K₂O), NH₄H₂PO₄ (11% de N, 60% de P₂O₅), corretivo agrícola comercial - calcário (37% de CaO e 13% de MgO), MgSO₄ (9% de Mg e 11% de S) e MgO (55% de Mg) foram utilizados para fornecer os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nos tratamentos AM100 (4,5, 6,7, 1,7, 6,1, 2,7 e 0,4 g/vaso de ureia, NH₄H₂PO₄, KCl, calcário, MgSO₄ y MgO), AM=MC5 (2,2, 3,0, 1,3, 0,8 e 3,2 g/vaso de ureia, NH₄H₂PO₄, KCl, MgSO₄ e Ca(NO₃)₂) e MC5+AM=AM100 (0,7, 6,1, 0,4, 4,7, 2,0 e 0,7 g/vaso de ureia, NH₄H₂PO₄, KCl, calcário, MgSO₄ y MgO).

A aplicação dos tratamentos foi realizada um dia antes do transplante das mudas de brócolis. Os fertilizantes foram misturados com o solo antes de preencher os vasos e a biomassa da mucuna cinza foi colocada como cobertura do solo, segundo o tratamento correspondente.

Capinas manuais foram realizadas sempre que necessário. Irrigação manual foi feita de acordo com a demanda da cultura. Recolhimento e retorno da água drenada foi feita em todos os vasos.

2.4 Crescimento de plantas

Área do dossel (calculado a partir da medida superior do dossel no sentido longitudinal e transversal à fileira do plantio) e número total de folhas foram variáveis utilizadas para medir o crescimento do brócolis. Medições das variáveis de crescimento foi feito cada 15 dias, a partir do transplante das mudas.

2.5 Produção e índice de colheita

A colheita foi feita ao mesmo tempo em todos os tratamentos quando as inflorescências atingiram seu crescimento pleno (15/11/2016).

Matéria fresca da inflorescência de brócolis (cortada a 2,5 cm abaixo da haste mais baixa) foi utilizada para avaliar o produção (g/planta) do brócolis.

Índice de colheita (IC) foi determinado para cada tratamento, de acordo com: $IC = [(matéria\ seca\ da\ inflorescência / matéria\ seca\ total\ da\ planta) \times 100]$.

2.6 Matéria seca

Matéria fresca dos diferentes órgãos da planta (limbo foliar, pecíolo, caule, inflorescência e raiz) foi quantificada imediatamente após a colheita. Amostras de cada órgão foram acondicionadas em sacos de papel, pesadas e secadas (em estufa de ventilação forçada a 65 °C) para determinação da matéria seca.

2.7 Acúmulo de nutrientes

As amostras de cada órgão do brócolis foram moídas (em moinho tipo Willey) após a secagem. Teores de N, P, K, Ca, Mg e S foram determinados. N pelo método Kjeldahl (Tedesco et al., 1995), P por espectrofotometria (cumprimento de onda de 725 nm), K em fotômetro de chama, Ca e Mg em espectrofotômetro de absorção atômica e S por turbidimetria (Malavolta et al., 1989).

O acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S na matéria seca total foi obtido com a seguinte equação: $Acúmulo\ de\ nutriente\ X = matéria\ seca \times (teor\ de\ nutriente / 100)$.

2.8 Eficiência de recuperação e eficiência de utilização

O Índice de eficiência de recuperação (ER) foi determinado com a seguinte equação:

$ER = \{[(g\ de\ nutriente\ acumulado\ na\ planta\ adubada - g\ de\ nutriente\ acumulado\ na\ planta\ não\ adubada) / quantidade\ de\ nutriente\ aplicado] \times 100\}$.

O Índice de eficiência de utilização (EU) foi determinado com a seguinte equação:

$EU = \text{matéria total} / \text{quantidade total de nutriente acumulado}$.

2.9 Análise de dados

Análise de regressão foi realizada para a área de dossel. Análise de ANOVA e teste de Dunnett (com auxílio do programa estatístico SAS 9.0) foram realizadas para comparar o tratamento controle com os diferentes tratamentos de adubação para as variáveis número de folhas, matéria seca, produção, índice de colheita e acúmulo de nutrientes. Análise de ANOVA e teste de Dunnett foram utilizadas para comparar a 5 t/ha de mucuna cinza com os outros tratamentos de adubação na eficiência de recuperação e eficiência de utilização. Foi realizada comparação por contrastes entre a adubação verde com os outros tratamentos para avaliar ER, EA e EU. Comparação por contrastes foram utilizadas para avaliar o efeito do tipo de adubo utilizado, na dose maior (aplicado com 100% da dose recomendada e fornecido com AM100 ou MC5+AM=AM100) e na dose menor (quantidade fornecida com MC5 e AM=MC5). Em todas as análises considerou-se $p < 0,05$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Crescimento das plantas

Houve aumento linear da área de dossel através do tempo. Menor área foliar foi determinada com controle em comparação com AM100, AM=MC5 e MC5+AM=AM100 aos 45 dias após o transplante (Figura 1 A). Foi obtido menor número de folhas com controle em comparação com AM100, AM=MC5 e MC5+AM=AM100 (Figura 1 B).

Maior crescimento de brócolis tem sido reportado em plantas adubadas em comparação com plantas não adubadas (Diniz et al., 2007; Diniz et al., 2015; Diniz et al., 2017b). Maiores áreas de dossel com adubação mineral são relatadas quando doses similares de foram fornecidos (adubação mineral 160 kg/ha de N) à adubação orgânica (177 kg/ha de N fornecido com composto orgânico) (Diniz et al., 2007). Efeitos da adubação podem ser observados também na produção de folhas. N, P, K, Ca, Mg e S participam na formação e acúmulo de aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, enzimas, coenzimas e crescimento radicular (Chand et al., 2017), portanto, maior produção de folhas são obtidas com dose crescente de adubação até certo ponto. A resposta das plantas à mesma dose de adubação pode ser diferente entre cultivares e nem sempre maiores doses estimulam maior produção de folhas (Branco et al., 2017; El-Bassiony et al., 2017). Nesta pesquisa confirmou-se efeito da adubação na área de

dossel e na produção de folhas, pois, os valores das plantas não adubadas foram menores em comparação com as plantas fertilizadas com adubação mineral (AM100 e AM=MC5) e adubação conjunta (MC5+AM=AM100). Efeito da adubação conjunta também foi confirmado nesta pesquisa, quando se utilizou baixa dose adubação (182,5, 32,5, 78,5, 59,5, 8,5 e 8,25 kg/ha de N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg e S) e fornecido com adubação verde (MC5) obteve-se menor área de dossel e número de folhas em comparação com a mesma quantidade de nutrientes fornecido com adubação mineral (AM=MC5) (Tabela 1). Efeito positivo da adubação conjunta foi demonstrado, uma vez que MC5+AM=AM100 estimulou similar área de dossel e número de folhas que AM100 (Tabela 1).

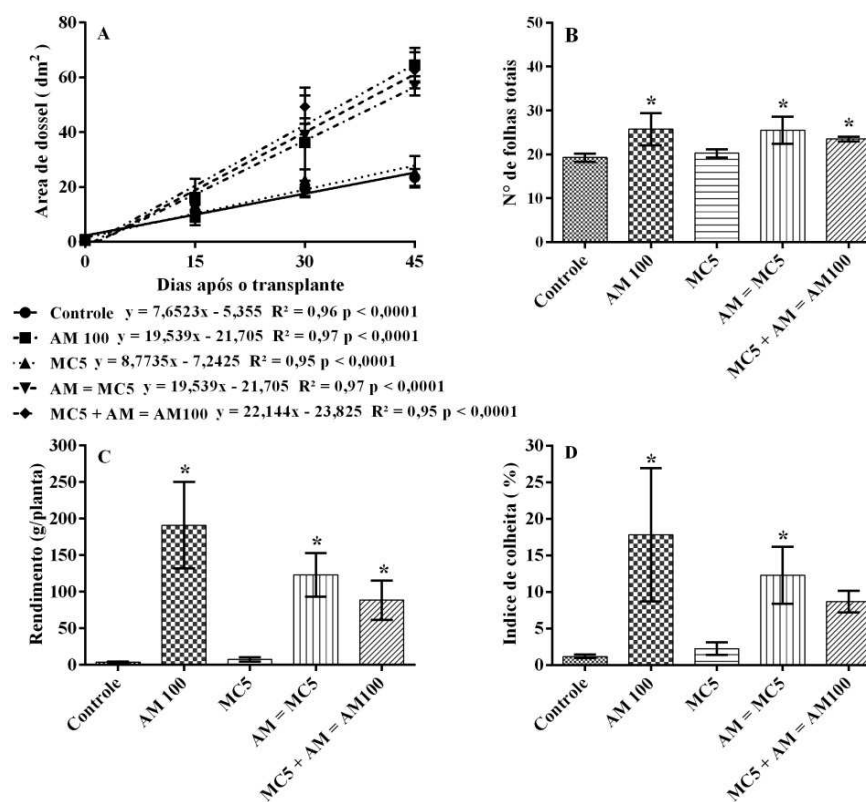


Figura 1. Área do dossel de plantas (A), número total de folhas produzidas (B), produção de inflorescência (C) e índice de colheita (D) em plantas de brócolis BRO 68[®] não fertilizadas (controle) ou fertilizadas com adubo mineral na dose 100% recomendada e aplicada exclusivamente com adubação mineral (AM100), 5 t/ha de mucuna cinza (MC5), adubo mineral fornecendo a mesma dose de nutrientes fornecido com MC5 (AM=MC5), MC5 + adubo mineral para fornecer a mesma quantidade de nutriente fornecido com AM100 (MC5+AM=AM100). Barras representam o desvio padrão. *Diferentes do tratamento controle pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

Tabela 1. Grupos de contrastes para a comparação da área de dossel (aos 45 dias após o trasplante), número de folhas produzidas, produção, índice de colheita, matéria seca produzida e acúmulo de macronutrientes em brócolis BRO 68[®].

Variáveis	-----MC5 vs AM=MC5-----		--AM100 vs MC+AM=AM100--	
	Médias	Diferença	Médias	Diferença
Área de dossel (dm ²)	25,59 – 56,96	-31,37 *	64,47 - 62,2	1,85 ns
Nº de folhas totais	20,25 – 25,50	-5,25 *	25,75 – 23,50	2,25 ns
Produção (g/planta)	7,58 – 123,08	-115,49 *	190,98 – 88,55	102,43 *
Índice de colheita (%)	2,24 – 12,28	-10,03 *	17,81 – 8,68	9,13 *
Matéria seca produzida				
Folha	19,50 – 51,54	-32,04 *	58,82 – 52,33	6,49 ns
Pecíolo	7,09 – 21,87	-14,78 *	24,21 – 22,85	1,36 ns
Caule	7,96 – 17,83	-9,86 *	16,02 – 19,42	-3,40 *
Inflorescência	0,85 – 13,45	-12,59 *	22,95 – 9,84	13,11 *
Raiz	2,79 – 8,20	7,71 *	8,20 – 7,71	0,49 ns
Total	40,40 – 101,93	-61,53 *	130,19 – 112,15	18,05 *
Acúmulo de nutrientes				
Nitrogênio	0,57 – 1,45	-0,89 *	2,23 – 1,51	0,72 *
Fósforo	0,03 – 0,14	-0,10 *	0,24 – 0,25	-0,02 ns
Potássio	0,54 – 1,35	-0,81 *	1,73 – 1,69	0,04 ns
Cálcio	0,12 – 0,39	-0,27 *	0,71 – 0,34	0,37 *
Magnésio	0,02 – 0,07	-0,04 *	0,14 – 0,07	0,07 *
Enxofre	0,27 – 0,62	-0,35 *	0,81 – 0,74	0,07 ns

MC5 = 5 t/ha de mucuna cinza; AM100 = Adubo mineral na dose 100% recomendada para o brócolis e aplicada exclusivamente com adubação mineral; AM=MC5 = Adubo mineral fornecendo a mesma dose de nutrientes fornecido com MC5; MC5+AM=AM100 = MC5 + adubo mineral para fornecer a mesma quantidade de nutriente fornecido com AM100. ns = não significativo pelo teste de F ($p \geq 0,05$). * = Diferentes pelo teste de F ($p < 0,05$).

3.2 Produção e índice de colheita (IC)

O produção foi afetada pela adubação. Menor produção resultou em plantas não adubadas em comparação com plantas adubadas com AM100, AM=MC5 e MC5+AM=AM100 (Figura 1 C). O IC também foi influenciado pela adubação. Maior IC observou-se com AM100 e AM=MC5 em comparação com controle (Figura 1 D).

Maior produção de brócolis foi relatada com maior dose de adubação (Basumatary et al., 2017; Kumar et al., 2017; Lozano Fernandez et al., 2018; Moreno-Cornejo et al., 2017). Mas o incremento da dose de adubação não está sempre associado ao maior produção da parte comercial. Uma forma de conhecer o efeito da adubação sobre a produção de inflorescência é o IC, pois expressa a capacidade da planta para alocar matéria seca na parte de valor comercial da cultura. IC de 17,8% tem sido reportado em brócolis adubados com doses crescentes (0, 3, 6 e 9 t/ha de MS) de *Mucuna pruriens* (Diniz et al., 2015) e IC entre 16% e 29% foram obtidos com doses crescentes de N (0, 120 e 240 kg/ha) aplicados com fertilizantes minerais (Vågen et al., 2007). Nesta pesquisa, embora a produção obtida com adubação mineral (AM100, AM=MC5) e adubação conjunta (MC5+AM=AM100) superarem ao controle, foi a adubação mineral quem alocou maior matéria seca na inflorescência, o que se corrobora pelo maior IC de AM100 e AM=MC5 em comparação com o controle. O efeito do tipo de adubo sobre o produção e IC foi confirmado nesta pesquisa com a maior (280, 400, 100, 160, 97,2 e 30 kg/ha de N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg e S) e menor (182,5, 32,5, 78,5, 59,5, 8,5 e 8,25 kg/ha de N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg e S) dose de adubação. Em ambos casos, maior produção e IC obteve-se quando se realizam adubações estritamente com fertilizantes adubos minerais (Tabela 1). A diferença entre MC5 e AM=MC5 se deve à forma em que foram aplicados os nutrientes. Com adubação mineral os nutrientes estão disponíveis para as plantas imediatamente após serem depositados no solo e, considerando que se coletou e reutilizou água drenada dos vasos, foram mínimas as perdas de nutrientes e por isso foram mais aproveitadas pelas plantas adubadas com fertilizante mineral. No adubo verde os nutrientes estão principalmente na forma orgânica (com exceção do K) e precisam passar pelo processo de mineralização para ficarem disponíveis para as plantas (Lorensini et al., 2014; Valadares et al., 2016). Possivelmente em condições de campo, onde não se tem controle da lixiviação, os resultados poderiam ser diferentes, uma vez que brócolis estabelecidos em campo e adubados com doses similares de N fornecidas com adubo mineral e adubo verde apresentaram produções semelhantes (Diniz et al., 2017). Diferentes produções obtidas com AM100 e AM+MC5=AM100 se atribuem à forma em que os nutrientes foram fornecidos e ao método de aplicação. Na adubação conjunta, 65%, 79%, 37% e 28% do N, K, Ca e S, respectivamente, se encontravam na massa da mucuna cinza, enquanto que, com adubação mineral 100% foram provenientes do fertilizante mineral, estando disponíveis rapidamente para a cultura.

3.3 Acúmulo de matéria seca

Houve influência da adubação na produção de matéria seca. Maior matéria seca de folha, pecíolo, caule, inflorescência, raiz e matéria seca total foi verificada com AM100 e AM=MC5 em comparação com o controle. Similares acúmulos de matéria seca de inflorescência foram obtidos com MC5+AM=AM100 e o controle. Similares acúmulos de matéria seca foram verificados com MC5 e controle (Tabela 2).

O efeito do tipo de adubo demonstrou-se também na matéria seca acumulada. Na menor dose, maior produção de folha, pecíolo, caule, inflorescência, raiz e matéria seca total obteve-se quando os nutrientes foram fornecidos pela adubação mineral (AM=MC5) em comparação com 5 t/ha de mucuna cinza. Já com a maior dose, diferenças na produção de caule, inflorescência e matéria seca total foram obtidas com AM100, que superou MC5+AM=AM100 (Tabela 1).

Tabela 2. Matéria seca produzida (da folha, pecíolo, caule, inflorescência, raiz e seca total) e acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em plantas de brócolis BRO 68[®] fertilizados com adubação mineral e adubação verde.

Tratamentos	Matéria seca					
	Folha	Pecíolo	Caule	Inflorescência	Raiz	Total
Controle	17,4 ± 1,2	6,9 ± 1,2	7,2 ± 0,7	0,4 ± 0,1 c	3,5 ± 0,8	33,7 ± 0,6
AM100	58,8 ± 10,8 *	24,2 ± 3,1 *	16,0 ± 2,5 *	22,9 ± 10,8 *	8,2 ± 0,4 *	130,2 ± 6,9 *
MC5	19,5 ± 2,7	7,1 ± 1,8	7,9 ± 1,4	0,9 ± 0,4	2,8 ± 0,4	40,4 ± 4,3
AM=MC5	51,5 ± 12,1 *	21,9 ± 6,8 *	17,8 ± 5,6 *	13,4 ± 3,4 *	8,2 ± 1,4 *	101,9 ± 14,0 *
MP+AM=100	52,3 ± 6,0 *	22,9 ± 2,9 *	19,4 ± 1,1 *	9,8 ± 2,6	7,7 ± 0,9 *	112,2 ± 11,1 *
Nutrientes acumulados						
	N	P	K	Ca	Mg	S
Controle	0,39 ± 0,03	0,03 ± 0,01	0,44 ± 0,01	0,10 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,21 ± 0,01
AM100	2,23 ± 0,23 *	0,24 ± 0,03 *	1,73 ± 0,28 *	0,71 ± 0,27 *	0,14 ± 0,04 *	0,81 ± 0,09 *
MC5	0,57 ± 0,08	0,03 ± 0,01	0,54 ± 0,04	0,12 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,27 ± 0,03
AM=MC5	1,45 ± 0,09 *	0,14 ± 0,01 *	1,35 ± 0,22 *	0,39 ± 0,04 *	0,07 ± 0,01 *	0,62 ± 0,04 *
MP+AM=100	1,51 ± 0,29 *	0,25 ± 0,06 *	1,69 ± 0,21 *	0,34 ± 0,03 *	0,07 ± 0,01 *	0,74 ± 0,09 *

Controle = plantas não fertilizadas; AM100 = Adubo mineral na dose de 100% da dose recomendada para a cultura; MC5 = 5 t/ha de mucuna cinza; AM=MC5 = adubo mineral fornecendo a mesma dose de nutrientes fornecido com MC5; MC5+AM=AM100 = MC5 + adubo mineral para fornecer a mesma quantidade de nutriente fornecido com AM100. * = Diferentes do tratamento controle pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

O acúmulo de matéria seca depende da disponibilidade de nutrientes em quantidade e sincronia com a demanda da planta. Maior acúmulo de matéria seca tem sido relatado na medida em que aumenta a dose de adubação (Feller e Fink, 2005; Holness et al., 2008; Bakker et al., 2009; Diniz et al., 2017b). Neste estudo o efeito da adubação foi confirmado uma vez que plantas fertilizadas com AM100 ou AM=MC5 superaram as plantas não adubadas. Similares acúmulos de matéria seca entre MC5 e controle indicam que 5 t/ha de mucuna cinza não foi suficiente para suprir as necessidades nutricionais do brócolis e possivelmente havendo ainda imobilização microbiana de nutrientes, principalmente de N (Williams et al., 2018). Diferenças devido ao tipo de adubo utilizado indicam que em solo classificado com acidez média, níveis de P muito baixo, nível baixo de Mg, nível médio de Ca, bom nível de K e nível muito bom de S (Alvarez et al., 1999), baixa dose de adubação tem melhor efeito na produção de matéria seca quando os nutrientes são fornecidos com adubação mineral, enquanto que, em dose maior a adubação mineral promove maior produção de caule e inflorescência quando comparado com adubação conjunta. A diferença na produção de inflorescência das plantas adubadas com a maior dose de nutrientes e fornecida com adubo mineral ou adubação conjunta se atribui à disponibilidade de nutrientes ao longo do tempo. Presume-se que antes do florescimento, a disponibilidade de nutrientes para as plantas foi maior com adubação mineral em comparação com adubação conjunta, devido a que os nutrientes foram fornecidos na forma inorgânica com AM100, diferente à adubação conjunta, onde os nutrientes fornecidos com adubo verde passaram pelo processo de mineralização antes de serem disponibilizados para as plantas (Siqueira et al., 2009). Por isso, ocorreu maior absorção de nutrientes em plantas com adubação mineral antes do florescimento e isso foi responsável pela maior matéria fresca e matéria seca da inflorescência com AM100.

3.4 Acúmulo de nutrientes

Houve efeito da adubação sobre o acúmulo de nutrientes. Maior acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S foi verificado com AM100, AM=MC5 e MC5+AM=AM100 em comparação com o controle. Houve acúmulo similar de todos os nutrientes entre MC5 e o controle (Tabela 2). O efeito do tipo de adubo sobre acúmulo de nutrientes foi confirmado nesta pesquisa. As plantas que receberam a menor dose de adubação apresentaram maior acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S quando se utilizou adubação mineral em comparação com adubação verde. Na maior dose de adubação, o acúmulo

de N, Ca e Mg foi maior com AM100 em comparação com MC5+AM=AM100 (Tabela 1).

Maior acúmulo de nutrientes ocorre na medida em que aumenta a dose de adubação, como consequência da maior disponibilidade de nutrientes no solo (Basumatary et al., 2017; Demchak e Smith, 1990; Lozano Fernandez et al., 2018), resultando em maior absorção de nutrientes e produção de matéria seca (Muramoto et al., 2011; Smith et al., 2016), tal como sucedeu nesta pesquisa com os tratamentos AM100, AM=MC5 e MC5+AM=AM100. Doses similares de adubação fornecidas com diferentes tipos de adubo podem resultar na mesma produção de matéria seca total, mas também podem promover diferentes teores de nutrientes na biomassa ou modificar a alocação de nutrientes nas diferentes partes da planta (Diniz et al., 2007; Diniz et al., 2010), resultando assim em diferentes acúmulos de nutrientes. Nesta pesquisa maior acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S com AM=MC5 em comparação com MC5 se explica pela maior produção de matéria seca obtido com adubação mineral. Já as diferenças do acúmulo de N, Ca e Mg entre AM100 e MC5+AM=AM100, são atribuídas à partição da matéria seca e teor do nutriente nos órgãos da planta, uma vez que esses tratamentos apresentaram similar produção de matéria seca total. No brócolis a maior concentração de nutrientes ocorre nas folhas, seguido pela inflorescência (principalmente N) ou pelo caule (principalmente Ca e Mg) (Cecílio Filho et al., 2017; Magnifico et al., 1989; Rincón et al., 1999). Nesta pesquisa a somatória de matéria seca alocada na folha, pecíolo e inflorescência foi maior com adubação mineral (82% para AM100) em comparação adubação conjunta (76% para MC5+AM=AM100), também o teor N, Ca e Mg foi diferente entre adubação mineral (1,71%, 0,55% e 0,11% de N, Ca e Mg para AM100) e adubação conjunta (1,34%, 0,30% e 0,06% de N, Ca e Mg para MC5+AM=AM100), portanto diferenças na partição de matéria seca e nos teores do nutrientes resultaram em diferentes acúmulos de N, Ca e Mg.

3.5 Eficiência de recuperação (ER) e eficiência de utilização (EU)

O efeito da adubação na ER foi confirmado. Maiores ER de N, K e S foram verificadas com AM100, AM=MC5 e MC5+AM=AM100 em comparação com MC5 (Figura 2 A, C, F). Maiores ER de P e Mg foram verificadas com AM=MC5 em comparação com o controle (Figura 2 B, E). Maior ER de Ca ocorreu com AM100 e AM=MC5 em comparação com MC5 (Figura 2 D).

A eficiência de recuperação dos nutrientes foi influenciada pelo tipo de adubo utilizado. Menor ER de N tem sido observada com adubação verde em comparação com

adubação mineral em outras culturas (Araújo et al., 2005; Silva et al., 2009; Menezes et al., 2013). Os resultados desta pesquisa confirmam o efeito do tipo de adubo utilizado, pela maior ER de N, P, K, Ca, Mg e S obtido com AM=MC5 em comparação com MC5 e também pela maior ER de N e Ca obtido com AM100 em comparação com MC5+AM=AM100. Isto indica que em solos de fertilidade baixa a média, a maior absorção de N, P, K, Ca, Mg e S ocorre nas plantas que são adubadas com fertilizante mineral em comparação com plantas adubadas com adubação verde. A maior recuperação de nutrientes com adubo mineral se atribui a que os nutrientes foram fornecidos na forma inorgânica, portanto se presume que esta fração foi maior nos solos que receberam adubação mineral em comparação com adubação verde e/ou adubação conjunta. Essa maior concentração na solução do solo se reflete em maior absorção nutrientes e produção de matéria seca, resultado em maior acúmulo de nutriente nas plantas fertilizadas com adubação mineral. Tais aspectos sugerem que em solos de baixa fertilidade a adubação verde deve ser aplicada em dose maior a 5 t/ha ou em conjunto com adubação mineral ou outros adubos orgânicos que complementem a nutrição das plantas de brócolis como indicado por outros autores (Araújo et al., 2005; Araújo et al., 2011; Bãth et al., 2006 Diniz et al., 2017; Sangakkara et al., 1995). Confirmou-se também o efeito positivo da aplicação conjunta de adubo verde e adubação mineral de fornecer a quantidade de nutrientes recomendada para o brócolis, demonstrando sua viabilidade agrônômica. Nesta pesquisa a máxima ER de N, P, K, Ca, Mg e S foram de 66%, 78%, 155%, 48%, 55% e 499%, respectivamente. Eficiência de recuperação de K e S acima de 100% indica que as plantas de brócolis absorveram maior quantidade do que foi aplicado, retirando nutrientes originário de solo, possivelmente pela boa disponibilidade de K e muito boa disponibilidade de S no solo.

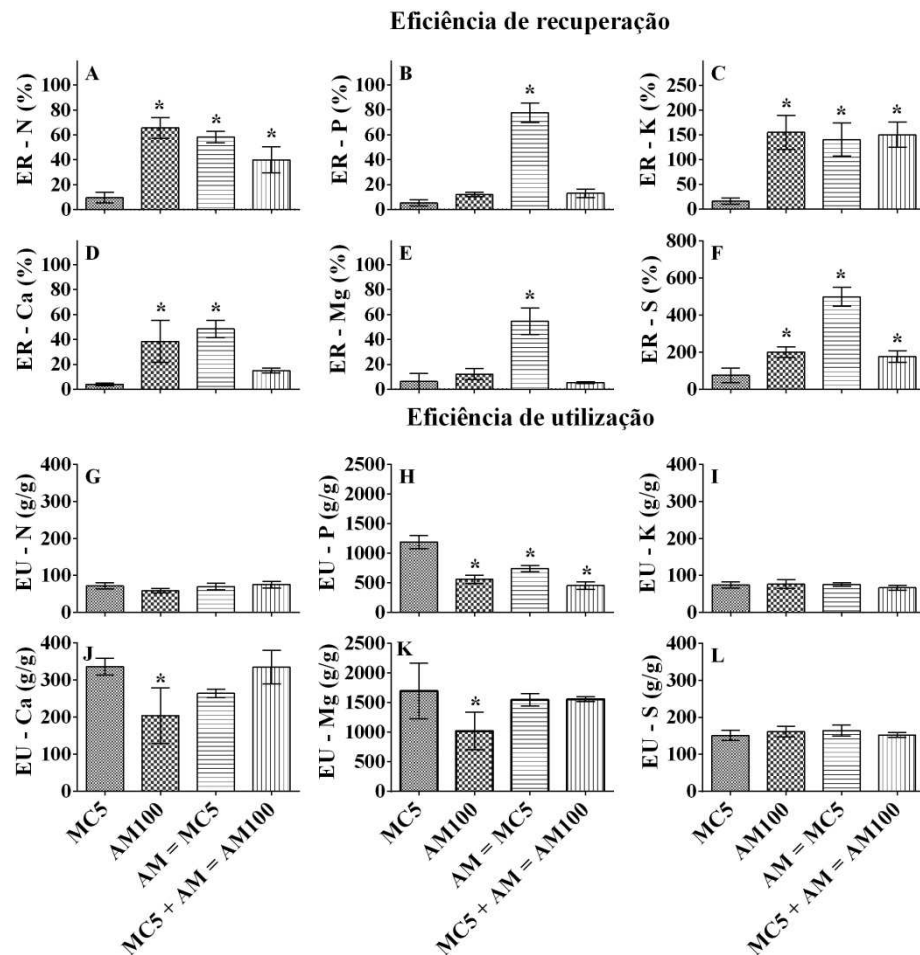


Figura 2. Eficiência de recuperação (A, B, C, D, E, F) e eficiência de utilização (G, H, I, J, K, L) de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em plantas de brócolis BRO 68[®] não fertilizadas (controle) ou fertilizadas com adubo mineral na dose 100% recomendada e aplicada exclusivamente com adubação mineral (AM100), 5 t/ha de mucuna cinza (MC5), adubo mineral fornecendo a mesma dose de nutrientes fornecido com MC5 (AM=MC5), MC5 + adubo mineral para fornecer a mesma quantidade de nutriente fornecido com AM100 (MC5+AM=AM100). *Diferentes do tratamento MC5 pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

Houve influência dos tratamentos sobre a eficiência de utilização de P, Ca e Mg. Maior EU de P ocorreu com MC5 em comparação com os outros tratamentos (Figura 2 H). Maior EU de Ca e Mg ocorreu com MC5 em comparação com AM100 (Figura 2 J, K).

Aumentar a dose de adubação pode resultar em aumento da matéria seca produzida, mas, também pode resultar em maior probabilidade de perda de nutrientes, consequentemente menor eficiência de recuperação. Em outros estudos, menor eficiência de utilização de P em brócolis foi observada em plantas que receberam as

maiores doses de adubação (Buchanan e Gliessman, 1990). Efeito da dose de adubação foi confirmado nesta pesquisa. Maior EU de P, Ca e Mg foram obtidas nas plantas que receberam 32,5, 59,5 e 8,5 kg/ha de P₂O₅, Ca e Mg (fornecido com MC5) em comparação com as plantas que receberam 400, 160 e 97,2 kg/ha P₂O₅, Ca e Mg (fornecido com AM100). Maiores EU desses nutrientes com MC5 em comparação com AM100 significam que com 5 t/ha de mucuna cinza a planta foi capaz de produzir maior quantidade de matéria seca por cada grama de nutriente acumulado. Mas, a maior eficiência de utilização desses nutrientes não resultou na produção de inflorescência, matéria seca total e no acúmulo de nutrientes, uma vez que a menor eficiência de recuperação de N, K, Ca e S foi obtida com MC5 quando comparado com AM100. O tipo de adubo utilizado afetou a EU de P, com a menor dose os 1192 g/g obtidos com adubação verde foi maior aos 724 g/g obtidos com AM=MC5. Na maior dose, quantidades similares de nutrientes fornecidos com AM100 e MC5+AM=AM100 resultaram em diferentes EU de N, Ca e Mg, indicando que, em solo de fertilidade de baixa a média, 5 t/ha de mucuna cinza limitou a disponibilidade de P, Ca e Mg. Consequentemente houve menor teor destes nutrientes na biomassa das plantas, resultando nas diferenças de EU para esses nutrientes. A menor disponibilidade de P, Ca e Mg é atribuída por serem os nutrientes menos fornecidos com a biomassa da mucuna cinza e por que esses nutrientes foram os menos disponíveis no solo, ao se classificarem em níveis de fertilidade muito baixo, médio e baixo, respectivamente (Alvarez et al., 1999). Similar EU de N, K e Ca entre MC5 e AM=MC5 se explicam por ser o N o nutriente mais fornecido com adubação verde e pela disponibilidade do K e S no solo, pois se classificaram com nível bom e muito bom, respectivamente (Alvarez et al., 1999). De forma geral, entre nutrientes, a EU decresceu na ordem Mg>P>Ca>S>K>N. Maior quantidade de matéria seca produzida por cada grama de Mg e P deve-se à que estes nutrientes são os menos demandados pela planta, contrário ao N e K que são os nutrientes mais demandados pela planta durante seu ciclo produtivo (Carranza et al., 2008; Cecílio Filho et al., 2017). Os resultados obtidos na presente pesquisa acrescentam a informação sobre as eficiências das práticas de adubação na cultura de brócolis com adubação verde e adubação mineral, principalmente para os nutrientes P, K, Ca e Mg e S, devido a que, da literatura revisada não foi possível encontrar estudos semelhantes para comparar os resultados obtidos.

Tabela 3. Contrastes entre médias da eficiência de recuperação e eficiência de utilização do nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre em plantas de brócolis BRO 68[®] fertilizados com 100% da dose recomendada para a cultura e fornecido com adubação mineral (AM100) ou pela aplicação conjunta de 5 t/ha de mucuna cinza e adubo mineral (MC5+AM=AM100).

Variáveis	AM100 vs MC+AM=AM100	Diferença
Eficiência de recuperação		
Nitrogênio	66,89 – 30,31	36,58 *
Fosforo	107,29 – 48,62	58,68 ns
Potássio	225,62 – 102,23	123,39 ns
Cálcio	117,06 – 53,04	64,02 *
Magnésio	192,69 – 87,31	105,38 ns
Enxofre	624,32 – 282,88	341,43 ns

Eficiência de utilização		
Nitrogênio	58,89 – 75,34	-16,45 *
Fosforo	559,48 – 454,70	104,78 ns
Potássio	76,84 – 66,92	9,91 ns
Cálcio	204,10 – 335,23	-131,14 *
Magnésio	1019 – 1556,89	-537,29 *
Enxofre	161,95 – 152,50	9,45 ns

ns = não significativo pelo teste de F ($p \geq 0,05$). * = Diferentes pelo teste de F ($p < 0,05$).

4. CONCLUSÕES

A mucuna cinza quando aplicada em dose de 5 t/ha, não afeta o crescimento, produção, e acúmulo de nutrientes de brócolis.

A adubação mineral em dose de nutrientes igual à adubação verde promove maior ER de macronutrientes em comparação com adubação verde.

A adubação conjunta mineral e adubo verde promove crescimento de plantas, acúmulo de matéria seca de folha, caule e raiz, Eficiência de Recuperação e Eficiência de Utilização de P, K e S semelhantes às obtidas com adubação mineral na dose recomendada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, K., and F.L.A. Câmara. 2011. Produtividade de biomassa e acúmulo de nutrientes em adubos verdes de verão, em cultivos solteiros e consorciados. *Revista Brasileira de Agroecologia* 6(2): 55–62.
- Alvarez V., V.H., R.F. de Novais, N.F. de Barros, R.B. Cantarutti, and A.S. Lopes. 1999. Interpretação dos resultados das análises de solos. p. 25–32. *In* Ribeiro, A.C., Guimarães, P.T.G., Alvarez V., V.H. (eds.), *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5a aproximação*. CFSEMG, Viçosa-MG.
- Araújo, E.S., J.G.M. Guerra, J.A.A. Espindola, S. Urquiaga, R.M. Boddey, L.A.P. Martelleto, and B.J.R. Alves. 2011. Recuperação no sistema solo-planta de nitrogênio derivado da adubação verde aplicada à cultura do repolho. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília 46(7): 729–735.
- Araújo, A.S.F. de, G.M. Teixeira, A.X. de Campos, F.C. Silva, E.J. Ambrosano, and P.C.O. Trivelin. 2005. Utilização de nitrogênio pelo trigo cultivado em solo fertilizado com adubo verde (*Crotalaria juncea*) e/ou uréia. *Ciência Rural* 35(2): 284–289.
- Bakker, C.J., C.J. Swanton, and A.W. McKeown. 2009. Broccoli growth in response to increasing rates of pre-plant nitrogen. II. Dry matter and nitrogen accumulation. *Canadian Journal of Plant Science* 89(3): 539–548.
- Barbosa, C.E.M., E. Lazarini, P.R.F. Picoli, and S. Ferrari. 2011. Determinação da massa seca, teor de nutrientes e cobertura do solo de espécies semeadas no outono-inverno. *Revista Brasileira de Ciência Agrárias* 6(2): 265–272.
- Basumatary, P., B.D. Narzary, D.B. Phookan, and A. Basumatary. 2017. Combined effect of nitrogen, phosphorus, potassium and boron on yield and quality of broccoli [*Brassica oleraceae* (L.) var. *italica*]. *Research on Crops* 18(3): 468–471.
- Båth, B., J. Malgeryd, A.R. Stintzing, and H. Åkerhielm. 2006. surface mulching with red clover in white cabbage production. nitrogen uptake, ammonia losses and the residual fertility effect in ryegrass. *Biological Agriculture & Horticulture* 23(3): 287–304.
- Blind, A.D., I.B. Costa, E. Barboza, E.F.V. Molina, J.N.R. Figueiredo, and D.F. Silva Filho. 2015. Índice de produção em cultivares de brócolis tipo ramoso sob manejos de fertilização na Amazônia central. *Scientia Plena* 11(7): 1–7.

- Branco, R.B., S.F. Blat, T.G. Gimenes, R.H. Nowaki, H.S. Araújo, F.A. Salles, R.B. Branco, S.F. Blat, T.G. Gimenes, R.H. Nowaki, H.S. Araújo, and F.A. Salles. 2017. Nitrogen fertilization of vegetables cultivated under no-tillage after cover crops. *Horticultura Brasileira* 35(1): 103–110.
- Buchanan, M.A., and S.R. Gliessman. 1990. The influence of conventional and compost fertilization on phosphorus use efficiency by broccoli in a phosphorus deficient soil. *American Journal of Alternative Agriculture* 5(1): 38–46.
- Bueren, E.T.L. van, and P.C. Struik. 2017. Diverse concepts of breeding for nitrogen use efficiency. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 37(5): 50.
- Carranza, C., O. Lanchero, D. Miranda, M.R. Salazar, and B. Chaves. 2008. Modelo simple de simulación de distribución de masa seca en brócoli (*Brassica* sp.) variedad Coronado y repollo (*Brassica oleracea*) híbrido Delus cultivados en la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana* 26(1): 23–31.
- Castellanos, J.Z., S. Villalobos, J.A. Delgado, J. Muñoz-Ramos, A. Sosa, P. Vargas, I. Lazcano, E. Alvarez-Sanchez, and S.A. Enriquez. 2001. Use of best management practices to increase nitrogen use efficiency and protect environmental quality in a broccoli-corn rotation of Central Mexico. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 32(7–8): 1265–1292.
- Cecílio Filho, A.B., V.M.V. Carmona, and A.A.S. Junior. 2017. Broccoli growth and nutrient accumulation. *Científica* 45(1): 95–104.
- Chand, P., S. Mukherjee, and V. Kumar. 2017. Effect of Fertigation and Bio-Fertilizers on Growth and Yield Attributes of Sprouting Broccoli (*Brassica Oleracea* Var. Italica) Cultivar Fiesta. *International Journal of Pure & Applied Bioscience* 5(4): 144–149.
- Demchak, K.T., and C.B. Smith. 1990. Yield responses and nutrient uptake of broccoli as affected by lime type and fertilizer. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 115(5): 737–740.
- Diniz, E.R., A.R. Almeida, U.J.B.M. Mattos, T.O. Vargas, W.D. Pereira, and R.H.S. Santos. 2010. Efeito de doses de adubo verde no crescimento e produção de brócolis orgânico. *Horticultura Brasileira* 28: S2819–S2826.
- Diniz, E.R., R.H.S. Santos, S.S. Urquiaga, L.A. Peternelli, T.P. Barrella, and G.B. de Freitas. 2007. Green manure incorporation timing for organically grown broccoli. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 42(2): 199–206.

- Diniz, E.R., T. de O. Vargas, A.F. Guedes, R.H.S. Santos, S. Urquiaga, and A.J. Modolo. 2017a. Doses of *Crotalaria juncea*: Residual effect on zucchini and maize crop in sequence to broccoli. *Revista Ceres* 64(6): 600–606.
- Diniz, E.R., T.O. Vargas, W.D. Pereira, R.H.S. Santos, S. Urquiaga, and A.J. Modolo. 2017b. Levels of *Crotalaria juncea* on growth, production, recovery and efficiency of the use of N in broccoli. *Horticultura Brasileira* 35: 395–401.
- Diniz, E.R., T.O. Vargas, R.H.S. Santos, A.R. Almeida, and U.J.B.M. Mattos. 2015. Crescimento e produção de brócolis adubado com doses de mucuna-cinza em casa de vegetação. *Semina: Ciências Agrárias* 36(3): 1277–1286.
- El-Bassiony, A.E.-M.M., S.I. Shedeed, Z.F. Fawzy, and F.S. Abd El-Aal. 2017a. Influence of different levels of phosphorus supply on growth, yield and quality of some broccoli varieties under sandy soil. *Bioscience Research* 14(3): 694–704.
- El-Bassiony, A.E.-M.M., S.I. Shedeed, Z.F. Fawzy, and F.S. Abd El-Aal. 2017b. Influence of different levels of phosphorus supply on growth, yield and quality of some broccoli varieties under sandy soil. *Bioscience Research* 14(3): 694–704.
- Erdem, T., L. Arın, Y. Erdem, S. Polat, M. Deveci, H. Okursoy, and H.T. Gültaş. 2010. Yield and quality response of drip irrigated broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) under different irrigation regimes, nitrogen applications and cultivation periods. *Agricultural Water Management* 97(5): 681–688.
- Fageria, N.K., and V.C. Baligar. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy* 88: 97–185.
- Feller, C., and M. Fink. 2005. Growth and yield of broccoli as affected by the nitrogen content of transplants and the timing of nitrogen fertilization. *HortScience* 40(5): 1320–1323.
- Fontes, P.C.R. 1999. Sugestões de adubação para as diferentes culturas em Minas Gerais. Brócolos. p. 359. In Ribeiro, A.C., Guimarães, P.T.G., Alvarez, V.H.V. (eds.), *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. Aproximação*. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, Viçosa.
- Freitas, G.B. de, M.S. Rocha, R.H.S. Santos, L.M. da S. Freitas, and L. de A. Resende. 2011. Broccoli yield in response to top-dressing fertilization with green manure and biofertilizer. *Revista Ceres* 58(5): 645–650.

- Ghuge, T.D., A.K. Gore, and S.B. Jadhav. 2007. Effect of organic and inorganic nutrient sources on growth, yield and quality of cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata). *Journal of Soils and Crops* 17(1): 89–92.
- Holness, R.L., M.R. Reddy, C.R. Crozier, and C.E.N. Jr. 2008. Evaluating inorganic nitrogen and rye-crimson clover mixture fertilization of spring broccoli and lettuce by ¹⁵N tracing and mass balance. *Journal of Plant Nutrition* 31(6): 1033–1045.
- Hussain, M.J., A.J.M.S. Karim, A.R.M. Solaiman, M.S. Islam, and M. Rahman. 2016. Effect of urea super granule and prilled urea on yield and yield attributes of broccoli (*Brassica oleracea* var. italica L.). *The Agriculturists* 14(2): 95–112.
- Hussain, M.J., A.J.M.S. Karim, A.R.M. Solaiman, M.S. Islam, and M. Rahman. 2017. Effect of different levels of urea super granule and prilled urea on the crop quality, nutrient uptake and soil nutrient status of broccoli. *The Agriculturists* 15(2): 24–39.
- Kumar, P., M.L. Bhardwaj, D. Kumar, R. Kumar, D. Tripathi, K.S. Thakur, N. Bharat, N. Gautam, S. Kumar, and B. Dogra. 2017. Comparative performance of organic and inorganic fertilizers on plant growth, head yield, soil health and severity of black rot in sprouting broccoli cv Green Head. *International Journal of Farm Sciences* 7(1): 69–76.
- Lodhi, P., D. Singh, and A. Tiwari. 2017. Effect of inorganic and organic fertilizers on yield and economics of broccoli (*Brassica oleracea* var. italica). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 6(8): 562–566.
- Lorensini, F., C.A. Ceretta, G. Brunetto, J.B. Cerini, C.R. Lourenzi, L.D. Conti, T.L. Tiecher, and D.E. Schapanski. 2014. Disponibilidade de nitrogênio de fontes minerais e orgânicas aplicadas em um Argissolo cultivado com videira. *Revista Ceres* 61(2): 241–247.
- Lozano Fernandez, J., L.F. Orozco Orozco, and L.F. Montoya Munera. 2018. Efecto de la fertilización nitrogenada, fosfórica y potásica sobre el rendimiento de cultivares de brócoli. 2018 71(1): 8375–8386.
- Magnifico, V., V. Lattanzio, A. Elia, and M. Molfetta. 1989. Growth and nutrient removal by broccoli raab. *Advances in Horticultural Science* 3: 68–72.
- Malavolta, E., G.C. Vitti, and S.A. Oliveira. 1989. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba: Potafos.

- Meena, K., R.B. Ram, M.L. Meena, J.K. Meena, and D.C. Meena. 2017. Effect of Organic Manures and Bio-Fertilizers on Growth, Yield and Quality of Broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica* Plenck.) cv. KTS-1. *Chemical Science Review and Letters* 6(24): 2153–2158.
- Menezes, L.F.G., R. Ronsani, P.S. Pavinato, R.R. Biesek, C.E.K. Silva, C. Martinello, B. Cappelleso, and M.F. Silveira. 2013. Produção, valor nutricional e eficiências de recuperação e utilização do nitrogênio de silagens de milho sob diferentes doses de adubação nitrogenada. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina* 34(3): 1353–1362.
- Moll, R.H., E.J. Kamprath, and W.A. Jackson. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal* 74: 562–564.
- Moreno-Cornejo, J., A. Caballero-Lajarín, Á. Faz, and R. Zornoza. 2017. Pepper crop residues and chemical fertilizers effect on soil fertility, yield and nutritional status in a crop of *Brassica oleracea*. *Journal of soil science and plant nutrition* 17(3): 648–661.
- Muramoto, J., R.F. Smith, C. Shennan, K.M. Klonsky, J. Leap, M.S. Ruiz, and S.R. Gliessman. 2011. Nitrogen contribution of legume/cereal mixed cover crops and organic fertilizers to an organic broccoli crop. *HortScience* 46(8): 1154–1162.
- Øvsthus, I., R. Seljåsen, E. Stockdale, C. Uhlig, T. Torp, and T.A. Breland. 2017. Yield, nitrogen recovery efficiency and quality of vegetables grown with organic waste-derived fertilisers. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 109(3): 233–248.
- Padovan, M.P., I.S. Motta, L.F. Carneiro, M.R. Moitinho, and S.F.L. Fernandes. 2011. Acúmulo de fitomassa e nutrientes e estágio mais adequado de manejo do feijão de-porco para fins de adubação verde. *Revista Brasileira de Agroecologia* 6(3): 182–190.
- Rincón, L., J. Sáez, J.A. Perez, M.D. Gomez, and C. Pellicer. 1999. Crecimiento y absorción de nutrientes del brócoli. *Investigación agraria. Producción y Protección Vegetales* 14(1–2): 225–236.
- Sangakkara, U.R., B. Marambe, A.M.U. Attanayake, and E.R. Piyadasa. 1998. Nutrient use efficiency of selected crops grown with effective microorganisms in organic systems. p. 111–117. *In* Parr, J.F., Hornick, S.B. (eds.).

- Silva, E.C., T. Muraoka, F.C.A. Villanueva, and F.S.C. Espinal. 2009. Nitrogen utilization by corn as affected by green manures and nitrogen and phosphorus fertilizers. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 44(2): 118–127.
- Siqueira, R.G., R.H.S. Santos, D. Perigolo, S. Urquiaga, R.G.T. Ribas, and L.A. Peternelli. 2009. Nutrição nitrogenada e produção de brócolis cultivado com diferentes doses de mucuna em duas épocas. *Revista Ceres* 56(6): 826–833.
- Tedesco, M.J., C. Gianello, C.A. Bissani, H. Bohnen, and S.J. Volkweiss. 1995. *Análises de solo, plantas e outros materiais*. 2nd ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Thériault, F., K.A. Stewart, and P. Seguin. 2009. Use of perennial legumes living mulches and green manures for the fertilization of organic broccoli. *International Journal of Vegetable Science* 15(2): 142–157.
- Vågen, I.M., T.S. Aamlid, and A.O. Skjelvåg. 2007. Nitrogen fertilization to broccoli cultivars at different planting times: Yield and nitrogen use. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science* 57: 35–44.
- Valadares, R.V., L. de Ávila Silva, R. da Silva Teixeira, R.N. de Sousa, and L. Vergütz. 2016. Green manures and crop residues as source of nutrients in tropical environment. *Organic fertilizers* 51.
- Williams, A., M. Scott Wells, D.A. Dickey, S. Hu, J. Maul, D.T. Raskin, S. Chris Reberg-Horton, and S.B. Mirsky. 2018. Establishing the relationship of soil nitrogen immobilization to cereal rye residues in a mulched system. *Plant and Soil*.
- Yadav, G.S., M. Datta, S. Babu, C. Debnath, S.N. Bhowmik, M.A. Ansari, and S.V. Ngachan. 2014. Effect of zero tillage basin planting and N nutrition on growth, yield, water productivity and nitrogen use efficiency of late planted broccoli (*Brassica oleracea* var *italica*) in North East Hilly Region of India. *The Indian Journal of Agricultural Sciences* 84(11): 1434–1438.
- Zebarth, B.J., P.A. Bowen, and P.M.A. Toivonen. 1995. Influence of nitrogen fertilization on broccoli yield, nitrogen accumulation and apparent fertilizer-nitrogen recovery. *Canadian Journal of Plant Science* 75(3): 717–725.

CAPÍTULO 2. ADUBAÇÃO VERDE E ADUBAÇÃO MINERAL: EFEITO NA NUTRIÇÃO DE BRÓCOLIS E NAS MUDANÇAS QUÍMICAS DA SOLUÇÃO DO SOLO

RESUMO: A adubação verde contribui para a redução da dependência à adubação mineral devido à sua capacidade de também fornecer nutrientes às culturas. O objetivo da pesquisa foi avaliar o crescimento, produção, acúmulo de matéria seca, eficiência de recuperação e utilização dos macronutrientes aplicados, bem como as mudanças da acidez ativa, condutividade elétrica e teor de macronutrientes da solução de solo em cultivo de brócolis adubado com mucuna cinza pura ou combinada com adubação mineral. O brócolis foi fertilizado com adubação mineral em 200% da dose recomendada (AM200), 10 t/ha de mucuna cinza (MC10), adubo mineral fornecendo a mesma dose de nutrientes fornecido com MC10 (AM=MC10), MC10 + adubo mineral para fornecer a mesma quantidade de nutriente fornecido com AM200 (MC10+AM=AM200), além de um tratamento-controle sem adubação. A área de dossel, número total de folhas, produção, índice de colheita (IC), matéria seca (folha, pecíolo, caule, inflorescência, raiz e total), acúmulo de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S), eficiência de recuperação (ER) e de utilização (EU), condutividade elétrica (CE), pH e teor de N, P, K, Ca, Mg e S da solução do solo foram determinados. Diferenças significativas foram detectadas na área de dossel, número total de folhas, produção, IC, matéria seca (inflorescência, raiz e total), acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S, ER (de N, P, K, Ca e Mg), CE, pH e teor de N, P, K, Ca, Mg e S da solução do solo. Conclui-se que a mucuna cinza quando aplicada em dose de 10 t/ha não altera o crescimento, produção e matéria seca acumulada em comparação com plantas não adubadas, mas resulta menor CE, teor de Ca e Mg na solução do solo nos primeiros 21 dias após aplicação dos tratamentos. A dose de mucuna aplicada resulta em menor produção, IC, matéria seca (de caule, inflorescência, raiz e total), acúmulo de nutrientes (N, K, Ca e Mg), ER (de Ca e Mg), CE, teor de K, Ca, Mg e S (antes dos 35 dias após aplicação dos tratamentos) da solução do solo. A mucuna cinza aplicada em conjunto com adubo mineral promove similar crescimento, produção, matéria seca (com exceção de raiz), acúmulo de K, Ca e S, ER (com exceção de N), EU e características da solução do solo (após 35 dias da aplicação dos tratamentos) que a adubação mineral em alta dose.

Palavras chave: Brassica oleracea var. *itálica*, *Mucuna cinerea*, sin. *Stizolobium cinereum*, magnésio, fosforo

ABSTRAC: Green manuring contributes to reducing dependence on mineral fertilization because of its ability to also provide nutrients to crops. The objective of the research was to evaluate the growth, yield, harvest index (HI), accumulation of dry matter, recovery efficiency (RE) and utilization (UE) of the applied macronutrients, as well as the changes of the active acidity, electrical conductivity (EC) and macronutrient content of soil solution in broccoli crop fertilized with velvet-bean pure or combined with mineral fertilization. The broccoli was fertilized with mineral fertilization at 200% of the recommended dose (MF200), 10 t/ha of velvet-bean (VB10), mineral fertilizer providing the same nutrient dose provided with VB10 (MF = VB10), VB10 + mineral fertilizer for provide the same amount of nutrient supplied with MF200 (VB10 + MF = MF200), plus a no-fertilization control treatment. Growth, yield, HI, dry matter (leaf, petiole, stem, inflorescence, root and total), nutrient accumulation, RE and UE of N, P, K, Ca, Mg and S), EC, pH, and N, P, K, Ca, Mg and S contents of the soil solution were evaluated. Significant differences were observed in the canopy area, total number of leaves, yield, HI, dry matter (inflorescence, root and total), accumulation of N, P, K, Ca, Mg and S, ER (of N, P, K, Ca and Mg), EC, pH and N, P, K, Ca, Mg and S contents of the soil solution. It is concluded that velvet-bean when applied at a dose of 10 t/ha does not alter the growth, yield, dry matter in comparison with non-fertilized plants, but it results lower EC, Ca and Mg content in soil solution in the first 21 days after application of the treatments. The dose of velvet-bean applied promotes less yield, HI, dry matter (stem, inflorescence, root and total), nutrient accumulation (N, K, Ca and Mg), RE (of Ca and Mg), EC and content of K, Ca, Mg and S (before 35 days after application of treatments) of the soil solution. The velvet-bean applied together with mineral fertilizer promotes same growth, yield, dry matter (with the exception of root), accumulation of K, Ca and S, RE (with the exception of N), UE and soil solution characteristics (after 35 days of application of treatments) than high dose mineral fertilization.

Keywords: *Brassica oleracea* var. *itálica*, *Mucuna cinerea*, sin. *Stizolobium cinereum*, magnesium, phosphorus

1. INTRODUÇÃO

O cultivo de brócolis demanda nutrientes durante todo o seu ciclo de produção (Carranza et al., 2008; Cecílio Filho et al., 2017) e os nutrientes requeridos pela cultura tradicionalmente são fornecidos através de fertilizantes minerais. Contudo, as

necessidades atuais de sistemas de produção mais conservacionistas têm levado à utilização de alternativas de nutrição mais sustentáveis, incluindo a utilização de matéria orgânica. Uma dessas alternativas é a adubação verde, particularmente espécies leguminosas pela sua capacidade de fixar nitrogênio atmosférico e incorporá-lo ao sistema de produção (Thériault et al., 2009; Freitas et al., 2011; Diniz et al., 2017a).

Há relato do efeito da adubação verde sobre o crescimento, produção, produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes na cultura de brócolis, principalmente com maiores doses de biomassa (Diniz et al., 2010; Diniz et al., 2015; Siqueira et al., 2009). Incluso relataram-se que a aplicação conjunta de matéria orgânica (na forma de resíduos de culturas, esterco, composto, ou vermicomposto) com fertilizante mineral tem efeito superior à aplicação isolada de cada tipo de adubo e, ainda, os efeitos podem ser similares às doses recomendadas com adubação mineral para as culturas (Ghugre et al., 2007; Blind et al., 2015; Kumar et al., 2017; Lodhi et al., 2017; Meena et al., 2017; Moreno-Cornejo et al., 2017).

A necessidade de conhecer o efeito da adubação sobre as quantidades de nutrientes que são aproveitados pelas plantas tem gerado diferentes índices de eficiência. Para conhecer a quantidade de nutriente que foi recuperada pela biomassa da planta por cada unidade de nutriente aplicado, se utiliza a eficiência de recuperação. Já para saber a quantidade de matéria seca produzida por cada unidade de nutriente absorvido, se utiliza a eficiência de utilização (Fageria e Baligar, 2005; Moll et al., 1982). Estes índices permitem fazer ajustes as doses de adubação para otimizar os nutrientes aplicados.

Na cultura de brócolis as pesquisas sobre eficiência de utilização de nutrientes tem-se focado em fertilizantes minerais solúveis e particularmente na eficiência de utilização do N e P (Bakker et al., 2009; Castellanos et al., 2001; Erdem et al., 2010; El-Bassiony et al., 2017; Hussain et al., 2016; Hussain et al., 2017; Vågen et al., 2007; Yadav et al., 2014; Zebarth et al., 1995). Pesquisas com adubação verde são escassas, sobressaem estudos de Diniz et al. (2015) e Diniz et al. (2017b) onde avaliaram a eficiência fisiológica e eficiência de recuperação de N com a utilização de *Crotalaria juncea* e *Mucuna pruriens*. Tomando em conta que os adubos verdes, além de fornecer N, também fornecem quantidades potencialmente importantes dos outros macronutrientes (Almeida e Câmara, 2011; Barbosa et al., 2011; Padovan et al., 2011), é importante do ponto de vista agrônômico conhecer o impacto desses outros nutrientes

sobre a produção das culturas, pelo que é necessário fazer determinações dos diferentes índices de eficiências.

Por outro lado, adubações com diferentes fertilizantes resultam em diferentes dinâmicas de nutrientes no solo. Sua interação com as características do solo e com as necessidades nutrimentais da cultura pode significar diferentes respostas das plantas em termos de crescimento, produção e acúmulo de matéria seca (Miranda et al., 2006). Portanto, o monitoramento dos nutrientes no solo ajudará a compreender melhor as relações das práticas de adubação com as respostas das culturas. Uma forma de monitorar a dinâmica dos nutrientes edáficos é através da solução do solo, pois é nela que ocorrem variações espaciais e temporais em função da interação com os componentes do solo, necessidade nutricional da cultura e fornecimento de nutrientes através de adubação.

O crescimento da cultura influencia a solução solo. Espera-se pouca influência da cultura na etapa de menor demanda nutricional, enquanto que a maior influência ocorrerá quando a cultura alcança sua maior demanda por nutrientes. Para o brócolis, a maior velocidade de absorção de N, P, K, Ca, Mg e S ocorre quando a planta alcança seu máximo crescimento da parte aérea (Rincón et al., 1999), sendo nesta etapa fenológica quando se espera sua maior influência na solução do solo, reduzindo o teor dos nutrientes.

Diante do exposto a presente pesquisa teve como objetivos avaliar o crescimento, produção, acúmulo de matéria seca, eficiência de recuperação e utilização dos macronutrientes aplicados; assim como monitorar as mudanças da acidez ativa, condutividade elétrica e teor de macronutrientes da solução de solo em cultivo de brócolis adubado com mucuna cinza pura ou combinada com adubação mineral.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Adubo verde

Mucuna cinza (*Mucuna cinerea*, sin. *Stizolobium cinereum*), semeada em campo na Universidade Federal de Viçosa (20°45'14" S e 42°52'53" W) e colhida ao momento da floração (15/04/2016), foi utilizada como adubo verde. Após a colheita, a biomassa foi cortada em segmentos de 8 cm, secada em estufa e armazenada até o momento da sua utilização. As características químicas da mucuna cinza foram determinadas a partir de amostras representativas de folhas (8,13 de relação C/N e 43,1, 5,3, 0,35, 1,2, 1,64, 0,23, 0,23 dag/kg MS de carbono orgânico, N, P, K, Ca, Mg e S) e caule (19,9 de

relação C/N e 39,8, 2,0, 0,22, 1,4, 0,74, 0,11, 0,10 e 19,9 dag/kg MS de carbono orgânico, N, P, K, Ca, Mg e S).

2.2 Cultivar de brócolis

Sementes de brócolis de cabeça única híbrido Legacy foram semeadas (19/05/2017) em bandejas de isopor e mantidas em casa de vegetação. Mudanças com quatro folhas expandidas foram transplantadas (17/07/2017) individualmente em vasos de plástico de 20 L preenchidos com solo (pH de 6,2, teor de 13,1, 130, 57,4 mg/dm de P, K, S, teor de 2,2, 0,3, 0,0, 1,65, 2,8, 2,8, 4,5 e 63 cmol_c/dm³ de Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, H+Al, SB, t, T e V e 19,8 de P-rem).

2.3 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos 1) controle, sem adubação; 2) 200% da dose recomendada aplicado com adubação mineral (AM200), 3) 10 t/ha de matéria seca de mucuna cinza (MC10), 4) adubação mineral igual à dose fornecido com MC10 (AM=MC10), 5) MC10 + adubação mineral para igualar ao fornecido com AM200 (MC10+AM=AM200) foram aplicadas às unidades experimentais. Doses de 5,60 8,00, 2,00, 3,20, 1,94 e 0,60 g/vaso de N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg e S aplicaram-se com AM200 e MC10+AM=AM200, respectivamente (em adiante nomeado como maior dose de adubação). Doses de 3,65, 0,65, 1,57, 1,19, 0,17 e 0,17 g/vaso de N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg e S forma aplicadas com MC10 e AM=MC10, respectivamente (em adiante nomeado como menor dose de adubação).

O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições de uma planta por vaso.

A dose recomendada de cada nutriente foi dividida entre o volume de solo de um ha a 20 cm de profundidade (2 milhões de L de solo), multiplicado por 20 (volume de solo em L por vaso) para determinar a dose por planta para cada tratamento.

Ureia (46% de N), Ca(NO₃)₂ (14% de N, 18% de Ca e 0,5% de Mg), KCl (58% de K₂O), NH₄H₂PO₄ (11% de N, 60% de P₂O₅), corretivo agrícola comercial - calcário (37% de CaO e 13% de MgO), MgSO₄ (9% de Mg e 11% de S) e MgO (55% de Mg) foram utilizados para fornecer os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nos tratamentos AM200 (9,0, 13,4, 3,4, 12,2, 5,4 e 0,8 g/vaso de ureia, NH₄H₂PO₄, KCl, calcário, MgSO₄ y MgO), AM=MC10 (4,4, 6,0, 2,6, 1,6 e 6,4 g/vaso de ureia, NH₄H₂PO₄, KCl, MgSO₄ e Ca(NO₃)₂) e MC5+AM=AM100 (1,4, 12,2, 0,8, 9,4, 4,0 e 1,4 g/vaso de ureia, NH₄H₂PO₄, KCl, calcário, MgSO₄ e MgO).

A aplicação dos tratamentos foi realizada um dia antes do transplante das mudas de brócolis. Os fertilizantes foram misturados com o solo antes de preencher os vasos e a biomassa da mucuna cinza foi colocada como cobertura do solo, segundo o tratamento correspondente.

Capinas manual foram realizadas sempre que necessário. Irrigação manual foi feita de acordo com a demanda da cultura. Recolhimento e retorno da água drenada foi feita em todos os vasos.

2.4 Crescimento de plantas

Área do dossel (calculado a partir da medida superior do dossel no sentido longitudinal e transversal à fileira do plantio) e número total de folhas foram as variáveis utilizadas para medir o crescimento do brócolis. Medições das variáveis de crescimento foram feitas a cada 15 dias, a partir do transplante das mudas.

2.5 Produção e índice de colheita

A colheita foi feita ao mesmo tempo em todos os tratamentos quando as inflorescências atingiram seu crescimento pleno (21/09/2017).

A matéria fresca da inflorescência de brócolis (cortada a 2,5 cm abaixo da haste mais baixo) foi utilizada para avaliar o produção (g/planta) do brócolis.

O índice de colheita (IC) foi determinado para cada tratamento, de acordo com:

$$IC = [(matéria\ seca\ da\ inflorescência / matéria\ seca\ total\ da\ planta) \times 100].$$

2.6 Acúmulo de matéria seca

A matéria fresca dos diferentes órgãos da planta (limbo foliar, pecíolo, caule, inflorescência e raiz) foi quantificada imediatamente após a colheita. Amostras de cada órgão foram acondicionadas em sacos de papel, pesadas e secadas (em estufa de circulação forçada a 65 °C) para determinação da matéria seca.

2.7 Acúmulo de nutrientes

As amostras de cada órgão do brócolis foram moídas (em moinho tipo Willey) após a secagem. Teores de N, P, K, Ca, Mg e S foram determinados. N pelo método Kjeldahl (Tedesco et al., 1995), P por espectrofotometria (cumprimento de onda de 725 nm), K em fotômetro de chama, Ca e Mg em espectrofotômetro de absorção atômica e S por turbidimetria (Malavolta et al., 1989). O acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S na matéria seca total foi obtido com a seguinte equação:

$$\text{Acúmulo de nutriente X} = \text{matéria seca} \times (\text{teor de nutriente} / 100).$$

2.8 Eficiência de recuperação e eficiência de utilização

O Índice de eficiência de recuperação (ER) foi determinado com a seguinte equação:

$$ER = \{[(\text{g de nutriente acumulado na planta adubada} - \text{g de nutriente acumulado na planta não adubada}) / \text{quantidade de nutriente aplicado}] \times 100\}.$$

O Índice de eficiência de utilização (EU) foi determinado com a seguinte equação:

$$EU = \text{matéria seca total} / \text{quantidade total de nutriente acumulado}.$$

2.9 Solução do solo

Um lisímetro de ½” (com cápsula porosa terminal) foi instalado em cada vaso (profundidade de 0-10 cm e distanciamento de 10 cm do caule) (Figura 1). Coletas semanais da solução do solo foram realizadas, iniciando sete dias após o transplante e concluídas na colheita. As plantas foram irrigadas até alcançar capacidade de campo em cada data de coleta. Aos extratores foi aplicado vácuo com pressão de ± 70 Kpa. Após seu preenchimento coletou-se a solução do solo com auxílio de seringa e mangueira e as amostras foram armazenadas em freezer até o momento da sua análise.

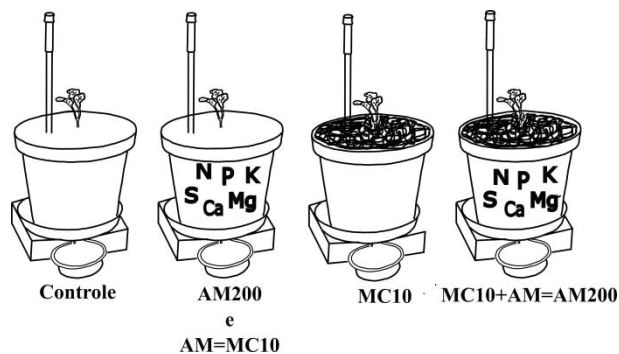


Figura 1. Esquema da colocação dos lisímetros utilizados para a colheita da solução do solo e da aplicação dos tratamentos controle, 200% da dose recomendada para brócolis e aplicado com adubação mineral (AM200), 10 t/ha de mucuna cinza (MC10), adubo mineral fornecendo a mesma dose de nutrientes fornecido com MC10 (AM=MC10), MC5 ou MC10 + adubo mineral para fornecer a mesma quantidade de nutriente AM200 (MC10+AM=AM200).

2.10 Acidez ativa (pH), condutividade elétrica (CE) e teores de N, P, K, Ca, Mg e S da solução do solo

Valores de pH e CE foram obtidos com pHmetro e condutímetro em cada data de amostragem. A quantificação de nitrogênio mineral ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) da solução do solo foi feita pelo método Kjeldhal (Tedesco et al., 1995), utilizando-se 10

mL de amostra da solução do solo. Determinações de K foram feitas por fotômetro de chama, determinação de Ca e Mg realizaram-se em espectrofotômetro de absorção atômica, determinações de S foram feitas por turbidimetria. Volume de 1, 2, 0,5 e 5 mL de amostra foram utilizadas para as análises de K, Ca, Mg e S, respectivamente. Leituras de P foram feitas diretamente da solução do solo por espectrofotometria.

2.11 Relação entre características da solução do solo e o crescimento da cultura

A influencia do crescimento da planta sobre as características da solução do solo foi avaliado através da relação entre a área de dossel e o pH, CE e teores N, P, K, Ca, Mg e S (das avaliações feitas aos 7, 21, 35, 49 e 63 após a aplicação dos tratamentos).

2.12 Análise de dados

Análise de regressão foi realizada para a área de dossel. Análise de variância e teste de Dunnett (com auxílio do programa estatístico SAS 9.0) foram realizadas para comparar o tratamento controle com os diferentes tratamentos de adubação para as variáveis número de folhas, matéria seca, produção, índice de colheita e acúmulo de nutrientes. Análise variância e teste de Dunnett foram realizadas para comparar a 10 t/ha de mucuna cinza com os outros tratamentos de adubação na ER e EU. Comparação de médias por contrastes foram utilizadas para avaliar o efeito do tipo de adubo utilizado, na dose maior (aplicado com 200% da dose recomendada e fornecido com AM200 ou MC10+AM=AM200) e na dose menor (quantidade fornecida com MC10 e AM=MC10), quando pertinentes. Análise de correlação foi feita para estimar a relação entre área de dossel e as características da solução do solo. Em todas as análises considerou-se $p < 0,05$. Dados de pH, CE, N, P, K, Ca, Mg e S da solução do solo foram apresentados através da média aritmética e desvio padrão para cada data de amostragem.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Crescimento das plantas

Houve aumento linear da área de dossel com o passar dos dias. Menor área foliar foi encontrada no controle em comparação com AM200 e MC10+AM=AM200 aos 60 dias após o transplante (Figura 2). O efeito do tipo de adubo não foi detectado nesta pesquisa (Tabela 1).

Maior crescimento de brócolis tem sido reportado na medida em que aumenta a dose de adubação, tanto em plantas fertilizadas com adubação verde (Diniz et al., 2007;

Diniz et al., 2015; Diniz et al., 2017b), quanto com adubação mineral (El-Helaly, 2012), em comparação com plantas não adubadas. Neste experimento confirmou-se efeito da dose de adubação. A menor dose de adubação não foi capaz de alterar o crescimento das plantas, devido a que foram encontradas similares área de dossel no controle e as plantas fertilizadas com MC10 ou AM=MC10. Resultado diferente foi encontrado com a maior dose de adubação, onde, AM200 ou MC10+AM=AM200 promoveram maior área de dossel em comparação com o controle. Por outra arte, o efeito do tipo do adubo utilizado não foi confirmado na área de dossel na menor (fornecido com MC10 e/ou AM=MC10) e maior (fornecido com AM200 e/ou MC10+AM=AM200) dose de adubação, indicando que 10 t/ha da biomassa da mucuna cinza aplicada isoladamente ou em conjunto com adubação mineral, é capaz de resultar o mesmo crescimento conseguido com a menor ou maior dose de adubação mineral.

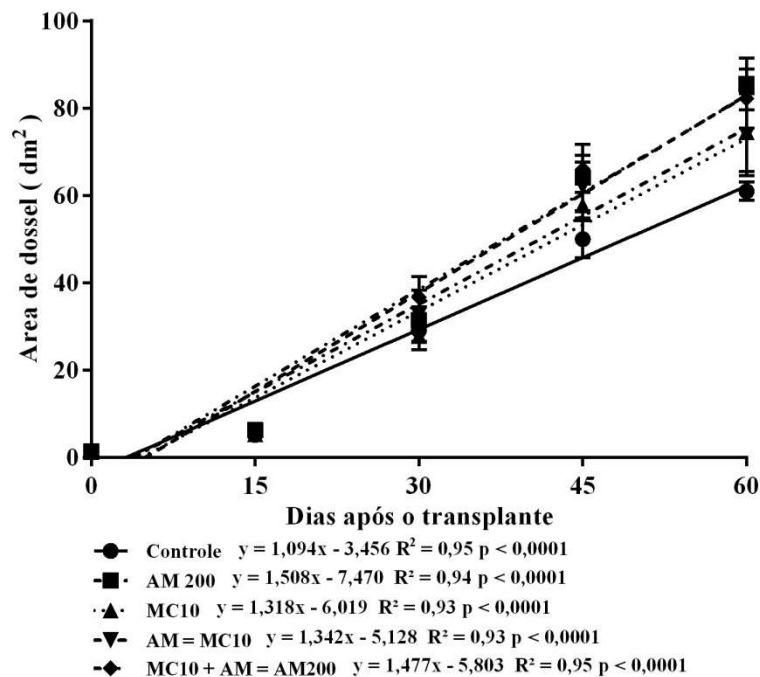


Figura 2. Área do dossel de plantas de brócolis 'Legacy' não fertilizadas (controle) ou fertilizadas com adubo mineral na dose 200% recomendada e aplicada exclusivamente com adubação mineral (AM200), 10 t/ha de mucuna cinza (MC10), adubo mineral fornecendo a mesma dose de nutrientes fornecido com MC10 (AM=MC10), MC10 + adubo mineral para fornecer a mesma quantidade de nutriente fornecido com AM200 (MC10+AM=AM200). Barras representam o desvio padrão.

Foi encontrado maior número de folhas com AM200 em comparação com o controle (Figura 3 A).

A disponibilidade de N, P, K, Ca, Mg e S em quantidade e momento mais adequando pode estimular maior produção de folhas (Chand et al., 2017). Até certo ponto, o número de folhas produzidas pode aumentar na medida em que aumenta a dose de adubação, mas a resposta das plantas à mesma dose de adubação pode ser diferente entre cultivares e nem sempre maiores doses estimulam maior produção de folhas (Branco et al., 2017; El-Bassiony et al., 2017). O maior número de folha produzidas com AM200 em comparação com o controle, demonstrou a influência da dose e tipo de adubo utilizado. Embora AM200 e MC10+AM=AM200 forneceram a mesma quantidade de nutrientes, o número de folhas produzidas com MC10+AM=AM200 foi similar ao controle, o que sugere que aplicação conjunta de mucuna cinca e adubo mineral podem afetar o tamanho das folhas, mas não afeta o número de folhas produzidas.

3.2 Produção e índice de colheita

A produção de inflorescência foi afetada pela adubação. Maior produção foi encontrada com AM200, AM=MC10 e MC10+AM=AM200 em comparação com controle (Figura 3 B). Efeito do tipo de adubo foi detectado na menor dose de adubação (Tabela 1).

O produção do brócolis pode ser influenciada pela dose e também pelo tipo de adubo utilizado (Diniz et al., 2007; Basumatary et al., 2017; Kumar et al., 2017; Lozano Fernandez et al., 2018; Moreno-Cornejo et al., 2017). Nesta pesquisa confirmou-se efeito da adubação. As quantidades de nutrientes fornecidas com AM200, AM=MC10 e MC10+AM=AM200 promoveram produção de 189, 182 e 176 g/planta, sendo 125%, 117% e 110% maior que a produção do controle, respectivamente. Isto sugere que o aumento da dose de adubação não necessariamente refletirá em maior produção. O efeito do tipo de adubo sobre produção de brócolis confirmou-se nesta pesquisa quando se utilizou menor dose de adubação. Maior produção foi obtida com AM=MC10 em comparação com MC10. A maior produção obtida com a menor dose de adubação mineral se atribui à rápida disponibilidade dos nutrientes imediatamente após de serem aplicados. Situação diferente ocorre com adubação verde onde os nutrientes precisam passar pelo processo de mineralização antes de serem absorvidos pelas plantas (Lorensini et al., 2014; Valadares et al., 2016). Em condições de campo, onde não ocorre controle de lixiviação, espera-se efeitos similares entre AM=MC10 e MC10 como têm sido relatado em outros estudos (Diniz et al., 2017a).

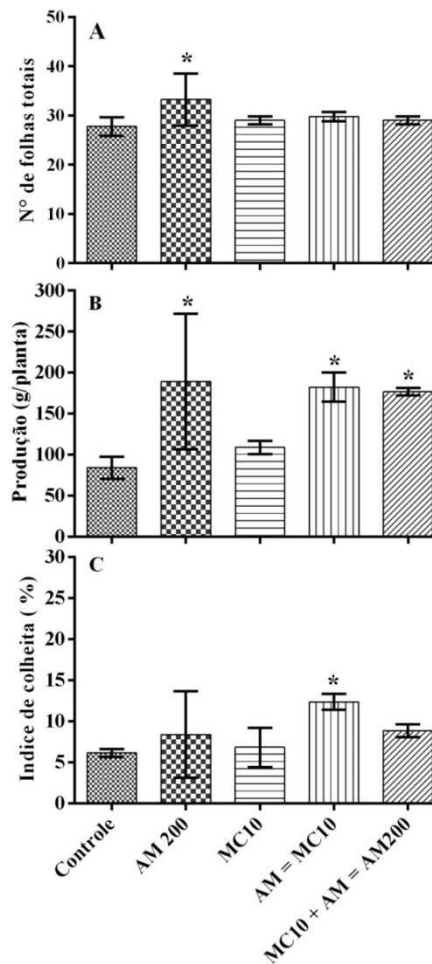


Figura 3. Número total de folhas produzidas (A), produção de inflorescência (B) e índice de colheita (C) de plantas de brócolis ‘Legacy’, não fertilizadas (controle) ou fertilizadas com adubo mineral na dose 200% recomendada e aplicada exclusivamente com adubação mineral (AM200), 10 t/ha de mucuna cinza (MC10), adubo mineral fornecendo a mesma dose de nutrientes fornecido com MC10 (AM=MC10), MC10 + adubo mineral para fornecer a mesma quantidade de nutriente fornecido com AM200 (MC10+AM=AM200). Barras representam o desvio padrão. *Diferentes do tratamento controle pelo teste de Dunnett ao $p < 0,05$.

O IC foi influenciado pela adubação. Maior IC foi encontrado com AM=MC10 em comparação com controle (Figura 3 C).

Maior IC com AM=MC10 confirma que as plantas apresentaram maior capacidade para alocar matéria seca na inflorescência. Embora os tratamentos AM200 e MC10+AM=AM200 apresentassem maior produção que o controle, o IC foi similar entre eles, indicando que a maior dose de adubação além de estimular crescimento da inflorescência também resulta em ganho de matéria seca em outros órgãos da planta. O valor máximo de IC nesta pesquisa (de 12,4% e conseguido com AM=MC10) é menor

ao 17,8% reportado em brócolis manejado com adubação verde (com 0, 3, 6 e 9 t/ha de MS de *Mucuna pruriens*) (Diniz et al., 2015) e menor aos valores entre 16% e 29% obtidos com adubação mineral (doses crescentes de 0, 120 e 240 kg/ha de N) (Vågen et al., 2007). O Efeito do tipo de adubo sobre o IC foi confirmado nesta pesquisa quando se utilizou a menor dose de adubação (Tabela 1), demonstrando que os 5,60 8,00, 2,00, 3,20, 1,94 e 0,60 g/vaso de N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg e S aplicados com adubação mineral resultaram (AM=MC) em maior alocação de matéria seca na inflorescência em comparação com a mesma quantidade de nutrientes aplicados através da biomassa da mucuna cinza.

Tabela 1. Grupos de contrastes para a comparação da área de dossel (aos 60 dias após o trasplante), número de folhas produzidas, produção, índice de colheita, matéria seca produzida e acúmulo de macronutrientes em brócolis ‘Legacy’ fertilizado com adubo verde e ou adubo mineral.

Variáveis	----MC10 vs AM=MC10---		-AM200 vs MC10+AM=AM200-	
	Médias	Diferença	Médias	Diferença
Área de dossel (dm ²)	74,55 – 73,92	2,63 ns	85,56 – 82,20	3,36 ns
Nº de folhas totais	29,00 – 29,75	-0,75 ns	30,67 – 29,00	1,67 ns
Produção (g/planta)	105,80 – 184,17	-78,37*	198,78 – 179,81	18,97 ns
Índice de colheita (%)	7,32 – 13,28	-5,95*	9,89 – 7,79	2,11 ns
Matéria seca produzida				
Folha	70,66 – 93,16	-22,50 ns	121,01 – 91,88	29,12 ns
Pecíolo	23,64 – 36,12	-12,48 ns	39,16 – 33,86	5,36 ns
Caule	21,22 – 26,90	-5,69*	26,84 – 30,23	-3,39 ns
Inflorescência	9,28 – 24,36	-15,08*	16,67 – 16,77	-0,10 ns
Raiz	13,72 – 16,89	-3,17*	16,06 – 18,56	-2,50**
Total	138,52 – 197,44	-58,92*	219,73 – 191,30	28,43 ns
Acúmulo de nutrientes				
Nitrogênio	1,70 – 2,12	-0,42*	2,81 – 2,00	0,81*
Fosforo	0,23 – 0,23	0 ns	0,41 – 0,34	0,07*
Potássio	2,22 – 2,87	-0,66*	2,72 – 2,74	-0,01ns
Cálcio	0,50 – 0,76	-0,26*	0,88 – 0,67	0,21ns
Magnésio	0,09 – 0,11	-0,02*	0,16 – 0,12	0,04*
Enxofre	0,67 – 0,0,90	-0,23 ns	0,78 – 0,82	-0,04 ns

MC10 = 10 t/ha de mucuna cinza; AM200 = Adubo mineral na dose 200% recomendada para o brócolis e aplicada exclusivamente com adubação mineral; AM=MC10 = Adubo mineral fornecendo a mesma dose de nutrientes fornecido com MC10; MC10+AM=AM200 = MC10 + adubo mineral para fornecer a mesma quantidade de nutriente fornecido com AM200. ns = não significativo pelo teste de F (p ≥ 0,05). * = Diferentes pelo teste de F (p < 0,05).

3.3 Acúmulo de matéria seca

A influência da adubação sobre a produção de matéria seca foi confirmada. Mais matéria seca de inflorescência foi encontrada com AM=MC10 em comparação com o controle, mais matéria seca de raiz foi encontrada com AM200, AM=MC10 e MC10+AM=AM200 comparação com o controle e maior acúmulo de matéria seca total foi obtido com AM200 comparação com o controle (Tabela 2).

Tabela 2. Médias e desvio padrão da produção de matéria seca (da folha, pecíolo, caule, inflorescência, raiz e seca total) e acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em plantas de brócolis ‘Legacy’ fertilizado com diferentes adubos.

Tratamentos	Matéria seca produzida					
	Folha	Pecíolo	Caule	Inflorescência	Raiz	Total
Controle	64,63 ± 7,24	26,00 ± 2,53	24,47 ± 1,87	8,41 ± 1,36	12,88 ± 0,53	136,40 ± 11,84
AM200	121,01 ± 46,86	39,16 ± 3,88	26,84 ± 5,85	16,67 ± 8,99	16,06 ± 0,61*	219,73 ± 35,53*
MC10	70,66 ± 11,71	23,64 ± 5,01	21,22 ± 3,62	9,28 ± 2,93	13,72 ± 1,16	138,52 ± 13,84
AM=MC10	93,16 ± 43,26	36,12 ± 21,65	26,90 ± 1,42	24,36 ± 9,13**	16,89 ± 1,10*	197,44 ± 74,90
MC10+AM=200	91,88 ± 22,09	33,86 ± 4,18	30,23 ± 1,69	16,77 ± 0,29	18,56 ± 1,49*	191,30 ± 18,19
	Nutrientes acumulados					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Controle	1,43 ± 0,15	0,20 ± 0,02	2,03 ± 0,16	0,47 ± 0,05	0,08 ± 0,01	0,67 ± 0,05
AM200	2,81 ± 0,36*	0,41 ± 0,03*	2,72 ± 0,14	0,88 ± 0,08*	0,16 ± 0,01*	1,05 ± 0,11*
MC10	1,70 ± 0,21	0,23 ± 0,01	2,22 ± 0,15	0,50 ± 0,03	0,09 ± 0,00	0,82 ± 0,07
AM=MC10	2,12 ± 0,37*	0,23 ± 0,03	2,87 ± 0,73*	0,76 ± 0,29*	0,11 ± 0,02*	0,78 ± 0,11
MC10+AM=200	2,00 ± 0,17*	0,34 ± 0,05*	2,74 ± 0,40	0,67 ± 0,06	0,12 ± 0,02*	0,90 ± 0,12*

Controle = plantas não fertilizadas; AM200 = Adubo mineral na dose de 200% da dose recomendada para a cultura; MC10 = 10 t/ha de mucuna cinza; AM=MC10 = adubo mineral fornecendo a mesma dose de nutrientes fornecido com MC10; MC10+AM=AM200 = MC10 + adubo mineral para fornecer a mesma quantidade de nutriente fornecido com AM200. * = Diferentes do tratamento controle pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

A influência da adubação sobre a produção de matéria seca tem sido relatada em outros estudos, nos quais maior acúmulo de matéria seca é obtido na medida em que aumenta a dose de adubo mineral ou adubação verde (Feller e Fink, 2005; Holness et al., 2008; Bakker et al., 2009; Diniz et al., 2017b). Nesta pesquisa, embora tenham sido encontradas diferenças na matéria seca da inflorescência e raiz, unicamente AM200 resultou em mais matéria seca total do que o controle. Isto indica que a quantidade de nutrientes fornecidos com a adubação mineral em menor dose ou adubo verde isolado

ou em conjunto com adubo mineral não foram suficientes para alterar a produção de matéria seca total quando comparado com plantas não adubadas. Estes resultados também sugerem que em solo classificado com acidez fraca, nível baixo de Mg, nível médio de P e Ca e nível muito bom de K e S (Alvarez et al., 1999), são requeridas maior dose de adubação para promover plantas com maior matéria seca total. Nesta pesquisa, o efeito do tipo de adubo foi confirmado na produção de matéria seca do caule, inflorescência, raiz e matéria seca total. Plantas fertilizadas com AM=MC10 superaram aquelas que receberam MC10. Já com a maior dose de adubação, o tipo de adubo unicamente influenciou a matéria seca da raiz, onde adubação conjunta superou a adubação mineral. Isto sugere que em menor dose de adubação as plantas têm melhor resposta com nutrientes fornecidos na forma inorgânica quando comparado com adubação verde. Os resultados também demonstram que em maior dose de adubação o tipo de adubo pode influenciar na distribuição da matéria seca dentro da planta, como já tem sido relatado em outros estudos (Diniz et al., 2010).

3.4 Acúmulo de nutrientes

Foi encontrado efeito da adubação sobre o acúmulo de nutrientes. Maior acúmulo de N e Mg ocorreu com AM200, AM=MC10 e MC10+AM=AM200 em comparação com o controle, maior acúmulo de P e S ocorreu com AM200 e MC10+AM=AM200 em comparação com o controle, maior acúmulo de K ocorreu com AM=MC10 em comparação com o controle e maior acúmulo de Ca ocorreu com AM200 e AM=MC10 em comparação com o controle (Tabela 2).

A concentração de nutrientes na solução aumenta em solos adubados, isto pode estimular maior absorção de nutrientes e em consequência maior produção de matéria seca e maior acúmulo de nutrientes na biomassa da planta (Muramoto et al., 2011; Smith et al., 2016). Nesta pesquisa, plantas fertilizadas com MC10 foram as únicas que não se diferenciaram do controle no acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S, possivelmente devido a quantidade similar de matéria seca produzida. Resultado diferente ocorreu com AM200, pois se diferenciou do controle em cinco (N, P, Ca, Mg e S) dos seis nutrientes avaliados, o que se atribui à maior quantidade de matéria seca produzida. Maior acúmulo de nutrientes com AM=MC10 (N, K, Ca e Mg) e MC10+AM=AM200 (N, P, Mg e S) em comparação com o controle, embora ter apresentado similar matéria seca total produzida, sugere que as diferenças se relacionam com distribuição dos nutrientes dentro da planta e/ou com o teor dos nutrientes na biomassa do brócolis como relatado por outros autores (Diniz et al., 2007; Diniz et al., 2010). Efeito do tipo de adubo sobre

acúmulo de nutrientes foi confirmado nesta pesquisa. Com menor dose de adubação, maior acúmulo de N, K, Ca, Mg e S ocorreu com adubação mineral (AM=MC10) em comparação com adubação verde, o que se atribui às diferentes quantidades de matéria seca produzida por esses tratamentos. Já com a maior dose de adubação, maior acúmulo de N, P e Mg foi obtido com adubação mineral (AM200) em comparação com adubação conjunta, sugerindo que além da produção de matéria seca, fatores como a partição da matéria seca e teor do nutriente nos órgãos da planta podem influir no acúmulo de nutrientes. Nesta pesquisa a somatória de matéria seca alocada na folha, pecíolo e inflorescência foi 78% com AM200 e 76% com MC10+AM=AM200, em quanto que, o teor N, P e Mg foi 1,29%, 1,19% e 0,08% com AM200 e 1,05%, 0,18% e 0,06% com MC10+AM=AM200, respectivamente. Portanto diferenças na partição de matéria seca e no teor do nutriente, resultaram em diferente acúmulo de N, P e Mg.

3.5 Eficiência de recuperação e eficiência de utilização

Maior ER de N foi encontrada com AM200 em comparação com MC10, maior ER de K com MC10+AM=AM200 em comparação com MC10, maior ER de Ca com AM200 e AM=MC10 em comparação com MC10, maior ER de Mg com AM=MC10 em comparação com MC10 (Figura 4 A, C, D, E). Menor ER de P foi encontrada com MC10+AM=AM200 em comparação com MC10 (Figura 4 B).

Fatores como a característica do solo, dose de adubação e tipo de adubo podem influenciar a eficiência de recuperação. Embora exista relato de diminuição da ER de N na medida em que aumentou a dose de nutrientes quando se utilizou adubação verde ou adubação mineral em brócolis (Diniz et al., 2015; Diniz et al., 2017b; Hussain et al., 2016; Hussain et al., 2017), nesta pesquisa, unicamente a ER de P foi superior com a menor dose de adubação - fornecido com MC10 - quando comparado com a maior dose de adubação, fornecido com MC10+AM=AM200. Situação diferente ocorreu na ER de N, K e Ca, pois os valores obtidos com MC10 foram menores em comparação com a maior dose de adubação, quando aplicado com adubação mineral (AM200) ou adubação conjunta (MC10+AM=AM200). Isto indica que em solo de fertilidade média ocorre maior absorção de N, K e Ca com maior dose de adubação, possivelmente pela maior concentração de nutrientes na solução do solo, o que resulta em maior produção de matéria seca e conseqüentemente maior acúmulo de nutrientes. O efeito do tipo de adubo sobre a ER tem sido relatado em outras culturas, particularmente na ER de N (Araújo et al., 2005; Silva et al., 2009; Menezes et al., 2013). No presente trabalho, o efeito do tipo de adubo foi confirmado. Em menor dose de adubação, os nutrientes

fornechos através de adubação mineral (AM=MC10) estimularam maior acúmulo de Ca e Mg em comparação com nutrientes fornecidos com a biomassa da mucuna cinza. Já com a maior dose de adubação, unicamente a ER de N foi afetado, onde os valores obtidos com adubação mineral (AM200) superaram àqueles da adubação conjunta (Tabela 3). A maior recuperação de N, Ca e Mg com adubação mineral se atribui à maior disponibilidade destes nutrientes no solo, uma vez que foram aplicadas na forma inorgânica e pela reutilização da água drenada, o que impediu sua perda por lixiviação.

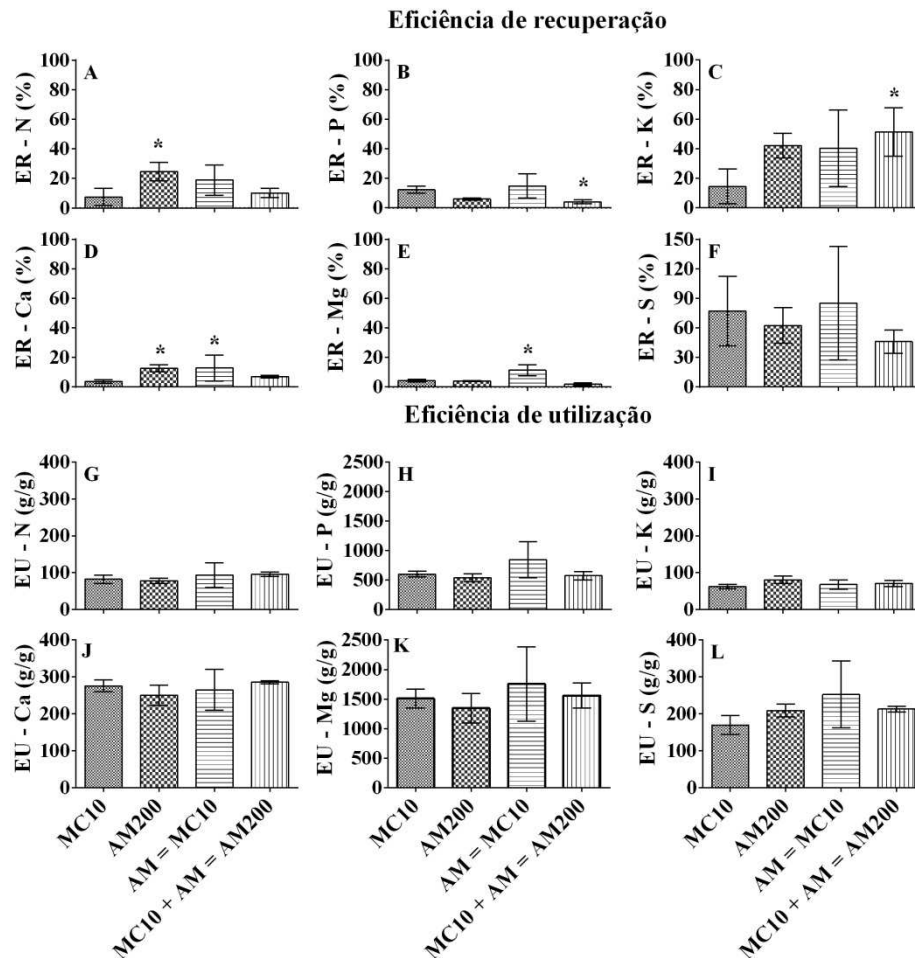


Figura 4. Médias e desvio padrão da eficiência de recuperação (ER) (A, B, C, D, E, F) e eficiência de utilização (EU) (G, H, I, J, K, L) do nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em brócolis ‘Legacy’, fertilizados com 10 t/ha de mucuna cinza (MC10), adubo mineral na dose 200% recomendada e aplicada exclusivamente com adubação mineral (AM200), adubo mineral fornecendo a mesma dose de nutrientes fornecido com MC10 (AM=MC10), MC10 + adubo mineral para fornecer a mesma quantidade de nutriente fornecido com AM200 (MC10+AM=AM200). *Diferentes do tratamento MC10 pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

Similares EU de N, P, K, Ca, Mg e S foram encontradas nos tratamentos de adubação (Figura 3 G, H, I, J, K, L).

Aumento da dose de adubação pode resultar em aumento da produção de matéria seca e aumento no teor do nutriente na biomassa da planta. No entanto, a partir de certa dose a produção de biomassa das plantas deixa de responder à aplicação de nutrientes, mantendo unicamente o aumento do teor do nutriente. Nesta pesquisa, demonstrou-se que a quantidade de matéria seca produzida por cada grama de N, P, K, Ca, Mg e S absorvido em plantas fertilizadas com 10 t/ha de mucuna cinza foi similar à produzida em plantas fertilizadas com adubação mineral (AM200 e AM=MC10) e adubação conjunta. De forma geral, a EU decresceu na ordem Mg>P>Ca>S>N>K com valores médios (média de todos os tratamentos com adubação) de 1544, 638, 269, 211, 87 e 70 g de matéria seca produzida por cada grama de Mg, P, Ca, S, N e K absorvidos, respectivamente. Maior quantidade de matéria seca produzida por cada grama de Mg e P deve-se a que estes nutrientes são os menos demandados pela planta, contrariamente ao N e K que são os nutrientes mais demandados durante seu ciclo produtivo (Carranza et al., 2008; Cecílio Filho et al., 2017).

Tabela 3. Contrastes para a comparação da eficiência de recuperação e eficiência de utilização nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre em plantas de brócolis ‘Legacy’ fertilizado com 200% da dose recomendada para a cultura e fornecido com adubação mineral (AM100) ou pela aplicação conjunta de 10 t/ha de mucuna cinza e adubo mineral (MC10+AM=AM200).

Variáveis	AM200 vs MC10+AM=AM200	
	Médias	Diferença
Eficiência de recuperação		
Nitrogênio	24,65 – 10,20	14,45**
Fósforo	6,02 – 4,04	1,98 ns
Potássio	42,05 – 51,30	-9,28 ns
Cálcio	12,63 – 7,06	5,57 ns
Magnésio	4,09 – 2,04	2,04 ns
Enxofre	62,48 – 46,02	16,46 ns
Eficiência de utilização		
Nitrogênio	78,23 – 95,77	-17,54 ns
Fósforo	538,87 – 571,19	-32,32 ns
Potássio	80,46 – 70,59	9,88 ns
Cálcio	250,53 – 285,99	-35,46 ns
Magnésio	1347,15 – 1560,42	-213,27 ns
Enxofre	209,29 – 213,15	-3,86 ns

ns = não significativo pelo teste de F ($p \geq 0,05$). * = Diferentes pelo teste de F ($p < 0,05$).

3.6 Acidez ativa (pH) e condutividade elétrica (CE) da solução do solo

O pH da solução do solo apresentou mudanças ao longo do tempo. Na fase inicial de crescimento do brócolis o pH estava entre 6,3 e 6,4. Ao final do ciclo fenológico os valores estavam entre 6,8 e 7,2 (Figura 5 A).

O pH da solução do solo pode ser influenciado pela dose e tipo de adubo utilizado, pelas características do solo e pela cultura (Tang et al., 2011; Conyers et al., 2011). O efeito do crescimento da cultura de brócolis sobre o pH da solução do solo foi confirmado nesta pesquisa. Maiores diferenças do pH entre tratamentos de adubação ocorreram no momento da aparição floral. O efeito da dose e tipo de adubo também foi confirmado nesta pesquisa. Menor valor de pH foi encontrado com adubação mineral, principalmente com AM200, que resultou em menor pH em comparação com o controle. Menor pH em solos adubados com AM200 indica que as quantidades de K, Ca e Mg aplicado não neutralizaram o efeito acidificante da ureia. Valores intermediários de pH em solos adubados com AM=MC10 são atribuídos à redução da quantidade de N aplicado e pela forma em que o N foi fornecido, pois, 48% do N foi fornecido com ureia e 52% com nitrato de cálcio. Menor quantidade de NH_4^+ (proveniente da ureia) resultou em menor nitrificação e menor H^+ liberado à solução do solo, além de que, o nitrato de cálcio tem efeito alcalino para o solo (Tang et al., 2011; Conyers et al., 2011), conseqüentemente ocorreu neutralização parcial do efeito acidificante da ureia. A aplicação de mucuna cinza (isolada ou em conjunto com adubação mineral) promoveu pH similar ao controle, sugerindo que esta característica química foi pouco modificada pela aplicação do adubo verde. Mínima modificação do pH em solo manejado com MC10+AM=AM200 deve-se a que 65% do N foi aplicado através da mucuna cinza, sendo as quantidades de ureia insuficientes para diminuir o pH do solo. Por outro lado, cátions básicos como K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+ são liberados ao solo durante a decomposição dos resíduos orgânicos, incrementando a capacidade de neutralização acida do solo (Marschner e Noble, 2000; Xu et al., 2006). Diversos ânions orgânicos com terminais hidroxilos (OH^-) e carbóxilos ($-\text{COOH}$), como os ácidos cítrico, oxálico, succínico, malônico e maleico, também são liberados ao solo (Adeleke et al., 2017; Pinheiro et al., 2014), estes ânions consomem H^+ pelo processo de descarboxilação ($\text{R-CO-COO}^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{R-COH} + \text{CO}_2$) (Brady e Weil, 2013; Yan et al., 1996) contribuindo assim na manutenção ou incremento do pH do solo.

Houve efeito da cultura e dos fertilizantes na condutividade elétrica da solução do solo. Maiores valores de CE e maior diferença entre tratamentos foi detectada até

antes dos 35 dias após aplicação dos tratamentos. Os valores mais altos de CE foram 1958, 1521, 1360, 970 e 822 $\mu\text{S}/\text{cm}$ alcançado pelo AM200, AM=MC10, controle, MC10+AM=AM200 e MC10, respectivamente. Valores de CE e diferença entre tratamentos decresceram na medida em que cresceram as plantas de brócolis (Figura 5 B).

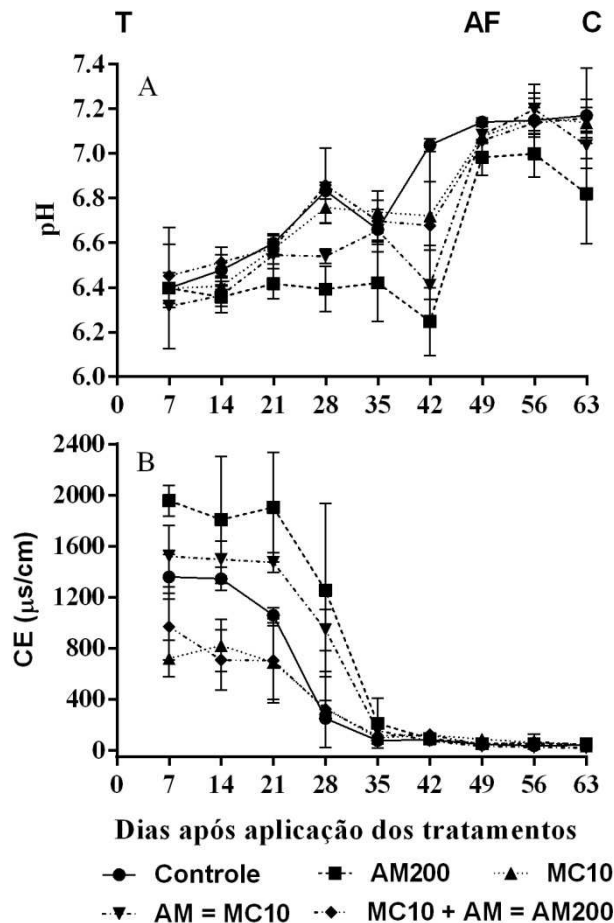


Figura 5. Média e desvio padrão da acidez ativa (pH) (A) e condutividade elétrica (CE) (B) da solução do solo no cultivo de brócolis 'Legacy', em plantas não adubadas ou adubadas com 200% da dose recomendada para brócolis e fornecido com adubação mineral (AM200), 10 t/ha de mucuna cinza (MC10), adubo mineral fornecendo a mesma quantidade de nutrientes fornecido com MC10 (AM=MC10), MC10 + adubo mineral para fornecer a mesma quantidade de nutrientes fornecido com AM200 (MC10+AM=AM200). T = Transplante. AF = Aparição da inflorescência. C = Colheita.

A condutividade elétrica indica a concentração de íons na solução do solo. A alteração da CE em espaço e tempo pode ocorrer pelas práticas de adubação e pela absorção de nutrientes pelas raízes das culturas (Miranda et al., 2006) e a magnitude dessas mudanças pode variar em função das características do solo. Efeito da cultura, da dose e do tipo de adubo foi detectado nesta pesquisa. Valores mais altos de CE

detectaram-se antes dos 21 dias após aplicação dos tratamentos. Maior valor de CE neste período se atribui à pequena absorção de nutrientes, pois as plantas se encontravam na fase fenológica de menor demanda nutricional. As taxas de crescimento e absorção de nutrientes do brócolis aumentam depois da terceira ou quarta semana após o transplante (Cecílio Filho et al., 2017; Magnifico et al., 1989) o que explica o decréscimo da CE em todos os tratamentos após 21 dias da aplicação dos tratamentos. O efeito da dose e tipo de adubo confirmado entre a primeira e segunda semana após o transplante do brócolis, onde a maior CE detectou-se com adubação mineral, isto se atribui a que os nutrientes foram fornecidos na forma inorgânica, incrementando o teor de íons na solução do solo imediatamente após sua aplicação. Menor CE com adubação verde, deve-se a que os nutrientes fornecidos encontravam-se na forma orgânica e precisam passar pelo processo de mineralização antes de serem liberados à solução do solo (Lorenzini et al., 2014; Valadares et al., 2016). A atividade microbiana pode ser outro fator que promove diminuição da CE em solos que recebem adubação verde. Imobilização de nutrientes ocorre pelos microrganismos edáficos requeridos para suas funções metabólicas. Em solos manejados estritamente com adubos orgânicos, os microrganismos suprem sua demanda nutricional a partir dos compostos orgânicos (Heuck et al., 2015; Li et al., 2017) e, embora, ocorra aceleração da mineralização de nutrientes, também ocorre maior competição pela absorção de íons entre microrganismos e plantas, diminuindo a quantidade de íons na solução do solo e conseqüentemente a CE. Em solos manejados com aplicação conjunta de adubo mineral e adubo verde, os microrganismos obtêm nutrientes inicialmente a partir dos fertilizantes minerais e, posteriormente quando se reduz a quantidade de nutrientes na forma inorgânica, os microrganismos aceleram a decomposição dos resíduos orgânicos (Li et al., 2017; Riggs e Hobbie, 2016). Para solos adubados exclusivamente com adubação mineral há relato da redução da população microbiana e essa redução é maior na medida em que se incrementa a dose do fertilizante (Zang et al., 2016). Portanto, menor número de microrganismo no solo resulta em menor competição com a planta e conseqüentemente maior teor de íons na solução do solo, o que poderia ajudar a explicar os maiores valores da CE nos solos adubados com adubação mineral. Valores intermediários da CE nos solos não adubados explicam-se pela fertilidade inicial do solo. Os valores de CE mais altos em solos não adubados em comparação com solos que receberam adubação verde, se atribuem às mudanças na dinâmica populacional dos microrganismos edáficos. Se presume que as quantidades de carbono lábil fornecidas

através da adubação verde promoveram a maior presença de microrganismos r-estrategistas, que se caracterizam pela maior taxa de crescimento e maior habilidade competitiva de nutrientes. Situação diferente em solos não adubados onde, se presume a maior presença de microrganismos mais seletos, principalmente microrganismos k-estrategistas, que se caracterizam pela menor taxa de crescimento, menor habilidade competitiva de nutrientes e maior capacidade para produzir enzimas para decompor compostos orgânicos recalcitrantes (Blagodatskaya et al., 2007). Outro fator que possivelmente contribuiu para a maior CE em solos não adubados foi a liberação de compostos exsudados pela raiz, que podem atuar como fontes de energia para os microrganismos produtores de enzimas ou podem reagir diretamente com os minerais do solo, isto como estratégia das plantas para obter nutrientes do solo (Meier et al., 2017).

3.7 Teores de N, P, K, Ca, Mg e S da solução do solo

Não foi detectado teor de P na solução do solo, independente da data de amostragem ou do tratamento. Efeito do tipo e dose de adubo foi confirmado no teor de N nesta pesquisa. Os teores mais elevados de N foram 180, 140, 95, 74 e 49 mg/L, obtidos com MC10, MC10+AM=AM200, AM200, controle e AM=MC10, respectivamente. Os teores de K, Ca, Mg e S apresentaram valores mais elevados entre 7 e 21 dias após aplicação dos tratamentos (Figura 6 e 7). Os teores de Ca atingiram 97, 94, 76, 36 e 28 mg/L para o AM=MC10, AM200, controle, MC10+AM=AM200 e MC10, respectivamente. Os teores de K foram 72, 69, 53, 51 e 39 mg/L para AM=MC10, AM200, controle, MC10+AM=AM200 e MC10, respectivamente. O Mg e S foram os nutrientes com menor teor na solução do solo. Os teores de Mg foram 19, 17, 17, 10 e 6 mg/L, para AM200, AM=MC10, controle, MC10+AM=MC10 e MC10, respectivamente, enquanto que, os teores de S atingiram 28, 19, 18, 10 e 10 mg/L para AM200, AM=MC10, MC10+AM=AM200, controle e MC10, respectivamente. Os quatro nutrientes apresentaram maiores teores com adubação mineral e os menores teores em solos fertilizados com adubação verde (Figura 2 B, C e 3 A, B).

A característica química de cada nutriente pode influir em seu comportamento na solução do solo. Nesta pesquisa de todos os nutrientes aplicados, o P foi fornecido em maior quantidade, com a dose mais elevada correspondendo a 8,00 g/vaso de P_2O_5 . Embora, haja relatos que com maior dose de P se consegue maior concentração deste nutriente no solo (Gatiboni et al., 2007; Machado e de Souza, 2012) e na que esse incremento se reflete na solução do solo (Fernandes et al., 2015), nesta pesquisa o P não

foi detectado na solução do solo. Este resultado se atribui à interação do P com os minerais do solo. O solo utilizado foi Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, caracteriza-se por ser altamente intemperizados, predominando argila tipo 1:1 principalmente a caulinita, seguido de óxidos de ferro e alumínio (Melo et al., 2003). Estes solos têm uma maior capacidade de sorção de P, pelo que se requer dose de P maior ao requerido pela cultura durante anos consecutivos para alcançar o equilíbrio entre o P aplicado e o removido pela cultura (Roy et al., 2017). O solo utilizado não apresentou Al trocável, o que sugere que o P fornecido foi retido pelo Fe, formando $\text{Fe}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$ ficando na forma insolúvel. Por outro lado, o solo utilizado classificou-se com nível médio de Ca, pelo que, sugerindo que parte do P aplicado também reagiu com o Ca do solo. Pelo exposto, presume-se que a competição entre os minerais do solo e a cultura durante seu ciclo de crescimento resultou no rápido esgotamento do nutriente na solução do solo.

Constatou-se que o N fornecido na forma inorgânica (com ureia e nitrato de cálcio) resultou em maior teor de N na solução do solo antes dos 35 dias após aplicação dos tratamentos, pois os valores foram de médio (AM200) e baixo (AM=MC10). Inclusive na primeira semana após aplicação dos tratamentos o teor do AM=MC10 foi menor que o teor do controle. Menores teores de N com adubação mineral se atribuem à interação de imobilização, perda de N por volatilização, movimentação do nutriente no solo e remoção pela planta através da absorção. Imobilização momentânea de N pode ocorrer pela ação microbiana, os microrganismos imobilizam N na forma de aminoácidos, ácidos nucleicos e amino-açúcares e se mantêm unidos principalmente às frações mais finas do solo (partículas com tamanho $< 20 \mu\text{m}$), estando nessas frações entre o 60% e 90% do N imobilizado de forma biótica (Said-Pullicino et al., 2014). Maior perda de N pode ocorrer quando o N é aplicado ao solo na forma inorgânica e nesta pesquisa se presume que a perda de N ocorreu pela volatilização, pois a água drenada foi recuperada e reutilizada, evitando dessa forma a perda por lixiviação. A principal perda por volatilização ocorre na forma de NH_3 e pode corresponder até o 19% do N aplicado através da adubação, enquanto a quantidade de N perdido na forma de N_2O é menor e normalmente não supera o 2% (Huang et al., 2017). A perda de N na atmosfera é maior quando se utiliza estritamente fertilizantes minerais e a quantidade perdida é maior na medida em que aumenta a dose de aplicação. A utilização da matéria orgânica em conjunto com adubação mineral reduz a perda por volatilização (Cao et al., 2018), o que explicaria maior N na solução do solo que recebeu adubação conjunta, em

comparação com solos fertilizados unicamente com adubação mineral. É possível que tenha ocorrido maior movimentação de N para as partes mais profundas do solo em solos fertilizados estritamente com adubação mineral, devido à sua maior mobilidade. Por outro lado, presume-se que a menor perda de N com adubação verde e sua maior recuperação pelo lisímetro foi devido a que sua aplicação realizou-se sobre a superfície do solo. Há relatos de que a velocidade de mineralização dos resíduos vegetais difere entre suas frações. Na fração mais lábil da *Crotalaria juncea* observou-se tempo de meia vida de nove dias, valores que aumentaram para 89 dias, para a fração menos lábil (Diniz et al., 2014). Nesta pesquisa a fração mais lábil da mucuna cinza foi a folha, apresentando menor relação C/N. Portanto se presume que o N da solução do solo nas primeiras semas após o transplante do brócolis provieram das folhas, enquanto que, na parte final do ciclo o N da solução do solo provieram do caule, que foi a fração menos lábil da mucuna cinza. Embora os solos fertilizados com mucuna cinza apresentassem teor mais alto de N em comparação com adubação mineral (AM200 e AM=MC10), foi nos solos fertilizados com adubação mineral onde se encontraram os teores mais altos de K, Ca, Mg e S, isto sugere que o crescimento e produção do brócolis foi influenciado por mais de um nutriente e explica os menores valores obtidos com mucuna cinza.

Depois do N, o Ca e K foram os nutrientes com maiores teores na solução do solo. Efeito dos tratamentos de adubação foi confirmada para estes nutrientes. Os maiores teores de K, Ca, Mg e S com adubação mineral se explicam porque estes nutrientes foram fornecidos na forma inorgânica, incrementando rapidamente sua concentração na solução do solo. Em condições de campo as perdas de K, Ca, Mg e S ocorrem principalmente por lixiviação e/ou escoamento superficial (a exceção do S que uma proporção menor se perde por volatilização). Considerando que nesta pesquisa a irrigação foi controlada e a água drenada foi captada e reutilizada, teria sido mínima a perda destes nutrientes, mantendo assim os maiores teores nos solos que receberam nutrientes na forma inorgânica. Em solos tropicais a imobilização destes nutrientes pode ocorrer, mas as quantidades imobilizadas são menores em comparação com o P. Também a demanda destes nutrientes pelos microrganismos são menores em comparação com o N e P (Fageria, 2009; Melo et al., 2003), o que reduz sua remoção da solução do solo. Efeito do brócolis foi confirmado nos teores de K, Ca, Mg e S nesta pesquisa. Antes da fase de maior demanda nutricional do brócolis observaram-se os maiores teores (antes dos 21 dias após aplicação dos tratamentos). Na solução de solo não adubados se observaram teores intermediários de N, K, Ca, Mg e S, o que indica

uma boa fertilidade inicial do solo. O solo classificou-se com acidez fraca, acidez trocável muito menor e menor acidez potencial, unicamente o magnésio trocável se classificou em nível baixo, enquanto que, a matéria orgânica, fósforo disponível e cálcio trocável classificaram-se em nível médio, sendo o potássio trocável e enxofre disponível classificados em níveis muito bom (Alvarez et al., 1999).

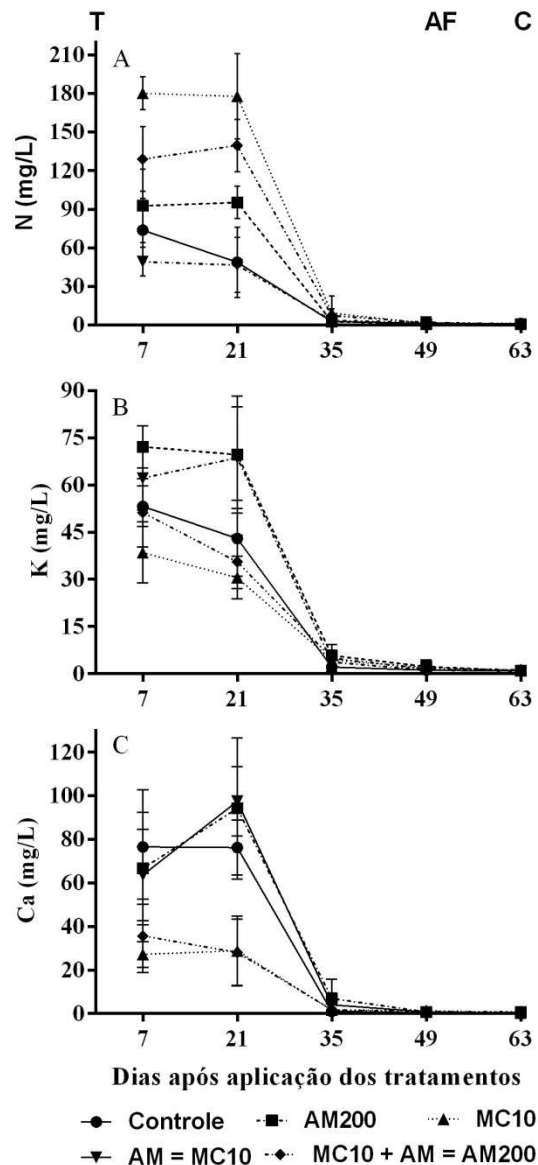


Figura 6. Média e desvio padrão do comportamento do teor do nitrogênio (N) (A), potássio (K) (B) e cálcio (Ca) (C) na solução do solo no cultivo de brócolis ‘Legacy’, em plantas não adubadas ou adubadas com 200% da dose recomendada para brócolis e fornecido com adubação mineral (AM200), 10 t/ha de mucuna cinza (MC10), adubo mineral fornecendo a mesma quantidade de nutriente fornecido com MC10 (AM=MC10), MC10 + adubo mineral para fornecer a mesma quantidade de nutrientes fornecido com AM200 (MC10+AM=AM200). T = Transplante. AF = Aparição da inflorescência. C = Colheita.

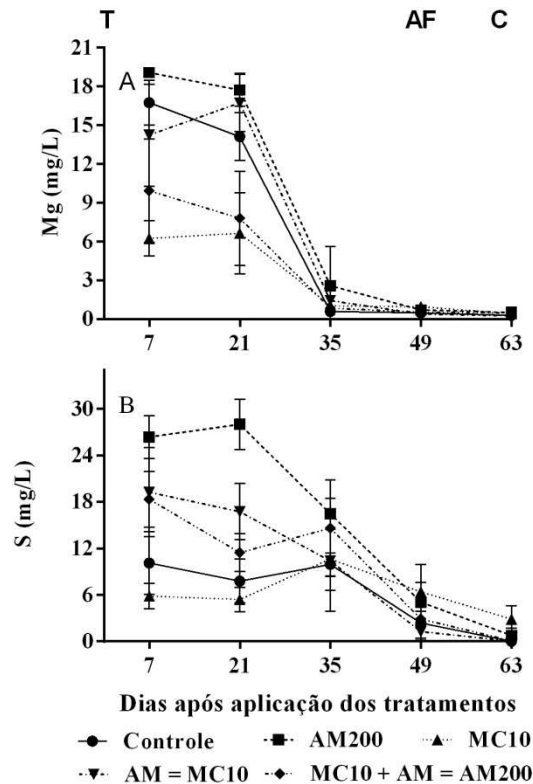


Figura 7. Média e desvio padrão do teor do magnésio (Mg) (A) e enxofre (S) (B) na solução do solo no cultivo de brócolis ‘Legacy’, em plantas não adubadas ou adubadas com 200% da dose recomendada para brócolis e fornecido com adubação mineral (AM200), 10 t/ha de mucuna cinza (MC10), adubo mineral fornecendo a mesma quantidade de nutrientes fornecido com MC10 (AM=MC10), MC10 + adubo mineral para fornecer a mesma quantidade de nutrientes fornecido com AM200 (MC10+AM=AM200). T = Transplante. AF = Aparição da inflorescência. C = Colheita.

3.8 Relação entre características da solução do solo e o crescimento das culturas

A análise de correlação confirmou relação entre acidez ativa, condutividade elétrica, teor de nutrientes e crescimento das culturas, representada pela área do dossel aos 7, 21, 35, 49 e 63 dias após aplicação dos tratamentos. Correlação positiva foi detectada entre o pH com o crescimento do brócolis, mas correlação negativa foi detectada entre CE e teor de N, K, Ca, Mg e S. Correlação positiva ocorreu entre CE e o teor de N, K, Ca, Mg e S. Correlação negativa foi detectado entre CE e o crescimento do brócolis (Tabela 4).

A interação entre o pH, CE e crescimento da cultura já tem sido relatada em outros estudos, onde as medidas da CE podem ser adequadas para detectar propriedades espaço-temporais do solo que influenciam o crescimento das culturas (Aini et al., 2014;

Carmo et al., 2016; Corwin e Lesch, 2005; Stadler et al., 2015). Para esta pesquisa presume-se que a maior CE de solos fertilizados com adubação mineral deve-se aos altos teores de N, K, Ca e Mg. De forma geral a demanda de nutrientes pelo brócolis é na seguinte ordem: N>K>Ca>Mg>S>P (Cecílio Filho et al., 2017) e a demanda de nutrientes incrementa na medida em que aumenta o tamanho das plantas. A velocidade de absorção de nutrientes é menor no primeiro mês após o transplante devido ao menor tamanho da parte aérea e menor quantidade de raízes, absorvendo ao redor de 0,5, 0,4 e 0,4 kg/ha dia de N, K e Ca. Entre os 31 e 53 dias a velocidade de absorção é cerca de 2,3, 0,3, 2,0, 2,4 e 0,3 kg/ha dia de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente. A maior velocidade de absorção ocorre quando a planta tem alcançado seu máximo tamanho da parte aérea e inicia o crescimento da inflorescência atingindo valores máximos de 5,3, 0,7, 5,3, 6,1 e 0,3 kg/ha dia para N, P, K, Ca e Mg (Rincón et al., 1999). Tais fatos explicariam os maiores teores de N, P, Ca, Mg e S nos primeiros 20 dias após o transplante das mudas e os menores teores depois da aparição floral.

Tabela 4. Coeficiente de correlação de Pearson entre os teores de nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), acidez ativa (pH), condutividade elétrica (CE) e somatória dos macronutrientes (N K Ca Mg S) na solução do solo e a área de dossel (AD) (utilizando dados das avaliações feitas aos 7, 21, 35, 49 e 63 dias após aplicação dos tratamentos).

	N	K	Ca	Mg	S	pH	CE	NKCaMgS	AD
N	1								
K	0,647**	1							
Ca	0,480**	0,919**	1						
Mg	0,542**	0,937**	0,930**	1					
S	0,360**	0,706**	0,620**	0,682**	1				
pH	-0,675**	-0,683**	-0,553**	-0,633**	-0,636**	1			
CE	0,982**	0,712**	0,539**	0,621**	0,420**	-0,730**	1		
NKCaMgS	0,857**	0,936**	0,851**	0,874**	0,640**	-0,747**	0,889**	1	
AD	-0,721**	-0,801**	-0,710**	-0,772**	-0,692**	0,872**	-0,771**	-0,856**	1

**Correlação significativa ao nível de 1%.

CONCLUSÕES

A mucuna cinza quando aplicada em dose de 10 t/ha não altera o crescimento, produção, matéria seca produzida em comparação com plantas não adubadas, mas resulta em menor CE, teor de Ca e Mg na solução do solo nos primeiros 21 dias após aplicação dos tratamentos.

Mucuna cinza promove menor produção, IC, matéria seca (de caule, inflorescência, raiz e total), acúmulo de nutrientes (N, K, Ca e Mg), ER (de Ca e Mg), CE, teor de K, Ca, Mg e S (antes dos 35 dias após aplicação dos tratamentos) da solução do solo.

Mucuna cinza aplicada em conjunto com adubo mineral promove similar crescimento, produção, matéria seca (com exceção de raiz), acúmulo de K, Ca e S, ER (com exceção de N), EU e características da solução do solo (após 35 dias da aplicação dos tratamentos).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adeleke, R., C. Nwangburuka, and B. Oboirien. 2017. Origins, roles and fate of organic acids in soils: A review. *South African Journal of Botany* 108: 393–406.
- Aini, I.N., M.H. Ezrin, and W. Aimrun. 2014. Relationship between soil apparent electrical conductivity and pH value of jawa series in oil palm plantation. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 2: 199–206.
- Almeida, K., and F.L.A. Câmara. 2011. Produtividade de biomassa e acúmulo de nutrientes em adubos verdes de verão, em cultivos solteiros e consorciados. *Revista Brasileira de Agroecologia* 6(2): 55–62.
- Alvarez V., V.H., R.F. de Novais, N.F. de Barros, R.B. Cantarutti, and A.S. Lopes. 1999. Interpretação dos resultados das análises de solos. p. 25–32. *In* Ribeiro, A.C., Guimarães, P.T.G., Alvarez V., V.H. (eds.), *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5a aproximação*. CFSEMG, Viçosa-MG.
- Araújo, A.S.F. de, G.M. Teixeira, A.X. de Campos, F.C. Silva, E.J. Ambrosano, and P.C.O. Trivelin. 2005. Utilização de nitrogênio pelo trigo cultivado em solo fertilizado com adubo verde (*Crotalaria juncea*) e/ou uréia. *Ciência Rural* 35(2): 284–289.
- Bakker, C.J., C.J. Swanton, and A.W. McKeown. 2009. Broccoli growth in response to increasing rates of pre-plant nitrogen. II. Dry matter and nitrogen accumulation. *Canadian Journal of Plant Science* 89(3): 539–548.

- Barbosa, C.E.M., E. Lazarini, P.R.F. Picoli, and S. Ferrari. 2011. Determinação da massa seca, teor de nutrientes e cobertura do solo de espécies semeadas no outono-inverno. *Revista Brasileira de Ciência Agrárias* 6(2): 265–272.
- Basumatary, P., B.D. Narzary, D.B. Phookan, and A. Basumatary. 2017. Combined effect of nitrogen, phosphorus, potassium and boron on yield and quality of broccoli [*Brassica oleraceae* (L.) var. *italica*]. *Research on Crops* 18(3): 468–471.
- Blagodatskaya, E.V., S.A. Blagodatsky, T.-H. Anderson, and Y. Kuzyakov. 2007. Priming effects in chernozem induced by glucose and N in relation to microbial growth strategies. *Applied Soil Ecology* 37(1): 95–105.
- Blind, A.D., I.B. Costa, E. Barboza, E.F.V. Molina, J.N.R. Figueiredo, and D.F. Silva Filho. 2015. Índice de produção em cultivares de brócolis tipo ramoso sob manejos de fertilização na Amazônia central. *Scientia Plena* 11(7): 1–7.
- Brady, N.C., and R.R. Weil. 2013. *Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos*. 3a ed. Bookman Editora.
- Branco, R.B., S.F. Blat, T.G. Gimenes, R.H. Nowaki, H.S. Araújo, F.A. Salles, R.B. Branco, S.F. Blat, T.G. Gimenes, R.H. Nowaki, H.S. Araújo, and F.A. Salles. 2017. Nitrogen fertilization of vegetables cultivated under no-tillage after cover crops. *Horticultura Brasileira* 35(1): 103–110.
- Cao, Y., H. Sun, J. Zhang, G. Chen, H. Zhu, S. Zhou, and H. Xiao. 2018. Effects of wheat straw addition on dynamics and fate of nitrogen applied to paddy soils. *Soil and Tillage Research* 178: 92–98.
- Carmo, D.L. do, C.A. Silva, J.M. de Lima, G.L. Pinheiro, D.L. do Carmo, C.A. Silva, J.M. de Lima, and G.L. Pinheiro. 2016. Electrical conductivity and chemical composition of soil solution: comparison of solution samplers in tropical soils. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 40: 1-16.
- Carranza, C., O. Lancho, D. Miranda, M.R. Salazar, and B. Chaves. 2008. Modelo simple de simulación de distribución de masa seca en brócoli (*Brassica* sp.) variedad Coronado y repollo (*Brassica oleracea*) híbrido Delus cultivados en la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana* 26(1): 23–31.
- Castellanos, J.Z., S. Villalobos, J.A. Delgado, J. Muñoz-Ramos, A. Sosa, P. Vargas, I. Lazcano, E. Alvarez-Sanchez, and S.A. Enriquez. 2001. Use of best management practices to increase nitrogen use efficiency and protect

- environmental quality in a broccoli-corn rotation of Central Mexico. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 32(7–8): 1265–1292.
- Cecílio Filho, A.B., V.M.V. Carmona, and A.A.S. Junior. 2017. Broccoli growth and nutrient accumulation. *Científica* 45(1): 95–104.
- Chand, P., S. Mukherjee, and V. Kumar. 2017. Effect of fertigation and bio-fertilizers on growth and yield attributes of sprouting broccoli (*Brassica oleracea* Var. Italica) cultivar Fiesta. *International Journal of Pure & Applied Bioscience* 5(4): 144–149.
- Conyers, M.K., C. Tang, G.J. Poile, D.L. Liu, D. Chen, and Z. Nuruzzaman. 2011. A combination of biological activity and the nitrate form of nitrogen can be used to ameliorate subsurface soil acidity under dryland wheat farming. *Plant Soil* 348(1–2): 155–166.
- Corwin, D.L., and S.M. Lesch. 2005. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *computers and electronics in agriculture* 46(1): 11–43.
- Diniz, E.R., A.R. Almeida, U.J.B.M. Mattos, T.O. Vargas, W.D. Pereira, and R.H.S. Santos. 2010. Efeito de doses de adubo verde no crescimento e produção de brócolis orgânico. *Horticultura Brasileira* 28: S2819–S2826.
- Diniz, E.R., R.H.S. Santos, S.S. Urquiaga, L.A. Peternelli, T.P. Barrella, and G.B. de Freitas. 2007. Green manure incorporation timing for organically grown broccoli. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 42(2): 199–206.
- Diniz, E.R., T. de O. Vargas, A.F. Guedes, R.H.S. Santos, S. Urquiaga, and A.J. Modolo. 2017a. Doses of *Crotalaria juncea*: Residual effect on zucchini and maize crop in sequence to broccoli. *Revista Ceres* 64(6): 600–606.
- Diniz, E.R., T. de O. Vargas, W.D. Pereira, A.F. Guedes, R.H.S. Santos, and L.A. Peternelli. 2014. Decomposição e mineralização do nitrogênio proveniente do adubo verde *Crotalaria juncea*. *Científica* 42(1): 51–59.
- Diniz, E.R., T.O. Vargas, W.D. Pereira, R.H.S. Santos, S. Urquiaga, and A.J. Modolo. 2017b. Levels of *Crotalaria juncea* on growth, production, recovery and efficiency of the use of N in broccoli. *Horticultura Brasileira* 35: 395–401.
- Diniz, E.R., T.O. Vargas, R.H.S. Santos, A.R. Almeida, and U.J.B.M. Mattos. 2015. Crescimento e produção de brócolis adubado com doses de mucuna-cinza em casa de vegetação. *Semina: Ciências Agrárias* 36(3): 1277–1286.

- El-Bassiony, A.E.-M.M., S.I. Shedeed, Z.F. Fawzy, and F.S. Abd El-Aal. 2017. Influence of different levels of phosphorus supply on growth, yield and quality of some broccoli varieties under sandy soil. *Bioscience Research* 14(3): 694–704.
- El-Helaly, M.A. 2012. Effect of nitrogen fertilization rates and potassium sources on broccoli yield, quality and storability. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 8(4): 385–394.
- Erdem, T., L. Arin, Y. Erdem, S. Polat, M. Deveci, H. Okursoy, and H.T. Gültaş. 2010. Yield and quality response of drip irrigated broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) under different irrigation regimes, nitrogen applications and cultivation periods. *Agricultural Water Management* 97(5): 681–688.
- Fageria, N.K. 2009. The use of nutrients in crop plants. CRC press.
- Fageria, N.K., and V.C. Baligar. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy* 88: 97–185.
- Feller, C., and M. Fink. 2005. Growth and Yield of broccoli as affected by the nitrogen content of transplants and the timing of nitrogen fertilization. *HortScience* 40(5): 1320–1323.
- Fernandes, D.M., M.A. Grohskopf, E.R. Gomes, N.R. Ferreira, and L.T. Büll. 2015. Fósforo na solução do solo em resposta à aplicação de fertilizantes fluido mineral e organomineral. *IRRIGA* 1(1): 14–27.
- Freitas, G.B. de, M.S. Rocha, R.H.S. Santos, L.M. da S. Freitas, and L. de A. Resende. 2011. Broccoli yield in response to top-dressing fertilization with green manure and biofertilizer. *Revista Ceres* 58(5): 645–650.
- Gatiboni, L.C., J. Kaminski, D. dos S. Rheinheimer, and J.P.C. Flores. 2007. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 31(4): 691–699.
- Ghuge, T.D., A.K. Gore, and S.B. Jadhav. 2007. Effect of organic and inorganic nutrient sources on growth, yield and quality of cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*). *Journal of Soils and Crops* 17(1): 89–92.
- Heuck, C., A. Weig, and M. Spohn. 2015. Soil microbial biomass C:N:P stoichiometry and microbial use of organic phosphorus. *Soil Biology and Biochemistry* 85: 119–129.
- Holness, R.L., M.R. Reddy, C.R. Crozier, and C.E.N. Jr. 2008. Evaluating inorganic nitrogen and rye-crimson clover mixture fertilization of spring broccoli and

- lettuce by ¹⁵N tracing and mass balance. *Journal of Plant Nutrition* 31(6): 1033–1045.
- Huang, J., Y. Duan, M. Xu, L. Zhai, X. Zhang, B. Wang, Y. Zhang, S. Gao, and N. Sun. 2017. Nitrogen mobility, ammonia volatilization, and estimated leaching loss from long-term manure incorporation in red soil. *Journal of Integrative Agriculture* 16(9): 2082–2092.
- Hussain, M.J., A.J.M.S. Karim, A.R.M. Solaiman, M.S. Islam, and M. Rahman. 2016. Effect of urea super granule and prilled urea on yield and yield attributes of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica* L.). *The Agriculturists* 14(2): 95–112.
- Hussain, M.J., A.J.M.S. Karim, A.R.M. Solaiman, M.S. Islam, and M. Rahman. 2017. Effect of different levels of urea super granule and prilled urea on the crop quality, nutrient uptake and soil nutrient status of broccoli. *The Agriculturists* 15(2): 24–39.
- Kumar, P., M.L. Bhardwaj, D. Kumar, R. Kumar, D. Tripathi, K.S. Thakur, N. Bharat, N. Gautam, S. Kumar, and B. Dogra. 2017. Comparative performance of organic and inorganic fertilizers on plant growth, head yield, soil health and severity of black rot in sprouting broccoli cv Green Head. *International Journal of Farm Sciences* 7(1): 69–76.
- Li, X.G., B. Jia, J. Lv, Q. Ma, Y. Kuzyakov, and F. Li. 2017. Nitrogen fertilization decreases the decomposition of soil organic matter and plant residues in planted soils. *Soil Biology and Biochemistry* 112: 47–55.
- Lodhi, P., D. Singh, and A. Tiwari. 2017. Effect of inorganic and organic fertilizers on yield and economics of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 6(8): 562–566.
- Lorensini, F., C.A. Ceretta, G. Brunetto, J.B. Cerini, C.R. Lourenzi, L.D. Conti, T.L. Tiecher, and D.E. Schapanski. 2014. Disponibilidade de nitrogênio de fontes minerais e orgânicas aplicadas em um Argissolo cultivado com videira. *Revista Ceres* 61(2): 241–247.
- Lozano Fernandez, J., L.F. Orozco Orozco, and L.F. Montoya Munera. 2018. Efecto de la fertilización nitrogenada, fosfórica y potásica sobre el rendimiento de cultivares de brócoli. 2018 71(1): 8375–8386.
- Machado, V.J., and C.H.E. de Souza. 2012. Phosphorus availability in soils with different textures after application of growing doses of slow release monoammonium phosphate. *Bioscience Journal* 28(1): 1–7.

- Magnifico, V., V. Lattanzio, A. Elia, and M. Molfetta. 1989. Growth and nutrient removal by broccoli raab. *Advances in Horticultural Science* 3: 68–72.
- Malavolta, E., G.C. Vitti, and S.A. Oliveira. 1989. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba: Potafos.
- Marschner, B., and A.D. Noble. 2000. Chemical and biological processes leading to the neutralisation of acidity in soil incubated with litter materials. *Soil Biology and Biochemistry* 32(6): 805–813.
- Meena, K., R.B. Ram, M.L. Meena, J.K. Meena, and D.C. Meena. 2017. effect of organic manures and bio-fertilizers on growth, yield and quality of broccoli (*Brassica oleracea* var. italica Plenck.) cv. KTS-1. *Chemical Science Review and Letters* 6(24): 2153–2158.
- Meier, I.C., A.C. Finzi, and R.P. Phillips. 2017. Root exudates increase N availability by stimulating microbial turnover of fast-cycling N pools. *Soil Biology and Biochemistry* 106: 119–128.
- Melo, V.F., G.F. Corrêa, P.A. Maschio, A.N. Ribeiro, and V.C. Lima. 2003. Importância das espécies minerais no potássio total da fração argila de solos do Triângulo Mineiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 27(5): 09–10.
- Menezes, L.F.G., R. Ronsani, P.S. Pavinato, R.R. Biesek, C.E.K. Silva, C. Martinello, B. Cappelleso, and M.F. Silveira. 2013. Produção, valor nutricional e eficiências de recuperação e utilização do nitrogênio de silagens de milho sob diferentes doses de adubação nitrogenada. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina* 34(3): 1353–1362.
- Miranda, J., L. Marciano da Costa, H.A. Ruiz, and R. Einloft. 2006. Composição química da solução de solo sob diferentes coberturas vegetais e análise de carbono orgânico solúvel no deflúvio de pequenos cursos de água. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 30(4).
- Moll, R.H., E.J. Kamprath, and W.A. Jackson. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal* 74: 562–564.
- Moreno-Cornejo, J., A. Caballero-Lajarán, Á. Faz, and R. Zornoza. 2017. Pepper crop residues and chemical fertilizers effect on soil fertility, yield and nutritional status in a crop of *Brassica oleracea*. *Journal of soil science and plant nutrition* 17(3): 648–661.

- Muramoto, J., R.F. Smith, C. Shennan, K.M. Klonsky, J. Leap, M.S. Ruiz, and S.R. Gliessman. 2011. Nitrogen contribution of legume/cereal mixed cover crops and organic fertilizers to an organic broccoli crop. *HortScience* 46(8): 1154–1162.
- Padovan, M.P., I.S. Motta, L.F. Carneiro, M.R. Moitinho, and S.F.L. Fernandes. 2011. Acúmulo de fitomassa e nutrientes e estágio mais adequado de manejo do feijão de-porco para fins de adubação verde. *Revista Brasileira de Agroecologia* 6(3): 182–190.
- Pinheiro, G.L., C.A. Silva, and J.M. de Lima. 2014. Soluble carbon in Oxisol under the effect of organic residue rates. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 38(3): 810–820.
- Riggs, C.E., and S.E. Hobbie. 2016. Mechanisms driving the soil organic matter decomposition response to nitrogen enrichment in grassland soils. *Soil Biology and Biochemistry* 99: 54–65.
- Rincón, L., J. Sáez, J.A. Perez, M.D. Gomez, and C. Pellicer. 1999. Crecimiento y absorción de nutrientes del brócoli. *Investigación agraria. Producción y Protección Vegetales* 14(1–2): 225–236.
- Roy, E.D., E. Willig, P.D. Richards, L.A. Martinelli, F.F. Vazquez, L. Pegorini, S.A. Spera, and S. Porder. 2017. Soil phosphorus sorption capacity after three decades of intensive fertilization in Mato Grosso, Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 249: 206–214.
- Said-Pullicino, D., M.A. Cucu, M. Sodano, J.J. Birk, B. Glaser, and L. Celi. 2014. Nitrogen immobilization in paddy soils as affected by redox conditions and rice straw incorporation. *Geoderma* 228–229: 44–53.
- Silva, E.C., T. Muraoka, F.C.A. Villanueva, and F.S.C. Espinal. 2009. Nitrogen utilization by corn as affected by green manures and nitrogen and phosphorus fertilizers. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 44(2): 118–127.
- Siqueira, R.G., R.H.S. Santos, D. Perigolo, S. Urquiaga, R.G.T. Ribas, and L.A. Peternelli. 2009. Nutrição nitrogenada e produção de brócolis cultivado com diferentes doses de mucuna em duas épocas. *Revista Ceres* 56(6): 826–833.
- Smith, R., M. Cahn, T. Hartz, P. Love, and B. Farrara. 2016. nitrogen dynamics of cole crop production: implications for fertility management and environmental protection. *HortScience* 51(12): 1586–1591.
- Stadler, A., S. Rudolph, M. Kupisch, M. Langensiepen, J. van der Kruk, and F. Ewert. 2015. Quantifying the effects of soil variability on crop growth using apparent

- soil electrical conductivity measurements. *European Journal of Agronomy* 64: 8–20.
- Tang, C., M.K. Conyers, M. Nuruzzaman, G.J. Poile, and D.L. Liu. 2011. Biological amelioration of subsoil acidity through managing nitrate uptake by wheat crops. *Plant Soil* 338(1–2): 383–397.
- Tedesco, M.J., C. Gianello, C.A. Bissani, H. Bohnen, and S.J. Volkweiss. 1995. *Análises de solo, plantas e outros materiais*. 2nd ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Thériault, F., K.A. Stewart, and P. Seguin. 2009. use of perennial legumes living mulches and green manures for the fertilization of organic broccoli. *International Journal of Vegetable Science* 15(2): 142–157.
- Vågen, I.M., T.S. Aamlid, and A.O. Skjelvåg. 2007. Nitrogen fertilization to broccoli cultivars at different planting times: Yield and nitrogen use. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science* 57: 35–44.
- Valadares, R.V., L. de Ávila Silva, R. da Silva Teixeira, R.N. de Sousa, and L. Vergütz. 2016. green manures and crop residues as source of nutrients in tropical environment. *Organic fertilizers 51 - From Basic Concepts to Applied Outcomes*. Larramendy, M. L, Solonesky, S. Intech. Pp: 51-84.
- Xu, J.M., C. Tang, and Z.L. Chen. 2006. The role of plant residues in pH change of acid soils differing in initial pH. *Soil Biology and Biochemistry* 38(4): 709–719.
- Yadav, G.S., M. Datta, S. Babu, C. Debnath, S.N. Bhowmik, M.A. Ansari, and S.V. Ngachan. 2014. Effect of zero tillage basin planting and N nutrition on growth, yield, water productivity and nitrogen use efficiency of late planted broccoli (*Brassica oleracea* var *italica*) in North East Hilly Region of India. *The Indian Journal of Agricultural Sciences* 84(11): 1434–1438.
- Yan, F., S. Schubert, and K. Mengel. 1996. Soil pH increase due to biological decarboxylation of organic anions. *Soil Biology and Biochemistry* 28(4): 617–624.
- Zang, H., J. Wang, and Y. Kuzyakov. 2016. N fertilization decreases soil organic matter decomposition in the rhizosphere. *Applied Soil Ecology* 108: 47–53.
- Zebarth, B.J., P.A. Bowen, and P.M.A. Toivonen. 1995. Influence of nitrogen fertilization on broccoli yield, nitrogen accumulation and apparent fertilizer-nitrogen recovery. *Canadian Journal of Plant Science* 75(3): 717–725.

CAPÍTULO 3. EFEITO RESIDUAL DE ADUBO VERDE NA PRODUÇÃO, EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO E DINÂMICA DE NUTRIENTES NA SOLUÇÃO DO SOLO

RESUMO. As práticas de adubação além de influenciar a produção de matéria seca, acúmulo, recuperação, eficiência de utilização e dinâmica de nutrientes na solução do solo na primeira cultura, também podem influenciar tais aspectos nos cultivos subsequentes. Os objetivos do trabalho foram avaliar o efeito residual da adubação verde (mucuna cinza) isolada ou conjunta com adubação mineral sobre a produção de matéria seca e acúmulo de macronutrientes na segunda cultura (capim braquiária); avaliar o efeito sobre a produção de matéria seca, acúmulo, eficiência de recuperação e eficiência de utilização do N, P, K, Ca, Mg e S considerando juntamente a primeira e segunda cultura (brócolis e braquiária) e avaliar o efeito residual sobre as características da solução do solo na segunda cultura. Os fertilizantes foram aplicados na cultura do brócolis. Capim braquiária foi semeado nos mesmos vasos onde o brócolis foi produzido. Os tratamentos consistiram de adubação mineral aplicado em 100% ou 200% da dose recomendada (AM100 ou AM200), mucuna cinza em dose de 5 ou 10 t/ha (MC5 ou MC10), adubo mineral similar ao aplicado com MC5 ou MC10 (AM=MC5 ou AM=MC10) e MC5 ou MC10 aplicado em conjunto com adubação mineral para fornecer a mesma quantidade de nutrientes fornecidos com AM100 ou AM200 (MC5+AM=AM100 ou MC10+AM=AM200). O efeito residual na segunda cultura (braquiária) foi obtido nos dois experimentos quando a mucuna cinza foi aplicada conjuntamente com adubação mineral. Maior produção de matéria seca total (brócolis + braquiária) em relação ao controle foi obtida com adubação mineral em dose mais alta (AM100 e AM200) nos dois experimentos. Maior acúmulo total de nutrientes em relação ao controle foi obtido com mucuna cinza aplicada em conjunto com adubação mineral nos dois experimentos. Efeito do tipo de adubo foi confirmado no acúmulo total de nutrientes nos dois experimentos. Maiores eficiências de recuperação de K e Ca foram obtidas com adubo mineral em comparação com mucuna cinza nos dois experimentos. A eficiência de utilização não foi alterada pelos tratamentos nos dois experimentos. O pH da solução do solo mudou em função do crescimento da braquiária, os maiores valores de CE, teor de N, K, Ca, Mg e S apresentaram-se na fase de crescimento inicial da braquiária; o teor de S apresentou valores estáveis ou ascendentes com o crescimento da braquiária; os valores mais altos de CE e teor de nutrientes até

antes do primeiro corte da braquiária foi encontrado em solos fertilizados 10 t/ha de mucuna cinza isolada ou aplicada em conjunto com adubo mineral.

Palavras chave: *Brassica oleracea* var. *italica*, macronutrientes, *Mucuna cinerea*, sin. *Stizolobium cinereum*, cultivos sucesivos, *Brachiaria brizantha*

ABSTRAC: Fertilizer practices in addition to influencing dry matter production, accumulation, recovery, utilization efficiency and nutrient dynamics in soil solution in the first crop can also influence such aspects in subsequent crops. The objective of this research was to evaluate the residual effect of isolated or combined green manure (velvet-bean) with mineral fertilization on dry matter production and macronutrient accumulation in second crop (*Brachiaria* grass); to evaluate the effect on dry matter production, accumulation, recovery efficiency and efficiency of utilization of N, P, K, Ca, Mg, and S, considering together the first and second crops (broccoli and *brachiaria*); and characteristics of the soil solution in the second crop. Fertilizers were applied to broccoli culture. *Brachiaria* grass was sown in the same pots where broccoli was produced. The treatments consisted of mineral fertilization applied at 100% or 200% of the recommended dose (MF100 or MF200), velvet-bean at doses of 5 or 10 t/ha (VB5 or VB10), mineral fertilizer similar to that applied with VB5 or VB10 (MF=VB5 or MF=VB10) and VB5 or VB10 applied together with mineral fertilizer to provide the same amount of nutrients supplied with MF100 or MF200 (VB5+MF=MF100 or VB10+MF=MF200). The residual effect in the second (*brachiaria*) culture was obtained in the two experiments when the velvet-bean was applied together with mineral fertilization. The highest total dry matter yield (broccoli + *brachiaria*) in relation to the control was obtained with mineral fertilization at higher doses (MF100 and MF200) in both experiments. Greater total accumulation of nutrients in relation to the control was obtained with velvet-bean applied in conjunction with mineral fertilization in the two experiments. Effect of fertilizer type was confirmed on the total nutrient accumulation in the two experiments. Higher K and Ca recovery efficiencies were obtained with mineral fertilizer compared to velvet-bean in the two experiments. The efficiency of use was not altered by the treatments in the two experiments. The pH of the soil solution changed as a function of the *brachiaria* growth, the higher values of EC, N, K, Ca, Mg and S content were in the initial growth phase of the *brachiaria*. The S content in the soil solution showed stable or ascending values with the *brachiaria* growth. The highest values of EC and nutrient content in the soil solution until before the first cut of the

brachiaria were found with 10 t/ha of velvet-bean isolated or applied in conjunction with mineral fertilizer.

Keywords: *Brassica oleracea* var. *italica*, macronutrients, *Mucuna cinerea*, sin. *Stizolobium cinereum*, successive crops, *Brachiaria brizantha*

1. INTRODUÇÃO

Com a necessidade atual de reduzir o risco de poluição ambiental sem afetar a produção de alimentos, muitas pesquisas têm focado em procurar alternativas para reduzir ou substituir parcial ou totalmente a fertilização mineral. Entre alternativas de adubação se encontra a adubação verde, sobressaindo diferentes espécies de leguminosas, devido à sua capacidade de produção de biomassa, composição mineral e fixação biológica de nitrogênio (Valadares et al., 2016).

Em pesquisas com dose de adubação verde acima de 5 t/ha há relatos de rendimento comercial e produção de matéria seca similares aos conseguidos com adubação mineral (Hwang et al., 2015; Favarato et al., 2016; Adekiya et al., 2017). Estes resultados mudam quando se utiliza dose de adubação menor que 5 t/ha, onde o efeito da adubação verde normalmente é menor em comparação com a adubação mineral (Egodawatta et al., 2012; Bai et al., 2015). Por isso, em doses menores, a adubação verde aplicada junto com outros adubos orgânicos ou minerais pode promover resultados similares ou maiores que os conseguidos com a aplicação isolada (Diniz et al., 2010; Subaedah et al., 2016; Xie et al., 2016), com isso, altos rendimentos utilizando menor quantidade de fertilizantes sintéticos podem ser atingidos. Também há relatos de que os adubos verdes afetam o teor e acúmulo de nutrientes em quantidades superiores às obtidas sem adubação e similares ao conseguido pelas plantas fertilizadas com adubação mineral (Dabin et al., 2016; Tejada et al., 2008).

Em sistemas de cultivos sucessivos de culturas de ciclo curto, os nutrientes fornecidos através das adubações podem ser utilizados pela primeira cultura ou pela(s) cultura(s) subsequente(s). Ao fato onde os nutrientes remanescentes no solo são aproveitados pela(s) cultura(s) subsequente(s) se conhece como efeito residual. O efeito residual das adubações depende das características do solo, do tipo de adubo utilizado, da dose aplicada, da quantidade de nutrientes removidos pela primeira cultura e da quantidade de nutrientes remanescentes no solo (Bâth et al., 2006; Silva et al., 2006; Diniz et al., 2017a; Suarez-Tapia et al., 2018). Espera-se que os nutrientes fornecidos com adubação mineral, por estarem na forma inorgânica, sejam absorvidos rapidamente

pela primeira cultura e também que ocorra maior perda, principalmente dos nutrientes com alta mobilidade e com maior demanda pelas culturas, como o nitrogênio, resultando em uma menor quantidade remanescente para os cultivos subsequentes. Por outro lado, os nutrientes fornecidos através de adubos verdes precisam passar pelo processo de decomposição e mineralização. Parte dos nutrientes liberados serão absorvidos pelas culturas, parte será inicialmente imobilizada pelos microrganismos edáficos e pelos minerais e uma pequena fração será perdida por lixiviação ou volatilização. Ademais, a proporção de nutriente removida pela primeira cultura é menor em comparação com adubação mineral, o que resulta em maior quantidade de nutrientes remanescentes no solo, esperando assim maior efeito residual.

Compreender como os adubos influenciam o crescimento e produção das culturas em uma determinada condição é necessário para fazer ajustes e aperfeiçoar as práticas de adubação para essa condição específica. Uma ferramenta que ajuda a obter essa informação são os índices de eficiência de recuperação e de utilização de um nutriente. Através do índice de eficiência de recuperação é possível saber que proporção do nutriente aplicado é recuperada pela biomassa da cultura, enquanto que, com o índice de eficiência de utilização é possível saber a quantidade de matéria seca produzida pela cultura por cada unidade de nutriente acumulado em sua biomassa (Fageria e Baligar, 2005; Moll et al., 1982). Os valores desses índices podem mudar em função da variedade, das práticas agrônômicas e das características edafoclimáticas (Baligar et al., 2001), mas, espera-se que também os valores dos índices mudem em cultivos sucessivos. Os índices obtidos no primeiro cultivo podem ser diferente dos obtidos nos cultivos subsequentes. Portanto, conhecer os índices de eficiências em cultivos sucessivos pode contribuir para a melhor compreensão do efeito da adubação a longo prazo (Sugihara et al., 2016).

Diferentes doses e tipos de adubo refletem em diferentes dinâmicas de nutrientes na solução do solo, devido à sua interação com os componentes do solo e com as necessidades nutricionais da cultura (Miranda et al., 2006). Portanto, outra forma de entender a influência das práticas de adubação sobre o crescimento e produção de matéria seca das culturas é através do monitoramento dos nutrientes na solução do solo. Isto devido a que a solução do solo é muito dinâmica e reflete rapidamente a interação que ocorre entre nutrientes fornecidos e a planta. Em solos onde não se realizam adubações, a reserva nutricional do solo diminui na medida em que aumenta o número

de culturas estabelecidas (Gatiboni et al., 2005). Assim também espera-se modificação na acidez ativa, condutividade elétrica e teor de macronutrientes da solução do solo.

Diante do exposto, os objetivos da pesquisa foram avaliar o efeito residual da adubação verde e mineral isoladas e aplicadas conjuntamente sobre a produção de matéria seca e acúmulo de macronutrientes em cultivo sucessivo; avaliar o efeito das fertilizações sobre a produção de matéria seca, acúmulo, eficiência de recuperação e eficiência de utilização do N, P, K, Ca, Mg e S considerando juntamente a primeira e segunda cultura (brócolis e braquiária) e avaliar o efeito dos tratamentos sobre as características da solução do solo na segunda cultura.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Adubo verde

Mucuna cinza (*Mucuna cinerea*, sin. *Stizolobium cinereum*), semeada em campo na Universidade Federal de Viçosa (20°45'14" S e 42°52'53" W) e colhida ao momento da floração (15/04/2016), foi utilizada como adubo verde. Após a colheita, a biomassa foi cortada em segmentos de 8 cm, secada em estufa e armazenada até o momento da sua utilização. As características químicas da mucuna cinza foram determinadas a partir de amostras representativas de folhas (8,13 de relação C/N e 43,1, 5,3, 0,35, 1,2, 1,64, 0,23, 0,23 dag/kg MS de carbono orgânico, N, P, K, Ca, Mg e S) e caule (19,9 de relação C/N e 39,8, 2,0, 0,22, 1,4, 0,74, 0,11 e 0,10 dag/kg MS de carbono orgânico, N, P, K, Ca, Mg e S).

2.2 Cultivares de brócolis

Dois experimentos foram conduzidos. Brócolis de cabeça única dos híbridos BRO 68[®] e Legacy, respectivamente, foram utilizados no primeiro (de 17/08/2016 até 15/11/2016) e segundo (de 17/07/2017 até 21/09/2017) cultivos. Plantas individuais foram transplantadas em vasos de plástico de 20 L preenchidos com solo no primeiro (pH de 5,4, teor de 5,7, 90, 17,5 mg dm⁻³ de P, K, S, teor de 2,3, 0,4, 0,0, 2,48, 2,93, 2,93, 5,41 e 54 cmol_c dm⁻³ de Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, H+Al, SB, t, T e V e 15,0 de P-rem) e segundo (pH de 6,2, teor de 13,1, 130, 57,4 mg dm⁻³ de P, K, S, teor de 2,2, 0,3, 0,0, 1,65, 2,8, 2,8, 4,5 e 63 cmol_c dm⁻³ de Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, H+Al, SB, t, T e V e 19,8 de P-rem) cultivos.

2.3 Tratamentos e delineamento experimental

Os adubos aplicados no primeiro experimento foram: 1) controle, sem adubação; 2) 100% da dose recomendada para brócolis aplicado com adubação mineral (AM100); 3) 5 t/ha de matéria seca de mucuna cinza (MC5); 4) adubação mineral igual à dose fornecido com MC5 (AM=MC5); 5) MC5 + adubação mineral para igualar ao fornecido com AM100 (MC5+AM=AM100). Doses de 280, 400, 100, 160, 97,2 e 30 kg/ha de N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg e S forneceram-se com AM100 e MC5+AM=AM100, respectivamente. Doses equivalentes a 182,5, 32,5, 78,5, 59,5, 8,5 e 8,25 kg/ha de N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg e S forneceram-se com MC5 e AM=MC5, respectivamente.

Os adubos aplicados no segundo experimento foram: 1) controle, sem adubação; 2) 200% da dose recomendada para o brócolis aplicado com adubação mineral (AM200), 3) 10 t/ha de matéria seca de mucuna cinza (MC10), 4) adubação mineral igual à dose fornecida com MC10 (AM=MC10), 5) MC10 + adubação mineral para igualar ao fornecido com AM200 (MC10+AM=AM200). Doses de 560, 800, 200, 320, 194,4 e 60 kg/ha de N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg e S aplicaram-se com AM200 e MC10+AM=AM200, respectivamente. Doses de 365, 65, 157, 119, 17 e 16,5 kg/ha de N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg e S aplicaram-se com MC10 e AM=MC10, respectivamente.

Delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições foi utilizado nos dois experimentos. Uma planta de brócolis por vaso foi considerado como unidade experimental no primeiro cultivo.

A dose recomendada de cada nutriente foi dividida entre o volume de solo de um hectare a 20 cm de profundidade (2 milhões de L de solo), multiplicado por 20 (volume de solo em L vaso⁻¹) para determinar a dose por planta para cada tratamento, nos dois experimentos.

Ureia (46% de N), Ca(NO₃)₂ (14% de N, 18% de Ca e 0,5% de Mg), KCl (58% de K₂O), NH₄H₂PO₄ (11% de N, 60% de P₂O₅), corretivo agrícola comercial - calcário (37% de CaO e 13% de MgO), MgSO₄ (9% de Mg e 11% de S) e MgO (55% de Mg) foram utilizados para fornecer os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nos tratamentos AM100 (4,5, 6,7, 1,7, 6,1, 2,7 e 0,4 g/vaso de ureia, NH₄H₂PO₄, KCl, calcário, MgSO₄ e MgO), AM=MC5 (2,2, 3,0, 1,3, 0,8 e 3,2 g/vaso de ureia, NH₄H₂PO₄, KCl, MgSO₄ e Ca(NO₃)₂) e MC5+AM=AM100 (0,7, 6,1, 0,4, 4,7, 2,0, 0,7 g/vaso de ureia, NH₄H₂PO₄, KCl, calcário, MgSO₄ e MgO) do primeiro experimento e tratamentos AM200 (9,0, 13,4, 3,4, 12,2, 5,4 e 0,8 g/vaso de ureia, NH₄H₂PO₄, KCl, calcário, MgSO₄ e MgO), AM=MC10 (4,4, 6,0, 2,6, 1,6 e 6,4 g/vaso de ureia, NH₄H₂PO₄, KCl, MgSO₄ e

Ca(NO₃)₂) e MC10+AM=AM200 (1,4, 12,,2, 0,8, 9,4, 4,0 e 1,4 g/vaso de ureia, NH₄H₂PO₄, KCl, calcário, MgSO₄ e MgO), correspondente ao segundo experimento.

A aplicação dos tratamentos foi realizada um dia antes do transplante das mudas de brócolis nos dois experimentos. Os fertilizantes foram misturados com o solo antes de preencher os vasos e a biomassa da mucuna cinza foi colocada como cobertura do solo, segundo o tratamento correspondente, nos dois experimentos.

A planta total de brócolis (parte aérea e raiz) foi removido durante a colheita nos dois experimentos.

2.4 Efeito residual na produção de matéria seca da braquiária

O efeito residual dos tratamentos utilizados em brócolis no primeiro e segundo experimentos foi avaliado em braquiária (*Brachiaria brizantha*). A semeadura da braquiária foi realizada o 09/01/2017 e 11/10/2017 para o primeiro e segundo experimento, respectivamente, nos mesmos vasos onde foram plantados os brócolis, sem adubação adicional. Três cortes de braquiária foram realizados em cada experimento (Figura 1). Amostras de cada data de corte foram secadas (em estufa de secado forçado a 65 °C) e pesadas para determinar a matéria seca.

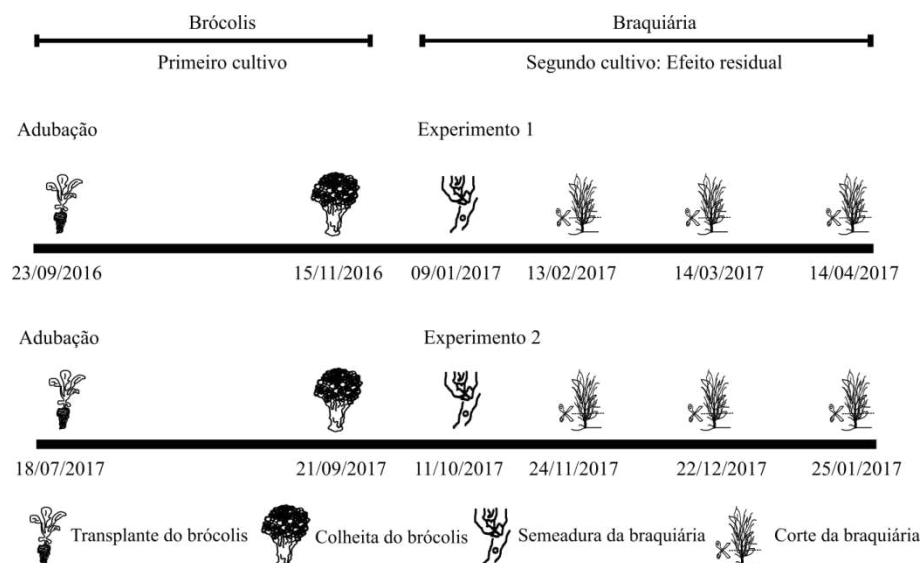


Figura 1. Esquema de dois experimentos onde foi avaliada adubação verde e adubação mineral na cultura de brócolis e seu efeito residual na cultura da braquiária.

2.5 Matéria seca e acúmulo total de nutrientes nas duas culturas

As amostras de brócolis e braquiária foram moídas em moinho tipo Willey e determinações de macronutrientes foram feitas nos dois experimentos. Teor total de N determinou-se pelo método Kjeldahl (Tedesco et al., 1995). Teor de P determinou-se

por espectrofotometria (comprimento de onda de 725 nm), K determinou-se em fotômetro de chama, Ca e Mg determinaram-se em espectrofotômetro de absorção atômica e S determinou-se por turbidimetria (Malavolta et al., 1989).

O acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S na matéria seca total para cada cultura foi obtido com a seguinte equação: nutriente X = matéria seca (teor de nutriente X / 100).

O efeito geral dos tratamentos sobre a cultura de brócolis e braquiária foi determinado pela somatória da matéria seca produzida e a quantidade de nutrientes acumulados pelas duas culturas.

2.6 Eficiência de recuperação e eficiência de utilização

A Eficiência de Recuperação (ER) foi determinada com a seguinte equação:

$$ER = \{[(g \text{ de nutriente acumulado na planta adubada} - g \text{ de nutriente acumulado na planta não adubada}) / \text{quantidade de nutriente aplicado}] \times 100\}.$$

A Eficiência de Utilização (EU) foi determinada com a seguinte equação:

$$EU = \text{matéria total} / \text{quantidade total de nutriente acumulado}.$$

2.7 Solução do solo

Unicamente no segundo experimento, um lisímetro de ½” (com cápsula porosa terminal) foi instalado em cada vaso desde o momento do transplante do brócolis (profundidade de 0-10 cm e distanciamento de 10 cm do caule) (Figura 1) e foi mantido até o final do ciclo da braquiária. Coletas semanais da solução do solo foram realizadas no cultivo da braquiária (iniciando sete dias após a semeadura e concluiu no último corte de braquiária). As plantas foram irrigadas até alcançar capacidade de campo em cada data de coleta. Aos extratores foi aplicado vácuo com pressão de ± 70 Kpa. Após seu preenchimento foi coletada a solução do solo com auxílio de seringa e mangueira, seguido de armazenado em freezer até o momento da análise.

2.8 Acidez ativa (pH), condutividade elétrica (CE) e teor de N, K, Ca, Mg e S da solução do solo

Valores de pH e CE foram obtidos com pHmetro e condutímetro em cada data de amostragem. Quantificação de nitrogênio mineral ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) da solução do solo foi feita pelo método Kjeldhal (Tedesco et al., 1995), utilizando-se 10 mL de amostra da solução do solo. Determinações de K foram feitos por fotômetro de chama, determinação de Ca e Mg realizaram-se em espectrofotômetro de absorção atômica,

determinações de S foram feitas por turbidimetria. Volume de 1, 2, 0,5 e 5 mL de amostra foram utilizadas para as análises de K, Ca, Mg e S, respectivamente.

2.9 Análise de dados

Análise de variância e teste de Dunnett (com auxílio do programa estatístico SAS 9.0) foram realizadas para comparar o tratamento controle com os demais para as variáveis de matéria seca produzida e acúmulo de nutrientes. Análise de variância e teste de Dunnett foi realizado para comparar a mucuna cinza (MC5 ou MC10) com os outros tratamentos de adubação na ER e EU. Comparações por contrastes foram utilizadas para avaliar o efeito do tipo de adubo utilizado, para o primeiro (MC5 vs AM=MC5 e/ou AM100 vs MC5+AM=AM100) e segundo (MC10 vs AM=MC10 e/ou AM200 vs MC10+AM=AM200) experimento, quando pertinentes. Em todas as análises considerou-se $p > 0,05$. Dados de pH, CE, N, P, K, Ca, Mg e S da solução do solo foram apresentados através da média e desvio padrão para cada data de amostragem.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Efeito residual na produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes na braquiária

O efeito residual dos tratamentos aplicados inicialmente no brócolis foi confirmado no capim braquiária. No primeiro experimento, maior MS foi obtida em plantas adubadas com MC5+AM=AM100 em comparação com o controle nos dois primeiros cortes. Maior MS total de braquiária foi obtida em plantas adubadas com AM100 e MC5+AM=AM100 em comparação com o controle (Figura 2 A). No segundo experimento, maior MS foi obtida com MC10 e MC10+AM=AM200 em comparação com o controle no segundo e terceiro corte e na MS total (Figura 2 B).

O efeito residual das adubações depende da quantidade de nutrientes fornecida inicialmente, da quantidade de nutriente removido pela primeira cultura e da quantidade de nutriente remanescente no solo. Nesta pesquisa, o efeito residual dos tratamentos aplicados na primeira cultura (brócolis) foi confirmado nos dois experimentos. No primeiro experimento, efeito da dose de adubação foi demonstrado, uma vez que os tratamentos que se diferenciaram do controle correspondem à maior dose de adubação. Os nutrientes fornecidos com a AM100 e MC5+AM=AM100, resultaram em maior reserva de nutrientes no solo após a colheita do brócolis, comparativamente com solos onde se aplicou menor doses de adubação (MC5 e AM=MC5). Com a maior dose de

adubação e aplicado de AM100, a proporção de P, Mg, Ca, N, K e S removidos pelo brócolis foi de 13%, 14%, 44%, 80%, 208% e 270%, respectivamente. Já a proporção de Mg, P, Ca, N, K e Ca removida pelos brócolis adubado com MC5+AM=AM100 foi de 7%, 14%, 21%, 54%, 203% e 246%, em relação à quantidade aplicada inicialmente. Para os tratamentos que não se diferenciaram do controle, entende-se que a disponibilidade de nutrientes no solo foi insuficiente para alterar a produção da matéria seca da braquiária. Menor reserva de nutrientes no solo com MC5 e AM=MC5, além da menor dose de adubação, deve-se a que a primeira cultura absorve quase a totalidade dos nutrientes aplicados inicialmente, além de absorver nutrientes que estão originalmente presentes do solo, principalmente aqueles que se encontram em níveis elevados como o K e S (Alvarez et al., 1999). Isto se corrobora com o encontrado com a fertilização com adubação mineral, onde a proporção de Ca, Mg, N, P, K e S removida pelo brócolis em solo fertilizado com AM=MC5 correspondeu ao 65%, 78%, 80%, 97%, 208% e 750% da quantidade aplicada inicialmente. Na fertilização com MC5, embora a proporção de Ca, P, Mg, N, K e S removida pelo brócolis tenha sido de 20%, 24%, 29%, 31%, 83% e 325% em relação à quantidade aplicada inicialmente, espera-se que a menor disponibilidade de nutrientes para a braquiária tenha ocorrido como consequência da imobilização de nutrientes pelos minerais ou pelos microrganismos edáficos (Li et al., 2017; Spohn e Widdig, 2017; Zang et al., 2016). Efeito residual do tipo de adubo utilizado não foi confirmado no primeiro experimento (Tabela 3), indicando que o crescimento da segunda cultura foi influenciado unicamente pela dose de adubação. No segundo experimento, efeito residual dos tratamentos foi confirmado e os tratamentos que se diferenciaram do controle foram MC10 e MC10+AM=AM200. Efeito residual do tipo de adubo também foi confirmado na produção de MS da braquiária (Tabela 3). Diferenças entre os tipos de adubo indicam que a disponibilidade de nutrientes no solo foi diferente, e essa diferença é resultante da quantidade de nutriente removido do solo com a biomassa da primeira cultura (brócolis). Com doses equivalentes a 365, 65, 157, 119, 17 e 16,5 kg/ha de N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg e S quando aplicado com MC10, a proporção de Ca, N, Mg, P, K e S removidos através do brócolis foi de 42%, 47%, 54%, 82%, 170% e 474%, respectivamente. Quando essa mesma quantidade de nutriente foi aplicada com adubo mineral (AM=MC5) a proporção de N, Ca, Mg, P, K e S removidos pelo brócolis foi 58%, 64%, 66%, 82%, 220% e 474%. Já quando se aplicou doses equivalentes a 560, 800, 200, 320, 194,4 e 60 kg/ha de N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg e S, com a adubação conjunta (MC10+AM=MA200) a proporção de Mg,

P, Ca, N, S e K removidos pelo brócolis foi 6%, 10%, 21%, 36%, 150% e 165%, respectivamente. Já quando os nutrientes foram fornecidos com adubação mineral (AM200) a proporção de Mg, P, Ca, N, K e S removidos com o brócolis foi 8%, 12%, 27%, 50%, 164% e 174%. Estes resultados sugerem que a menor remoção de nutrientes no primeiro cultivo em solos fertilizados com mucuna cinza isolada ou aplicada em conjunto com adubo mineral, propiciam efeitos positivos na segunda cultura, resultando em produção de matéria seca similar ou maior quando comparado com adubação mineral, tal como têm sido relatado em outros estudos (Perin et al., 2004; Diniz et al., 2017a).

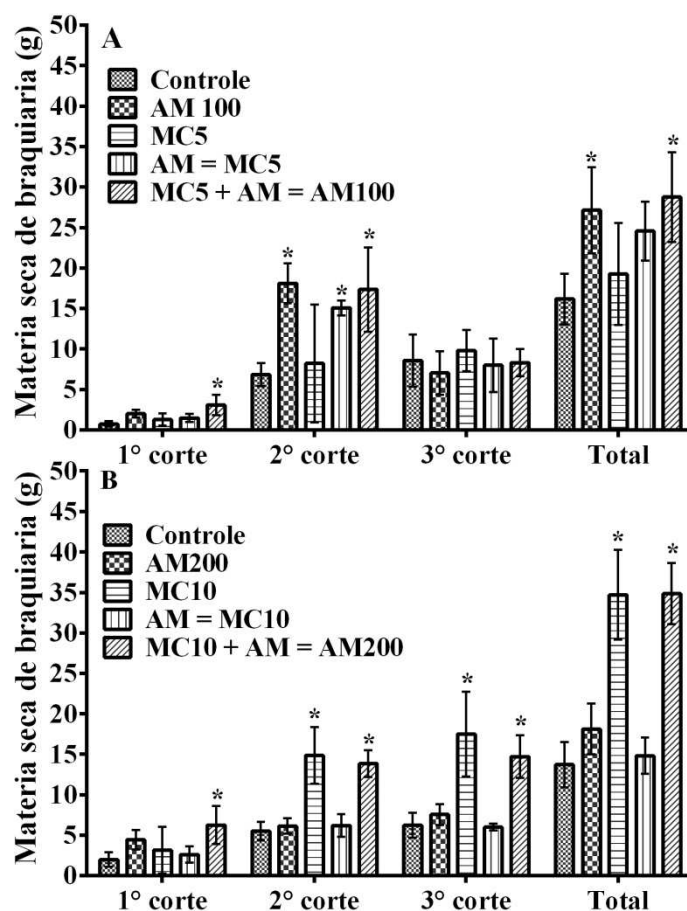


Figura 2. Médias e desvio padrão da matéria seca de braquiária em três datas de corte, durante o primeiro (A) e segundo (B) experimentos. No primeiro experimento o brócolis foi fertilizado com adubação mineral aplicada em 100% da recomendação (AM100), 5 t/ha mucuna cinza (MC5), adubo mineral similar ao aplicado com MC5 (AM=MC5) e MC5 aplicado em conjunto com adubação mineral para fornecer a mesma quantidade de nutrientes fornecidos com AM100 (MC5+AM=AM100). No segundo experimento as doses foram dobradas (200% e 10 t/ha de mucuna). *Diferentes do tratamento controle pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

No primeiro experimento não foi alterado o acúmulo de N e K em função dos tratamentos. Maior quantidade de P, Ca e Mg foi acumulada em plantas adubadas com AM100, AM=MC5 e MC5+AM=AM100 em comparação com o controle. Maior acúmulo de S foi obtido com MC5+AM=AM100 em comparação com o controle (Tabela 1). No segundo experimento, maior acúmulo de N, K, Ca e S foi obtido com MC10 e MC10+AM=AM200 em comparação com o controle. Maior acúmulo de P e Mg foi obtido com AM200, MC10 e MC10+AM=AM200 em comparação com o controle (Tabela 1).

Efeito residual dos fertilizantes sobre o acúmulo de nutrientes foi confirmado nos dois experimentos. O efeito da adubação verde mudou em função da dose utilizada e das características do solo. No primeiro experimento onde o solo apresentava acidez média, nível muito baixo de P, nível baixo de Mg, nível médio de Ca, bom nível de K e nível muito bom de S (Alvarez et al., 1999), o acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S não foi alterado em plantas adubadas com 5 t/ha de mucuna cinza quando comparado com plantas não adubadas. Situação contrária ocorreu no segundo experimento, onde o acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S obtido com 10 t/ha de mucuna cinza superou aqueles das plantas não adubadas, demonstrando que o efeito residual da mucuna cinza sobre o acúmulo de nutrientes ocorre quando se aplica em maior dose. A adubação conjunta promoveu o maior acúmulo de nutrientes no primeiro (P, Ca, Mg e S) e segundo (N, P, K, Ca, Mg e S) experimento em comparação com o controle, demonstrando seus benefícios no efeito residual tanto para a produção de matéria seca, quanto para o acúmulo de nutrientes em cultivos sucessivos. O efeito do tipo de adubo sobre o acúmulo de nutrientes também foi confirmado nos dois experimentos. No primeiro experimento, quando a mesma quantidade de nutrientes foi aplicada com MC5 e AM=MC5, o maior acúmulo de P, Ca e Mg ocorreu com adubação mineral (AM=MC5). Já quando quantidades iguais de nutrientes foram fornecidas com AM100 e MC5+AM=AM100, o maior acúmulo de P e S ocorreu com adubação conjunta (MC5+AM=AM100). No segundo experimento, quando quantidade similar de nutrientes foram fornecidas com MC10 e AM=MC10, o maior acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S foi obtido em solos fertilizados com adubação verde (MC5). Já quando quantidades iguais de nutrientes foram aplicadas com AM200 e MC10+AM=AM200, o maior acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S ocorreu em solos fertilizados com mucuna cinza aplicado conjuntamente com adubação mineral (MC10+AM=AM200). O efeito residual da mucuna cinza (isolada ou em conjunto com adubação mineral) se atribui a seu efeito

na reserva de nutrientes do solo, uma vez que em solos fertilizados com adubação mineral a reserva do solo aumenta principalmente na fração inorgânica e em menor proporção na fração orgânica, enquanto que, em solos fertilizados com adubação orgânica incrementa principalmente a reserva de nutrientes na forma orgânica (Gatiboni et al., 2005; Medeiros et al., 2014; Wang et al., 2018). Com adubação mineral os nutrientes são absorvidos e utilizados rapidamente pela primeira cultura. Esta situação é diferente com adubação conjunta ou adubação verde, onde a mineralização de nutrientes que se encontram na forma orgânica ou são liberados os nutrientes adsorvidos fracamente nos minerais do solo para repor os nutrientes que foram removidos pelas culturas e manter o equilíbrio eletroquímico do solo (Fageria, 2009; Gatiboni et al., 2007; Melo et al., 2005; Zörb et al., 2014). Assim, os nutrientes liberados durante a mineralização podem ser e aproveitado pelo cultivo subsequente, resultando em maior produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes.

Tabela 1. Média e desvio padrão do acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) obtido pelo somatório de três cortes de braquiária, em dois experimentos, crescidas sob efeito residual de tratamentos aplicado inicialmente na cultura de brócolis.

	N	P	K	Ca	Mg	S
	g/planta					
	Primeiro experimento					
Controle	0,277 ± 0,041	0,023 ± 0,002	0,408 ± 0,066	0,033 ± 0,005	0,016 ± 0,002	0,032 ± 0,003
AM100	0,315 ± 0,048	0,048 ± 0,009 *	0,464 ± 0,081	0,054 ± 0,009 *	0,051 ± 0,008 *	0,050 ± 0,009
MC5	0,295 ± 0,103	0,026 ± 0,008	0,530 ± 0,161	0,036 ± 0,011	0,022 ± 0,005	0,051 ± 0,020
AM=MC5	0,309 ± 0,083	0,044 ± 0,004 *	0,507 ± 0,072	0,059 ± 0,008 *	0,035 ± 0,002 *	0,044 ± 0,017
MC5+AM=AM100	0,372 ± 0,079	0,061 ± 0,007 *	0,581 ± 0,137	0,057 ± 0,010 *	0,045 ± 0,012 *	0,089 ± 0,015 *
	Segundo experimento					
Controle	0,194 ± 0,036	0,029 ± 0,008	0,222 ± 0,032	0,038 ± 0,009	0,021 ± 0,005	0,047 ± 0,011
AM200	0,242 ± 0,055	0,062 ± 0,014 *	0,302 ± 0,071	0,050 ± 0,010	0,034 ± 0,008 *	0,056 ± 0,014
MC10	0,430 ± 0,050 *	0,065 ± 0,003 *	0,622 ± 0,077 *	0,075 ± 0,006 *	0,044 ± 0,004 *	0,116 ± 0,018 *
AM=MC10	0,302 ± 0,203	0,036 ± 0,002	0,251 ± 0,043	0,039 ± 0,004	0,022 ± 0,003	0,045 ± 0,010
MC10+AM=AM200	0,491 ± 0,079 *	0,097 ± 0,014 *	0,592 ± 0,051 *	0,092 ± 0,013 *	0,061 ± 0,009 *	0,092 ± 0,019 *

Controle = Plantas não fertilizadas; AM100 ou AM200 a adubação mineral aplicada em 100% ou 200% da dose recomendada para o brócolis; MC5 ou MC10 = 5 ou 10 t/ha mucuna cinza; AM=MC5 ou AM=MC10 = adubo mineral similar ao aplicado com MC5 ou MC10; MC5+AM=AM100 ou MC10+AM=AM200 = MC5 ou MC10 aplicado em conjunto com adubação mineral para fornecer a mesma quantidade de nutrientes fornecidos com AM100 ou AM200. * = Diferentes do tratamento controle pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

3.2 Matéria seca e acúmulo total de nutrientes obtido pelas culturas de brócolis e braquiária.

No primeiro experimento, maior MS total foi encontrada em plantas crescidas nos tratamentos AM100, AM=MC5 e MC5+AM=AM100 em comparação com o controle (Figura 3 A). No segundo experimento, maior MS total de foi obtida com AM200 em comparação com o controle (Figura 3 C).

Diferentes efeitos dos tratamentos de adubação sobre a produção de matéria seca total no primeiro e segundo experimento, indicam que a produção de matéria seca em cultivos sucessivos é influenciada também pela fertilidade inicial do solo, como já tem sido relatado em outros estudos (Ngome et al., 2011). Resultados do primeiro experimento indicam que em solo menos fértil, a utilização de menor dose de adubação é suficiente para alterar a produção de matéria seca nos dois cultivos. O efeito do tipo de adubo confirmou-se no primeiro experimento e indica que em solo de baixa fertilidade, com baixa ou alta dose de adubação a maior produção de matéria seca total se consegue quando os nutrientes foram fornecidos com adubação mineral (AM=MC5 e AM100) em comparação com 5 t/ha de mucuna cinza aplicada isoladamente ou em conjunto com adubo mineral (MC5 e MC5+AM=AM100). Já os resultados do segundo experimento indicam que em solo de maior fertilidade, maior produção de matéria seca total é obtida quando se utiliza a maior dose adubação. Efeito do tipo de adubo não foi confirmado no segundo experimento, indicando que em solo de maior fertilidade a aplicação de 10 t/ha de mucuna cinza isolada ou em conjunto com adubo mineral (MC10 ou MC10+AM=AM200) resulta em produção de matéria seca total similar à obtida com adubação mineral em menor ou maior dose (AM=MC10 ou AM200). A maior quantidade de matéria seca produzida no segundo experimento, em todos os tratamentos, indica que os solos mais férteis promoveram maior produção de matéria seca em comparação com solos menos férteis, quando também deixa de ocorrer diferença significativa entre acúmulos totais de matéria seca por plantas não adubadas e plantas adubadas com adubação verde, adubação mineral em baixa dose e adubação conjunta. O nível de fertilidade também influenciou a capacidade da primeira cultura para produzir matéria seca, devido a que no primeiro experimento a proporção de matéria seca produzida pelo brócolis variou entre 68% e 83% do total produzido, valores que passaram a variou entre 80% e 92% no segundo experimento com os solo mais fértil. Nos dois casos, a contribuição da primeira cultura (brócolis) na produção de

matéria seca total foi menor nas plantas adubadas com mucuna cinza, corroborando seu efeito residual na segunda cultura.

No primeiro experimento, maior acúmulo total (com brócolis + braquiária) de N, P, K Ca, Mg e S foi obtido com AM100, AM=MC5 e MC5+AM=AM100 em comparação com o controle (Tabela 2). No segundo experimento, maior acúmulo total de N e Ca foi obtido com AM200, AM=MC10 e MC10+AM=AM200 em comparação com o controle. Maior acúmulo total de P e S foi obtido com AM200, MC10 e MC10+AM=AM200 em comparação com o controle. Maior acúmulo total de K foi obtido com AM=MC10 e MC10+AM=AM200 em comparação com o controle. Maior acúmulo total de Mg foi obtido com AM100, MC10, AM=MC10 e MC10+AM=AM200 em comparação com o controle (Tabela 2).

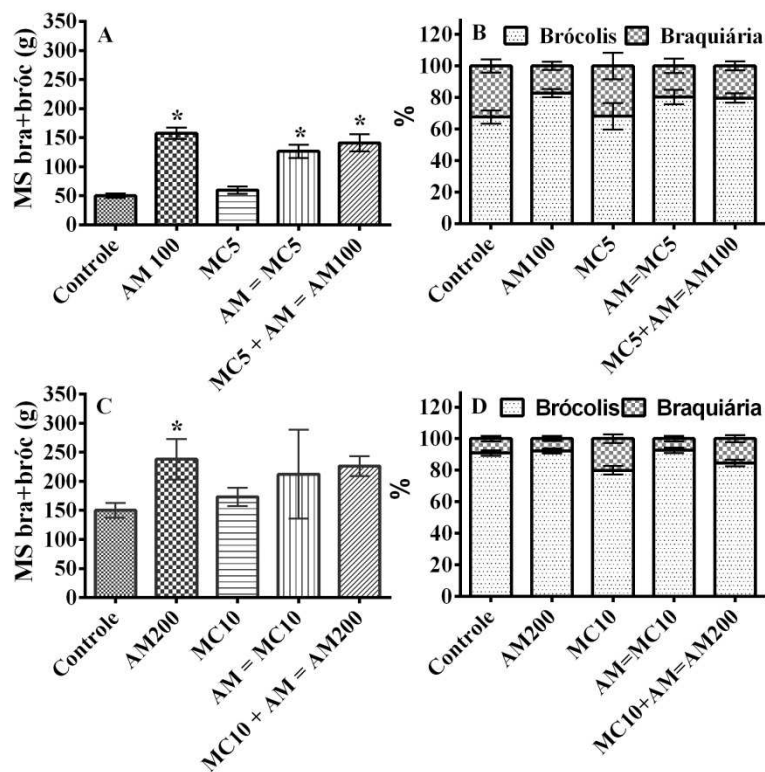


Figura 3. Médias e desvio padrão da matéria seca total produzida e sua partição nas culturas de brócolis (bróc) e braquiária (bra) no primeiro (A, B) e segundo (C, D) experimentos. No primeiro experimento o brócolis foi fertilizado com adubação mineral aplicada em 100% da recomendação (AM100), 5 t/ha mucuna cinza (MC5), adubo mineral similar ao aplicado com MC5 (AM=MC5) e MC5 aplicado em conjunto com adubação mineral para fornecer a mesma quantidade de nutrientes fornecidos com AM100 (MC5+AM=AM100). No segundo experimento as doses foram dobradas (200% e 10 t/ha de mucuna). *Diferentes do tratamento controle pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

Tabela 2. Médias e desvio padrão do acúmulo total de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), obtido a partir do somatório da madeira seca da braquiária e do brócolis, em dois experimentos, onde se avaliou o efeito residual de tratamentos aplicado inicialmente na cultura de brócolis.

	N	P	K	Ca	Mg	S
g/planta						
Primeiro experimento						
Controle	0,688 ± 0,053	0,049 ± 0,005	0,845 ± 0,061	0,130 ± 0,009	0,036 ± 0,003	0,238 ± 0,012
AM100	2,542 ± 0,262 *	0,283 ± 0,031 *	2,189 ± 0,227 *	0,766 ± 0,269 *	0,189 ± 0,045 *	0,859 ± 0,084 *
MC5	0,861 ± 0,054	0,060 ± 0,007	1,073 ± 0,194	0,156 ± 0,009	0,047 ± 0,008	0,319 ± 0,040
AM=MC5	1,764 ± 0,094 *	0,180 ± 0,007 *	1,861 ± 0,191 *	0,445 ± 0,044 *	0,101 ± 0,007 *	0,662 ± 0,036 *
MC5+AM=AM100	1,883 ± 0,362 *	0,314 ± 0,063 *	2,267 ± 0,330 *	0,394 ± 0,022 *	0,117 ± 0,016 *	0,827 ± 0,095 *
Segundo experimento						
Controle	1,622 ± 0,424	0,225 ± 0,028	2,248 ± 0,768	0,509 ± 0,232	0,105 ± 0,021	0,719 ± 0,047
AM200	3,051 ± 0,357 *	0,468 ± 0,029 *	3,026 ± 0,102	0,925 ± 0,069 *	0,198 ± 0,013 *	1,103 ± 0,105 *
MC10	2,131 ± 0,161	0,296 ± 0,021 *	2,837 ± 0,192	0,591 ± 0,052	0,136 ± 0,009 *	0,939 ± 0,052 *
AM=MC10	2,423 ± 0,254 *	0,269 ± 0,009	3,124 ± 0,217 *	0,886 ± 0,019 *	0,135 ± 0,004 *	0,775 ± 0,070
MC10+AM=AM200	2,490 ± 0,135 *	0,434 ± 0,048 *	3,327 ± 0,398 *	0,761 ± 0,067 *	0,185 ± 0,010 *	0,993 ± 0,122 *

Controle = Plantas não fertilizadas; AM100 ou AM200 a adubação mineral aplicada em 100% ou 200% da dose recomendada para o brócolis; MC5 ou MC10 = 5 ou 10 t/ha mucuna cinza; AM=MC5 ou AM=MC10 = adubo mineral similar ao aplicado com MC5 ou MC10; MC5+AM=AM100 ou MC10+AM=AM200 = MC5 ou MC10 aplicado em conjunto com adubação mineral para fornecer a mesma quantidade de nutrientes fornecidos com AM100 ou AM200. * = Diferentes do tratamento controle pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

A fertilidade inicial do solo influenciou no efeito das práticas de fertilização sobre o acúmulo de nutrientes e em outros estudos relatam-se que o acúmulo de nutrientes aumenta na medida em que diminui a fertilidade do solo (Giambalvo et al., 2018). Nesta pesquisa, os resultados do primeiro experimento demonstram que em solo de menor fertilidade o acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S é alterado com a dose de adubação. Efeito do tipo de adubo sobre o acúmulo de nutrientes no primeiro experimento indica que quando dose igual de nutrientes fornecidos com MC5 e AM=MC5, o maior acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S foi obtido com adubação mineral (AM=MC5). Já quando dose igual de nutrientes foi fornecida com AM100 ou MC5+AM=AM100, o maior acúmulo de N, Ca e Mg foi obtido com adubação mineral (AM100). Resultados do segundo experimento demonstram que, em solos com maior fertilidade, aplicações de 10 t/ha de mucuna cinza aplicada isolada ou em conjunto com

adubo mineral, resultam em maiores produções em cultivos sucessivos do ponto de vista agrônomo, embora tenham promovido menor acúmulo N, Ca e Mg.

Tabela 3. Grupos de contrastes para a comparação da matéria seca da braquiária (MSBRA), acúmulo de nutrientes na braquiária (ANBRA), matéria seca total obtida da somatória do brócolis e braquiária (MSBRÓ+BRA), acúmulo total de nutrientes obtido da somatória do brócolis e braquiária (ANBRÓ+BRA).

Variáveis	Primeiro experimento			
	----MC5 vs AM=MC5----		-AM100 vs MC5+AM=AM100-	
	Médias	Diferença	Médias	Diferença
MSBRA (g)	19,270 – 24,651	-5,290 ns	27,137 – 28,764	-1,626 ns
ANBRA (g)				
Nitrogênio	0,295 – 0,309	-0,014 ns	0,316 – 0,373	-0,057 ns
Fósforo	0,026 – 0,044	-0,018 *	0,048 – 0,062	-0,013 *
Potássio	0,530 – 0,508	0,022 ns	0,464 – 0,581	-0,117 ns
Cálcio	0,036 – 0,060	-0,024 *	0,055 – 0,057	0,002 ns
Magnésio	0,022 – 0,036	-0,014 *	0,052 – 0,046	0,006 ns
Enxofre	0,051 – 0,044	0,007 ns	0,050 – 0,090	-0,039 *
MSBRA+BRÓ (g)	59,666 – 126,486	-66,820 *	157,330 – 140,909	16,420 *
ANBRA+BRÓ (g)				
Nitrogênio	0,861 – 1,764	-0,903 *	2,543 – 1,883	0,659 *
Fósforo	0,060 – 0,181	-0,121 *	0,284 – 0,314	-0,031 ns
Potássio	1,073 – 1,861	-0,788 *	2,189 – 2,268	-0,078 ns
Cálcio	0,156 – 0,445	-0,289 *	0,766 – 0,394	0,372 *
Magnésio	0,047 – 0,102	-0,055 *	0,189 – 0,118	0,072 *
Enxofre	0,319 – 0,663	-0,343 *	0,859 – 0,827	0,032 ns
Segundo experimento				
	----MC10 vs AM=MC10----		-AM200 vs MC10+AM=AM200-	
	Médias	Diferença	Médias	Diferença
MSBRA (g)	34,708 – 14,819	19,889 *	18,134 – 34,831	-16,697 *
ANBRA (g)				
Nitrogênio	0,431 – 0,303	0,128 ns	0,242 – 0,492	-0,249 *
Fósforo	0,065 – 0,036	0,029 *	0,062 – 0,097	-0,035 *
Potássio	0,622 – 0,252	0,370 *	0,302 – 0,593	-0,291 *
Cálcio	0,075 – 0,040	0,036 *	0,050 – 0,093	-0,042 *
Magnésio	0,045 – 0,023	0,022 *	0,035 – 0,062	-0,027 *
Enxofre	0,117 – 0,046	0,071 *	0,056 – 0,093	-0,036 *
MSBRA+BRÓ (g)	173,224 – 212,256	-39,032 ns	237,862 – 226,128	11,734 ns
ANBRA+BRÓ (g)				
Nitrogênio	2,131 – 2,423	-0,292 ns	3,051 – 2,491	0,560 *
Fósforo	0,297 – 0,270	0,027 ns	0,469 – 0,435	0,034 ns
Potássio	2,837 – 3,124	-0,287 ns	3,026 – 3,328	-0,302 ns
Cálcio	0,592 – 0,886	-0,294 *	0,926 – 0,762	0,164 ns
Magnésio	0,136 – 0,136	0,000 ns	0,198 – 0,185	0,013 ns
Enxofre	0,940 – 0,776	0,164 *	1,103 – 0,993	0,110 ns

MC5 ou MC10 = 5 ou 10 t/ha de mucuna cinza; AM100 ou AM200 = Adubo mineral na dose de 100% ou 200% recomendada para o brócolis e aplicada exclusivamente com adubação mineral; AM=MC5 ou AM=MC10 = Adubo mineral fornecendo a mesma dose de nutrientes fornecido com MC5 ou MC10; MC5+AM=AM100 ou MC10+AM=AM200 = MC5 ou MC10 + adubo mineral para fornecer a mesma quantidade de nutriente fornecido com AM100 ou AM200. ns = não significativo pelo teste de F ($p \geq 0,05$). * = Diferentes pelo teste de F ($p < 0,05$).

3.4 Eficiência de recuperação (ER) e eficiência de utilização (EU)

No primeiro experimento, maior ER de N, K e S foi obtida com AM100, AM=MC5 e MC5+AM=AM100 (Figura 4 A, C, F), maior ER de P foi obtida com AM=MC5 e MC5+AM=AM100 (Figura 4 B), maior ER de Ca foi obtida com AM100 e AM=MC5 (Figura 4 D) e maior ER de Mg foi obtida com AM=MC5 (Figura 4 E), todos os tratamentos em comparação com a MC10. No segundo experimento, a ER de N não foi alterada (Figura 4 G). Menor ER de P e Mg foi obtida com AM200 e AM=MC10 em comparação com MC10 (Figura 4 H, K). Maior ER de K e Ca foi obtida com AM=MC10 em comparação com MC10 (Figura 4 I, J). Menor ER de S foi obtida com AM200, AM=MC10 e MC10+AM=AM200 em comparação com MC10 (Figura 4 L).

Tanto a dose de adubação quanto o tipo de adubo utilizado podem influenciar na recuperação dos nutrientes. Maior eficiência de recuperação de nutrientes espera-se com adubação mineral em comparação com adubação verde, devido à rápida disponibilidade dos nutrientes, resultando em maior concentração dos nutrientes na solução do solo o que favorece sua rápida absorção e utilização pelas plantas (Gatiboni et al., 2005; Medeiros et al., 2014). Por outro lado, menor ER espera-se na medida em que aumenta a dose de adubação (Diniz et al., 2017a; Hussain et al., 2016; Hussain et al., 2017). Para esta pesquisa, resultados do primeiro experimento indicam que em solo menos férteis, a recuperação de N, P, K, Ca, Mg e S pelo cultivo sucessivo de brócolis e braquiária com menor dose nutrientes é maior quando os nutrientes são fornecidos com adubo mineral (AM=MC5) em comparação quando os nutrientes são fornecidos com 5 t/ha de mucuna cinza. Alteração da eficiência de recuperação também foi confirmada com a maior dose de adubação. Valores da ER de N, K, Ca e S foram maiores com AM100 e valores de ER de N, K e S foram maiores com MC5+AM=AM100, nos dois casos em comparação com plantas adubadas com 5 t/ha de mucuna cinza. Efeito do tipo de adubo com maior dose de adubação foi confirmado unicamente para N e Ca, onde maior ER de N e Ca foram obtidas com AM100 em comparação com MC5+AM=AM100 (Tabela 4). Resultados do segundo experimento indicam que em solo de maior fertilidade, 10 t/ha de mucuna pode promover maior ER de P, Mg e S em comparação com a maior dose de adubação independente da forma em que o nutriente foi fornecido. Confirmou-se também que em menor dose de adubação a ER de K e Ca obtida com adubo mineral (AM=MC10) é maior em comparação com adubação verde (MC10). A ausência do efeito do tipo de adubo com o fornecimento da maior dose de adubação confirma que a

recuperação de nutrientes em cultivo sucessivo de brócolis e braquiária é similar entre adubação mineral e adubação conjunta (MC10+AM=AM200). As eficiências de recuperação de P, Ca, Mg e S nos dois experimentos superaram 100%, indicando que é necessário fazer ajustes na dose de adubação para estes nutrientes. Em cultivos sucessivos de brócolis de cabeça única e aboborinha, onde foram aplicadas doses crescentes de *Crotalaria juncea* (3, 6 e 9 t/ha) em conjunto com 12 t/ha de composto orgânico (uma única adubação durante a primeira cultura), foi obtido maior recuperação de nitrogênio no primeiro cultivo (Vargas et al., 2017). Nesta pesquisa aconteceu uma situação similar, principalmente no segundo experimento onde mais do 67% de N, P, K, Ca e Mg total foi acumulado na primeira cultura (brócolis). A mucuna cinza foi resultou em maior acúmulo de nutrientes na braquiária, indicando que o efeito da adubação verde requer um maior período de tempo para a recuperação de nutrientes quando comparado com adubação mineral.

No primeiro experimento, similar EU de N, K e S foram obtidas com todos os tratamentos (Figura 6 A, C, F). Menor EU de P foi obtida com AM100, AM=MC5 e MC5+AM=AM100 em comparação com MC5 (Figura 6 B). Menores EU de Ca e Mg foram obtidas com AM100 em comparação com MC5 (Figura 6 D, E). No segundo experimento, similares EU de N, P, Ca e Mg foram obtidas com os tratamentos. Maior EU de K foi obtida com AM200 em comparação com MC10 (Figura 6 I). Maior EU de S foi obtida com AM=MC10 em comparação com MC10 (Figura 6 L).

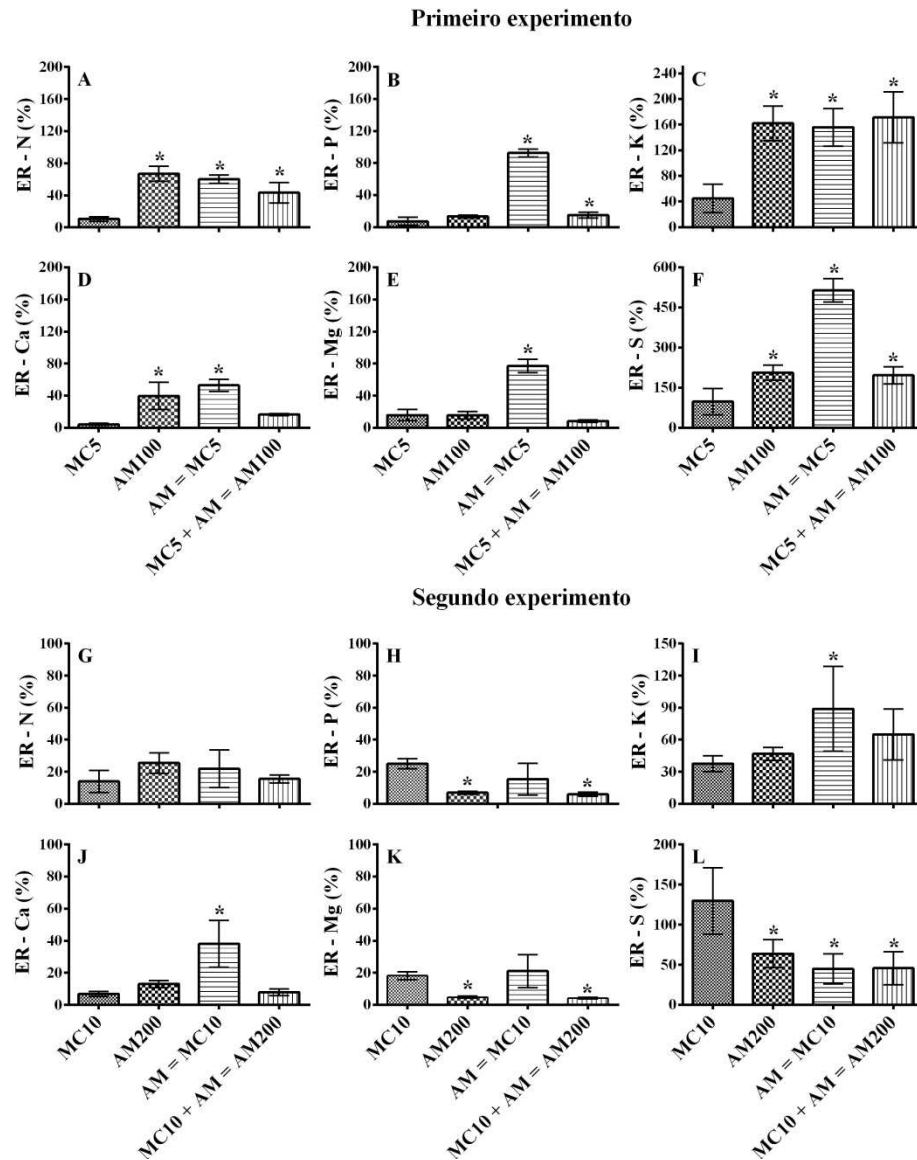


Figura 4. Média e desvio padrão da eficiência de recuperação (ER) do nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na matéria seca total de brócolis e braquiária durante primeiro (A, B, C, D, E, F) e segundo (G, H, I, J, K, L) experimentos. No primeiro experimento o brócolis foi fertilizado com adubação mineral aplicada em 100% da recomendação (AM100), 5 t/ha mucuna cinza (MC5), adubo mineral similar ao aplicado com MC5 (AM=MC5) e MC5 aplicado em conjunto com adubação mineral para fornecer a mesma quantidade de nutrientes fornecidos com AM100 (MC5+AM=AM100). No segundo experimento as doses foram dobradas (200% e 10 t/ha de mucuna). *Diferentes do tratamento MC5 ou MC10 pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

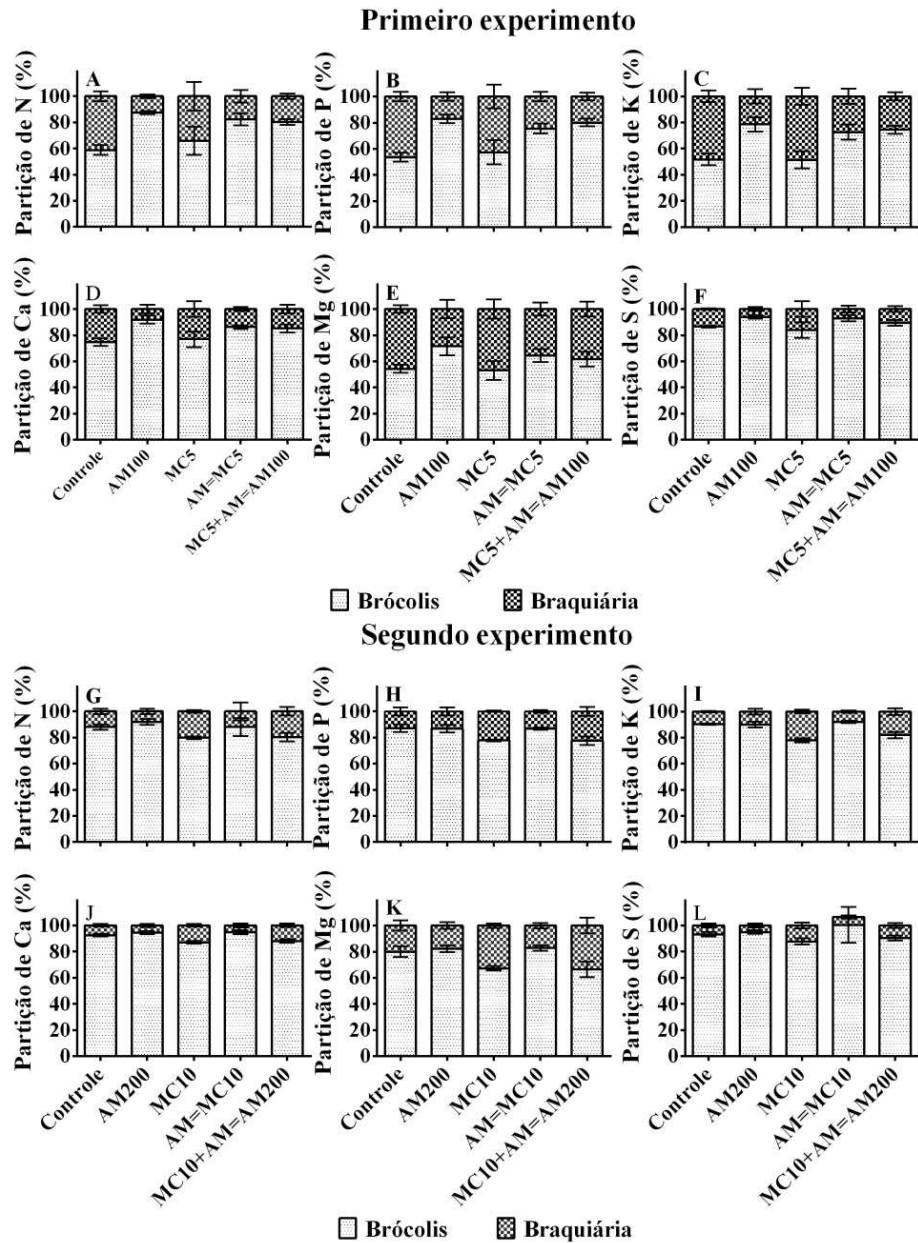


Figura 5. Média e desvio padrão da proporção do nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) acumulado na matéria seca de brócolis ou braquiária, no primeiro (A, B, C, D, E, F) e segundo (G, H, I, J, K, L) experimentos. No primeiro experimento o brócolis foi fertilizado com adubação mineral aplicada em 100% da recomendação (AM100), 5 t/ha mucuna cinza (MC5), adubo mineral similar ao aplicado com MC5 (AM=MC5) e MC5 aplicado em conjunto com adubação mineral para fornecer a mesma quantidade de nutrientes fornecidos com AM100 (MC5+AM=AM100). No segundo experimento as doses foram dobradas (200% e 10 t/ha de mucuna).

Até certo ponto, o aumento a dose de adubação pode se refletir em aumento da produção de matéria seca e aumento no teor do nutriente na biomassa da planta.

Existem também situações onde o aumento da dose de adubo pode se refletir unicamente no aumento do teor do nutriente na biomassa sem que ocorra incremento na produção de matéria seca. Nesta pesquisa, diferenças na EU de P, Ca e Mg no primeiro experimento, indicam que as práticas de fertilização influenciam a capacidade das culturas para utilizar esses nutrientes em solos de baixa fertilidade. A principal diferença ocorreu entre MC5 e AM=MC5, onde a mucuna cinza promoveu maior EU de P, Ca e Mg em comparação com adubação mineral. Menor eficiência com AM=MC5 se explica pela produção total de matéria seca e pelo acúmulo total destes nutrientes. A matéria seca total produzido com AM=MC5 foi 110% maior que o produzido com MC5 e a quantidade acumulada de P, Ca e Mg com AM=MC5 foi 200%, 180% e 120% maior que o acumulado com MC5. O efeito do tipo de adubo confirmou-se na EU de Ca e Mg, com doses iguais de nutrientes aplicados com AM100 e MC5+AM=AM100, a maior EU de Ca e Mg foi obtida com adubação conjunta. No segundo experimento a menor EU de K e S com 10 t/ha de mucuna cinza quando comparado com AM200 e AM=MC10, respectivamente, indica menor teor destes nutrientes em plantas adubadas com MC10. A eficiência de utilização foi diferente entre os nutrientes, em ordem decrescente, a EU (média dos dois experimentos) foi na seguinte ordem: Mg>P>Ca>S>N>K com valores médios de 1239, 641, 294, 205, 77 e 67 g/g, respectivamente. Tomando em conta que, em média o 82%, 80%, 77%, 76%, 86%, 68% e 91% da matéria seca e acúmulo total de N, P, K, Ca, Mg e S respectivamente ocorreu no brócolis, atribui-se a esta cultura o comportamento da distribuição da eficiência de utilização. No brócolis o N, K e Ca são os nutrientes mais demandados, enquanto que o P, S e Mg são nutrientes com menor demanda (Carranza et al., 2008; Cecílio Filho et al., 2017).

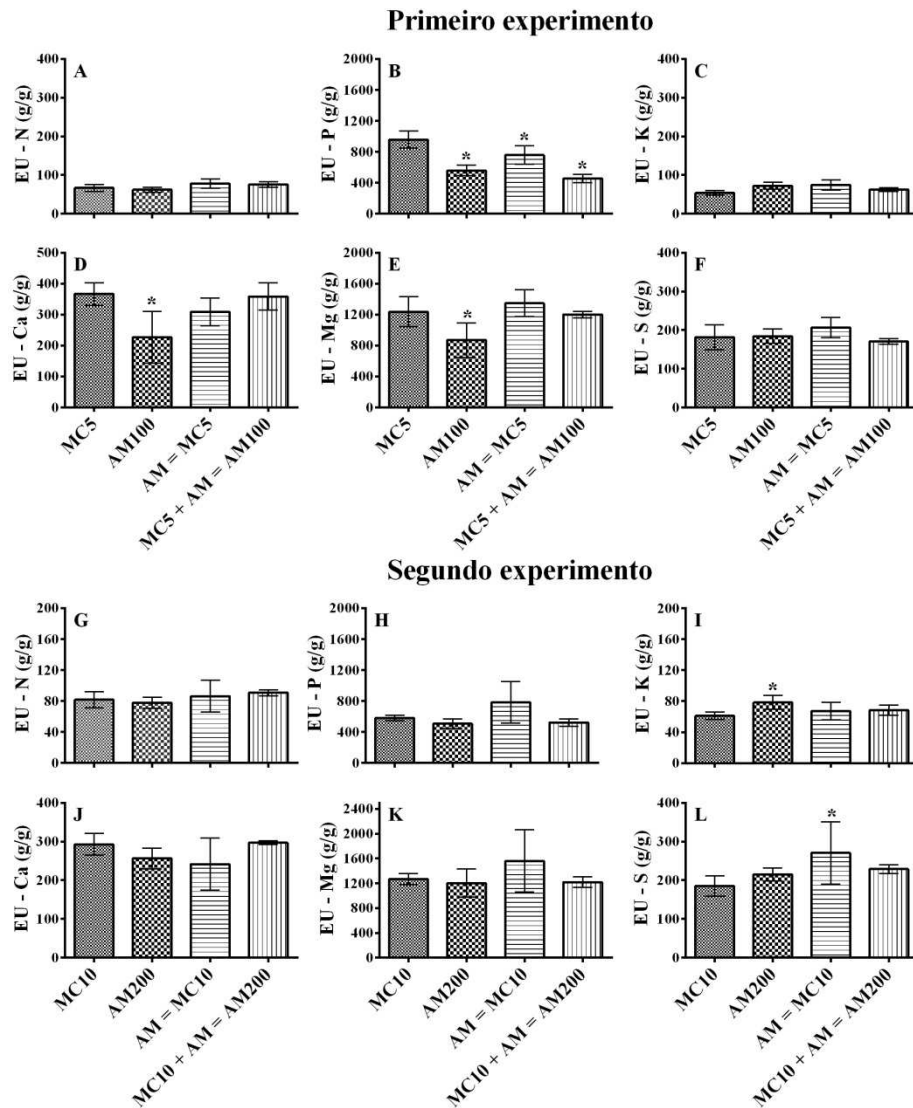


Figura 6. Média e desvio padrão da eficiência de utilização (EU) do nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na matéria seca total de brócolis e braquiária durante primeiro (A, B, C, D, E, F) e segundo (G, H, I, J, K, L) experimentos. No primeiro experimento o brócolis foi fertilizado com adubação mineral aplicada em 100% da recomendação (AM100), 5 t/ha mucuna cinza (MC5), adubo mineral similar ao aplicado com MC5 (AM=MC5) e MC5 aplicado em conjunto com adubação mineral para fornecer a mesma quantidade de nutrientes fornecidos com AM100 (MC5+AM=AM100). No segundo experimento as doses foram dobradas (200% e 10 t/ha de mucuna). *Diferentes do tratamento MC5 ou MC10 pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

Tabela 4. Contrastes para a comparação da eficiência de recuperação (ER) e eficiência de utilização (EU) obtidas conjuntamente pelas culturas de brócolis e braquiária fertilizado com adubação mineral e adubação verde aplicado em conjunto com adubo mineral.

Variáveis	Primeiro experimento		Segundo experimento	
	AM100 vs MC5+AM=AM100		AM200 vs MC10+AM=AM200	
	Médias	Diferença	Médias	Diferença
ER (%)				
Nitrogênio	66,925 – 43,376	23,549**	25,514 – 15,511	10,003 ns
Fósforo	13,399 – 15,163	-1,764 ns	6,959 – 5,988	0,971 ns
Potássio	161,952 – 171,376	-9,425 ns	46,838 – 65,018	-18,180 ns
Cálcio	39,723 – 16,502	23,221 **	13,005 – 7,881	5,124 ns
Magnésio	15,737 – 8,363	7,373 ns	4,779 – 4,11	0,668 ns
Enxofre	206,784 – 196,030	10,754 ns	63,971 – 45,667	18,304 ns
EU (g/g)				
Nitrogênio	62,292 – 75,773	-13,481 ns	77,992 – 90,742	-12,750 ns
Fósforo	559,651 – 455,408	104,203 ns	506,699 – 522,655	-15,957 ns
Potássio	72,425 – 62,556	9,860 ns	78,399 – 68,410	9,990 ns
Cálcio	226,984 – 358,617	-131,634**	256,572 – 297,180	-40,609 ns
Magnésio	870,025 – 1202,527	-332,501**	1205,621 – 1220,163	-14,542 ns
Enxofre	184,180 – 170,631	13,548 ns	215,158 – 228,707	-13,549 ns

M100 ou AM200 = Adubo mineral na dose de 100% ou 200% recomendada para a cultura de brócolis; MC5+AM=AM100 ou MC10+AM=AM200 = 5 ou 10 t/ha de MS de mucuna cinza + adubo mineral para fornecer a mesma quantidade de nutriente fornecido com AM100 ou AM200. ns = não significativo pelo teste de F ($p \geq 0,05$). * = Diferentes pelo teste de F ($p < 0,05$).

No segundo experimento, variações do pH foram obtidas durante o ciclo de crescimento da braquiária. Diferenças no pH entre tratamentos ocorreram particularmente entre os 107 e 121 dias após aplicação dos tratamentos (DAAT) (Figura 8 B, C e Figura 9 A).

A acidez ativa do solo pode mudar em função da dose e tipo de adubo utilizado, pelas características do solo e pela cultura estabelecida (Tang et al., 2011; Conyers et al., 2011). Nesta pesquisa o efeito do tipo de adubo confirmou-se unicamente durante um período de 20 dias, antes do primeiro corte da braquiária, onde AM200 resultou em menor pH em comparação com o controle, MC10 e MC10+AM=MC10. Menor pH com AM200 se atribui às quantidades remanescentes de ureia, que possivelmente promoveu o processo de nitrificação, liberando H^+ à solução do solo. O pH do solo mudou em função da demanda nutricional da braquiária. Os menores valores de pH ocorreram nas etapas de crescimento da planta (após a semeadura e após os cortes da parte aérea), devido à absorção de cátions, as raízes da planta liberam H^+ à solução do solo para manter o equilíbrio eletroquímico no interior das células (Espinosa e Molina, 1999).

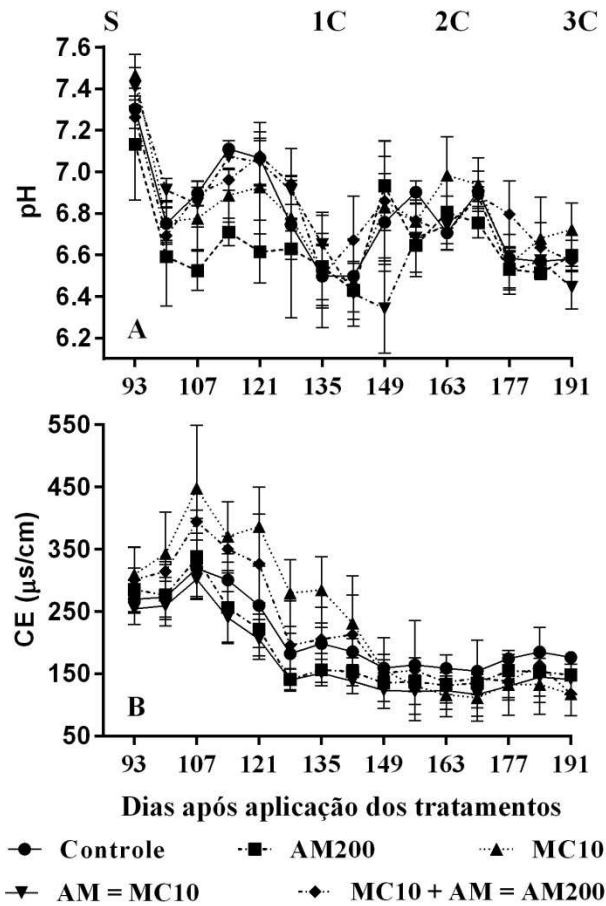


Figura 7. Média e desvio padrão da acidez ativa (pH) (A) e condutividade elétrica (CE) (B) da solução do solo no cultivo da braquiária, em solos onde inicialmente foi plantado brócolis 'Legacy' foram fertilizadas com adubação mineral ao 200% da dose recomendada (AM200), 10 t/ha de mucuna cinza (MC10), adubo mineral fornecendo a mesma quantidade de nutrientes fornecido com MC10 (AM=MC10), MC10 + adubo mineral para fornecer a mesma quantidade de nutrientes fornecido com AM200 (MC10+AM=AM200). S = Semeadura; 1C, 2C, 3C = primeiro, segundo e terceiro corte da braquiária.

Os valores mais altos de CE, em todos os tratamentos, apresentaram-se até antes dos 135 DAAT. Diferenças entre tratamentos ocorreram entre os 114 e 135 DAAT, onde MC10 apresentou valores de CE superior ao de AM200 (Figura 7 B). Considerando que a condutividade elétrica indica a concentração de íons na solução do solo e que seu valor pode variar no espaço e tempo em função da absorção de nutrientes pela cultura (Miranda et al., 2006), os valores mais altos de CE em todos os tratamentos nas primeiras três semanas após a sementeira da braquiária são devidos à pequena absorção de íons, devido ao limitado sistema radicular da planta. Esta situação modifica após o primeiro corte da braquiária, quando o sistema radicular da braquiária está

desenvolvido e tem capacidade de explorar maior volume do solo para absorção de água e nutrientes, resultando em diminuição da CE. Valores de CE mais altos com MC10 em comparação com adubação mineral (AM200 e AM=MC10) até antes do primeiro corte da braquiária são atribuídos à decomposição da mucuna cinza. Cerca de 50% da massa aplicada inicialmente foi decomposta no cultivo de brócolis e o restante continuou seu processo de decomposição desde o momento da semeadura da braquiária, resultando na liberação de íons à solução do solo.

Houve comportamento similar dos teores de N, K, Ca e Mg na solução do solo. Os valores mais altos destes nutrientes foram encontrados até antes dos 149 DAAT, período onde houve também maiores diferenças entre os tratamentos (Figura 8 A, B, C e Figura 9 A).

Diferenças na dinâmica dos nutrientes na solução do solo podem ocorrer em função do tipo de adubo. Quando os nutrientes são fornecidos com adubos minerais estão disponíveis imediatamente após sua aplicação e rapidamente são absorvidos pela cultura, mas podem ser perdidos por volatilização (no caso de N) ou lixiviação, ou ainda podem ser lixiviados às maiores profundidades do solo, onde não são alcançados pelas raízes. A situação é diferente quando os nutrientes são aplicados através da adubação verde, onde os nutrientes antes de serem liberados à solução do solo devem passar pelo processo de mineralização. A velocidade de mineralização no adubo verde é diferente entre as partes da planta (Diniz et al., 2014). Nesta pesquisa diferenças no teor de N, K, Ca e Mg da solução solo foram encontradas entre a semeadura e o primeiro corte da braquiária, com o solo fertilizado com 10 t/ha de mucuna cinza quem apresentando os maiores teores. Por outro lado, os maiores teores de K, Ca e Mg ocorreram com MC10 e/ou MC10+AM=AM200. Maiores teores de N, K, Ca e Mg na solução do solo fertilizado com a mucuna cinza isolada ou aplicada conjuntamente com adubo mineral são atribuídos à sua liberação diferencial da massa do adubo verde. Na mucuna cinza utilizada a fração mais lábil foi a folha e fração menos lábil foi o caule. Na primeira cultura (brócolis) 70% da folha e 27% do caule aplicados inicialmente foram decompostos. Portanto, se deduz que na segunda cultura (braquiária) a principal fonte de nutrientes foi o caule da mucuna cinza, o que demonstra que o efeito da adubação verde ocorre também a médio prazo e se aproveita melhor em cultivos sucessivos.

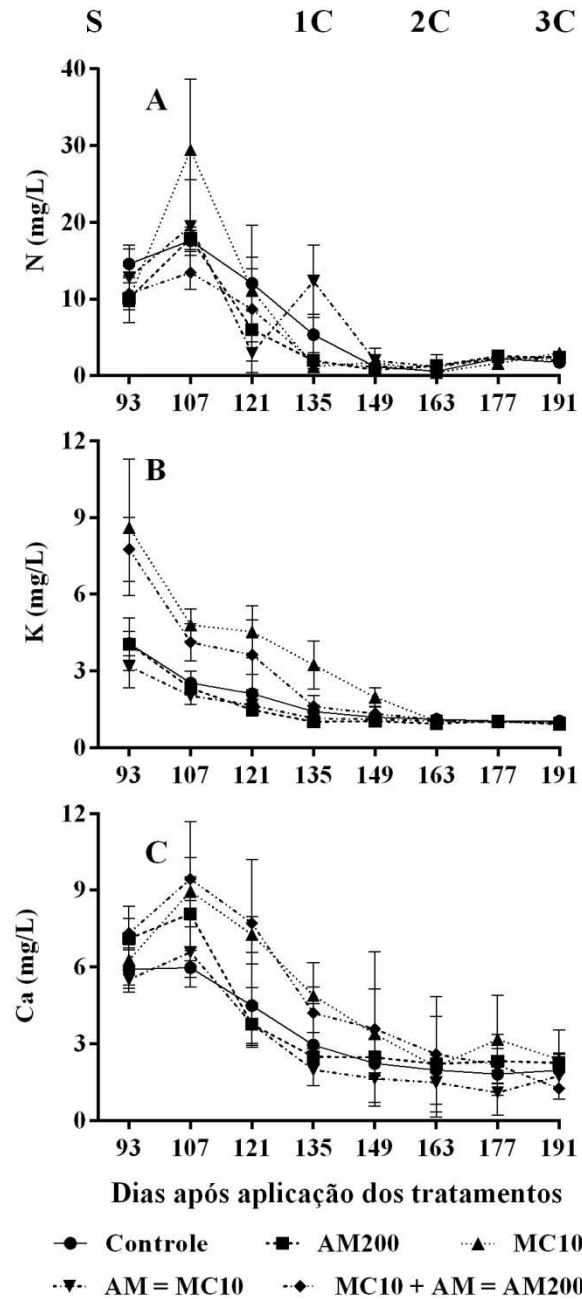


Figura 8. Média e desvio padrão do teor do nitrogênio (N) (A), potássio (K) (B) e cálcio (Ca) (C) na solução do solo no cultivo da braquiária, em solos onde inicialmente foi plantado brócolis 'Legacy' manejada com adubação mineral ao 200% da dose recomendada para brócolis (AM200), 10 t/ha de mucuna cinza (MC10), adubo mineral fornecendo a mesma quantidade de nutrientes fornecido com MC10 (AM=MC10), MC10 + adubo mineral para fornecer a mesma quantidade de nutrientes fornecido com AM200 (MC10+AM=AM200). S = Semeadura; 1C, 2C, 3C = primeiro, segundo e terceiro corte da braquiária.

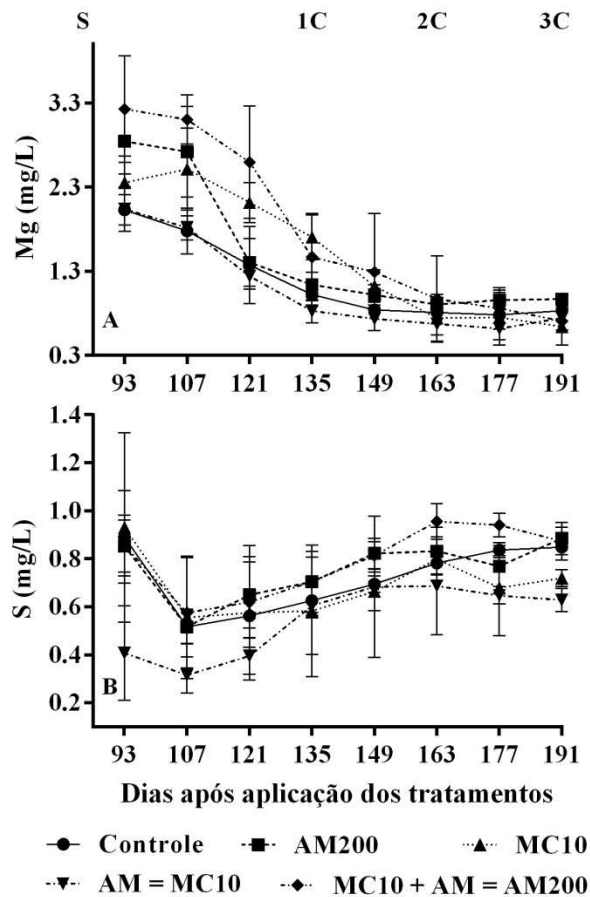


Figura 9. Média e desvio padrão do magnésio (Mg) (A) e enxofre (S) (B) na solução do solo no cultivo da braquiária, em solos onde inicialmente foi plantado brócolis ‘Legacy’ manejada com adubação mineral ao 200% da dose recomendada para brócolis (AM200), 10 t/ha de mucuna cinza (MC10), adubo mineral fornecendo a mesma quantidade de nutrientes fornecido com MC10 (AM=MC10), MC10 + adubo mineral para fornecer a mesma quantidade de nutrientes fornecido com AM200 (MC10+AM=AM200). S = Semeadura; 1C, 2C, 3C = primeiro, segundo e terceiro corte da braquiária.

Comportamento diferente apresentou o teor de S, o menor valor em todos os tratamentos foi obtido aos 107 DAAT; posterior a essa data o teor de S aumentou em todos os tratamentos. Diferenças entre tratamentos foram detectadas especificamente aos 93 (teor de S com AM=MC10 foi menor que o controle, AM200 e MC10+AM=AM200), 177 (teor de S com MC10+AM=AM200 maior que nos outros tratamentos de adubação e controle) e 191 (teor de S com AM=MC10 e MC10 menor que AM200, MC10+AM=AM200 e controle) após aplicação dos fertilizantes (Figura 9 B).

O balance do enxofre na solução do solo varia em função da absorção das plantas, mineralização e imobilização, assim como do pH do solo. Dependendo da necessidade nutricional da cultura, pode ocorrer maior ou redução de S na solução do solo. Em função do pH, espera-se maior concentração deste nutriente em solos com pH perto ao neutro (Scherer, 2009). Incluso quando o nutriente é pouco requerido pela planta, a concentração do S pode se manter pouco variável ou mesmo aumentar na medida em que cresce a planta (Miranda et al., 2006). Nesta pesquisa o S foi o único nutriente que apresentou comportamento diferente, devido a que, seu teor na solução do solo manteve-se pouco variável ou aumentou na medida em que se realizaram cortes da parte aérea da braquiária. Isto se atribui ao bom nível do S no solo utilizado, ao pH inicial do solo (6,2) e ao pH da solução do solo (que flutuou entre 6,2 e 7,1) que favoreceu a dessorção do S. Maior teor de S na solução do solo com 10 t/ha de mucuna cinza aplicada isolada ou em conjunto com adubação mineral pode ser atribuído à liberação paulatina deste nutriente durante o processo de mineralização.

5. CONCLUSÕES

Efeito residual na segunda cultura (braquiária) foi obtido nos dois experimentos quando a mucuna cinza aplicou-se conjuntamente com adubação mineral. Efeito residual do tipo de adubo confirmou-se no acúmulo de nutrientes nos dois experimentos.

Maior produção de matéria seca total (brócolis + braquiária) em relação ao controle ocorre com adubação mineral em alta dose nos dois experimentos. Maior acúmulo total de nutrientes em relação ao controle ocorre obtido mucuna cinza aplicado em conjunto com adubação mineral nos dois experimentos.

Efeito do tipo de adubo confirmou-se no acúmulo total de nutrientes nos dois experimentos. Maior ER K e Ca ocorre com adubo mineral em comparação com mucuna cinza nos dois experimentos. A EU de N não foi alterado pelos tratamentos de adubação nos dois experimentos.

O pH da solução do solo mudou em função do crescimento da braquiária, os maiores valores de CE, teor de N, K, Ca, Mg e S apresentaram-se na fase de crescimento inicial da braquiária, o teor de S apresentou valores estáveis ou ascendentes com o crescimento da braquiária, os valores mais altos de CE e tenor de nutrientes até antes do primeiro corte da braquiária foi em solos fertilizados 10 t/ha de mucuna cinza isolada ou aplicada em conjunto com adubo mineral.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adekiya, A. O., Agbede, T. M., Aboyeji, C. M., & Dunsin, O. (2017). Response of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) and soil properties to different mulch materials in different cropping seasons. *Scientia Horticulturae*, *217*, 209–216.
- Alvarez V., V. H., Novais, R. F. de, Barros, N. F. de, Cantarutti, R. B., & Lopes, A. S. (1999). Interpretação dos resultados das análises de solos. In A. C. Ribeiro, P. T. G. Guimarães, & V. H. Alvarez V. (Orgs.), *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5a aproximação* (p. 25–32). Viçosa-MG: CFSEMG.
- Bai, J., Cao, W., Xiong, J., Zeng, N., Gao, S., & Katsuyoshi, S. (2015). Integrated application of February Orchid (*Orychophragmus violaceus*) as green manure with chemical fertilizer for improving grain yield and reducing nitrogen losses in spring maize system in northern China. *Journal of Integrative Agriculture*, *14*(12), 2490–2499.
- Baligar, V. C., Fageira, N. K., & He, Z. L. (2001). Nutrient use efficiency in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *32*(7&8), 921–950.
- Båth, B., Malgeryd, J., Stintzing, A. R., & Åkerhielm, H. (2006). Surface mulching with red clover in white cabbage production. nitrogen uptake, ammonia losses and the residual fertility effect in ryegrass. *Biological Agriculture & Horticulture*, *23*(3), 287–304.
- Carranza, C., Lancho, O., Miranda, D., Salazar, M. R., & Chaves, B. (2008). Modelo simple de simulación de distribución de masa seca en brócoli (*Brassica* sp.) variedad Coronado e repollo (*Brassica oleracea*) híbrido Delus cultivados en la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana*, *26*(1), 23–31.
- Cecílio Filho, A. B., Carmona, V. M. V., & Junior, A. A. S. (2017). Broccoli growth and nutrient accumulation. *Científica*, *45*(1), 95–104.
- Conyers, M. K., Tang, C., Poile, G. J., Liu, D. L., Chen, D., & Nuruzzaman, Z. (2011). A combination of biological activity and the nitrate form of nitrogen can be used to ameliorate subsurface soil acidity under dryland wheat farming. *Plant and Soil*, *348*(1–2), 155–166.
- Dabin, Z., Pengwei, Y., Na, Z., Changwei, Y., Weidong, C., & Yajun, G. (2016). Contribution of green manure legumes to nitrogen dynamics in traditional winter wheat cropping system in the Loess Plateau of China. *European Journal of Agronomy*, *72*, 47–55.

- Diniz, E. R., Almeida, A. R., Mattos, U. J. B. M., Vargas, T. O., Pereira, W. D., & Santos, R. H. S. (2010). Efeito de doses de adubo verde no crescimento e produção de brócolis orgânico. *Horticultura Brasileira*, 28, S2819–S2826.
- Diniz, Ellen R., Vargas, T. O., Pereira, W. D., Santos, R. H. S., Urquiaga, S., & Modolo, A. J. (2017b). Levels of *Crotalaria juncea* on growth, production, recovery and efficiency of the use of N in broccoli. *Horticultura Brasileira*, 35, 395–401.
- Diniz, Ellen Rúbia, Vargas, T. de O., Guedes, A. F., Santos, R. H. S., Urquiaga, S., & Modolo, A. J. (2017a). Doses of *Crotalaria juncea*: Residual effect on zucchini and maize crop in sequence to broccoli. *Revista Ceres*, 64(6), 600–606.
- Diniz, Ellen Rubia, Vargas, T. de O., Pereira, W. D., Guedes, A. F., Santos, R. H. S., & Peternelli, L. A. (2014). Decomposição e mineralização do nitrogênio proveniente do adubo verde *Crotalaria juncea*. *Científica*, 42(1), 51–59.
- Egodawatta, W. C. P., Sangakkara, U. R., & Stamp, P. (2012). Impact of green manure and mineral fertilizer inputs on soil organic matter and crop productivity in a sloping landscape of Sri Lanka. *Field Crops Research*, 129, 21–27.
- Espinosa, J., & Molina, E. (1999). Acidez e encalado de los suelos. *International Plant Nutrition Institute*, (1), 1–42.
- Fageria, N. K., & Baligar, V. C. (2005). Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy*, 88, 97–185.
- Fageria, Nand Kumar. (2009). *The use of nutrients in crop plants*. CRC press.
- Favarato, L. F., Souza, J. L., Galvão, J. C. C., Souza, C. M. de, Guarconi, R. C., & Balbino, J. M. de S. (2016). Crescimento e produtividade do milho-verde sobre diferentes coberturas de solo no sistema plantio direto orgânico. *Bragantia*, 75(4), 497–506.
- Gatiboni, L. C., Kaminski, J., & dos Santos, D. R. (2005). Alterations in soil phosphorus forms after successive extractions with Mehlich-1, mehlich-3 and anion exchange resin methods. *Revista Brasileira De Ciencia Do Solo*, 29(3), 363–371.
- Gatiboni, Luciano Colpo, Kaminski, J., Rheinheimer, D. dos S., & Flores, J. P. C. (2007). Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31(4), 691–699.
- Giambalvo, D., Amato, G., Badagliacca, G., Ingraffia, R., Di Miceli, G., Frenda, A. S., ... Ruisi, P. (2018). Switching from conventional tillage to no-tillage: Soil N

- availability, N uptake, 15N fertilizer recovery, and grain yield of durum wheat. *Field Crops Research*, 218, 171–181.
- Hussain, M. J., Karim, A. J. M. S., Solaiman, A. R. M., Islam, M. S., & Rahman, M. (2016). Effect of urea super granule and prilled urea on yield and yield attributes of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica* L.). *The Agriculturists*, 14(2), 95–112.
- Hussain, M. J., Karim, A. J. M. S., Solaiman, A. R. M., Islam, M. S., & Rahman, M. (2017). Effect of different levels of urea super granule and prilled urea on the crop quality, nutrient uptake and soil nutrient status of broccoli. *The Agriculturists*, 15(2), 24–39.
- Hwang, H. Y., Kim, G. W., Lee, Y. B., Kim, P. J., & Kim, S. Y. (2015). Improvement of the value of green manure via mixed hairy vetch and barley cultivation in temperate paddy soil. *Field Crops Research*, 183, 138–146.
- Li, X. G., Jia, B., Lv, J., Ma, Q., Kuzyakov, Y., & Li, F. (2017). Nitrogen fertilization decreases the decomposition of soil organic matter and plant residues in planted soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 112, 47–55.
- Malavolta, E., Vitti, G. C., & Oliveira, S. A. (1989). *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: Potafos: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato.
- Medeiros, J. D., Oliveira, F. H. T., Santos, H. C., Arruda, J. A., & Vieira, M. D. (2014). Forms of potassium in representative soils of the State of Paraíba, Brazil. *Revista Ciencia Agronomica*, 45(2), 417–426.
- Melo, V. D., Correa, G. F., Ribeiro, A. N., & Maschio, P. A. (2005). Kinetics of potassium and magnesium release from clay minerals of soils in the Triangulo Mineiro Region, Minas Gerais State, Brazil. *Revista Brasileira De Ciencia Do Solo*, 29(4), 533–545.
- Miranda, J., Marciano da Costa, L., Ruiz, H. A., & Einloft, R. (2006). Composição química da solução de solo sob diferentes coberturas vegetais e análise de carbono orgânico solúvel no deflúvio de pequenos cursos de água. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30(4).
- Moll, R. H., Kamprath, E. J., & Jackson, W. A. (1982). Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal*, 74, 562–564.
- Ngome, A. F. E., Becker, M., & Mtei, K. M. (2011). Leguminous cover crops differentially affect maize yields in three contrasting soil types of Kakamega,

- Western Kenya. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics (JARTS)*, 112(1), 1–10.
- Perin, A., Santos, R. H. S., Urquiaga, S., Guerra, J. G. M., & Cecon, P. R. (2004). Efeito residual da adubação verde no rendimento de brócolo (*Brassica oleraceae* L. var. Italica) cultivado em sucessão ao milho (*Zea mays* L.). *Ciência Rural, Santa Maria*, 34(6), 1739–1745.
- Scherer H. W. 2009. Sulfur in soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 172: 326-335.
- Silva, E. C. da, Muraoka, T., Buzetti, S., Veloso, M. E. da C., & Trivelin, P. C. O. (2006). Aproveitamento do nitrogênio (15N) da crotalária e do milho pelo milho sob plantio direto em Latossolo Vermelho de Cerrado. *Ciência Rural*, 36(3), 739–746.
- Spohn, M., & Widdig, M. (2017). Turnover of carbon and phosphorus in the microbial biomass depending on phosphorus availability. *Soil Biology and Biochemistry*, 113, 53–59.
- Suarez-Tapia, A., Thomsen, I. K., Rasmussen, J., & Christensen, B. T. (2018). Residual N effect of long-term applications of cattle slurry using winter wheat as test crop. *Field Crops Research*, 221, 257–264.
- Subaedah, S., Aladin, A., & Nirwana. (2016). Fertilization of nitrogen, phosphor and application of green manure of *Crotalaria juncea* in increasing yield of maize in marginal dry land. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 9, 20–25.
- Sugihara, Y., Ueno, H., Hirata, T., Komatsuzaki, M., & Araki, H. (2016). Contribution of N derived from a hairy vetch incorporated in the previous year to tomato N uptake under hairy vetch-tomato rotational cropping system. *The Horticulture Journal*, 85(3), 217–223.
- Tang, C., Conyers, M. K., Nuruzzaman, M., Poile, G. J., & Liu, D. L. (2011). Biological amelioration of subsoil acidity through managing nitrate uptake by wheat crops. *Plant and Soil*, 338(1–2), 383–397.
- Tedesco, M. J., Gianello, C., Bissani, C. A., Bohnen, H., & Volkweiss, S. J. (1995). *Análises de solo, plantas e outros materiais* (2^o ed). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Tejada, M., Gonzalez, J. L., García-Martínez, A. M., & Parrado, J. (2008). Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. *Bioresource Technology*, 99, 1758–1767.

- Valadares, R. V., Ávila- Silva, L. de, Teixeira, R. da S., Sousa, R. N. de, & Vergütz, L. (2016). Green Manures and crop residues as source of nutrients in tropical environment. In M. L. Larramendy & S. Soloneski (Orgs.), *Organic Fertilizers - From Basic Concepts to Applied Outcomes* (1^o ed, p. 51–84). Rijeka: InTech.
- Vargas, T. de O., Diniz, E. R., Pacheco, A. L. V., Santos, R. H. S., & Urquiaga, S. (2017). Green manure-15N absorbed by broccoli and zucchini in sequential cropping. *Scientia Horticulturae*, 214, 209–213.
- Wang, Y., Wang, Z.-L., Zhang, Q., Hu, N., Li, Z., Lou, Y., ... Kuzyakov, Y. (2018). Long-term effects of nitrogen fertilization on aggregation and localization of carbon, nitrogen and microbial activities in soil. *Science of The Total Environment*, 624, 1131–1139.
- Xie, Z., Tu, S., Shah, F., Xu, C., Chen, J., Han, D., ... Cao, W. (2016). Substitution of fertilizer-N by green manure improves the sustainability of yield in double-rice cropping system in south China. *Field Crops Research*, 188, 142–149.
- Zang, H., Wang, J., & Kuzyakov, Y. (2016). N fertilization decreases soil organic matter decomposition in the rhizosphere. *Applied Soil Ecology*, 108, 47–53.
- Zörb, C., Senbayram, M., & Peiter, E. (2014). Potassium in agriculture – Status and perspectives. *Journal of Plant Physiology*, 171(9), 656–669.

CONCLUSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES DE PESQUISA

Nesta pesquisa as características do solo, cultivar de brócolis e dose de adubação utilizado no primeiro e segundo experimento foram diferentes. Espera-se que a interação destes fatores junto com o clima tenham influenciado o crescimento, produção e matéria seca do brócolis no primeiro e segundo experimento. Para corroborar e incrementar os conhecimentos sobre o efeito da adubação mineral e adubação verde, é recomendável que em futuras pesquisas, em um mesmo tipo de solo, sejam avaliados mais de uma dose de adubação, onde, os nutrientes para uma mesma dose sejam fornecidas com diferentes tipos de adubos (por exemplo, adubação verde, adubação mineral e adubação misturada).

Presume-se que a reutilização da água drenada dos vasos influenciou as eficiências de utilização dos macronutrientes obtidos nesta pesquisa, nos dois experimentos. Se recomenda que novas pesquisas onde se pretenda avaliar o efeito da adubação verde, seja desenvolvida em condições de campo ou em casa de vegetação onde não se recupere a água drenada dos vasos, mas que a mesma seja quantificada e caracterizada em termos de conteúdo de nutrientes. Com isso, espera-se obter informação mais próxima ao que se espera obter em sistemas de produção comercial.

O método de aplicação dos adubos tinha influenciado parcialmente os resultados obtidos no primeiro e segundo experimento. A adubação mineral misturada com todo o volume de solo ficou distribuída mais homoganeamente. Situação diferente possivelmente ocorreu com o adubo verde que, ao ficar sobre a superfície do solo, os nutrientes foram mineralizadas mais lentamente do que se incorporados, além de ficarem disponíveis para as raízes mas superficiais. Se recomenda que em futuras pesquisas o método de aplicação seja o mesmo para os diferentes tipos de adubos utilizados.

O fósforo não foi detectado na solução do solo nesta pesquisa com a metodologia utilizada. Sugere-se que em novas pesquisas sejam testados outras metodologias mais sensíveis que permitam identificar a presença deste nutriente na solução do solo.

Alteração do crescimento, produção, matéria seca produzida e acúmulo de nutrientes promovido pela mucuna cinza está em função da dose utilizada e pelas características da fertilidade do solo.

Similar crescimento e produção de matéria seca de brócolis com adubação mineral e adubação verde se consegue quando se aplica 10 t/ha de mucuna cinza, mas, independentemente da dose de adubação, maior eficiência de recuperação de nutrientes e maior eficiência de utilização na primeira cultura é maior com a adubação mineral.

Menor rendimento, índice de colheita, matéria seca total, acúmulo de nutrientes e eficiência de recuperação se consegue com adubação verde em comparação com adubo mineral.

Adubação verde aplicado em conjunto com adubo mineral promove crescimento, produção, matéria seca produzida, acúmulo de nutrientes e eficiência de recuperação e utilização de nutrientes similar ao adubo mineral na primeira cultura (brócolis), também promove maior efeito residual na segunda cultura (braquiária), pelo que, confirma ser uma alternativa viável para os cultivos sucessivos.

Mudanças nas características da solução do solo ocorreram em função do tipo de adubo, etapa fenológica da cultura, e do número de culturas estabelecidas. Maiores valores de condutividade elétrica e teor de macronutrientes na primeira cultura e particularmente na etapa inicial de crescimento. Menor pH e maior CE em solos manejados com adubação mineral na primeira cultura. Maior CE e teor de macronutrientes com adubação verde pura ou combinada na segunda cultura.