

**MIKAELA DE OLIVEIRA ABRANCHES**

**PROPORÇÕES DE *Crotalaria ochroleuca* E MILHETO NA PRODUÇÃO DE  
BETERRABA E SEUS EFEITOS RESIDUAIS NA CULTURA DA ALFACE**

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

Orientador: Ricardo Henrique Silva Santos

Coorientador: Paulo Roberto Cecon

**VIÇOSA – MINAS GERAIS  
2022**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa

T

A161p  
2022

Abranches, Mikaela de Oliveira, 1997-  
Proporções de *Crotalaria ochroleuca* e milho na produção  
de beterraba e seus efeitos residuais na cultura da alface /  
Mikaela de Oliveira Abranches. – Viçosa, MG, 2022.  
1 dissertação eletrônica (70 f.): il.

Inclui anexo.

Orientador: Ricardo Henrique Silva Santos.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Agronomia, 2022.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.234>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Adubação verde. 2. Plantas - Nutrição. 3. Plantas - Efeito  
do nitrogênio. I. Santos, Ricardo Henrique Silva, 1963-.  
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de  
Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia.  
III. Título.

CDD 22. ed. 631.874

Bibliotecário(a) responsável: Bruna Silva CRB6/2552

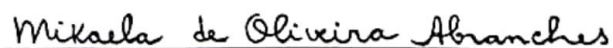
MIKAELA DE OLIVEIRA ABRANCHES

PROPORÇÕES DE *Crotalaria ochroleuca* E MILHETO NA PRODUÇÃO DE  
BETERRABA E SEUS EFEITOS RESIDUAIS NA CULTURA DA ALFACE

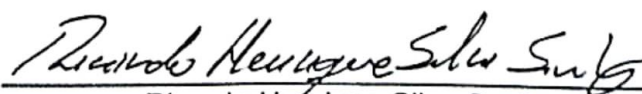
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 21 de fevereiro de 2022.

Assentimento:



Mikaela de Oliveira Abranches  
Autora



Ricardo Henrique Silva Santos  
Orientador

A Deus.

A minha família.

Ao meus avós Tim Abranches e Antônio Miguel (*in memoriam*).

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, sempre e em todo lugar, o meu 'muito obrigada' que não pode ser descrito em palavras. Pela coragem, sustento, direção, esperança, fé ... obrigada meu Senhor.

Aos meus pais, Teresinha e Ednilson, a quem devo minha vida, obrigada por me apoiarem em todas as decisões e compreenderem minha ausência física. Ao meu irmão Daniel por se fazer presente mesmo que por pensamento e por me contagiar com sua alegria em nossos curtos encontros.

Ao meu namorado, companheiro, amigo e braço direito Guilherme. Você me ensinou que os desafios existem para serem vencidos e que nada pode me parar. Obrigada pela paciência, amor e carinho.

À grande Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia pela oportunidade e acolhida, por me permitirem um passo tão importante para minha formação pessoal e profissional.

Aos professores Ricardo Henrique Silva Santos e Paulo Roberto Cecon, pela orientação, apoio, amizade e contribuições neste trabalho.

À técnica do Laboratório de Agroecologia, Mariana, pela ajuda, companhia, conversas descontraídas nos momentos mais precisos, por ter exercido muito mais que sua função.

Aos colegas de curso Luanna, António e Jussiê, que apesar de terem sido (em número) duramente afetados pela pandemia, fizeram a diferença na minha jornada.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de estudos.

## RESUMO

ABRANCHES, Mikaela de Oliveira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2022. **Proporções de *Crotalaria ochroleuca* e milho na produção de beterraba e seus efeitos residuais na cultura da alface.** Orientador: Ricardo Henrique Silva Santos. Coorientador: Paulo Roberto Cecon.

Dentre as formas de adubação orgânica para substituição e/ou complementação da adubação mineral destaca-se a adubação verde com a combinação de espécies gramíneas e leguminosas. Embora seja pouco estudada, a combinação das duas espécies permite a formação de resíduo vegetal com relação C/N tal que pode contribuir com a sincronia entre a mineralização e a demanda de nutrientes pelas culturas, além da proteção do solo. Com base nisso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da adubação verde com crotalária (L) e milho (G) puros e em diferentes proporções de mistura na produção, qualidade e acúmulo de nutrientes em beterraba (*Beta vulgaris* L.) e o seu efeito residual no cultivo de alface (*Lactuca sativa* L.). Para tanto, foram implementadas 5 proporções de mistura (100L0G, 75L25G, 50L50G, 25L75G e 0L100G), sendo estas baseadas na quantidade de nitrogênio (N) presente nos adubos verdes, e 2 tratamentos controle (adubação mineral sem N (AM) e controle absoluto (C)) em delineamento inteiramente casualizado, com 4 repetições. A produção de beterraba foi realizada em vasos preenchidos com 35 dm<sup>3</sup> de solo onde foi feita a incorporação da fitomassa de modo que cada mistura adicionasse ao vaso a mesma quantidade de nitrogênio. A colheita das plantas foi realizada 70 dias após o plantio. O plantio da alface foi realizado 5 dias após a colheita das plantas de beterraba, nos mesmos vasos, sem qualquer adubação adicional. A colheita foi realizada 41 dias após o plantio. As médias dos tratamentos com adubação verde foram comparadas com AM e C pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade e os efeitos da proporção de leguminosa na mistura foram avaliados por análise de regressão. No cultivo de beterraba, comparado ao tratamento C e AM as proporções de 100L0G e 25L75G proporcionam a maior produção de raízes. O acúmulo de potássio na parte aérea e na raiz, assim como o de cálcio na raiz aumenta em função do incremento de crotalária na mistura. O teor de sólidos solúveis é reduzido com o aumento da proporção de crotalária até o mínimo de 76,16% na mistura. A acidez total titulável é reduzida até a proporção de 39,12% de crotalária, com incremento em proporções mais elevadas. No cultivo de alface, os

tratamentos 75L25G e 25L75G proporcionaram acúmulo de matéria fresca da parte aérea (MFPA) e matéria seca da parte aérea (MSPA) superior a AM e C, sendo o acúmulo máximo obtido com 39% e 55% de crotalária na mistura com milho, respectivamente. O acúmulo de N foi também superior a AM e C nos tratamentos 75L25G e 25L75G. Para Ca e Mg o acúmulo máximo foi obtido com 38% e 63% de crotalária na mistura com milho, respectivamente. Analisados em conjunto, os dados indicam que as misturas com maiores proporções de crotalária proporcionam produção superior no primeiro cultivo após a incorporação da fitomassa. Por outro lado, a adição de apenas 25% de milho na mistura, promove efeito residual que contribui para a maior produção das plantas de alface.

Palavras-chave: Nutrição de plantas. Mineralização de nutrientes. Relação C/N. Adubação nitrogenada.

## ABSTRACT

ABRANCHES, Mikaela de Oliveira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2022. **Proportions of *Crotalaria ochroleuca* and millet in beet production and their residual effects on lettuce cropping.** Adviser: Ricardo Henrique Silva Santos. Co-adviser: Paulo Roberto Cecon.

Among the forms of organic fertilization to replace and/or complement mineral fertilization, green manuring with a combination of grass and leguminous species stands out. Although not much studied, the combination of these species allows the formation of plant residues with a C/N ratio that can contribute to the synchrony between mineralization and nutrient demand by crops, in addition to soil protection. Based on this, the present work aimed to evaluate the effects of green manure with crotalaria (L) and millet (G) pure and in different mixing proportions on production, quality and nutrient accumulation in beet (*Beta vulgaris* L.) and its residual effect on lettuce crop (*Lactuca sativa* L.). For this purpose, 5 mixing ratios (100L0G, 75L25G, 50L50G, 25L75G and 0L100G) were implemented, based on the amount of nitrogen (N) present in green manures, and 2 control treatments (mineral fertilization without N (AM) and control absolute (C)) in a completely randomized design, with 4 replications. The beet production was carried out in pots filled with 35 dm<sup>3</sup> of soil where the phytomass was incorporated so that each mixture added the same amount of nitrogen to the pot. The plants were harvested 70 days after planting. Lettuce was planted 5 days after the beet plants were harvested, in the same pots, without any additional fertilization. Harvest was carried out 41 days after planting. The means of treatments with green manure were compared with AM and C by Dunnett's test at the level of 5% of probability and the effects of the proportion of legume in the mixture were evaluated by regression analysis. In beet crop, compared to treatment C and AM, the proportions of 100L0G and 25L75G provide the highest production of roots. The accumulation of potassium in the shoot and in the root, as well as the calcium in the root, increases as the increase of sunn hemp in the mixture. The soluble solids content is reduced with increasing proportion of sunn hemp reaching a minimum at 76,16% in the mixture. The total titratable acidity is reduced as the proportion of sunn hemp increases until 12%, increasing in higher proportions. In lettuce crop, treatments 75L25G and 25L75G provided higher accumulation of shoot fresh matter and shoot dry matter than AM and C, with maximum accumulation obtained with 39% and 55% of sunn hemp in the

mixture with millet, respectively. The accumulation of N was also superior to AM and C in treatments 75L25G and 25L75G. For Ca and Mg the maximum accumulation was obtained with 38% and 63% of sunn hemp in the mixture with millet, respectively. Taken together, the data indicate that mixtures with higher proportions of sunn hemp provide higher production in the first crop after the incorporation of phytomass. On the other hand, the addition of only 25% of millet in the mixture, promotes a residual effect that contributes to the higher production of lettuce plants.

Keywords: Plant nutrition. Nutrient mineralization. C/N ratio. Nitrogen fertilization.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL .....	11
REFERÊNCIAS .....	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	13
2.1. Aspectos Gerais da Adubação Verde .....	13
2.2. Efeitos da Adubação Verde na Olericultura .....	17
2.2.3. Crescimento e Produção .....	17
2.2.4. Estado Nutricional das Culturas .....	19
2.2.5. Características do Solo .....	20
2.3. Uso de Consórcio e Mistura de Espécies de Adubos Verdes: Gramíneas e Leguminosas .....	22
REFERÊNCIAS .....	25
CAPÍTULO 1 – Diferentes proporções de <i>Crotalaria ochroleuca</i> e milho na produção e estado nutricional de beterraba ( <i>Beta vulgaris</i> L.) .....	31
1. INTRODUÇÃO .....	31
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	32
2.1. Caracterização da Área Experimental .....	32
2.2. Metodologia .....	33
2.2.1. Produção dos Adubos Verdes .....	33
2.2.2. Caracterização dos Adubos Verdes .....	34
2.2.3. Tratamentos e Delineamento Experimental .....	34
2.2.4. Implantação e Condução do Experimento .....	35
2.3. Variáveis Analisadas .....	36
2.3.1. Produção .....	36
2.3.2. Qualidade .....	37
2.4. Análise Estatística .....	38
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	38
4. CONCLUSÕES .....	46
REFERÊNCIAS .....	47
CAPÍTULO 2 – Efeito residual de diferentes proporções <i>Crotalaria ochroleuca</i> e milho no cultivo de alface ( <i>Lactuca sativa</i> L.) .....	51
1. INTRODUÇÃO .....	51
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	52
2.1. Caracterização da Área Experimental .....	52
2.2. Metodologia .....	53

2.2.1. Produção dos Adubos Verdes .....	53
2.2.2. Caracterização dos Adubos Verdes.....	53
2.2.3. Tratamentos e Delineamento Experimental.....	54
2.2.4. Implantação e Condução do Experimento .....	54
2.3. Variáveis Analisadas.....	56
2.4 Análise Estatística.....	56
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
4. CONCLUSÕES .....	63
REFERÊNCIAS .....	64
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	66
ANEXO I.....	67

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Diante do aumento populacional observado ao longo dos anos, a produção de alimentos deve ser realizada de forma tal que supra a necessidade da população. Entretanto, o aumento da produção de alimentos ocorre muitas vezes pelo manejo inadequado do solo e uso de insumos de forma desequilibrada. Isso conduz e contribui com a perda da sustentabilidade do agroecossistema, prejudicando a produção de alimentos ao longo do tempo. Desperta-se, então, a necessidade de mudanças nos sistemas de produção de alimentos, de modo que sejam baseados na otimização do uso dos recursos ambientais e na sustentabilidade da atividade agrícola.

O Brasil é um país tropical, cujos solos são altamente intemperizados, com baixo teor de matéria orgânica e pequena capacidade de retenção de nutrientes, necessitando de suplementação nutricional. Esta é feita principalmente pelo uso de fertilizantes solúveis, que demandam alto gasto de energia na sua produção, o que reflete no alto custo de produção das lavouras. Segundo a ANDA (2020), durante o ano de 2019, o Brasil consumiu cerca de 36 milhões de toneladas de fertilizantes formulados. Destes, aproximadamente 81% foi proveniente de importação, o que demonstra a alta dependência de outros países como fornecedores de insumos.

Na biosfera terrestre, a maior quantidade de carbono encontra-se armazenada no solo, sendo duas vezes superior ao conteúdo da atmosfera e da vegetação (YANG et al., 2012; LAL, 2004). As intervenções realizadas no solo, mesmo que em pequena escala, podem influenciar significativamente o estoque de carbono e, conseqüentemente, a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera (WANG et al., 2016). Dessa forma, o manejo conservacionista do solo, incluindo a manutenção de sua superfície coberta, bem como o incremento de carbono na forma de matéria orgânica, é uma importante alternativa para abreviação das mudanças climáticas.

A adubação verde surge como uma importante estratégia de conservação do solo e redução da demanda por fertilizantes solúveis, visto que atua sobre as características químicas, físicas e biológicas do solo, melhorando sua fertilidade. O uso de espécies gramíneas e leguminosas em conjunto tem sido uma alternativa aos sistemas agrícolas onde se deseja combinar o aporte de nutrientes com a proteção do solo, além da possibilidade da contribuição na sincronia entre a mineralização de nutrientes e a demanda pelas culturas econômicas beneficiadas.

Tendo em vista o exposto, a hipótese do presente trabalho é que a adubação verde com diferentes proporções de mistura entre gramíneas e leguminosas, notadamente crotalária e milho, pode contribuir para a maior produção, acúmulo de nutrientes e qualidade da cultura da beterraba. Além disso, que o efeito residual da adubação verde seja conhecido na cultura da alface, com resultados positivos na produção. Para maior facilidade no entendimento dos resultados obtidos, foi realizada revisão bibliográfica buscando-se conhecer o estado da arte sobre o tema proposto.

As hipóteses foram testadas em dois experimentos. O primeiro deles com o objetivo de conhecer o efeito das diferentes proporções de mistura entre crotalária e milho sobre a produtividade e acúmulo de nutrientes em plantas de beterraba (Capítulo 1). O plantio dos adubos verdes foi realizado em área adjacente e o material foi colhido, triturado e seco, sendo posteriormente incorporado em vasos, onde foi feito o cultivo de beterraba. O segundo experimento foi instalado nestes mesmos vasos, sem qualquer adubação adicional, com a cultura da alface (Capítulo 2). Nesse caso, o objetivo foi avaliar o efeito residual proporcionado pelas proporções de mistura na produtividade e no acúmulo de nutrientes.

## REFERÊNCIAS

- ANDA (2020). Associação Nacional para Difusão de Adubos. **Pesquisa Setorial**. Disponível em: <[www.anda.org.br](http://www.anda.org.br)> Acesso em 20 de ago. de 2020.
- LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, v. 123, n. 1-2, p. 1-22, 2004.
- WANG, K. et al. Profile distributions and controls of soil inorganic carbon along a 150-year natural vegetation restoration chronosequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 80, n. 1, p. 193-202, 2016.
- YANG, Y. et al. Widespread decreases in topsoil inorganic carbon stocks across China's grasslands during 1980s–2000s. **Global Change Biology**, v. 18, n. 12, p. 3672-3680, 2012.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Aspectos Gerais da Adubação Verde

A adubação verde tem sido utilizada com o objetivo de melhorar as condições físicas, químicas e biológicas dos solos com baixa fertilidade natural e conservar a qualidade daqueles que são produtivos (WILDNER, 2014; DEVINCENTINS et al., 2020). Além disso, busca-se a obtenção de serviços agronômicos e ecológicos (ELHAKEEM et al., 2019) que normalmente devem ser considerados em longo prazo.

A prática da adubação verde surgiu há muitos anos e já era aplicada pela população antes do período da era cristã, incluindo chineses, gregos e romanos (WILDNER, 2014). No Brasil ela ganhou espaço por volta das décadas de 1940 e 1950 através da influência dos colonos oriundos da Europa que se instalaram na região Sul do país (XAVIER, 2019). A prática consiste da aplicação no solo de fitomassa não decomposta, podendo esta ser produzida no próprio local ou não, incorporada ao solo ou mantida sobre a superfície (MATHEIS; AZEVEDO; FILHO, 2006). Além disso, podem ser usadas uma ou mais espécies em uma mesma área, cultivadas simultaneamente ou em sucessão (NASCIMENTO et al., 2016).

O crescente aumento da população mundial traz consigo a crescente demanda por alimentos, o que muitas vezes acontece via uso de insumos de forma inadequada, além do manejo inadequado do solo, que com o passar dos anos poderá culminar no esgotamento dos nutrientes e seu depauperamento (CHAVES; MENDES, 2016). Sendo assim, a prática da agricultura de forma sustentável deve ser um pilar no manejo das propriedades rurais, permitindo que as áreas se mantenham agricultáveis por longo prazo, fazendo-se necessária a adoção de práticas conservacionistas que visem a melhoria da qualidade física e química do solo, principalmente pelo aporte contínuo de matéria orgânica (OLIVEIRA et al., 2017).

Além disso, o uso inadequado do solo pela prática da monocultura, o tráfego constante e intenso de máquinas e a manutenção da sua superfície descoberta ocasiona o comprometimento de sua estrutura física. Isso resulta na iniciação de processos erosivos, responsáveis pela perda da camada superficial que, geralmente, é a mais rica dos solos, perda de água e nutrientes que serão carregados para recursos hídricos culminando no seu assoreamento e na poluição ambiental (OLIVEIRA, FILHO & BARBOSA, 2016). Dessa forma, torna-se importante o desenvolvimento de

estratégias de uso sustentável do solo, priorizando a conservação e melhoria de suas propriedades físicas, sendo a adubação verde uma prática potencial.

Para tanto, faz-se o uso de rotação ou consórcio com espécies gramíneas e leguminosas nos sistemas agrícolas. Há o predomínio destas últimas, pertencentes à família Fabaceae, que produzem grandes quantidades de fitomassa e que possuem a capacidade de estabelecer associação simbiótica com bactérias tornando-as capazes de fixar o nitrogênio atmosférico em formas assimiláveis pelas plantas, processo conhecido como fixação biológica do nitrogênio (SEDIYAMA, SANTOS & LIMA, 2014).

Os efeitos mais pronunciados da adubação verde com relação à elevação da qualidade do solo se devem à sua capacidade de aumentar o teor de matéria orgânica (SAGRILLO et al., 2009). Este aumento refletirá na elevação da capacidade de troca de cátions (CTC) e da disponibilização de nutrientes para as culturas principais. Ainda segundo os autores, pelo uso da adubação verde, ocorre a formação de ácidos orgânicos que são importantes para o incremento dos nutrientes minerais na solução do solo, além da complexação do alumínio trocável e do melhor aproveitamento dos nutrientes que se encontram mobilizados ou que foram lixiviados ficando, assim, não acessíveis ao uso pelas culturas.

Os adubos verdes são capazes de fornecer N para as culturas principais. Em experimento com tomate orgânico consorciado com adubos verdes, foi feita a marcação pelo método da abundância natural de  $^{15}\text{N}$ . Constatou-se que 21,15% do nitrogênio presente nas folhas do tomateiro foi proveniente da adubação verde (feijão-de-porco, feijão-mungo e crotalaria juncea) destacando a importância de tais espécies para redução no uso de fertilizantes nitrogenados solúveis (AMBROSANO et al., 2016). Na cultura do café, a consorciação das plantas com feijão-de-porco e lablabe resultou no suprimento de 50% da necessidade de nitrogênio pela cultura (CARDOSO et al., 2018). Estas mesmas espécies de adubos verdes foram eficientes em proporcionar maior acúmulo de N em feijoeiro, com resposta em aumento na produtividade na ordem de 32% e 46% para adubação verde com lablabe e feijão-de-porco, respectivamente (SOUSA et al., 2016).

A *Crotalaria juncea* tem sido amplamente utilizada como adubo verde na região do Cerrado, devido sua alta produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes (COSTA et al., 2012; SORATTO et al., 2012), além de seu potencial na redução da população de nematoides (BRAZ et al., 2016). Desta forma, Silva et al. (2017)

estudaram o acúmulo de macro e micronutrientes e a matéria seca produzida por este adubo verde cultivado em solo de Cerrado. A produção de matéria seca no primeiro ano de experimento foi de 19,72 t ha<sup>-1</sup> o que indica que a crotalaria se desenvolve de forma satisfatória mesmo em solos ácidos e pobre em nutrientes, como acontece no Cerrado. Além disso, os autores determinaram os teores de nutrientes na fitomassa e, no primeiro ano de experimento, os valores obtidos foram 19,65 g kg<sup>-1</sup> de N; 3,36 g kg<sup>-1</sup> de P; 20,08 g kg<sup>-1</sup> de K; 6,83 g kg<sup>-1</sup> de Ca; 3,50 g kg<sup>-1</sup> de Mg e 2,83 g kg<sup>-1</sup> de S, além dos micronutrientes com 33,33 mg kg<sup>-1</sup> de Cu; 946,67 mg kg<sup>-1</sup> de Fe; 75,01 mg kg<sup>-1</sup> de Mn e 32,00 mg kg<sup>-1</sup> de Zn.

O efeito da adubação verde com crotalaria e feijão-de-porco sob a nutrição de plantas de repolho foi estudado e o efeito residual promovido pelas leguminosas relatado (VARGAS et al., 2011). No segundo cultivo da hortaliça na mesma área, sem adubação, plantas que receberam tratamento com adubação verde apresentaram produtividade superior àquelas que receberam adubação mineral com nitrogênio, mostrando que o efeito da adubação verde é positivo, também, ao longo dos cultivos subsequentes. O efeito residual positivo da adubação verde com crotalaria júncea aplicada no cultivo de brócolis foi refletido no crescimento e produção de abobrinha, assim como na produtividade de milho cultivados em sucessão (DINIZ et al., 2017a). Como as olerícolas são culturas de ciclo curto, o nitrogênio proveniente dos adubos verdes geralmente não é utilizado em um único ciclo, podendo este ficar retido na matéria orgânica do solo e à outra parte no material vegetal ainda não decomposto, até que ocorra a completa decomposição (SEDIYAMA; SANTOS; LIMA 2014).

Além disso, o uso mais eficiente dos nutrientes em função do efeito residual da adubação verde com mucuna cinza, na dose de 10 t ha<sup>-1</sup> combinada com adubação mineral, também foi observado ao longo de cultivos subsequentes de brócolis e braquiária (PERALTA-ANTONIO; WATTHIER; SANTOS, 2021). Em si tratando de culturas anuais, o cultivo de feijão comum sete meses após a incorporação da fitomassa de lablabe e feijão-de-porco resultou em maior produtividade assim como maior acúmulo de N nas plantas quando em comparação com a vegetação espontânea (SOUSA et al., 2016).

As plantas de cobertura atuam, também, na redução da variação na temperatura do solo, principalmente no período do verão. Solos cultivados com plantas de cobertura têm sua temperatura de superfície reduzida em 2 °C a 2,3 °C e redução de 1,6 °C a 2 °C na profundidade de 5 cm e 1,3 °C na profundidade de 10 cm

(MELO; MADEIRA; PEIXOTO, 2010). Temperaturas mais baixas próximo à região de contato do caule com o solo e em maior profundidade contribuem para o melhor crescimento e desenvolvimento das culturas, o que poderá trazer acréscimo em produção.

O estudo de plantas espontâneas como potenciais adubos verdes têm tomado expressão (MORAIS et al., 2018). Três espécies comumente encontradas na região da Caatinga: a jitirana (*Merremia aegyptia*), o mata-pasto (*Senna uniflora*) e a flor-de-seda (*Calotropis procera*) tiveram seu potencial avaliado (RAMALHO et al., 2016). Os benefícios foram avaliados por meio do efeito residual da adubação verde na cultura do rabanete cultivado em sucessão a rúcula, refletidos em maior altura de planta (média de 9,9 cm planta<sup>-1</sup> na quantidade de 30 t ha<sup>-1</sup>), representando um acréscimo médio de 8,1 cm entre a maior e menor quantidade de adubo verde aplicado e maior número de folhas por planta (média de 7 folhas planta<sup>-1</sup> na quantidade de 30 t ha<sup>-1</sup>). Além disso, houve aumento na produtividade média de raízes (1,5 kg m<sup>-2</sup> de canteiro na quantidade de 27,6 t ha<sup>-1</sup>) quando em comparação com o tratamento controle, que proporcionou a produtividade de 0,23 kg m<sup>-2</sup> de canteiro.

O estudo da qualidade nutricional dos alimentos produzidos a partir do manejo da adubação verde é de suma importância. Na cultura do milho (*Zea mays* L.), o uso da adubação com três espécies de leguminosas: crotalária (*Crotalaria juncea* L.), feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) e feijão guandu-anão (*Cajanus cajan* L. Mill), aplicada ao solo em diferentes doses, resultou em maiores teores de proteínas e lipídeos. Dos adubos verdes merece destaque o feijão-caupi que resultou em grãos com 11,02% de proteína, 9,04% de lipídeos e com valor energético de 4.351,04 Kcal kg<sup>-1</sup>, enquanto que plantas tratadas apenas com adubo mineral produziram grãos com 7,59% de proteína, 6,59% de lipídeos e 4.252,34 Kcal por quilo de grãos de milho (SILVA et al., 2020).

Ainda sobre a variedade de efeitos benéficos promovidos pela adubação verde, cabe ressaltar resultado obtido no crescimento de mudas de mangabeira (*Hancornia speciosa*) em Latossolo-Amarelo Distrófico. No trabalho foram utilizadas quatro espécies de adubos verdes (crotalária juncea, mucuna preta, feijão-guandu e feijão-de-porco) que foram semeadas 15 dias após o plantio das mudas de mangabeira. Quando apresentavam 50% de floração, as plantas foram cortadas e incorporadas ao solo. Os autores relatam que o tratamento com feijão-guandu se mostrou mais promissor após cerca de 330 dias da incorporação, proporcionando incremento de

10,25 cm em altura, enquanto o tratamento controle limitou o incremento médio de altura das mudas a 4,75 cm. Quanto ao diâmetro das mudas, o tratamento com feijão-de-porco proporcionou o melhor desempenho, com 0,94 centímetros de incremento médio, enquanto a testemunha permaneceu com 0,54 centímetros (GUIMARÃES et al., 2019). Os resultados destacam os efeitos benéficos da adubação verde, principalmente após o corte e incorporação das plantas no solo, possibilitando a formação de mudas vigorosas, principalmente pelo fato dos adubos verdes utilizados realizarem a fixação biológica do nitrogênio.

## 2.2. Efeitos da Adubação Verde na Olericultura

Apesar dos inúmeros efeitos positivos da adubação verde, sua utilização tem ocorrido, principalmente, com a finalidade de incorporar nitrogênio ao sistema produtivo e elevar a matéria orgânica decomposta (húmus) (PRIMAVESI; PRIMAVESI, 2018). Notadamente nos sistemas de produção de olerícolas, onde o solo é extremamente trabalhado durante todo o ano, o incremento de matéria orgânica, a boa nutrição e a manutenção do solo coberto, aliados a fatores ambientais e biológicos, podem contribuir para o bom desempenho agrônômico das culturas.

### 2.2.3. Crescimento e Produção

Os sistemas orgânicos de produção apresentam peculiaridades quanto ao manejo nutricional das culturas. Assim, estudos têm sido desenvolvidos com a aplicação da adubação verde buscando alcançar maior produtividade. Resultados demonstram que o uso do feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) em consórcio com tomate permitiu maior produção por planta, na ordem de 1,4 kg planta<sup>-1</sup> enquanto que o tratamento controle (ausência do consórcio) proporcionou uma média de 1,2 kg planta<sup>-1</sup> (AMBROSANO et al., 2018). Além disso, os mesmos autores relatam que a mucuna-anã (*Mucuna deeringiana*) proporcionou maior produção de frutos comerciais por planta, em média 129 frutos comerciais, apesar do peso comercial se configurar próximo ao tratamento controle, indicando que as plantas produziram maior número de frutos, porém de tamanho reduzido. Tal fato pode ter ocorrido em função da menor disponibilidade de nutrientes no momento de enchimento dos frutos.

O quiabo é uma olerícola de grande importância para a alimentação de povos de regiões da Nigéria, entretanto a produtividade alcançada em seu cultivo é baixa. Assim, um estudo foi elaborado utilizando-se quatro espécies de plantas (*Carica*

*papaya*, *Azadirachta indica*; *Moringa oleifera*; *Prosopis africana*) tidas como adubos verdes e abundantes na região, que foram incorporadas ao solo de cultivo, na dose de 5 t ha<sup>-1</sup>, 2 semanas antes do semeio do quiabo. No trabalho, os autores relatam que a incorporação da fitomassa das plantas contribuiu para a redução da densidade do solo, aumento da porosidade, aumento dos teores de N, P, K, Ca e Mg, além do incremento de matéria orgânica, o que resultou em aumento de produtividade semelhante à adubação química convencional. Quanto à produção de quiabo, a incorporação de *Prosopis africana* se mostrou vantajosa, atingindo 10,9 t ha<sup>-1</sup>, seguido de *Azadirachta indica* que resultou em 9,6 t ha<sup>-1</sup>, quando o tratamento com fertilizante NPK se limitou a 6,1 t ha<sup>-1</sup>. A partir da média de avaliação dos dois anos de experimento, *Prosopis africana* propiciou aumento da produção na ordem de 214% e 53% quando em comparação com o tratamento controle e com uso de fertilizante NPK, respectivamente (ADEKIYA et al., 2019).

A adubação verde com diferentes doses de mucuna-cinza (*Mucuna pruriens*), acrescidas de 12 t ha<sup>-1</sup> de composto orgânico, proporcionou efeitos positivos na cultura do brócolis onde o aumento da dose de adubo verde aplicada resultou na maior massa da inflorescência, com o máximo de 276,5 g planta<sup>-1</sup> na dose de 9 t ha<sup>-1</sup>, além da maior produção de folhas (DINIZ et al., 2015). Ainda na cultura do brócolis, a adubação verde (10 t ha<sup>-1</sup> de mucuna-cinza) combinada com adubação mineral resultou em índice de colheita superior ao obtido na ausência de fertilização (PERALTA-ANTONIO et al., 2019).

O uso da adubação verde tem também sido realizado em conjunto com a fertilização mineral (VARGAS et al., 2011; PERALTA-ANTONIO et al., 2019; PERALTA-ANTONIO; WATTHIER; SANTOS, 2021) buscando reduzir a quantidade demandada deste último pelas culturas econômicas. Na produção de repolho, o manejo da adubação com metade da dose de N recomendada e adubação verde com *Crotalaria juncea* resultou em produção superior àquela obtida com uso apenas da adubação mineral (VARGAS et al., 2011). Isso indica que o acréscimo de N-mineral pode ter influenciado positivamente a mineralização do N proveniente da leguminosa coincidindo com o período de maior demanda da cultura do repolho (VARGAS et al., 2011).

Nesse sentido, o uso da adubação verde pode ser uma estratégia potencial no manejo nutricional das plantas, em combinação ou substituição da fertilização mineral. A aplicação de 400 kg ha<sup>-1</sup> de crotalária júncea na cultura da batata resultou em

produtividade comercial de 41,62 t ha<sup>-1</sup>, valor este significativamente superior ao obtido com a adubação mineral (31,72 t ha<sup>-1</sup>) (MOHAMED et al., 2017). Este melhor desempenho foi atribuído pelos autores ao maior suprimento de N proporcionado pela adubação verde, que foi capaz de suprir a necessidade da cultura no momento demandado.

#### 2.2.4. Estado Nutricional das Culturas

Diferentemente dos fertilizantes solúveis, a nutrição das plantas através da adubação verde depende da dinâmica de decomposição e mineralização de nutrientes da fitomassa, processos inerentes tanto à espécie de adubo verde (DINIZ et al., 2014) quanto às condições ambientais e de solo (ØVSTHUS et al., 2021). O fornecimento de C e N além de P, K e S pela adubação verde também contribui com o aumento da atividade microbiana do solo (TAO et al., 2017) que poderá atuar potencializando a disponibilidade e aquisição de nutrientes pelas culturas enquanto os resíduos são decompostos (DROST et al., 2020).

Buscando ilustrar o potencial dos adubos verdes crotalária (*Crotalaria juncea*) e milheto (*Pennisetum glaucum* (L.)) em fornecer N para o cultivo de morango, foi realizado um trabalho com diferenciação entre aplicação da parte aérea e raiz dos adubos verdes. Segundo os autores, a parte aérea dos adubos verdes contribuiu com 14,9% e 9,36% do N presente na parte aérea do morangueiro, para crotalária e milheto, respectivamente. Tal resultado pode ser atribuído à capacidade da crotalária em realizar a fixação biológica do N em seus tecidos e a posterior mineralização deste nutriente. Já na ausência de adubação mineral com N, a crotalária contribuiu com 37,3% do N presente na parte aérea do morangueiro e o milheto com 18,5% (TREVIZAM et al., 2014). Dados como esses ilustram o potencial de uso da adubação verde, principalmente em sistemas de transição agroecológica, onde busca-se a redução do uso de insumos químicos e da dependência de insumos externos à propriedade.

Um aspecto importante da adubação verde diz respeito à eficiência de uso e recuperação do nitrogênio. Para a cultura do brócolis adubada com 3 t ha<sup>-1</sup> de crotalária, com base na matéria seca, houve recuperação de 37,90% do nitrogênio proveniente da leguminosa. A mesma tendência se manteve para a eficiência fisiológica de uso desse nutriente, com maior eficiência para a menor dose de adubo verde aplicada. A dose de 3,7 t ha<sup>-1</sup> de crotalária proporcionou a maior eficiência, 71,1

g de matéria seca de brócolis por grama de N acumulado (DINIZ et al., 2017). Tais resultados são importantes para o planejamento do manejo nutricional da cultura atual e daquelas subsequentes que se beneficiarão pela decomposição e mineralização continuada do adubo verde.

As leguminosas são tipicamente conhecidas pela fixação biológica do nitrogênio, acumulando grande quantidade desse nutriente em seus tecidos e sendo, portanto, uma efetiva fonte de N (VARGAS et al., 2011). A adubação verde com mucuna-cinza na cultura do brócolis na dose de 12 t ha<sup>-1</sup> permitiu o fornecimento de N, sendo que 35,81% do total foi proveniente da fixação biológica realizada pelo adubo verde (SIQUEIRA et al., 2009).

#### 2.2.5. Características do Solo

O uso da adubação verde na forma de consórcios é uma alternativa aos produtores que não detém área disponível para o cultivo destas plantas ou quando não é possível cultivá-las na área total de produção comercial. Dessa forma, um estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o crescimento e produtividade do inhame cultivado entre faixas de guandu sob sistema orgânico de produção. Mediante a poda do guandu, houve um aporte de 159 kg ha<sup>-1</sup> de N e 45% desse valor foi oriundo da fixação biológica. Foi avaliada ainda a contribuição do material proveniente da poda do guandu para o incremento de fósforo, potássio, cálcio e magnésio no sistema, chegando à conclusão de que foram disponibilizados, em média, 20 kg ha<sup>-1</sup> de P, 136 kg ha<sup>-1</sup> de K, 6 kg ha<sup>-1</sup> de Ca e 16 kg ha<sup>-1</sup> de Mg, além da incorporação de 6,58 t ha<sup>-1</sup> de matéria orgânica ao solo (OLIVEIRA et al., 2006).

Para uma área de savana ecológica na Nigéria, foi realizado um estudo buscando conhecer o rendimento de quiabo e as alterações nas propriedades do solo em função do uso de diferentes plantas de cobertura, sendo elas *Pueraria phaseoloides*, *Mucuna pruriens*, *Pennisetum purpureum* e *Panicum maximum*. Os tratamentos foram comparados com controle sem cobertura e foram aplicados duas semanas após o semeio do quiabo, em duas safras, uma seca e uma chuvosa. Além da redução da temperatura do solo, as plantas de cobertura proporcionaram redução da densidade aparente, com valores variando entre 1310 e 1470 kg m<sup>-3</sup>, enquanto o tratamento controle resultou em 1570 kg m<sup>-3</sup>. Quanto à porosidade do solo, em ambas as safras as plantas de cobertura se mostraram como uma alternativa potencial, atingindo 50% de porosidade, enquanto o tratamento controle permaneceu com 39%.

Para o teor de umidade do solo, houve também diferença significativa com o tratamento controle proporcionando cerca de 9,04% de umidade em comparação com os demais tratamentos que apresentaram um teor máximo de 15,80%. Os resultados positivos mencionados foram refletidos no maior rendimento obtido nas plantas de quiabo, possibilitando inferir que as alterações nas propriedades físicas do solo, por meio das espécies de cobertura, foram significativas e importantes se tornando uma alternativa para o manejo da hortaliça, principalmente em períodos secos de cultivo, onde as plantas passam por estresse que pode comprometer a produção (ADEKIYA et al., 2017).

O estudo dos aspectos biológicos do solo sobre influência da adubação verde também se torna de suma importância pois os microrganismos nele presentes atuam como promotores de crescimento vegetal. Como exemplo, tem-se a solubilização de nutrientes presentes na fitomassa proveniente dos adubos verdes, pela síntese de substâncias que regulam o crescimento das plantas, além da ação indireta sobre patógenos de solo que podem comprometer o funcionamento e crescimento radicular das culturas econômicas (BATISTA et al., 2013).

Dessa forma, estudos têm relatado incremento na biomassa microbiana e no número de unidade formadoras de colônias (UFC) de fungos e bactérias mediante aplicação da adubação verde, além do aumento na população de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e redução na população de nematoides (OLIVEIRA et al., 2012).

Resultados nesse sentido foram encontrados para a cultura do rabanete (*Raphanus sativus*), cultivado com diferentes quantidades de matéria seca de três espécies espontâneas da Caatinga, sendo elas jitirana, mata pasto e flor de seda, comumente utilizadas como adubos verdes. A incorporação das plantas foi efetuada 21 dias antes da semeadura da hortaliça sendo observado o aumento crescente no número de UFCs de actinomicetos e fungos em função da dose de adubação verde utilizada. A mesma tendência se manteve quando foi avaliado as UFCs de bactérias (BATISTA et al., 2013).

Assim, pode-se observar os benefícios da adubação verde, principalmente no caso de uso da jitirana, que atua no fornecimento de nutrientes para o solo, principalmente nitrogênio e potássio, contribuindo para o desenvolvimento dos microrganismos no solo e, dessa forma, com a disponibilização de nutrientes para as culturas de interesse (BATISTA et al., 2013).

### 2.3. Uso de Consórcio e Mistura de Espécies de Adubos Verdes: Gramíneas e Leguminosas

As espécies de plantas aplicadas na adubação verde são majoritariamente aquelas das famílias Fabaceae e Poaceae, que englobam, respectivamente, as leguminosas e as gramíneas, conhecidas por serem capazes de produzir grande quantidade de fitomassa mesmo sob cultivo em solo com restrição de fertilidade (BERTOLINI et al., 2019). Quando a fitomassa destas plantas é adicionada ao solo, se inicia o processo de decomposição, que é influenciado por diferentes fatores relacionados com a qualidade do material, principalmente sua relação C:N, com as condições ambientais, destacando-se temperatura e umidade relativa, e com as características intrínsecas do solo e o manejo nele realizado (OLIVEIRA, 2017).

As gramíneas produzem materiais com elevada relação C:N comparativamente às leguminosas. Apesar de sua massa permanecer por mais tempo no solo, no momento inicial da decomposição é comum prevalecer a imobilização dos nutrientes, principalmente do nitrogênio, resultado da baixa quantidade deste na massa, criando um ambiente inapropriado para a ação dos microrganismos decompositores (FAVARATO et al., 2020). No caso das leguminosas, a relação C:N tende a ser menor, e apesar de proporcionar uma menor cobertura do solo, apresenta uma rápida taxa de decomposição e por conseguinte de disponibilização de nutrientes para a cultura econômica (FAVARATO et al., 2020; SCHOLLES et al., 2021). Em ambientes tropicais a taxa de decomposição é mais alta, o que resulta na perda de nitrogênio por diferentes vias e na manutenção do solo coberto por curto período de tempo (CASTRO; DEVIDE, 2018).

Como forma de contornar estas limitações que pode acontecer mediante uso da adubação verde, estudos têm sido realizados fazendo o uso de consórcios, geralmente de uma espécie gramínea com uma espécie leguminosa ou brássica (ZIECH et al., 2015). O sistema se torna uma alternativa e tende a potencializar os efeitos benéficos da adubação verde (CAMILO et al., 2020), pois o consórcio de tais plantas permite a junção das características das duas espécies, resultando na cobertura do solo de forma rápida, além da liberação de nutrientes em equilíbrio com a demanda das culturas (CASTRO; DEVIDE, 2018).

Para a cultura do brócolis (*Brassica oleracea* var. *italica*) cultivada em sistema de plantio direto sob fitomassa de adubos verdes, resultados positivos foram relatados. No trabalho, foi feito o uso do sorgo e do consórcio de sorgo com crotalária

como plantas de adubação verde e formadoras de fitomassa para o posterior plantio direto da hortaliça. Os resultados indicam que a produção obtida pelo uso do consórcio foi superior àquela resultante do uso da gramínea em cultivo solteiro, atingindo 8,46 t ha<sup>-1</sup> e 6,44 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, no primeiro ano de cultivo (CASTRO; DEVIDE, 2018). Os autores ainda relatam maior eficiência de uso da água no sistema adotado, pela proteção e efetiva cobertura do solo proporcionada pela fitomassa dos adubos verdes.

De forma semelhante, plantas de alface (*Lactuca sativa* L.) foram cultivadas fazendo-se o uso da adubação verde em cinco sistemas para formação de massa para o plantio direto: aveia preta, ervilhaca peluda e tremoço branco em cultivo solteiro, consórcio aveia preta + ervilhaca, consórcio aveia preta + tremoço branco e um sistema de pousio tido como tratamento controle. Os autores relatam que a maior produção de massa seca foi obtida pelo sistema de consórcio entre aveia preta e tremoço branco, atingindo 24,58 t ha<sup>-1</sup> enquanto o crescimento das espécies espontâneas no sistema de pousio (controle) atingiu 3,6 t ha<sup>-1</sup>. A produção de alface, apesar de ter sido baixa no experimento devido às condições climáticas desfavoráveis, se mostrou significativamente superior após o consórcio aveia preta + ervilhaca, ilustrando que o uso das duas espécies em consórcio é promissor (GIRARDELLO et al., 2017).

Poucos são os trabalhos que envolvem a incorporação em diferentes proporções da fitomassa de gramíneas e leguminosas ao solo ou substrato de cultivo. Alguns resultados indicam que o uso de capim napier (*Pennisetum purpureum*) em conjunto com crotalária (*Crotalaria juncea*) em diferentes proporções, promove resultados positivos para as culturas da alface, beterraba e tomate (LEAL, 2006). O trabalho destaca que o tratamento com a mistura dos adubos verdes proporcionou resultados satisfatórios e superiores ao desempenho obtido com a aplicação da fitomassa apenas de napier. Para a cultura da alface, a produção de matéria fresca aumentou de 416 g m<sup>-2</sup> para 1352 g m<sup>-2</sup> no tratamento de proporção crotalária e napier 33:66, respectivamente, adicionado de esterco. Ainda segundo o autor, na produção de beterraba a proporção de mistura 66:33 entre as duas espécies proporcionou a maior produção de beterraba, atingindo 2971,7 g m<sup>-2</sup>, enquanto o tratamento controle se limitou a 816,7 g m<sup>-2</sup>. Quanto à produção de tomate, o melhor desempenho foi obtido nos tratamentos com proporção de mistura de 33:66 e naquele fertilizado com

crotalária, com 30 dias de compostagem, alcançando produtividade de 822,2 g m<sup>-2</sup> e 825,8 g m<sup>-2</sup>, respectivamente (LEAL, 2006).

A mistura em proporção de espécies gramíneas e leguminosas permite a adequação da mineralização de nutrientes de forma sincronizada com a cultura econômica. Para os adubos verdes milho e feijão-de-porco, a proporção de 25:75, respectivamente, é a que proporciona relação C:N próxima de 25, ao passo que proporções com maior quantidade de milho resultam em um material de maior relação C:N e, portanto, menor mineralização de N (WATTHIER et al., 2019). Tais informações são importantes na tomada de decisão quanto ao manejo nutricional das culturas econômicas, tornando possível a adequação da proporção conforme a cultura e o objetivo do agricultor.

Nesse sentido, a adubação verde com diferentes proporções de mistura entre feijão-de-porco e milho foi testada no cultivo de brócolis e seu efeito residual avaliado no segundo cultivo subsequente da cultura e em sucessivos cortes de braquiária (WATTHIER, 2018). Foi possível identificar que as maiores proporções de feijão-de-porco na mistura (100% e 75%) resultaram em maior crescimento da parte aérea e produção de inflorescências de maior peso, sendo superior à testemunha sem adubação (WATTHIER, 2018). Esta mesma tendência se manteve no segundo cultivo de brócolis e na cultura da braquiária, indicando que a maior quantidade de feijão-de-porco na mistura pode contribuir para a maior disponibilização de nutrientes, principalmente de N que foi quantificado em maior quantidade na solução do solo tratado com 100% feijão-de-porco (WATTHIER, 2018).

## REFERÊNCIAS

- ADEKIYA, A. O. et al. Green manures and NPK fertilizer effects on soil properties, growth, yield, mineral and vitamin C composition of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 18, p. 218-223, 2019.
- ADEKIYA, A. O. et al. Response of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) and soil properties to different mulch materials in different cropping seasons. **Scientia Horticulturae**, v. 217, p. 209-216, 2017.
- AMBROSANO, E. J. et al. Organic cherry tomato yield and quality as affect by intercropping green manure. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 40, p. 36530, 2018.
- AMBROSANO, E. J. et al. Caracterização de cultivares de mucuna quanto a produtividade de fitomassa, extração de nutrientes e seus efeitos nos atributos do solo. **Cadernos de Agroecologia**, v. 11, n. 2, 2016.
- ANTONIO-PERALTA, N.; WATTHIER, M.; SANTOS, R. H. S.. Green manure and mineral fertilization: residual effect on dry matter production, nutrient extraction and nutrients recovery efficiency in two succesive crops. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 24, p. 1-11, 2021.
- BATISTA, M. A. V. et al. Atributos microbiológicos do solo e produtividade de rabanete influenciados pelo uso de espécies espontâneas. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 4, p. 587-594, 2013.
- BERTOLINI, A. et al. Cobertura de solo e taxa de ciclagem de nutrientes em plantas de cobertura de verão no oeste de Santa Catarina. **Unoesc & Ciências – Área das Ciências Exatas e da Terra**, v. 10, n. 2, p. 83-92, 2019.
- BRAZ, G. B. P. et al. Susceptibility of different accessions of *Crotalaria juncea* to *Belonolaimus longicaudatus*. **Nematropica**, v. 46, n. 1, p. 31-37, 2016.
- CAMILO, E. L. A. et al. Acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura em cultivo solteiro, consórcio e policultivo na Região Sul do Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. 79997870, 2020.
- CANTANHEDE, J. D. et al. Adubos verdes na supressão de plantas espontâneas. **Anais do VI CLAA, X CBA e V SEMDF**, v. 13, n. 1, 2018.

CARDOSO, R. G. S. et al. Intercropping period between species of green manures and organically-fertilized coffee plantation. **Coffee Science**, v. 13, n. 1, 2018.

CASTRO, C. M.; DEVIDE, A. C. P. Plantas de cobertura e manejo de aléias no plantio direto de brócolis. **Revista de Ciências Agrônômicas**, v. 27, n. 4, p. 471-481, 2018.

CHAVES, L. H. G.; MENDES, J. S. Interpretation of the chemical characteristics of soils submitted to incubation with biochar and MB-4 rock powder. **Revista Espacios**, v. 37, n. 30, 2016.

COSTA, C. H. M. et al. Persistência e liberação de macronutrientes e silício da fitomassa de crotalária em função da fragmentação. **Bioscience Journal**, v.28, n.3, p. 384-394, 2012.

DINIZ, E. R. et al. Levels of *Crotalaria juncea* on growth, production, recovery and efficiency of the use of N in broccoli. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 3, p. 395-401, 2017.

DINIZ, E. R. et al. Doses of *Crotalaria juncea*: Residual effect on zucchini and maize crop in sequence to broccoli. **Ceres**, v. 64, n. 6, p. 600-606, 2017a.

DINIZ, E. R. et al. Crescimento e produção de brócolis adubado com doses de mucuna-cinza em casa de vegetação. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 3, 1277-1286, 2015.

DINIZ, E. R. et al. Decomposição e mineralização do nitrogênio proveniente do adubo verde *Crotalaria juncea*. **Científica**, v. 42, n. 1, p. 51-59, 2014.

DEVINCENTINS, A. J. et al. Using cost-benefit analysis to understand adoption of winter cover cropping in California's specialty crop systems. **Journal of Environmental Management**, n. 261, 2020.

DROST, S. M. et al. Decomposition of mixtures of cover crop residues increases microbial functional diversity. **Geoderma**, v. 361, p. 114060, 2020.

ELHAKEEM, A. et al. Cover crop mixtures result in a positive net biodiversity effect irrespective of seeding configuration. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 285, p. 106627, 2019.

FAVARATO, L. F. et al. Persistência e liberação de nutrientes de diferentes palhadas no sistema plantio direto orgânico de milho verde. *In: Impacto, Excelência e Produtividade das Ciências Agrárias no Brasil 4*, Capítulo 3. Editora Athena: 2020.

GIRARDELLO, R. et al. Produção de alface sob plantio direto em sistema de transição agroecológica. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, n. 2, p. 273-279, 2017.

GUIMARÃES, R. R. et al. Cultivo inicial de mangabeira consorciada com adubos verdes no cerrado do sudeste de Goiás. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 2, p. 65-73, 2019.

LEAL, M. A. A. **Produção e eficiência agrônômica de compostos obtidos com palhada de gramínea e leguminosa para o cultivo de hortaliças orgânicas**. Tese (Pós-Graduação em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio De Janeiro. Seropédica, 2006.

MATHEIS, H. A. S. M.; AZEVEDO, F. A.; FILHO, R. A.. Adubação verde no manejo de plantas daninhas na cultura de citros. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 27, n. 1, p.101-110, 2006.

MELO, R. A. C.; MADEIRA, N. R.; PEIXOTO, J. R. Cultivo de brócolos de inflorescência única no verão em plantio direto. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 1, p. 23-28, 2010.

MOHAMED, E. M. E. et al. Dry matter accumulation and potato productivity with green manure. **Idesia**, v. 35, n. 1, p. 79-86, 2017.

MORAIS, E. C. et al. Habilidade competitiva e biológica do consórcio beterraba com caupi-hortaliça proveniente de adubação verde e de arranjos espaciais. **Revista Ceres**, v. 65, n.5, p. 433-442, 2018.

NASCIMENTO, M. R. et al. Efeito da adubação verde na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Revista Univap**, v. 22, n. 40, Edição Especial, 2016.

OLIVEIRA, K. J. B. et al. Propriedades nutricionais e microbiológicas do solo influenciadas pela adubação verde. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 23-33, 2017.

OLIVEIRA, L. S. **Decomposição de resíduos orgânicos e liberação de nutrientes sobre o solo**. Dissertação (Pós-Graduação em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2017.

OLIVEIRA, J. G. R.; FILHO, J. T.; BARBOSA, G. M. C. Alterações na física do solo com a aplicação de dejetos animais. **Geographia Opportuno Tempore**, v. 2, n. 2, 2016.

OLIVEIRA, L. C. et al. Influência de adubações e manejo de adubo verde nos atributos biológicos de solo cultivado com alface (*Lactuca sativa* L.) em sistema de cultivo orgânico. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 79, n. 4, p. 557-565, 2012.

OLIVEIRA, F. L. et al. Crescimento e produtividade do inhame cultivado entre faixas de guandu em sistema orgânico. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n.1, p. 53-58, 2006.

ØVSTHUS, I. et al. Calibration of the EU-Rotate\_N model with measured C and N mineralization from potential fertilizers and evaluation of its prediction of crop and soil data from a vegetable field trial. **European Journal of Agronomy**, v. 129, p. 126336, 2021.

PERALTA-ANTONIO, N. et al. Broccoli Nutrition and Changes of Soil Solution with Green Manure and Mineral Fertilization. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 19, p. 816-829, 2019.

PRIMAVESI, A.; PRIMAVESI, A. **A biocenose do solo na produção vegetal & Deficiências minerais em culturas, nutrição e produção vegetal**. 1ª ed. São Paulo: Expressão Popular, 2018, 277 p.

RAMALHO, W. B. et al. Adubação verde com espécies espontâneas da caatinga no cultivo do rabanete em sucessão a rúcula. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 2, p. 66-70, 2016.

SAGRILLO, E. et al. **Manejo Agroecológico do Solo: os Benefícios da Adubação Verde**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009. 22 p. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 193).

SCHOLLES, D. et al. Atividade microbiana e permanência de resíduos vegetais em função de sua composição e disposição no solo. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 27, n. 1, p. 3-13, 2021.

SEDIYAMA, M. A. N.; SANTOS, I. C.; LIMA, P. C. Cultivo de hortaliças no sistema orgânico. **Revista Ceres**, v. 61, suplemento, p. 829-837, 2014.

SILVA, A. S. et al. Efeito da Adubação Verde na Qualidade Nutricional do Milho (*Zea mays* L.). **Revista GEAMA, Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology**, v. 6, n. 1, p. 31-37, 2020.

SILVA, M. S. et al. Acúmulo de nutrientes e massa seca produzida por *Crotalaria juncea* cultivada no cerrado. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v.11, n.1, p.26-36, 2017.

SIQUEIRA, R. G. et al. Nutrição nitrogenada e produção de brócolis cultivado com diferentes doses de mucuna em duas espécies. **Ceres**, v. 56, n. 6, p. 826-833, 2009.

SORATTO, R. P. et al. Produção, decomposição e ciclagem de nutrientes em resíduos de crotalária e milheto, cultivados solteiros e consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.10, p. 1269-1276, 2012.

SOUSA, F. F. et al. Legumes as green manure for common bean cultivated in two growing seasons at southeast Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 49, p. 4953-4958, 2016.

TAO, J. et al. Maize growth responses to soil microbes and soil properties after fertilization with different green manures. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 101, n. 3, p 1289-1299, 2017.

TRANI, P. E. et al. **Calagem e adubação do feijão-vagem, feijão-fava (ou favaitaliana), feijão-de-lima e ervilha torta (ou ervilha-de-vagem)**. IAC: Campinas, 2015. Disponível em: <[http://www.iac.sp.gov.br/imagem\\_informacoestecnologicas/99.pdf](http://www.iac.sp.gov.br/imagem_informacoestecnologicas/99.pdf)> Acesso em 28 de mai. de 2020.

TRANI, P. E.; PASSOS, F. A.; ARAÚJO, H. S. **Calagem e adubação da abobrinha italiana (de moita) (*Cucurbita pepo*), abóbora brasileira (*Cucurbita moschata*), moranga (*Cucurbita maxima*) e abóbora japonesa (híbrida)**. IAC: Campinas, 2014. Disponível em: <[http://www.iac.sp.gov.br/imagem\\_informacoestecnologicas/96.pdf](http://www.iac.sp.gov.br/imagem_informacoestecnologicas/96.pdf)> Acesso em 28 de mai. de 2020.

TRANI, P. E. et al. **Calagem e adubação da alface, almeirão, agrião d'água, chicória, coentro, espinafre e rúcula**. IAC: Campinas, 2014. Disponível em: <[http://www.iac.sp.gov.br/imagem\\_informacoestecnologicas/97.pdf](http://www.iac.sp.gov.br/imagem_informacoestecnologicas/97.pdf)> Acesso em 28 de mai. de 2020.

TREVIZAM, A. R. et al. Contribuição do nitrogênio contido no adubo verde para o desenvolvimento do morangueiro. **Revista Agrarian**, v. 7, n. 25, p. 413-425, 2014.

VARGAS, T. O. et al. Influência da biomassa de leguminosas sobre a produção de repolho em dois cultivos consecutivos. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 4, p. 562-568, 2011.

WATTHIER, M. et al. Decomposition of green manure with different grass: legume ratios. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 66, n. 7, p. 913-924, 2019.

WATTHIER, M. **Dinâmica do N no sistema solo-planta e fisiologia do brócolis fertilizado com diferentes proporções gramínea:leguminosa**. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p. 106, 2018.

WILDNER, L. D. P. Adubação Verde: conceitos e modalidades de cultivo. In: LIMA FILHO, O.F.D.; AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; CARLOS, J.A.D. (Orgs) **Adubação Verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília, DF: Embrapa. Cap. 14. p. 21-44, 2014.

XAVIER, L. P. **Campesinato e Agroecologia: construção de uma pesquisa-ação com o uso de adubação verde no manejo de plantas espontâneas**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável da Universidade Federal da Fronteira Sul – PR, 2019. 110 p.

ZIECH, A. R. D. et al. Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hibernar na região Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 5, p. 374-382, 2015.

## **CAPÍTULO 1 – Diferentes proporções de *Crotalaria ochroleuca* e milho na produção e estado nutricional de beterraba (*Beta vulgaris* L.)**

### **1. INTRODUÇÃO**

Em sistemas de produção agrícola nos quais a adubação verde integra a rotação de culturas, as leguminosas são utilizadas quando se deseja a rápida mineralização de nutrientes, principalmente, nitrogênio (N) (SCHOLLES et al., 2021), ao passo que as gramíneas são preferidas para a manutenção do solo coberto e prevenção da erosão (FAVARATO et al., 2020). O resíduo vegetal formado mediante a combinação destas duas espécies apresenta características intermediárias, principalmente a relação C/N, que pode propiciar a sincronia entre a mineralização e a demanda de nutrientes pelas culturas (TEIXEIRA et al., 2010), associado à proteção do solo (TU et al., 2021).

O uso de espécies leguminosas de forma isolada tem sido questionado por alguns autores, visto que nessa situação a mineralização do N ocorre de forma rápida aumentando as chances de perda (WHITE et al., 2017). Justifica-se, portanto, o emprego de uma espécie gramínea em mistura que poderá auxiliar na modulação da mineralização de nutrientes e sua retenção no sistema solo-planta (VALKAMA et al., 2015; FINNEY et al., 2016; NOTARIS et al., 2021). Além disso, a diversificação das espécies de adubos verdes cultivadas em uma mesma área pode contribuir para redução da demanda por fertilizantes nitrogenados e, conseqüentemente, com a menor emissão de gases de efeito estufa (JENSEN; CARLSSON; HAUGGAARD-NIELSEN, 2020).

A beterraba (*Beta vulgaris* L.) é uma olerícola de destaque no mercado brasileiro. Nas regiões Sul e Sudeste concentram-se a maior parte dos cultivos em função do clima favorável à cultura (MATTEDI; LAURINDO, 2021), o que movimenta cerca de 256,5 milhões de reais a cada ano (ALBUQUERQUE et al., 2015). A olerícola é rica em betalaínas, fibras, nitrato, ácido ascórbico, carotenoides, ácidos fenólicos e flavonoides, o que tem chamado a atenção dos consumidores (FERREIRA et al., 2021). Para que produtividade satisfatória seja obtida, é importante que o manejo nutricional seja realizado de forma equilibrada.

Dentre os nutrientes mais requeridos pela cultura da beterraba, destaca-se N, fundamental para o alcance de elevada produtividade, visto que este atua no crescimento e acúmulo de massa nas folhas (TIVELLI et al., 2011). Efeitos positivos

da adubação verde na cultura puderam ser observados em plantas fertilizadas com a fitomassa de jitirana (*Merremia aegyptia*), mata-pasto (*Senna uniflora*) e flor-de-seda (*Calotropis procera*), refletidos no aumento da produção de raízes com maior diâmetro e na redução da quantidade de raízes refugo (BATISTA et al., 2016).

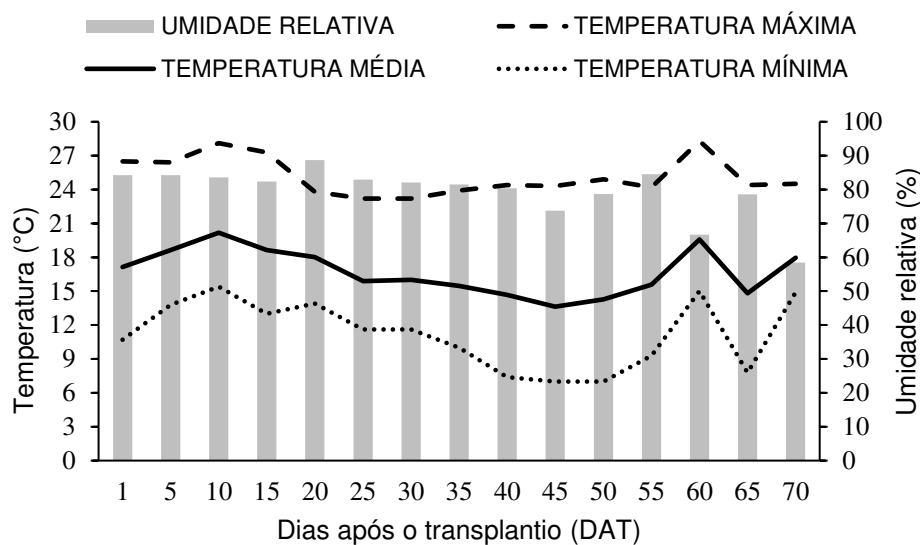
A hipótese do presente trabalho é que o uso da adubação verde em mistura de espécies leguminosas e gramíneas contribui para maior produção, acúmulo de nutrientes e qualidade na cultura da beterraba. Estudos que abordam a produção de olerícolas sob adubação verde com diferentes proporções de mistura entre espécies ainda são escassos. Portanto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da adubação verde com crotalária e milho puros e em diferentes proporções de mistura na produção, qualidade e acúmulo de nutrientes em plantas de beterraba.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Caracterização da Área Experimental**

O experimento foi realizado na Universidade Federal de Viçosa (UFV), na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE) Vale da Agronomia (20°46'04" S, 42°52'13" W), no estado de Minas Gerais, Brasil. A região apresenta verão quente e úmido e inverno frio e seco. Durante o período experimental a temperatura média foi de 16,7 °C, com mínima e máxima média de 11,3 °C e 24,8 °C, respectivamente. Os dados climáticos diários de umidade relativa (UR) e temperaturas máxima, mínima e média (Figura 1) foram obtidos pela estação meteorológica automática (A510), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada no município de Viçosa – MG.

Figura 1 – Temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura média e umidade relativa do ar durante o período de cultivo (20/05/2021 a 30/07/2021).



Fonte: Autor (2021).

## 2.2. Metodologia

### 2.2.1. Produção dos Adubos Verdes

Os adubos verdes crotalária (*Crotalaria ochroleuca* G. Don.) e milho (*Pennisetum glaucum* (L.)) foram selecionados como espécie leguminosa e gramínea, respectivamente. Estes foram cultivados em campo aberto na UEPE Horta Velha, do Departamento de Agronomia da UFV. O plantio de ambas as espécies foi realizado no dia 11 de novembro de 2020. Para a cultura do milho o espaçamento adotado foi de 0,5 m entre linhas com 20 sementes por metro linear e 0,5 m entre linhas com 30 sementes por metro linear para a crotalária. A área de plantio de cada espécie foi de 60 m<sup>2</sup>, em solo preparado de maneira convencional. Não foi realizada adubação de plantio e de cobertura em ambas culturas.

O corte dos adubos verdes foi realizado de forma mecanizada, com uso da ensiladeira, após 62 dias do plantio do milho e 111 dias após o plantio (DAP) da crotalária, momento em que as plantas estavam no início do florescimento. O material foi fragmentado em partes de aproximadamente 2 cm e mantido em casa de vegetação, sobre sombrite, até perder umidade suficiente para atingir teor de matéria seca próximo a 90%.

### 2.2.2. Caracterização dos Adubos Verdes

Foram coletadas três amostras de cada espécie de adubo verde para determinação dos teores de matéria seca, celulose, lignina, hemicelulose, carbono, nitrogênio e demais macronutrientes, seguido do cálculo da relação C/N. As amostras foram secas em estufa de circulação de ar a 65 °C por 72 horas, sendo posteriormente moídas em moinho do tipo Willey. Os teores de celulose, lignina e hemicelulose foram determinados pelo método de fibra em detergente ácido e neutro (GOERING; VAN SOEST, 1970). O teor de carbono foi determinado pelo método da mufla (GOLDIN, 1987; CARMO; SILVA, 2012) e o de N pelo método de Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995). Para os demais macronutrientes foi feita digestão nítrico-perclórica e determinação dos teores de P por espectrofotometria, de K por fotometria de chama, de Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica e S por turbidimetria (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989).

### 2.2.3. Tratamentos e Delineamento Experimental

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado. Os tratamentos consistiram de diferentes proporções de mistura dos adubos verdes crotalária e milheto. Todos os tratamentos continham a mesma quantidade de N total (3,5 g) e as proporções referem-se à porcentagem deste N contido na fitomassa dos adubos verdes que foi adicionada. São eles: 100% leguminosa (100L0G), 75% leguminosa + 25% gramínea (75L25G), 50% leguminosa + 50% gramínea (50L50G), 25% leguminosa + 75% gramínea (25L75G), 100% gramínea (0L100G). Além disso, o experimento contou com um tratamento controle onde foi realizada adubação mineral com  $K_2O$  e  $P_2O_5$ , sem nitrogênio (AM) e uma testemunha absoluta ou controle (C) no qual não foi realizado nenhum tipo de adubação.

Os adubos verdes foram incorporados ao solo, de acordo com as proporções de leguminosa e gramínea, 5 dias antes do plantio. O teor de N obtido para a crotalária foi 2,11% e de 1,35% para o milheto. O teor de matéria seca da crotalária foi de 90,92% e de 93,28% para o milheto. A quantidade de N adicionada pela adubação verde seguiu a recomendação de 100 mg  $dm^3$  (MALAVOLTA, 1981; NOVAIS et al., 1991). Em função destes parâmetros, calculou-se a quantidade de massa de cada tratamento (Tabela 1), sendo mantida a mesma quantidade de N (3,50 gramas/vaso).

Tabela 1 – Matéria seca da crotalária (MSC), de milho (MSM) e total (MST), em gramas, e quantidade de N depositada em cada vaso (35 dm<sup>3</sup>) de acordo com o tratamento

Tratamento	MSC (g vaso <sup>-1</sup> N)	MSM (g vaso <sup>-1</sup> N)	MST (g vaso <sup>-1</sup> N)
100L0G	165,87 (3,50)	0,00 (0,00)	165,87 (3,50)
75L25G	124,17 (2,62)	64,44 (0,87)	188,61 (3,50)
50L50G	82,93 (1,75)	129,62 (1,75)	212,55 (3,50)
25L75G	41,23 (0,87)	194,07 (2,62)	235,30 (3,50)
0L100G	0,00 (0,00)	259,25 (3,50)	259,25 (3,50)

100L0G: 100% leguminosa; 75L25G: 75% leguminosa + 25% gramínea; 50L50G: 50% leguminosa + 50% gramínea; 25L75G: 25% leguminosa + 75% gramínea; 0L100G: 100% gramínea. O valor entre parênteses se refere a quantidade de N adicionada ao vaso. Fonte: Autor (2021).

Em função da incorporação das diferentes quantidades de fitomassa, apesar da quantidade de N adicionada ter se mantido constante, houveram diferenças quanto à quantidade adicionada de P, K, Ca, Mg e S (Tabela 2). Na tabela abaixo, os números procedidos pela letra “L” são referentes à quantidade do dado nutriente adicionado pela fitomassa de crotalária, ao passo que aqueles procedidos pela letra “G” se referem à quantidade fornecida pela fitomassa de milho.

Tabela 2 – Quantidade de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), em gramas, adicionada pelas diferentes proporções de mistura de crotalária (L) e milho (G) em cada vaso.

Tratamento	P	K	Ca	Mg	S
100L0G	0,53L + 0,00G 0,53	2,67L + 0,00G 2,67	1,65L + 0,00G 1,65	0,20L + 0,00G 0,20	0,18L + 0,00G 0,18
75L25G	0,39L + 0,28G 0,67	2,00L + 1,02G 3,02	1,23L + 0,48G 1,71	0,15L + 0,04G 0,19	0,13L + 0,08G 0,21
50L50G	0,26L + 0,57G 0,83	1,33L + 2,06G 3,39	0,82L + 0,96G 1,78	0,10L + 0,08G 0,18	0,09L + 0,16G 0,25
25L75G	0,13L + 0,85G 0,98	0,66L + 3,09G 3,75	0,41L + 1,44G 1,85	0,04L + 0,12G 0,16	0,04L + 0,25G 0,29
0L100G	0,00L + 1,14G 1,14	0,00L + 4,13G 4,13	0,00L + 1,93G 1,93	0,00L + 0,16G 0,16	0,00L + 0,33G 0,33

L: quantidade do nutriente adicionada pela fitomassa de crotalária. G: quantidade de nutriente adicionada pelo milho. 100L0G: 100% leguminosa; 75L25G: 75% leguminosa + 25% gramínea; 50L50G: 50% leguminosa + 50% gramínea; 25L75G: 25% leguminosa + 75% gramínea; 0L100G: 100% gramínea. Fonte: Autor (2021).

#### 2.2.4. Implantação e Condução do Experimento

O experimento foi realizado em vasos preenchidos com 35 dm<sup>3</sup> de solo. A análise química e física deste consta nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 3 – Análise química do solo

pH	P	K	MO	Prem	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H + Al	Al <sup>3+</sup>	SB	m	V
-	mg dm <sup>-3</sup>	dag kg <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					%	%	
5,6	8,8	72	2,02	27,3	2,11	0,46	2,97	0,0	2,75	0,0	48,1

Fonte: Autor (2021).

Tabela 4 – Análise física do solo

Argila	Silte	Areia	Classificação Textural	Tipo de Solo
%				
39	14	47	Argilo Arenosa	3

Fonte: Autor (2021).

Para elevação dos teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> e da saturação por bases para 70%, foram utilizadas 28,77 g de calcário dolomítico por vaso, o que contribuiu com 0,67 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca<sup>2+</sup> e 0,37 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg<sup>2+</sup>. Foi realizada adubação com cloreto de potássio (58% de K<sub>2</sub>O) e superfosfato simples (18% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), nas doses de 150 mg dm<sup>-3</sup> de K e 200 mg dm<sup>-3</sup> de P (MALAVOLTA, 1981; NOVAIS et al., 1991), respectivamente, exceto no tratamento controle.

As mudas do cultivar Bonel foram adquiridas em viveiro comercial e transplantadas 33 dias após o semeio (DAS). Foram transplantadas 6 mudas por vaso e, após 10 dias, foi realizado o desbaste permanecendo no vaso as 3 plantas mais vigorosas. A irrigação foi realizada com auxílio de um regador, sendo o momento de irrigação determinado pelo método da tensiometria. Foram instalados 10 tensiômetros na área experimental, sendo instalado pelo menos um em cada vaso de uma repetição completa. As irrigações foram realizadas quando o valor médio encontrado nos tensiômetros era em torno de 15 KPa (SILVA et al., 2015).

A colheita foi realizada de forma manual 70 dias após o transplântio. Foi feita separação da parte aérea e subterrânea, lavagem para retirada do excesso de solo, retirada das raízes finas aderidas e, posteriormente, as variáveis de produção e qualidade foram determinadas.

## 2.3. Variáveis Analisadas

### 2.3.1. Produção

No momento da colheita foram mensurados os seguintes parâmetros:

- Produção total: determinada por meio da pesagem das raízes em balança digital, incluindo aquelas com algum dano, como presença de rachadura, raízes bifurcadas e com danos mecânicos (SILVA et al., 2011).
- Matéria fresca da parte aérea: foi feito o corte da parte aérea e a pesagem em balança digital de precisão.
- Matéria fresca da raiz: determinada por meio da pesagem em balança digital de precisão.
- Matéria seca da parte aérea: após pesagem, a parte aérea foi acondicionada em sacos de papel e o material permaneceu em estufa com ventilação de ar a 65 °C (GOMES, 2019), até atingir massa constante.
- Matéria seca da raiz: após pesagem, a raiz foi acondicionada em sacos de papel e o material permaneceu em estufa com ventilação de ar a 65 °C (GOMES, 2019), até atingir massa constante.
- Acúmulo de nutrientes: Após secagem em estufa, as amostras de beterraba foram moídas em moinho tipo Willey, sendo o teor total de N determinado pelo método Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995). Também foram determinados os teores de P, K, Ca, Mg e S (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989). O acúmulo de nutrientes na matéria seca foi obtido pelo produto da massa pelo teor dos nutrientes.

### 2.3.2. Qualidade

- Teor de sólidos solúveis totais: as raízes foram raladas em ralo fino e o conteúdo coado em gazes. Algumas gotas do líquido resultante foram colocadas em refratômetro e a leitura expressa em °Brix.
- Acidez total titulável: foi determinada pelo método potenciométrico. Foi realizada a calibração do potenciômetro com as soluções tampão recomendadas pelo fabricante. Após, foram pesados 5 g de beterraba ralada que foi colocada em um béquer de 300 mL com 100 mL de água destilada. O conteúdo foi agitado e o eletrodo introduzido na solução, procedendo-se a titulação com hidróxido de sódio 0,1 M até a faixa de pH de 8,2 a 8,4 (Instituto Adolfo Lutz, 2008). O cálculo foi feito de acordo com a equação abaixo:

$$\text{Acidez titulável} \left( \text{mL, por cento, } \frac{v}{m} \right) = \frac{v \times f \times 10}{P}$$

Em que:

v: quantidade da solução de hidróxido de sódio 0,1 N gasto na titulação, em mL;

f: fator de correção da solução de hidróxido de sódio 0,1 N;

P: peso da amostra.

#### 2.4. Análise Estatística

O experimento foi composto por 7 tratamentos e 4 repetições, totalizando 28 parcelas experimentais. Cada parcela foi constituída de um vaso com 3 plantas úteis. Os dados foram analisados por meio de análise de variância e as médias dos tratamentos controle (AM e C) comparadas com as demais utilizando-se o teste de Dunnett, adotando-se o nível de 5% de probabilidade. Foi realizada, também, análise de regressão dos efeitos das proporções de leguminosa na mistura.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização química dos adubos verdes (Tabela 5) revelou o teor mais elevado de N, K, Ca e Mg na fitomassa de crotalária, e de P e S na fitomassa de milho. A relação C/N foi mais alta no milho e a relação C/S mais alta na fitomassa de crotalária. Os teores de celulose e hemicelulose foram mais baixos no tratamento 100L0G, que também apresentou o teor mais elevado de lignina. Ambas espécies apresentaram relação lignina/N semelhantes.

Tabela 5 – Características químicas dos adubos verdes. Teores de carbono (C), nitrogênio (N), relação C/N (C/N), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), relação C/S (C/S), celulose (Cel), hemicelulose (Hem), lignina (Lig), relação Lig/N (Lig/N)

Tratamento	C %	N %	C/N	P	K	Ca	Mg	S	C/S	Cel	Hem	Lig	Lig/N
				g kg <sup>-1</sup>						%			
100L0G	42,3	2,1	20,1	3,2	16,2	10,0	1,2	1,1	388,1	31,8	16,8	7,2	3,42
75L25G	41,7	1,9	21,7	3,5	16,1	9,4	1,1	1,2	362,8	32,1	19,5	6,6	3,47
50L50G	41,2	1,7	23,8	3,8	16,2	8,7	0,9	1,2	342,9	32,2	22,2	5,9	3,47
25L75G	40,6	1,5	26,4	4,1	16,0	8,1	0,8	1,3	322,0	32,5	24,8	5,2	3,46
0L100G	40,0	1,4	29,6	4,4	15,9	7,5	0,6	1,3	305,3	32,7	27,5	4,5	3,33

100L0G: 100% leguminosa; 75L25G: 75% leguminosa + 25% gramínea; 50L50G: 50% leguminosa + 50% gramínea; 25L75G: 25% leguminosa + 75% gramínea; 0L100G: 100% gramínea. Fonte: Autor (2021).

Os adubos verdes que apresentam relação C/N abaixo de 25/1, a exemplo da crotalária (100L0G) no presente trabalho, são caracterizados por rápida

decomposição e mineralização de nutrientes, principalmente N (DINIZ et al., 2015; WATTHIER et al., 2019), ficando este suscetível aos processos de volatilização e lixiviação, visto que a quantidade mineralizada pode ser superior àquela demandada por microrganismos e plantas cultivadas (CONGREVES; VAN EERD, 2015). Em contrapartida, nos materiais com relação C/N acima de 25/1, como é o caso de 0L100G e 25L75G, é comum que a decomposição seja lenta, havendo maior imobilização do N do solo pela biomassa microbiana (CONGREVES; VAN EERD, 2015; KUMARI, 2022) o que não pode ser afirmado no presente trabalho visto a maior produção obtida com 25L75G, quando em comparação com C e AM. Isso indica que outros fatores, para além da relação C/N podem influenciar a decomposição e mineralização de nutrientes.

A disponibilidade de S durante o processo de decomposição dos resíduos vegetais é modulada pela relação C/S, que é em média 200 (VALADARES, 2016). Na decomposição de resíduos com relação abaixo desta, há tendência de predomínio da mineralização de S, ao passo que em resíduos com relação acima de 200 ocorre maior imobilização (VALADARES, 2016). Para todos os tratamentos com adubação verde a relação C/S indica predomínio da imobilização de S, diferentemente do encontrado para diferentes proporções de mistura entre feijão-de-porco e milho, onde a relação C/S foi abaixo de 200, indicando a mineralização de S (WATTHIER et al., 2019).

Os teores de celulose, hemicelulose e lignina do resíduo vegetal influenciam a decomposição do material pelos microrganismos. A relação Lig/N foi semelhante entre as misturas de adubo verde, ao passo que o teor de lignina foi mais baixo na fitomassa de milho (0L100G). Outro estudo com milho relata teores de 27,1%, 33,8% e 4,9% para hemicelulose, celulose e lignina, respectivamente, e 14,2%, 35,1% e 7,9% na crotalaria para hemicelulose, celulose e lignina, respectivamente (ZEGADALIZARAZU; PARENTI; MONTI, 2021), os quais são similares aos aqui encontrados.

Houve efeito dos tratamentos na produção de matéria fresca e seca tanto da parte aérea quanto da raiz, assim como no diâmetro das raízes e teor de sólidos solúveis da beterraba (Tabela 6). A matéria fresca e seca da parte aérea e da raiz tuberosa, além do seu diâmetro, no tratamento 100L0G foram superiores comparativamente a AM e C. No tratamento 25L75G a mesma tendência de superioridade se mantém, exceto para a matéria seca da raiz que não diferiu do controle (C) e da testemunha (AM). O teor de sólidos solúveis totais em todas as misturas

contendo crotalária (100L0G, 75L25G, 50L50G, 25L75G) foi inferior ao obtido no controle (C), enquanto que o teor de acidez total titulável não foi significativo.

Tabela 6 – Valores médios de matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria fresca da raiz tuberosa (MFRT), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca de raiz tuberosa (MSRT), diâmetro da raiz tuberosa (DMT), teor de sólidos solúveis (SS) e acidez total titulável (ATT) em plantas de beterraba cultivadas com diferentes proporções de gramínea e leguminosa, com as testemunhas controle (C) e adubação mineral (AM)

Tratamento	MFPA	MFRT	MSPA	MSRT	DMT	SS	ATT
	----- g planta <sup>-1</sup> -----				cm	°Brix	%
100L0G	26,01 a*	38,18 a*	2,31 a*	6,75 a*	3,69 a*	13,21 *	0,82
75L25G	21,30 *	18,12	1,87	2,38	3,40 a	13,00 *	0,87
50L50G	18,86 *	13,57	1,68	2,28	2,58	13,50 *	0,82
25L75G	25,13 a*	28,79 a*	2,27 a*	4,28	3,53 a*	13,61 *	0,75
0L100G	11,72	4,26	1,06	0,6	1,52	14,90	0,99
AM	13,51	10,29	1,42	2,13	1,99	-	-
C	10,57	6,96	1,40	1,46	2,15	17,76	0,86

Médias seguidas de asteriscos (\*) na coluna diferem do tratamento controle (C) pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade; Médias seguidas da letra (a) na coluna diferem do tratamento AM pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. ns: não significativo. 100L0G: 100% leguminosa; 75L25G: 75% leguminosa + 25% gramínea; 50L50G: 50% leguminosa + 50% gramínea; 25L75G: 25% leguminosa + 75% gramínea; 0L100G: 100% gramínea. Fonte: Autor (2021).

A maior produção obtida com 100L0G pode ser atribuída à maior disponibilidade de nutrientes no solo, principalmente N, em função da decomposição da crotalária, que apresenta maior concentração desse nutriente em seus tecidos, sendo uma efetiva fonte para as culturas (VARGAS et al., 2011). No caso do tratamento 25L75G, a quantidade de milho presente na mistura possivelmente contribui para o equilíbrio entre a mineralização e retenção do N (BALL et al., 2020; FINNEY; WHITE; KAYE, 2016) proporcionando melhor sincronia entre a liberação do nutriente e a demanda pelas plantas de beterraba. A produção de MFPA obtida com as misturas 75L25G e 50L50G diferem apenas da testemunha absoluta (C), sugerindo que estas proporções suprem apenas parcialmente a necessidade de nutrientes da beterraba. Quanto a adubação verde apenas com milho (0L100G), a produção de beterraba não foi estatisticamente diferente das testemunhas (AM e C). Isso pode ser explicado em função da maior quantidade de fitomassa adicionada, o que demanda maior quantidade de energia dos microrganismos decompositores associado à mais alta relação C/N.

O acúmulo de nutrientes na raiz tuberosa também foi influenciado pelos diferentes tratamentos, sendo superior no tratamento 100L0G, comparativamente ao controle (C) e AM, exceto para Mg que diferiu apenas em comparação com o controle (C). No tratamento 25L75G, o acúmulo de N foi superior ao do controle (C) e AM, enquanto que para P, Mg e S houve diferença apenas comparativamente ao controle (C) (Tabela 7).

Tabela 7 – Valores médios do acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em gramas na raiz em plantas de beterraba cultivadas com diferentes proporções de gramínea e leguminosa, com as testemunhas controle (C) e adubação mineral (AM)

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
100L0G	0,0739 <b>a*</b>	0,0271 <b>a*</b>	0,0873 <b>a*</b>	0,0082 <b>a*</b>	0,0021 *	0,0043 <b>a*</b>
75L25G	0,0352	0,0148 *	0,0375	0,0048	0,0013	0,0023
50L50G	0,0357	0,0144 *	0,0324	0,0042	0,0011	0,0020
25L75G	0,0644 <b>a*</b>	0,0218 *	0,0483	0,0051 *	0,0022 *	0,0029 *
0L100G	0,0105	0,0039	0,0073	0,0011	0,0003	0,0006
AM	0,0252	0,0112	0,0373	0,0041	0,0012	0,0023
C	0,0201	0,0016	0,0175	0,0017	0,0007	0,0011

Médias seguidas de asteriscos (\*) na coluna diferem do tratamento controle (C) pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade; Médias seguidas da letra (**a**) na coluna diferem do tratamento AM pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. 100L0G: 100% leguminosa; 75L25G: 75% leguminosa + 25% gramínea; 50L50G: 50% leguminosa + 50% gramínea; 25L75G: 25% leguminosa + 75% gramínea; 0L100G: 100% gramínea. Fonte: Autor (2021).

Na parte aérea das plantas, o maior acúmulo de N em relação às testemunhas (C e AM) foi obtido nos tratamentos 100L0G, 75L25G e 25L75G (Tabela 8). Para P, houve a mesma tendência, exceto para 75L25G que diferiu apenas do controle (C). Para K, os tratamentos 100L0G e 75L25G foram superiores tanto a AM quanto ao controle (C), ao passo que para 50L50G e 25L75G houve diferença apenas comparando-se com o controle (C). Quanto ao acúmulo de Mg, o tratamento 25L75G foi superior quando em comparação com C e AM. Para o acúmulo de Ca, não houve efeito significativo dos tratamentos.

Tabela 8 – Valores médios do acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em gramas na parte aérea de beterraba em plantas de beterraba cultivadas com diferentes proporções de gramínea e leguminosa, com as testemunhas controle (C) e adubação mineral (AM)

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g planta <sup>-1</sup> -----					
100L0G	0,0477 <b>a*</b>	0,0361 <b>a*</b>	0,0560 <b>a*</b>	0,0522	0,0093	0,0038 <b>a</b>
75L25G	0,0491 <b>a*</b>	0,0195 *	0,0448 <b>a*</b>	0,0353	0,0060	0,0030 <b>a</b>
50L50G	0,0366	0,0265 <b>a*</b>	0,0372 *	0,0392	0,0058	0,0021
25L75G	0,0503 <b>a*</b>	0,0325 <b>a*</b>	0,0386 *	0,0471	0,0120 <b>a*</b>	0,0033 <b>a*</b>
0L100G	0,0233	0,0161 *	0,0224	0,0234	0,0032	0,0014
AM	0,0249	0,0148	0,0266	0,0357	0,0045	0,0015
C	0,0285	0,0015	0,0211	0,0374	0,0056	0,0014

Médias seguidas de asteriscos (\*) na coluna diferem do tratamento controle (C) pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade; Médias seguidas da letra (a) na coluna diferem do tratamento AM pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. ns: não significativo. 100L0G: 100% leguminosa; 75L25G: 75% leguminosa + 25% gramínea; 50L50G: 50% leguminosa + 50% gramínea; 25L75G: 25% leguminosa + 75% gramínea; 0L100G: 100% gramínea. Fonte: Autor (2021).

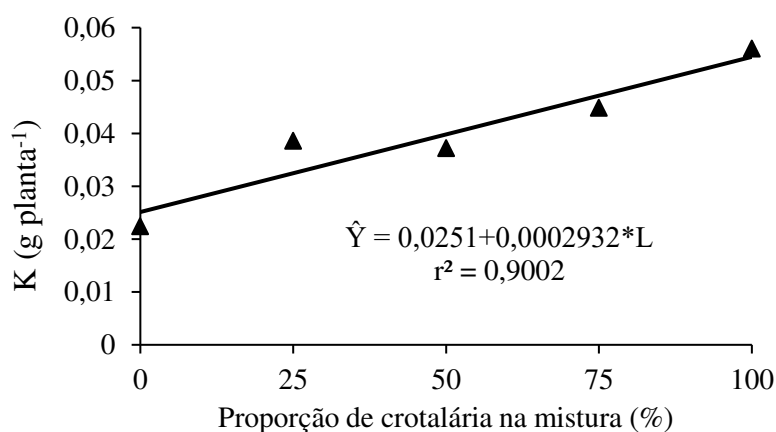
O maior acúmulo de N na parte aérea da beterraba em função das misturas de crotalária e milho corroboram com outro estudo onde houve aumento da quantidade de N extraível no solo em 75% no consórcio de gramíneas e leguminosas comparado à ausência de adubação verde e adubação com gramíneas. Quando a comparação foi feita com o cultivo apenas de leguminosas o aumento é de cerca de 17% no teor de N extraível (BALL et al., 2020). Em vinhedos, o cultivo misto de culturas de cobertura na proporção de 75% leguminosa (*Trifolium fragiferum* L.) e 25% gramínea (*Festuca ovina* L.) elevou o teor de nitrogênio disponível em cerca de 15% quando em comparação com o controle e o cultivo de gramínea e leguminosa isolados (BALL et al., 2020).

No presente trabalho, a quantidade de N adicionada aos vasos foi mantida constante (3,50 g). Para que isso pudesse ocorrer foi necessário aplicar quantidades diferentes de matéria seca de modo a atender as proporções de mistura entre crotalária e milho. Dessa forma, a quantidade de P, K, Ca, Mg e S adicionada pela adubação verde foi variável (Tabela 2). Apesar de a adubação verde com 0L100G ter o conteúdo mais alto destes nutrientes, outros fatores como a dinâmica de mineralização e a falta de sincronia com a demanda da cultura podem ter afetado negativamente a produção das plantas de beterraba, o que resultou no mais baixo acúmulo de nutrientes. Por outro lado, apesar de as proporções 25L75G e 100L0G

terem adicionado uma menor quantidade de nutrientes, o acúmulo destes na planta foi mais alto em função da maior produção de parte aérea e raiz.

Na parte aérea e raiz das plantas, a análise de regressão indicou que houve incremento linear no acúmulo de K decorrente do aumento da quantidade de crotalária na mistura (Figura 2 e 3A). Na parte aérea das plantas o acúmulo máximo foi de 0,0544 g planta<sup>-1</sup>, enquanto que na raiz tuberosa o máximo foi de 0,0609 g planta<sup>-1</sup>. Isso é explicado pelo fato da quantidade do nutriente fornecida aumentar com o incremento de crotalária na proporção de mistura, conforme observado na Tabela 2. Além disso, o K é o nutriente acumulado em maior quantidade nas plantas de beterraba (GONDIM et al., 2011; SILVA; SILVA; KLAR, 2017). Para os demais nutrientes, não foi possível verificar efeito significativo da proporção de crotalária na mistura com milho. Assim, o acúmulo médio de N, P, Mg e S na raiz tuberosa foi de 0,0440, 0,0164, 0,0014 e 0,0024 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente. Na parte aérea das plantas de beterraba, o acúmulo médio encontrado foi de 0,0414, 0,0262, 0,0394, 0,0073 e 0,0027 g planta<sup>-1</sup>, para N, P, Ca, Mg e S, respectivamente.

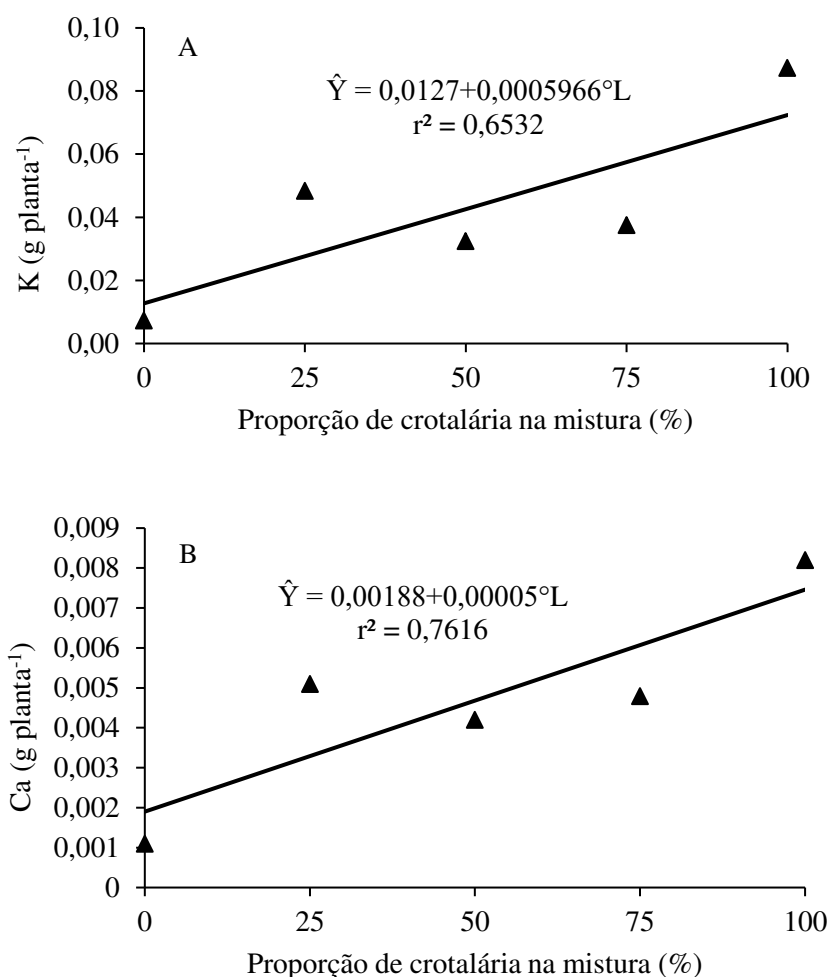
Figura 2 – Acúmulo de K na parte aérea de beterraba em função da proporção de crotalária na mistura com milho. \*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t”.



Fonte: Autor (2021).

O acúmulo de Ca na raiz tuberosa apresentou resposta linear com o aumento da quantidade de crotalária na mistura (Figura 3B), sendo o acúmulo máximo de 0,0068 g planta<sup>-1</sup>. Por ser o cálcio considerado um nutriente estrutural, responsável pela formação da parede celular vegetal, o seu acúmulo principalmente na raiz é fundamental para esta presente crescimento adequado (SOUSA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007).

Figura 3 – Acúmulo de K (A) e Ca (B) na raiz tuberosa em função da proporção de crotalária na mistura com milho. °Significativo ao nível de 10% de probabilidade pelo teste “t”.



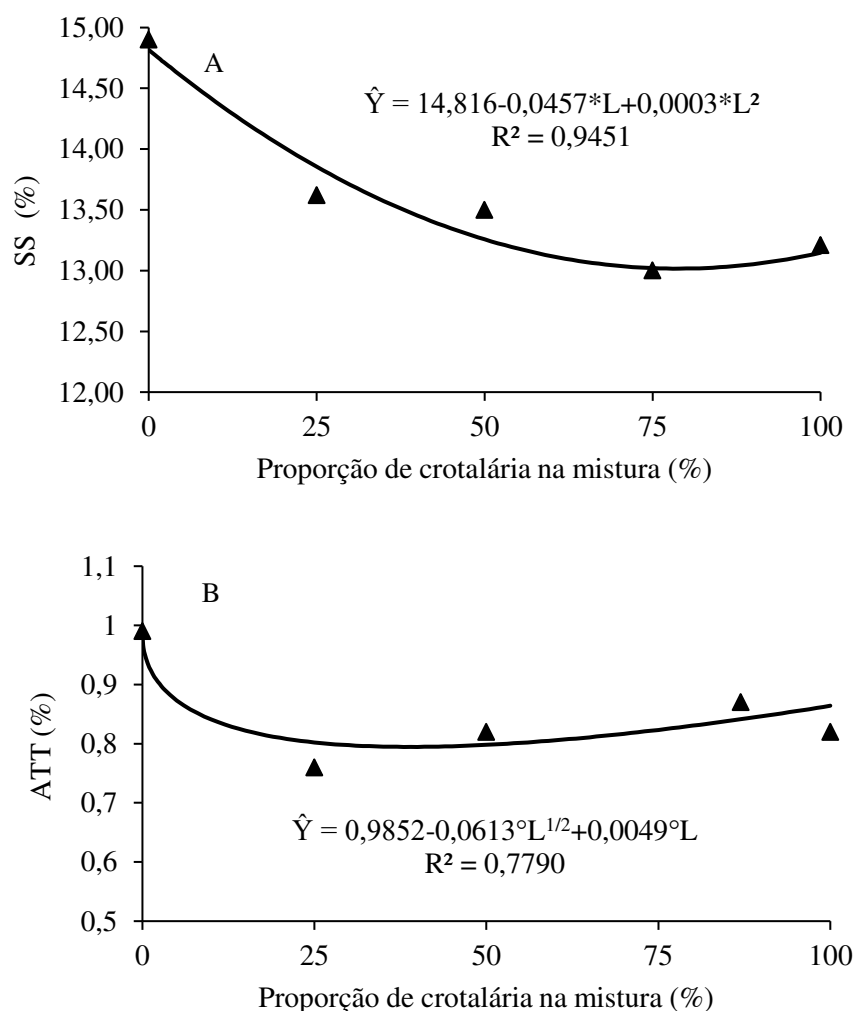
Fonte: Autor (2021).

O tratamento 100L0G foi responsável em números absolutos pelo maior acúmulo de nutrientes estimado na planta inteira, seguindo a ordem decrescente de  $K > N > P > Ca > Mg > S$ , corroborando com outros estudos que relatam a ordem de  $K > N > P > Mg > Ca > S$  (GONDIM et al., 2011) e  $K > N > Ca > Mg > P > S$  (SILVA; SILVA; KLAR, 2017) com adubação via solução nutritiva. De forma semelhante, a ordem de acúmulo  $N > K > Mg > Ca > P$  foi obtida em cultivo convencional (GRANGEIRO et al., 2007). O acúmulo de P, Ca e Mg foi mais alto na parte aérea das plantas, semelhante ao estudo de Gondim et al. (2011), enquanto que o de N e S foi mais alto na raiz tuberosa.

Para o teor de sólidos solúveis foi ajustado o modelo de regressão quadrático, onde ocorrendo redução com o aumento da proporção de crotalária até o mínimo de 76,16% na mistura (Figura 4A). Já para a acidez total titulável, o modelo de raiz quadrada foi ajustado, indicando após redução da ATT até a proporção de 39,12% de

crotalária ocorre incremento do teor de acidez na raiz tuberosa (Figura 4B). Não foi verificado efeito da proporção de crotalária na mistura com milho nas variáveis MFPA, MFRT, MSPA, MSRT e DMT, portanto, para qualquer proporção de mistura, no intervalo testado, a resposta é média para as respectivas variáveis. Assim sendo, o acúmulo médio de 20,6085, 20,5894, 1,8424 e 3,2710 g planta<sup>-1</sup> foi obtido para MFPA, MFRT, MSPA e MSRT, respectivamente. Quanto ao DMT o valor médio obtido foi de 2,95 cm.

Figura 4 – Teor de sólidos solúveis (SS) (A) e acidez total titulável (ATT) (B) em beterraba em função da proporção de crotalária na mistura com milho. \*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t”. °Significativo ao nível de 10% de probabilidade pelo teste “t”.



Fonte: Autor (2021).

Em se tratando da beterraba sacarina (*Beta vulgaris* L.), a adubação verde com gramíneas e leguminosas proporcionou produção de raízes semelhante à obtida quando na ausência dos adubos verdes, entretanto, o teor de sacarose das plantas

beneficiadas pela adubação foi maior (SIGDEL et al., 2021), o que não pode ser observado no presente trabalho onde a maior concentração de SS ocorreu no tratamento controle (C). Por outro lado, em estudo com diferentes doses de N, o teor de SS máximo obtido foi de 10,4 °brix (AQUINO et al., 2006) valor este inferior ao obtido com os diferentes tratamentos do presente trabalho.

#### **4. CONCLUSÕES**

A adubação verde na cultura da beterraba com *Crotalaria ochroleuca* exclusivamente e a mistura com milho na proporção 25L75G proporcionam produção superior à obtida com os tratamentos controle (C e AM).

Quanto maior a quantidade de crotalária na mistura com milho maior é o acúmulo de K na parte aérea das plantas, assim como o de K e Ca na raiz tuberosa.

O teor de sólidos solúveis é reduzido com o aumento da proporção de crotalária até o mínimo de 76,16% na mistura. A acidez total titulável é reduzida até a proporção de 39,12% de crotalária, com incremento em proporções mais elevadas.

## REFERÊNCIAS

- AGUMAS, B. et al. Microbial carbon use efficiency during plant residue decomposition: Integrating multi-enzyme stoichiometry and C balance approach. **Applied Soil Ecology**, v.159, p. 103820, 2021.
- ALBUQUERQUE, J. R. T. et al. Qualidade pós-colheita de beterraba submetida à adubação com biofertilizante fermentado. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10(3), p. 41-46, 2015.
- AQUINO, L. et al. Produtividade, qualidade e estado nutricional da beterraba de mesa em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 2, p. 199-203, 2006.
- BALL, K. R. et al. Soil organic carbon and nitrogen pools are increased by mixed grass and legume cover crops in vineyard agroecosystems: Detecting short-term management effects using infrared spectroscopy. **Geoderma**, v. 379, p. 114619, 2020.
- BATISTA, M. A. V. et al. Atributos de solo-planta e de produção de beterraba influenciados pela adubação com espécies da Caatinga. **Horticultura Brasileira**, v 34, n. 1, p. 31-38, 2016.
- CARMO, D. L.; SILVA, C. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36(4), p. 1211-1220, 2012.
- CONGREVES, K. A.; VAN EERD, L. L. Nitrogen cycling and management in intensive horticultural systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 102, n. 3, p. 299-318, 2015.
- DINIZ, E. et al. Crescimento e produção de brócolis adubado com doses de mucuna-cinza em casa de vegetação. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 3, 1277-1286, 2015.
- FAVARATO, L. F. et al. Persistência e liberação de nutrientes de diferentes palhadas no sistema plantio direto orgânico de milho verde. **Impacto, Excelência e Produtividade das Ciências Agrárias no Brasil 4**, Capítulo 3, p. 26-41. Editora Athena: 2020.

FERREIRA, L. P. C. Microencapsulação de extrato de beterraba (*Beta Vulgaris* L.) pelo processo de gelificação iônica. **Research, Society and Development**, v. 10, n.12, e454101220171, 2021

FINNEY, D. M.; WHITE, C. M.; KAYE, J. P. Biomass production and carbon/nitrogen ratio influence ecosystem services from cover crop mixtures. **Agronomy Journal**, v. 108, p. 39-52, 2016.

GOERING, H. K.; VAN SOEST, P. **Forage fiber analysis (Apparatus, reagents, procedures and some applications)**. Agricultura Handbook, n. 379, 20 p. Washington: U.S. Agricultural Research Service, 1970.

GOLDIN, A. Reassessing the use of loss-on-ignition for estimating organic matter content in noncalcareous soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 18, n. 9, p. 1111-1116, 1987.

GOMES, V. E. V. **Desempenho agrônomo de cultivares de cenoura em função da época de plantio**, 56 p., 2019. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró – RN.

GONDIM, A. R. O. et al. Crescimento e marcha de acúmulo de nutrientes em plantas de beterraba cultivadas em sistema hidropônico. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 4, p. 526-535, 2011.

GRANGEIRO, L. C. et al. Acúmulo e exportação de nutrientes em beterraba. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 2, p. 267-273, 2007.

Instituto Adolfo Lutz. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

JENSEN, E. S.; CARLSSON, G.; HAUGGAARD-NIELSEN, H. Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N: A global-scale analysis. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 40, n. 5, 2020.

KUMARI, S.; AHIRWAL, J.; MAITI, S. K.. Reclamation of industrial waste dump using grass-legume mixture: An experimental approach to combat land degradation. **Ecological Engineering**, v. 174, p. 106443, 2022.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Potafos, 1989, 319 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de Química Agrícola**. 3 ed. São Paulo: Ceres, 1981, 607 p.

MATTEDI, A. O.; LAURINDO, B. S. A cultura. In: AQUINO, L. A.; BORÉM, A. **Beterraba do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, p. 9-18, 2021.

NASCENTE, A. S.; STONE, L. F.. Cover crops as affecting soil chemical and physical properties and development of upland rice and soybean cultivated in rotation. **Rice Science**, v.26, n. 6, p. 340-349, 2018.

NOTARIS, C. et al. Cover crop mixtures including legumes can self-regulate to optimize N<sub>2</sub> fixation while reducing nitrate leaching. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 309, p. 107287, 2021.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. **Ensaio em Ambiente Controlado**. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D.; LOURENÇO, S. Métodos em Pesquisa e Fertilidade do Solo. Brasília: Embrapa – SAE, 1991, p. 189 a 254.

SIGDEL, S. et al. Interseeding cover crops in sugar beet. **Field Crops Research**, v. 263, p. 108079, 2021.

SILVA, A. O.; SILVA, E. F. F.; KLAR, A. E. Acúmulo e exportação de macronutrientes em beterraba sob diferentes manejos de fertirrigação e salinidade. **Bragantia**, v. 76, n. 1, p. 125-134, 2017.

SILVA, M. L. et al. Produção de beterraba fertilizada com jirirana em diferentes doses e tempos de incorporação ao solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 8, p. 801-809, 2011.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, 1017 p.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Boletim Técnico nº 5, 2ª ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 170 p.

TEIXEIRA, C. M. et al. Liberação de macronutrientes das palhadas de milho solteiro e consorciado com feijão-de-porco sob cultivo de feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 497-505, 2010.

TIVELLI, S. W. et al. **Beterraba: do plantio à comercialização (Boletim Técnico 210)**. Campinas: Instituto Agronômico, 2011, 45 p.

TU, A. et al. Long-term effects of living grass mulching on soil and water conservation and fruit yield of citrus orchard in south China. **Agricultural Water Management**, v. 252, p. 106897, 2021.

VALADARES, R. V. et al. Green manures and crop residues as source of nutrients in tropical environment. In: LARRAMENDY, M. L.; SOLONESKI, S. **Organic Fertilizers – From Basic Concepts to Applied Outcomes**. Rijeka: InTech, 2016, p. 51-84.

VALKAMA, E. et al. Meta-analysis of the effects of undersown catch crops on nitrogen leaching loss and grain yields in the Nordic countries. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 203, p. 93-101, 2015.

VARGAS, T. O. et al. Influência da biomassa de leguminosas sobre a produção de repolho em dois cultivos consecutivos. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 4, p. 562-568, 2011.

WHITE, C. M. et al. Managing the trade off between nitrogen supply and retention with cover crop mixtures. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 237, p. 121-133, 2017.

ZEGADA-LIZARAZU, W.; PARENTI, A.; MONTI, A.. Intercropping grasses and legumes can contribute to the development of advanced biofuels. **Biomass and Bioenergy**, v. 149, p. 106086, 2021.

## **CAPÍTULO 2 – Efeito residual de diferentes proporções *Crotalaria ochroleuca* e milho no cultivo de alface (*Lactuca sativa* L.)**

### **1. INTRODUÇÃO**

Com o passar dos anos, cresce a busca por técnicas de manejo sustentáveis para a melhoria e conservação da fertilidade do solo. A mistura de espécies de adubos verdes é adequada para tal fim, pois atua depositando grande quantidade de fitomassa rica em nutrientes que poderão ser utilizados pelas culturas subsequentes. Dentre as espécies mais comumente empregadas tem-se as leguminosas, conhecidas pelo fornecimento de nitrogênio via fixação biológica e pela ciclagem de nutrientes (PEREIRA et al., 2017). Entretanto, estas apresentam baixa relação C/N, diferentemente das gramíneas, que mantêm o solo coberto por mais tempo em função da sua alta relação C/N, proporcionando benefícios no longo prazo (BRANDAN et al., 2017).

A combinação de espécies gramíneas e leguminosas resulta em relação C/N, intermediária quando em comparação com as espécies isoladas. Além disso, a produção de fitomassa é maior, o que pode contribuir para o aumento da disponibilidade de nutrientes (GERLACH; SILVA; ARF, 2019) e a retenção destes no sistema solo-planta. Dessa forma, os nutrientes poderão estar disponíveis ao longo dos ciclos das culturas subsequentes, para melhor eficiência de uso (RODRIGUEZ, 2020) e o possível acréscimo na produção.

Nesse sentido, o efeito residual da adubação verde tem sido estudado ao longo de ciclos de cultivo subsequentes. A adubação verde com crotalária júncea na dose 9 t ha<sup>-1</sup>, aplicada na cultura do brócolis, proporcionou efeito residual na produção subsequente de abobrinha e milho. Para abobrinha, a produção foi similar à obtida com adubação mineral e, na cultura do milho, a produtividade foi superior àquela obtida na ausência da adubação verde (DINIZ et al., 2017). Isso indica que a quantidade de nutrientes presente na fitomassa dos adubos verdes pode não ser utilizada por completo em um único ciclo de cultivo (DINIZ et al., 2015), mas se estender ao longo de cultivos subsequentes.

Para a cultura da alface, a incorporação de centeio + ervilhaca, na proporção de 50:50, no solo de cultivo resultou em maior eficiência de uso do nitrogênio (20,6%), enquanto o efeito da gramínea e leguminosa solteiras, resultou em aproveitamento de -5,42% e 12,9%, respectivamente (CHINTA; UCHIDA; ARAKI, 2020). Além disso, por

efeito da mistura incorporada, houve aumento na produção de matéria fresca de alface ( $2,26 \text{ kg m}^{-2}$ ) quando em comparação com o tratamento controle onde foi realizada adubação mineral com nitrogênio ( $1,85 \text{ kg m}^{-2}$ ) (CHINTA; UCHIDA; ARAKI, 2020).

Com base nisso, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito residual da adubação verde com diferentes proporções de mistura entre *Crotalaria ochroleuca* e milho sob a produção, crescimento e acúmulo de nutrientes da cultura da alface em sucessão ao cultivo de beterraba.

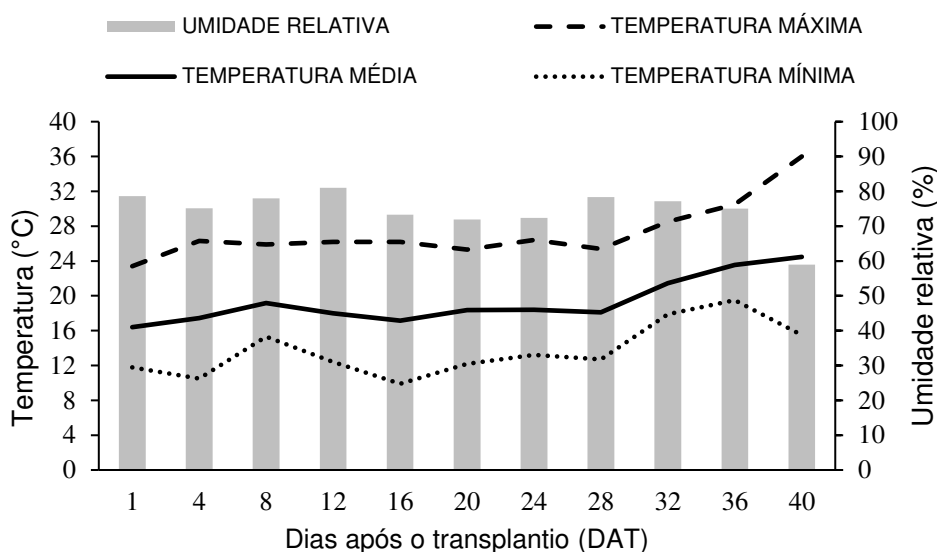
## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização da Área Experimental

O experimento foi realizado na Universidade Federal de Viçosa (UFV), na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE) Vale da Agronomia ( $20^{\circ}46'04'' \text{ S}$ ,  $42^{\circ}52'13'' \text{ W}$ ), no estado de Minas Gerais, Brasil. A região apresenta verão quente e úmido e inverno frio e seco, com temperatura anual média de  $19,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , máxima de  $26,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$  e mínima de  $14,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$  com precipitação média de  $1.221 \text{ mm}$  por ano (DINIZ et al., 2017).

Durante o período experimental a temperatura média foi de  $19,1^{\circ}\text{C}$ , com mínima e máxima média de  $13,4^{\circ}\text{C}$  e  $27,6^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Os dados climáticos diários de precipitação pluvial, umidade relativa (UR) e temperaturas máxima, mínima e média (Figura 1) foram obtidos pela estação meteorológica automática (A510), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada no município de Viçosa – MG.

Figura 1 – Temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura média e umidade relativa do ar durante o período de cultivo (06/08/2021 a 15/09/2021).



Fonte: Autor (2021).

## 2.2. Metodologia

### 2.2.1. Produção dos Adubos Verdes

Os adubos verdes crotalária (*Crotalaria ochroleuca* G. Don.) e milho (*Pennisetum glaucum* (L.)) foram selecionados como espécie leguminosa e gramínea, respectivamente. Estes foram cultivados em campo aberto na UEPE Horta Velha, do Departamento de Agronomia da UFV. O plantio de ambas as espécies foi realizado no dia 11 de novembro de 2020. Não foi realizada adubação de plantio e de cobertura em ambas culturas.

O corte dos adubos verdes foi realizado de forma mecanizada, com uso da ensiladeira, após 62 dias do plantio do milho e 111 dias após o plantio (DAP) da crotalária. A diferença entre os períodos de corte ocorreu devido à fitomassa de crotalária ter apresentado alta umidade aos 62 DAP, o que propiciou a proliferação de fungos e redução do teor de N, fazendo-se necessário a realização de um novo corte, este aos 111 DAP. O material foi fragmentado em partes de aproximadamente 2 cm e mantido em casa de vegetação, sobre sombrite, até perder umidade suficiente para atingir teor de matéria seca próximo a 90%.

### 2.2.2. Caracterização dos Adubos Verdes

Foram coletadas três amostras de cada espécie de adubo verde para determinação dos teores de matéria seca, celulose, lignina, hemicelulose, carbono,

nitrogênio e demais macronutrientes, seguido do cálculo da relação C/N. As amostras foram secas em estufa de circulação de ar a 65 °C por 72 horas, sendo posteriormente moídas em moinho do tipo Willey. Os teores de celulose, lignina e hemicelulose foram determinados pelo método de fibra em detergente ácido e neutro (GOERING; VAN SOEST, 1970). O teor de carbono foi determinado pelo método da mufla (GOLDIN, 1987; CARMO; SILVA, 2012) e o de nitrogênio pelo método de Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995). Para os demais macronutrientes foi feita digestão nítrico-perclórica e determinação dos teores de P por espectrofotometria, de K por fotometria de chama, de Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica e S por turbidimetria (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989).

### 2.2.3. Tratamentos e Delineamento Experimental

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado. Os tratamentos consistiram de diferentes proporções de mistura dos adubos verdes crotalária e milho, aplicados no cultivo da beterraba e o efeito residual avaliado no cultivo subsequente de alface. São eles: 100% leguminosa (100L0G), 75% leguminosa + 25% gramínea (75L25G), 50% leguminosa + 50% gramínea (50L50G), 25% leguminosa + 75% gramínea (25L75G), 100% gramínea (0L100G). Além disso, o experimento contou com um tratamento controle onde foi realizada adubação mineral sem nitrogênio (AM) e uma testemunha absoluta ou controle (C) onde não foi realizado nenhum tipo de adubação. Portanto, o experimento contou com 7 tratamentos e 4 repetições, totalizando 28 parcelas experimentais. Cada parcela foi constituída de um vaso com 2 plantas úteis.

### 2.2.4. Implantação e Condução do Experimento

O experimento foi realizado em vasos preenchidos com 35 dm<sup>3</sup> de solo, onde já havia sido feito o cultivo de beterraba (Capítulo 1), e não foi feita nenhuma adubação adicional. A caracterização química e física do solo consta no Capítulo 1 deste trabalho. Os adubos verdes foram incorporados ao solo, de acordo com as proporções de leguminosa e gramínea, antecedendo o cultivo da beterraba.

O teor de N obtido para a crotalária foi 2,11% e de 1,35% para o milho. O teor de matéria seca da crotalária foi de 90,92% e de 93,28% para o milho. A quantidade de N adicionada pela adubação verde seguiu a recomendação de 100 mg dm<sup>3</sup> (MALAVOLTA, 1981; NOVAIS et al., 1991). Em função destes parâmetros, calculou-

se a quantidade de massa de cada tratamento (Tabela 1), sendo mantida a mesma quantidade de N (3,50 gramas/vaso) nos vasos com adubos verdes.

Tabela 1 – Matéria seca da crotalária (MSC), de milho (MSM), total (MST) e quantidade de N depositada em cada vaso (35 dm<sup>3</sup>) de acordo com o tratamento

Tratamento	MSC (g/vaso de N)	MSM (g/vaso de N)	MST (g/vaso de N)
100L0G	165,87 (3,50)	0,00 (0,00)	165,87 (3,50)
75L25G	124,17 (2,62)	64,44 (0,87)	188,61 (3,50)
50L50G	82,93 (1,75)	129,62 (1,75)	212,55 (3,50)
25L75G	41,23 (0,87)	194,07 (2,62)	235,30 (3,50)
0L100G	0,00 (0,00)	259,25 (3,50)	259,25 (3,50)

100L0G: 100% leguminosa; 75L25G: 75% leguminosa + 25% gramínea; 50L50G: 50% leguminosa + 50% gramínea; 25L75G: 25% leguminosa + 75% gramínea; 0L100G: 100% gramínea. O valor entre parênteses se refere a quantidade de N adicionada ao vaso. Fonte: Autor (2021).

Em função da incorporação das diferentes quantidades de fitomassa, apesar da quantidade de N adicionada ter se mantido constante, houveram diferenças quanto à quantidade adicionada de P, K, Ca, Mg e S (Tabela 2). Na tabela abaixo, os números procedidos pela letra “L” são referentes à quantidade do dado nutriente adicionado pela fitomassa de crotalária, ao passo que aqueles procedidos pela letra “G” se referem à quantidade fornecida pela fitomassa de milho.

Tabela 2 – Quantidade de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), em gramas, adicionada pelas diferentes proporções de mistura de crotalária (L) e milho (G) em cada vaso

Tratamento	P	K	Ca	Mg	S
100L0G	0,53L + 0,00G 0,53	2,67L + 0,00G 2,67	1,65L + 0,00G 1,65	0,20L + 0,00G 0,20	0,18L + 0,00G 0,18
75L25G	0,39L + 0,28G 0,67	2,00L + 1,02G 3,02	1,23L + 0,48G 1,71	0,15L + 0,04G 0,19	0,13L + 0,08G 0,21
50L50G	0,26L + 0,57G 0,83	1,33L + 2,06G 3,39	0,82L + 0,96G 1,78	0,10L + 0,08G 0,18	0,09L + 0,16G 0,25
25L75G	0,13L + 0,85G 0,98	0,66L + 3,09G 3,75	0,41L + 1,44G 1,85	0,04L + 0,12G 0,16	0,04L + 0,25G 0,29
0L100G	0,00L + 1,14G 1,14	0,00L + 4,13G 4,13	0,00L + 1,93G 1,93	0,00L + 0,16G 0,16	0,00L + 0,33G 0,33

L: quantidade do nutriente adicionada pela fitomassa de crotalária. G: quantidade de nutriente adicionada pelo milho. 100L0G: 100% leguminosa; 75L25G: 75% leguminosa + 25% gramínea; 50L50G: 50% leguminosa + 50% gramínea; 25L75G: 25% leguminosa + 75% gramínea; 0L100G: 100% gramínea. Fonte: Autor (2021).

Este segundo experimento iniciou-se 5 dias após a colheita das plantas de beterraba. Foi conduzido o cultivo da alface ‘Vanda’, sendo as mudas adquiridas em viveiro comercial e transplantadas 25 DAS para os mesmos vasos onde foi feito o

cultivo de beterraba. Foram transplantadas 3 mudas por vaso e após 10 dias foi realizado desbaste permanecendo as 2 plantas mais vigorosas. O manejo da irrigação foi realizado por tensiometria, e as irrigações ocorriam quando a tensão média no solo atingia cerca de 15 KPa (CARVALHO et al., 2019). A colheita foi realizada de forma manual 41 DAP e as medidas de produção mensuradas, conforme será descrito a seguir.

### 2.3. Variáveis Analisadas

No momento da colheita, foram mensuradas as seguintes variáveis:

- Matéria fresca da parte aérea: foi determinada por meio da pesagem em balança digital.
- Matéria seca da parte aérea: após pesagem, foi acondicionada em sacos de papel e o material permaneceu em estufa com ventilação de ar a 65°C (GOMES, 2019), até atingir massa constante.
- Acúmulo de nutrientes: Após secagem em estufa, as amostras de alface foram moídas em moinho tipo Willey, sendo o teor total de N determinado pelo método Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995). Também foram determinados os teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989). O acúmulo de nutrientes na matéria seca foi obtido pelo produto da massa pelo teor dos nutrientes.
- Número de folhas: folhas maiores que 5 cm foram contadas.
- Altura da planta: foi determinado em campo com auxílio de régua.

### 2.4. Análise Estatística

Os dados foram analisados por meio de análise de variância e as médias dos tratamentos controle (AM e C) comparadas com as demais utilizando-se o teste de Dunnett, adotando-se o nível de 5% de probabilidade. Foi realizada, também, análise de regressão dos efeitos das proporções de leguminosa na mistura.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização química dos adubos verdes (Tabela 3) revelou o teor mais elevado de N, K, Ca e Mg na fitomassa de crotalária, e de P e S na fitomassa de milho. A relação C/N foi mais alta no milho e a relação C/S mais alta na fitomassa de crotalária. Os teores de celulose e hemicelulose foram inferiores no tratamento

100L0G e o de lignina superior ao do 0L100G. Ambas espécies apresentaram relação lignina:N semelhantes.

Tabela 3 – Características químicas dos adubos verdes. Teores de carbono (C), nitrogênio (N), relação C/N (C/N), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), relação C/S (C/S), celulose (Cel), hemicelulose (Hem), lignina (Lig), relação Lig/N (Lig/N).

Tratamento	C	N	C/N	P	K	Ca	Mg	S	C/S	Cel	Hem	Lig	Lig/N
	%												
100L0G	42,3	2,1	20,1	3,2	16,2	10,0	1,2	1,1	388,1	31,8	16,8	7,2	3,42
75L25G	41,7	1,9	21,7	3,5	16,1	9,4	1,1	1,2	362,8	32,1	19,5	6,6	3,47
50L50G	41,2	1,7	23,8	3,8	16,2	8,7	0,9	1,2	342,9	32,2	22,2	5,9	3,47
25L75G	40,6	1,5	26,4	4,1	16,0	8,1	0,8	1,3	322,0	32,5	24,8	5,2	3,46
0L100G	40,0	1,4	29,6	4,4	15,9	7,5	0,6	1,3	305,3	32,7	27,5	4,5	3,33

100L0G: 100% leguminosa; 75L25G: 75% leguminosa + 25% gramínea; 50L50G: 50% leguminosa + 50% gramínea; 25L75G: 25% leguminosa + 75% gramínea; 0L100G: 100% gramínea. Fonte: Autor (2021).

Houve efeito residual significativo da adubação verde no cultivo de alface sobre as variáveis matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria seca da parte aérea (MSPA), altura da planta (AL) e número de folhas (NF) quando em comparação com o controle (C) e AM (Tabela 4).

Tabela 4 – Valores médios de matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria seca da parte aérea (MSPA), altura (AL) e número de folhas (NF) em plantas de alface cultivadas com diferentes proporções de gramínea e leguminosa, com as testemunhas controle (C) e adubação mineral (AM).

Tratamento	MFPA	MSPA	AL	NF
	----- g planta <sup>-1</sup> -----	----- g planta <sup>-1</sup> -----	cm	unidade
100L0G	109,57 *	6,72 *	22,71 *	16,00 *
75L25G	121,90 <b>a</b> *	7,73 *	22,78 *	17,37 *
50L50G	112,15 *	7,58 *	23,08 *	17,25 *
25L75G	121,48 <b>a</b> *	7,40 *	23,68 *	16,87 *
0L100G	97,37 *	6,26 *	21,00 *	16,87 *
AM	82,07	5,37	20,93	15,87
C	36,30	2,43	15,13	12,62

Médias seguidas de asteriscos (\*) na coluna diferem do tratamento controle (C) pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade; Médias seguidas da letra (a) na coluna diferem do tratamento AM pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. ns: não significativo. 100L0G: 100% leguminosa;

75L25G: 75% leguminosa + 25% gramínea; 50L50G: 50% leguminosa + 50% gramínea; 25L75G: 25% leguminosa + 75% gramínea; 0L100G: 100% gramínea. Fonte: Autor (2021).

Para MFPA, todos os tratamentos diferem de C enquanto que as misturas 75L25G e 25L75G também diferem estatisticamente de AM. Quanto a MSPA, AL e NF houve diferença estatística para todas as proporções de mistura quando em comparação com o tratamento controle (C). O efeito residual de diferentes proporções de mistura entre feijão-de-porco e milho foi avaliado na cultura do brócolis e braquiária cultivados em sequência do primeiro cultivo de brócolis (WATTHIER, 2018). As proporções de 100% feijão-de-porco, 75% feijão-de-porco + 25% milho e 50% feijão-de-porco + 50% milho resultaram em maior acúmulo de matéria seca na inflorescência em comparação com as plantas que não receberam adubação, ao passo que o acúmulo de matéria seca total foi superior nas proporções de 100% feijão-de-porco e 75% feijão-de-porco + 25% milho (WATTHIER et al, 2018).

Em contrapartida, no cultivo de braquiária o maior acúmulo de matéria seca foi resultado da adubação com misturas que apresentavam maior quantidade de milho (WATTHIER, 2018), indicando que na fitomassa de milho a decomposição e mineralização de nutrientes ocorre de forma mais lenta do que na fitomassa de feijão-de-porco. No presente estudo, houve comportamento semelhante no tratamento 25L75G que proporcionou produção de MFPA superior a testemunha AM e o controle (C).

Não foi possível identificar outros estudos em que foi feita a avaliação do efeito residual da adubação verde utilizando-se da mistura de espécies gramíneas e leguminosas. A maioria destes envolve o estudo do efeito residual da adubação verde com apenas uma espécie de planta. Na adubação verde com *Crotalaria juncea*, seu efeito residual foi avaliado no cultivo de abobrinha e milho, em sequência ao cultivo de brócolis (DINIZ et al., 2017). Foram avaliadas as doses de 0, 3, 6 e 9 t ha<sup>-1</sup> com base na matéria seca e complementadas com 12 t ha<sup>-1</sup> de composto orgânico. A maior dose do adubo verde proporcionou produção de abobrinha 74% superior à obtida mediante adubação com 25 t ha<sup>-1</sup> de composto orgânico e semelhante àquela obtida com adubação mineral (DINIZ et al., 2017).

A adubação verde com *Mucuna cinerea* na cultura do brócolis também proporcionou efeito residual em cultivo subsequente. Na avaliação, foram realizados três cortes de braquiária, cultivada em sequência ao brócolis, aos 129, 157 e 191 dias após a aplicação dos tratamentos. Aos 129 dias, a dose de 10 t ha<sup>-1</sup> complementada

com adubação mineral proporcionou a maior produção de fitomassa da braquiária (PERALTA-ANTONIO; WATTHIER; SANTOS, 2021). No caso do segundo e terceiro cortes, tanto a adubação exclusivamente com *Mucuna cinerea* quanto a adicionada de fertilizante mineral permitiram produção de fitomassa duas vezes superior à do tratamento controle (PERALTA-ANTONIO; WATTHIER; SANTOS, 2021).

O efeito residual da adubação verde pode, também, ser observado em ciclos de uma mesma cultura, conforme relatado na cultura do repolho adubada com crotalária júncea e feijão-de-porco (VARGAS et al., 2011). Houve maior produção de matéria fresca, seca e diâmetro de cabeças nas plantas que receberam adubação verde combinada com 50% da dose de N recomendada, comparativamente àquelas que receberam apenas adubação mineral (VARGAS et al., 2011).

A produção de alface no presente trabalho foi inferior à obtida em estudo com alface americana, tanto com a adubação verde com crotalária júncea, quanto com mucuna-preta e feijão-de-porco, entretanto, nesse caso não foi avaliado o efeito residual (FONTANÉTTI et al., 2006). De forma semelhante, a aplicação de diferentes doses de *Calotropis procera* no primeiro cultivo de alface resultou em plantas com altura e número de folhas superior ao obtido neste trabalho (SOUZA et al., 2017).

Em geral, a adubação verde com crotalária e milho influenciou positivamente o acúmulo de nutrientes na alface (Tabela 5).

Tabela 5 – Valores médios do acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em gramas na parte aérea de plantas de alface cultivadas com diferentes proporções de gramínea e leguminosa, com as testemunhas controle (C) e adubação mineral (AM).

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g planta <sup>-1</sup> -----					
100L0G	0,1196	0,0422 *	0,1320 *	0,0891 *	0,0070 *	0,0073 *
75L25G	0,1562 a*	0,0434 *	0,1365 a*	0,0990 *	0,0077 *	0,0083 a*
50L50G	0,1254 *	0,0413 *	0,1042 *	0,1086 *	0,0072 *	0,0075 *
25L75G	0,1510 a*	0,0455 a*	0,1117 *	0,1140 *	0,0073 *	0,0078 *
0L100G	0,1194	0,0402 *	0,1108 *	0,0689	0,0065 *	0,0068 *
AM	0,0952	0,0296	0,0839	0,0755	0,0058	0,0056
C	0,0786	0,0087	0,0420	0,0301	0,0032	0,0025

Médias seguidas de asteriscos (\*) na coluna diferem do tratamento controle (C) pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade; Médias seguidas da letra (a) na coluna diferem do tratamento AM pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. ns: não significativo. Fonte: Autor (2021).

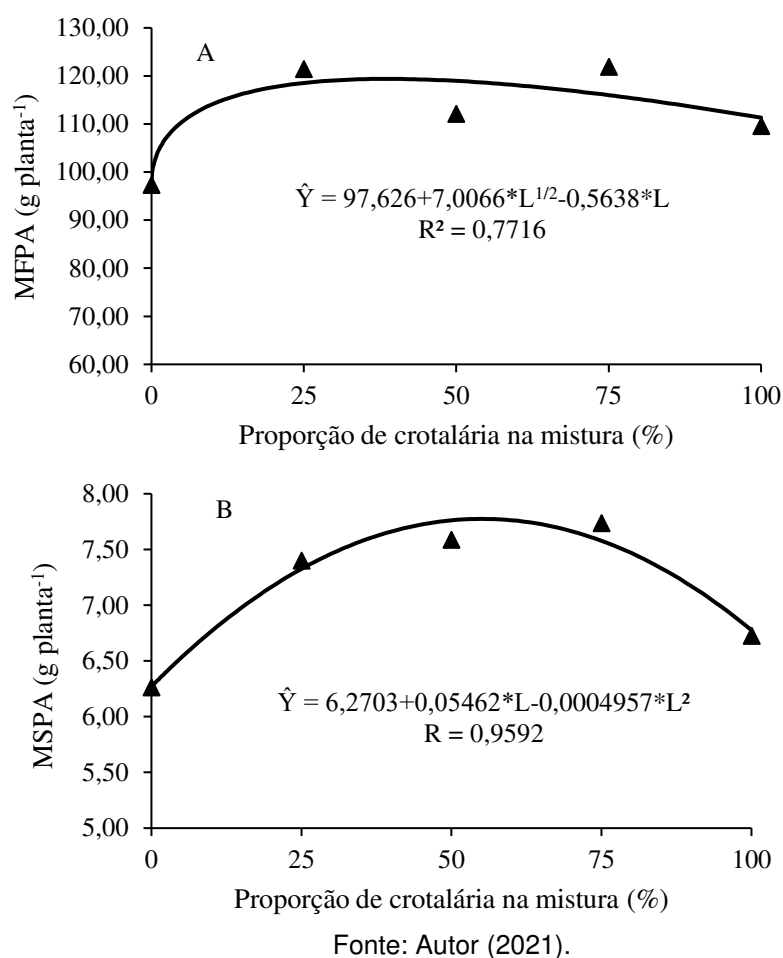
A adubação verde com as diferentes proporções de mistura resultou em maior acúmulo de macronutrientes em relação ao controle (C), com exceção somente do N (100L0G e 0L100G) e Ca (0L100G). Comparativamente a AM, houve maior acúmulo de N, K e S no tratamento 75L25G, e de N e P no tratamento 25L75G.

O consórcio de mudas de oliveira com os adubos verdes aveia e trevo proporcionou aumento significativo no teor de N das folhas, em cerca de 50% e 97%, respectivamente, quando em comparação com as plantas cultivadas sem adubação verde (CHEHAB et al., 2018). De forma semelhante, os tratamentos 75L25G e 25L75G promoveram maior acúmulo de N nas plantas de alface, na ordem de 49,67% e 47,94%, respectivamente, quando comparado ao tratamento controle (C). No presente estudo, o menor acúmulo de N ocorrido em função da adubação com 100L0G pode ser explicado pela rápida mineralização deste nutriente durante o período de cultivo da beterraba, ao passo que a presença de milho nas misturas 75L25G, 50L50G e 25L75G pode ter retardado a mineralização contribuindo para o maior acúmulo nas plantas de alface.

Os tratamentos 75L25G e 25L75G foram responsáveis pelo maior acúmulo de nutrientes em números absolutos, seguindo ambos a ordem decrescente de  $N > K > Ca > P > S > Mg$ . Em outro estudo, a ordem decrescente de acúmulo de nutrientes no cultivar de alface crespa Verônica, no cultivo em vasos com adubação mineral foi de  $K > N > Ca > Mg > P > S$  (KANO; CARDOSO; BÔAS, 2011). Já no cultivo em campo das cultivares Babá de Verão, Tainá e Verônica a ordem decrescente de acúmulo foi  $K > N > P > Mg > Ca$  (GRANGEIRO et al., 2006).

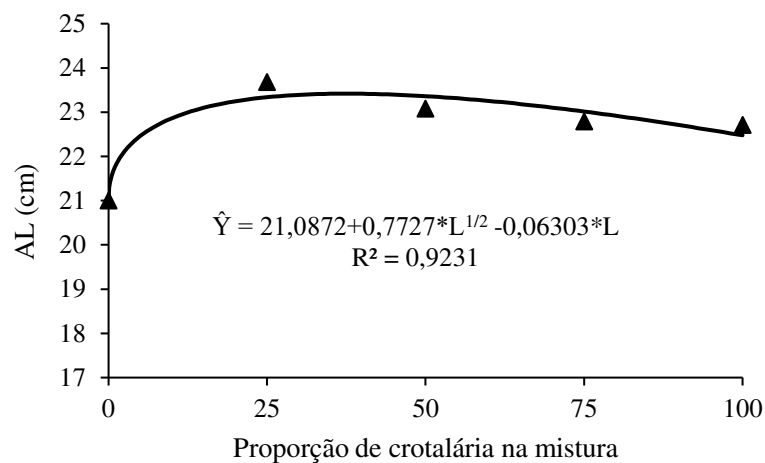
Quanto a MFPA, pela análise de regressão é possível observar o expressivo incremento na variável em função do aumento da proporção de crotalária na mistura de 0% para 25%, sendo o máximo obtido em 38,61% (Figura 2A). Tal fato pode ser explicado pela maior proporção de milho na mistura, visto que as proporções com maior quantidade da gramínea acrescentaram a quantidade mais alta de P, K, Ca e S ao vaso (Tabela 2). Para MSPA, o maior acúmulo foi resultante das proporções intermediárias de crotalária na mistura, com o máximo atingido na proporção de 55,09% de crotalária na mistura com milho (Figura 2B). Em contraste, na cultura do brócolis, o acúmulo de Ca e Mg, assim como de N, P, K e S, foi positivamente influenciado pelo aumento da quantidade de leguminosa na mistura de adubação verde (WATTHIER, 2018).

Figura 2 – Matéria fresca da parte aérea (MFPA) (A) e matéria seca da parte aérea (MSPA) (B) de alface em função da proporção de crotalária na mistura com milho. \*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t”.



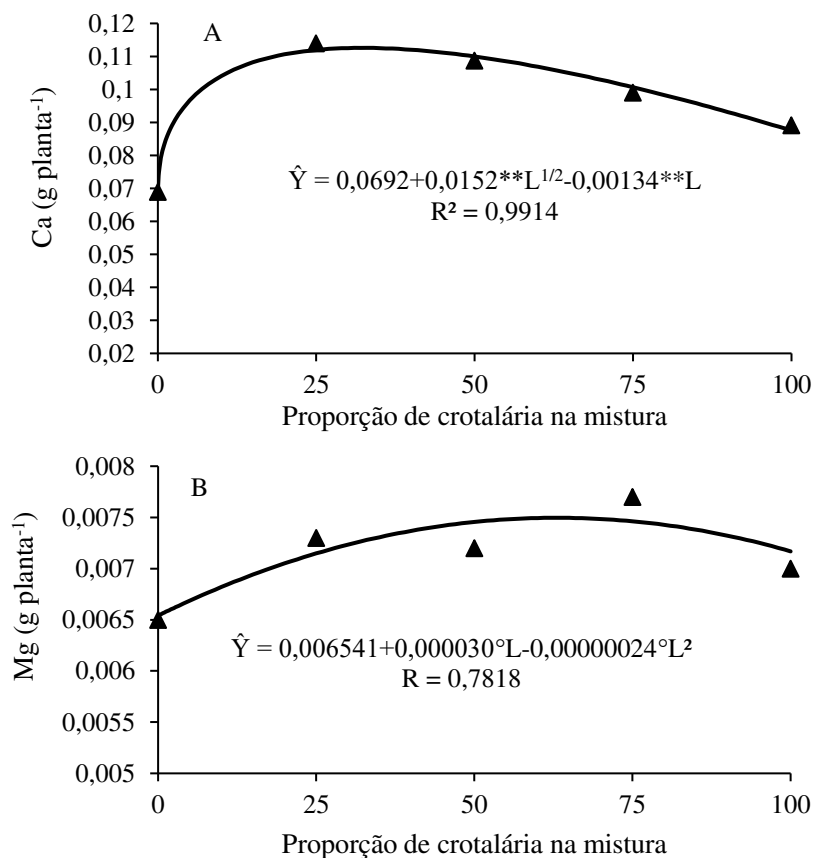
A altura máxima das plantas de alface foi de 23,45 cm sendo resultante da adubação verde na proporção de 37,57% de crotalária na mistura com milho (Figura 3). Quanto ao acúmulo de Ca, o máximo obtido foi de 0,1123 g planta<sup>-1</sup> na proporção de 32,14% de crotalária na mistura (Figura 4A). A mesma tendência se manteve para o acúmulo de Mg com o máximo acumulado de 0,00747 g planta<sup>-1</sup> na proporção de 62,5% de crotalária na mistura (Figura 4B).

Figura 3 – Variação na altura de plantas de alface em função da proporção de crotalária na mistura com milho. \*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t”.



Fonte: Autor (2021).

Figura 4 – Acúmulo de Ca (A) e Mg (B) na parte aérea de alface em função da proporção de crotalária na mistura com milho. \*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”. °Significativo ao nível de 10% de probabilidade pelo teste “t”.



Fonte: Autor (2021).

#### 4. CONCLUSÕES

A mistura de crotalária e milho nas proporções de 75L25G e 25L75G proporcionaram maior produção de massa fresca e seca da parte aérea das plantas de alface comparado com os tratamentos controle (C e AM).

O máximo acúmulo de MFPA e MSPA nas plantas de alface foi resultado da proporção de 38,61% e 55,09% de crotalária na mistura com milho, respectivamente.

Na cultura da alface sob efeito residual, o acúmulo de N foi superior nos tratamentos 75L25G e 25L75G, quando em comparação com C e AM. Para Ca e Mg, o acúmulo máximo foi resultante da proporção de 32,14% e 62,5% de crotalária na mistura com milho, respectivamente.

## REFERÊNCIAS

- BRANDAN, C. P. et al. Influence of a tropical grass (*Brachiaria brizantha* cv. Mulato) as cover crop on soil biochemical properties in a degraded agricultural soil. **European Journal of Soil Biology**, v. 83, p. 84-90, 2017.
- CARMO, D. L.; SILVA, C. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36(4), p. 1211-1220, 2012.
- CARVALHO, K. S. et al. Alface submetida à adubação nitrogenada e tensões de água no solo em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 13, n. 4, p. 3498-3511, 2019.
- CHEHAB, H. et al. The use of legume and grass cover crops induced changes in ion accumulation, growth and physiological performance of young olive trees irrigated with high-salinity water. **Scientia Horticulturae**, v. 232, p. 170-174, 2018.
- CHINTA, Y. D.; UCHIDA, Y.; ARAKI, H. Availability of nitrogen supply from cover crops during residual decomposition by soil microorganisms and its utilization by lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 270, p. 109415, 2020.
- DINIZ, E. R. et al. Doses of *Crotalaria juncea*: Residual effect on zucchini and maize crop in sequence to broccoli. **Ceres**, v. 64, n. 6, p. 600-606, 2017.
- DINIZ, E. R. et al. Crescimento e produção de brócolis adubado com doses de mucuna-cinza em casa de vegetação. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 3, 1277-1286, 2015.
- FONTANÉTTI, A. et al. Adubação verde na produção orgânica de alface americana e repolho. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 2, p. 146-150, 2006.
- GERLACH, G. A. X.; SILVA, J. C.; ARF, O.. Resposta do milho em consórcio com adubos verde no sistema plantio direto. **Acta Iguazu**, v. 8, n. 2, p. 134-146, 2019.
- GOERING, H. K.; VAN SOEST, P. **Forage fiber analysis (Apparatus, reagents, procedures and some applications)**. Agricultura Handbook, n. 379, 20 p. Washington: U.S. Agricultural Research Service, 1970.

GOLDIN, A. Reassessing the use of loss-on-ignition for estimating organic matter content in noncalcareous soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 18, n. 9, p. 1111-1116, 1987.

GRANGEIRO, L. C. et al. Acúmulo de nutrientes por três cultivares de alface cultivadas em condições do Semi-Árido. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 2, p. 190-194, 2006.

KANO, C. et al. Acúmulo de nutrientes pela alface destinada à produção de sementes. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 1, p. 70-77, 2011.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Potafos, 1989, 319 p.

PERALTA-ANTONIO, N.; WATTHIER, M.; SANTOS, R. H. S.. Green manure and mineral fertilization: residual effect on dry matter production, nutrient extraction and nutrients recovery efficiency in two successive crops. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 24, p. 1-11, 2021.

PEREIRA, A. P. et al. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura de verão. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 4, p. 799-807, 2017.

RODRIGUEZ, C. et al. Grain legume-cereal intercropping enhances the use of soil-derived and biologically fixed nitrogen in temperate agroecosystems. A meta-analysis. **European Journal of Agronomy**, v. 118, p. 126077, 2020.

SOUZA, E. G. F. et al. Production of lettuce under green manuring with *Calotropis procera* in two cultivation seasons. **Caatinga**, v. 30, n. 2, p. 391-400, 2017.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Boletim Técnico nº 5, 2ª ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 170 p.

VARGAS, T. O. et al. Influência da biomassa de leguminosas sobre a produção de repolho em dois cultivos consecutivos. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 4, p. 562-568, 2011.

WATTHIER, M. **Dinâmica do N no sistema solo-planta e fisiologia do brócolis fertilizado com diferentes proporções gramínea:leguminosa**. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p. 106, 2018.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o presente trabalho foi possível identificar os efeitos da adubação verde com mistura de uma espécie leguminosa e uma gramínea sobre o crescimento, acúmulo de nutrientes e produção das culturas, sendo uma alternativa no manejo nutricional destas. A fitomassa de *Crotalaria ochroleuca* apresenta menor relação C/N, sugerindo que a mineralização dos nutrientes nela presente ocorra de forma mais rápida. Por outro lado, a fitomassa de *Pennisetum glaucum*, apresenta maior relação C/N contribuindo para o seu maior tempo de permanência no solo. Dessa forma, a mistura entre as duas espécies permite a formação de resíduo com relação C/N intermediária contribuindo para a combinação dos benefícios proporcionados por ambas as espécies.

No cultivo de beterraba realizado logo após a adubação verde, a maior proporção de crotalária na mistura foi responsável por produção superior a obtida com adubação mineral sem nitrogênio e com o controle. Além disso, misturas de crotalária e milho com mais de 76,16% de crotalária resultam em raízes com maior teor de sólidos solúveis. No segundo cultivo, com a cultura da alface, tal superioridade foi obtida nas proporções de mistura com maior quantidade de milho, indicando que parte dos nutrientes presentes na fitomassa dos adubos verdes, perdura por mais tempo no solo tornando-se disponíveis para as culturas subsequentes.

## ANEXO I

Tabela 1 – Resumo da análise de variância de massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz tuberosa (MFRT), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz tuberosa (MSRT) e diâmetro (DMT) da beterraba.

		Quadrados Médios				
F.V.	G.L.	MFPA	MFRT	MSPA	MSRT	DMT
Tratamento	6	135,95**	496,58**	0,7289**	13,64**	2,4418**
Resíduo	17	20,79	62,54	0,1549	2,49	0,4487
CV (%)		25,90	49,24	23,45	58,97	25,54

\*\* indica F significativo a 1% de probabilidade; ns indica F não significativo a 5% de probabilidade. Fonte: Autor (2021).

Tabela 2 – Resumo da análise de variância de sólidos solúveis (SS) e acidez total titulável (ATT).

		Quadrados Médios	
F.V.	G.L.	SS	ATT
Tratamento	5	9,74*	0,0145 <sup>ns</sup>
Resíduo	11	2,94	0,0536 <sup>ns</sup>
CV (%)		11,99	27,33

\* indica F significativo a 5% de probabilidade; ns indica F não significativo a 5% de probabilidade. Fonte: Autor (2021).

Tabela 3 – Resumo da análise de variância do acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na raiz tuberosa.

		Quadrados Médios						
F.V.	G.L.	N	G.L.	P	K	Ca	Mg	S
Tratamento	6	0,001782**	6	0,000282**	0,002176**	0,000018**	0,000002*	0,000005**
Resíduo	17	0,000318	14	0,000026	0,000312	0,000002	0,0000003	0,0000007
CV (%)		49,71		41,22	49,31	37,53	52,26	42,08

\*\* indica F significativo a 1% de probabilidade; \* indica F significativo a 5% de probabilidade. Fonte: Autor (2021).

Tabela 4 – Resumo da análise de variância do acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na parte aérea de beterraba.

		Quadrados Médios					
F.V.	G.L.	N	P	K	Ca	Mg	S

Tratamento	6	0,000462**	0,000487**	0,000544**	0,000292*	0,000029*	0,0000033**
Resíduo	17	0,000095	0,000036	0,000057	0,000098	0,000010	0,00000039
CV (%)		26,97	29,95	22,21	26,09	49,96	27,89

\*\* indica F significativo a 1% de probabilidade; \* indica F significativo a 5% de probabilidade. Fonte: Autor (2021).

Tabela 5 – Equações de regressão ajustadas de massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz tuberosa (MFRT), diâmetro da beterraba (DMT), teor de sólidos solúveis (SS), acidez total titulável (ATT), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz tuberosa (MSRT) em função da proporção de leguminosa e os respectivos coeficientes de determinação.

Variáveis	Equações Ajustadas	R <sup>2</sup> /r <sup>2</sup>
MFPA	$\hat{Y} = 20,6085$	-
MFRT	$\hat{Y} = 20,5894$	-
MSPA	$\hat{Y} = 1,8424$	-
MSRT	$\hat{Y} = 3,2710$	-
DMT	$\hat{Y} = 2,9503$	-
SS	$\hat{Y} = 14,816 - 0,0457 \cdot L + 0,0003 \cdot L^2$	0,9451
ATT	$\hat{Y} = 0,9852 - 0,0613 \cdot \sqrt{L} + 0,0049 \cdot \sqrt{L}^2$	0,7790

\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; °Significativo a 10% de probabilidade pelo teste t. Fonte: Autor (2021).

Tabela 6 – Equações de regressão ajustadas o acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na raiz de beterraba em função da proporção de leguminosa e os respectivos coeficientes de determinação.

Variáveis	Equações Ajustadas	R <sup>2</sup> /r <sup>2</sup>
N	$\hat{Y} = 0,0440$	-
P	$\hat{Y} = 0,0164$	-
K	$\hat{Y} = 0,0127 + 0,0005966 \cdot L$	0,6532
Ca	$\hat{Y} = 0,00188 + 0,00005 \cdot L$	0,7616
Mg	$\hat{Y} = 0,0014$	-
S	$\hat{Y} = 0,0024$	-

°Significativo a 10% de probabilidade pelo teste t. Fonte: Autor (2021).

Tabela 7 – Equações de regressão ajustadas o acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na parte aérea de beterraba em função da proporção de leguminosa e os respectivos coeficientes de determinação.

Variáveis	Equações Ajustadas	R <sup>2</sup> /r <sup>2</sup>
N	$\hat{Y} = 0,0414$	-
P	$\hat{Y} = 0,0262$	-
K	$\hat{Y} = 0,0251+0,0002932*L$	0,9002
Ca	$\hat{Y} = 0,0394$	-
Mg	$\hat{Y} = 0,0073$	-
S	$\hat{Y} = 0,0027$	-

\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; °Significativo a 10% de probabilidade pelo teste t. Fonte: Autor (2021).

Tabela 8 – Resumo da análise de variância de massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), altura (AL) e número de folhas (NF) de alface.

F.V.	G.L.	Quadrados Médios			
		MFPA	MSPA	AL	NF
Tratamento	6	3676,12**	13,89**	34,19**	10,85**
Resíduo	21	408,78	2,20	5,16	1,17
CV (%)		20,78	23,87	10,64	6,72

\*\* indica F significativo a 1% de probabilidade; ns indica F não significativo a 5% de probabilidade. Fonte: Autor (2021).

Tabela 9 – Resumo da análise de variância do acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na parte aérea de alface.

F.V.	G.L.	Quadrados Médios					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Tratamento	6	0,003090**	0,000676**	0,004126**	0,003302**	0,0000094**	0,0000155**
Resíduo	21	0,000581	0,0000737	0,000811	0,000507	0,0000019	0,0000016
CV (%)		19,96	23,95	27,64	26,94	21,80	19,91

\*\* indica F significativo a 1% de probabilidade. Fonte: Autor (2021).

Tabela 10 – Equações de regressão ajustadas massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), altura (AL) e número de folhas (NF) de alface em função da proporção de leguminosa e os respectivos coeficientes de determinação.

Variáveis	Equações Ajustadas	R <sup>2</sup> /r <sup>2</sup>
MFPA	$\hat{Y} = 97,6262 + 7,0066^{\circ}\sqrt{L} - 0,5638^{\circ}\sqrt{L^2}$	0,7716
MSPA	$\hat{Y} = 6,2703 + 0,05462^{\circ}L - 0,0004957^{\circ}L^2$	0,9592
AL	$\hat{Y} = 21,0872 + 0,7727^{\circ}\sqrt{L} - 0,06303^{\circ}\sqrt{L^2}$	0,9231
NF	$\hat{Y} = 16,8750$	-

\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; °Significativo a 10% de probabilidade pelo teste t. Fonte: Autor (2021).

Tabela 11 – Equações de regressão ajustadas o acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em alface em função da proporção de leguminosa e os respectivos coeficientes de determinação.

Variáveis	Equações Ajustadas	R <sup>2</sup> /r <sup>2</sup>
N	$\hat{Y} = 0,1343$	-
P	$\hat{Y} = 0,0425$	-
K	$\hat{Y} = 0,1190$	-
Ca	$\hat{Y} = 0,0692 + 0,0152^{**}\sqrt{L} - 0,00134^{**}\sqrt{L^2}$	0,9914
Mg	$\hat{Y} = 0,006541 + 0,000030^{\circ}L - 0,00000024^{\circ}L^2$	0,7818
S	$\hat{Y} = 0,0075$	-

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t; °Significativo a 10% de probabilidade pelo teste t. Fonte: Autor (2021).