



Universidade Federal  
de São João del-Rei

**JOSÉ FRANCISCO BRAGA NETO**

**SISTEMAS DE CULTIVO DE SORGO BIOMASSA  
CONSORCIADO COM LEGUMINOSAS VISANDO APORTE DE  
CARBONO E NITROGÊNIO PARA MELHORIA DA QUALIDADE DO  
SOLO**

**SETE LAGOAS / MG  
2021**

**JOSÉ FRANCISCO BRAGA NETO**

**SISTEMAS DE CULTIVO DE SORGO BIOMASSA  
CONSORCIADO COM LEGUMINOSAS VISANDO APORTE DE  
CARBONO E NITROGÊNIO PARA MELHORIA DA QUALIDADE DO  
SOLO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias (PPGCA), da Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), Campus Sete Lagoas (CSL), como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias, área de concentração em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Ivanildo Evódio Marriel  
Coorientador: Prof. Dr. Iran Dias Borges

**Sete Lagoas / MG  
2021**

Ficha catalográfica elaborada pela Divisão de Biblioteca (DIBIB)  
e Núcleo de Tecnologia da Informação (NTINF) da UFSJ,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

N813s      Neto, José Francisco Braga.  
              SISTEMAS DE CULTIVO DE SORGO BIOMASSA CONSORCIADO  
              COM LEGUMINOSAS VISANDO APORTE DE CARBONO E  
              NITROGÊNIO PARA MELHORIA DA QUALIDADE DO SOLO / José  
              Francisco Braga Neto ; orientador Ivanildo Evódio  
              Marriel; coorientador Iran Dias Borges. -- Sete  
              Lagoas, 2021.  
              66 p.

              Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em  
              Ciências Agrárias) -- Universidade Federal de São  
              João del-Rei, 2021.

              1. Sorgo Biomassa. 2. Leguminosas. 3. Consórcio.  
              4. Matéria Orgânica. 5. Carbono e Nitrogênio. I.  
              Marriel, Ivanildo Evódio , orient. II. Borges, Iran  
              Dias , co-orient. III. Título.

**JOSÉ FRANCISCO BRAGA NETO**

**SISTEMAS DE CULTIVO DE SORGO BIOMASSA  
CONSORCIADO COM LEGUMINOSAS VISANDO APORTE DE  
CARBONO E NITROGÊNIO PARA MELHORIA DA QUALIDADE DO  
SOLO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias (PPGCA), da Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), Campus Sete Lagoas (CSL), como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias, área de concentração em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Ivanildo Evódio Marriel  
Coorientador: Prof. Dr. Iran Dias Borges

Sete Lagoas, 30 de junho de 2021

Banca examinadora:

Dr. Ivênio Rubens de Oliveira – Embrapa Milho e Sorgo

Prof. Dra. Nádya Nardely Lacerda Durães Parrella - UFSJ

---

Prof. Dr. Ivanildo Evódio Marriel – Embrapa Milho e Sorgo

Orientador

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

JOSÉ FRANCISCO BRAGA NETO, filho de Geraldo Antônio Guimarães e Marivane Pereira Guimarães, nasceu em 08 de agosto de 1990, na cidade de Sete Lagoas, MG.

Em julho de 2018, concluiu o curso de Engenharia Agrônômica Integral pela Universidade Federal São João del-Rei (UFSJ), *campus* de Sete Lagoas, MG.

Em março de 2019, ingressou no curso de mestrado em Ciências Agrárias, concentração Produção Vegetal, na Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ-CSL), submetendo-se à defesa da qualificação em 31 março de 2021.

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais e familiares,  
pelo amor, apoio e dedicação em todos os momentos da minha vida.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado forças e saúde para o desenvolvimento e para a conclusão deste trabalho.

A meus pais pelo amor e pelo apoio incondicionais.

À Universidade Federal de São João del-Rei, pela oportunidade de realização do Curso de Mestrado e pela concessão da bolsa de estudos.

Aos Grupos de Estudos GEFIT e MELHORAR, pelo suporte, pelo trabalho em equipe e por todos os conhecimentos profissional e pessoal repassados.

Ao Dr. Ivanildo Evódio Marriel e ao Dr. Iran Dias Borges, pela orientação e pela confiança no desenvolvimento do trabalho.

À Embrapa Milho e Sorgo, pela parceria e por ceder a infraestrutura para a realização dos ensaios de campo e das análises laboratoriais.

Aos Pesquisadores da Embrapa, em especial, ao Dr. Rafael Augusto da Costa Parrella pelo apoio, pelo incentivo e pela doação das sementes de Sorgo Biomassa.

Aos colaboradores do galpão de Melhoramento de Sorgo, cedidos pelo Dr. Rafael na colheita do experimento.

Aos colaboradores estagiários(as), mestrandos(as), doutorandos(as) do laboratório de Microbiologia e Bioquímica do Solo da Embrapa, coordenado pelo Dr. Ivanildo, pela ajuda na condução e na análise dos ensaios.

Aos funcionários de campo, pelo apoio e pelo fornecimento da mão-de-obra, na condução dos trabalhos de campo.

A todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos, muito obrigado!

## SUMÁRIO

RESUMO .....	ix
ABSTRACT .....	x
INTRODUÇÃO .....	11
REVISÃO DE LITERATURA .....	14
Dinâmica da matéria orgânica .....	14
Matéria orgânica do solo .....	15
Ciclagem de Carbono .....	17
Ciclagem de Nitrogênio .....	20
Consórcio de gramínea e adubos verdes .....	22
Sorgo Biomassa ( <i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench) .....	24
Mucuna-preta ( <i>Mucuna aterrima</i> , sin. <i>Stizolobium aterrimum</i> Piper & Tracy) .....	25
Feijão-guandu ( <i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp.) .....	25
MATERIAL E MÉTODOS .....	27
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	31
CONCLUSÕES .....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	50



## **SISTEMAS DE CULTIVO DE SORGO BIOMASSA CONSORCIADO COM LEGUMINOSAS VISANDO APORTE DE CARBONO E NITROGÊNIO PARA MELHORIA DA QUALIDADE DO SOLO**

**RESUMO** - O manejo adequado do solo com diversidades de espécies de plantas contribui para melhorar sua fertilidade e capacidade produtiva. Diferentes sistemas, inclusive a cobertura do solo, em particular, envolvendo consórcio de gramíneas x leguminosas, possibilitam ao solo apresentar aumento de matéria orgânica, nutrientes e, conseqüentemente, da qualidade do solo e da produtividade. O presente trabalho teve como objetivo de testar e definir sistemas envolvendo cultivo em consórcio de leguminosas e gramíneas visando, o aumento do incremento do aporte de carbono (C) e nitrogênio (N) que é fornecido da fitomassa das culturas. Foram testados dois experimentos, sendo cada um com dois sistemas de cultivo, envolvendo consórcio de Sorgo biomassa x Mucuna preta e Sorgo biomassa x Feijão guandu, distribuídos em dois arranjos (arranjo 1 – A1 - duas linhas de sorgo e uma de leguminosa e arranjo 2 – A2 - uma linha de sorgo e uma linha de leguminosas, alternadas) e cinco densidades de leguminosas. As densidades foram 0, 4, 8, 12 e 16 plantas m<sup>-1</sup> linear. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, em parcelas subdivididas, com três repetições, sendo arranjo distribuídos nas parcelas e densidade de leguminosas nas subparcelas. Como resultados, o acúmulo de biomassa na cultura do sorgo foi influenciado significativamente pelo arranjo testado no experimento 1, com valores mais elevados no arranjo A1 – com duas linhas de sorgo para uma de leguminosa. Para as variáveis estudadas para as leguminosas nos consórcios houveram incremento em função da densidade e aumento da incorporação de C e N. O consórcio com Sorgo e Feijão teve melhor desempenho no aporte de C, independentemente do sistema de cultivo. O consórcio com Sorgo e Feijão teve melhor desempenho no aporte de N com o arranjo A1.

**Palavras-chaves:** Inovação tecnológica. Mucuna-preta. Feijão-guandu. Consórcio. Matéria orgânica e gramínea.

## **SORGHUM BIOMASS CULTIVATION SYSTEMS ASSOCIATED WITH LEGUMES AIMING TO SUPPORT CARBON AND NITROGEN TO IMPROVE SOIL QUALITY**

**ABSTRACT** – Proper soil management with plant species diversity contributes to improving its fertility and productive capacity. Different systems, including soil cover, in particular, involving intercropping of grasses x legumes, allow the soil to increase in organic matter, and, consequently, in soil quality and productivity. The work aimed to define technology to the contribution of the NA and nitrogen (N) to degraded and soils, through a consortium with biomass Sorghum and legumes (*Mucuna aterrina* and Guandu beans). Two cropping systems were tested, involving Sorghum biomass x *Mucuna aterrina* and Sorghum biomass x Guandu Beans intercropping, distributed in two arrangements (arrangement 1 – A1 – two sorghum x the legume rows and arrangement 2 – A2 – a row of sorghum and a legume row, alternating) and five legume densities. Densities were 0, 4, 8, 12 and 16 plants m<sup>-1</sup> linear. The experimental design used was randomized blocks, in subdivided plots, with three replications, with an arrangement distributed in the plots and legume density in the subplots. As a result, biomass accumulation in sorghum crop was significantly influenced by the arrangement tested in the 1, with higher values in arrangement A1. The variables studied for legumes in the intercropping showed an increase as a function of density and an increase in the incorporation of C and N. The intercropping with Sorghum and Beans showed performance in the C input, regardless of the cultivation system. The consortium with Sorghum and bean showed the best performance in the input of N with the A1 arrangement.

**Key words:** Technological innovation. *Mucuna aterrina*. Guandu beans. Consortium. Organic and grassy matter

## **Introdução**

De modo geral, a atividade agropecuária tem como missão produzir alimentos, fibras e energia de forma sustentável, destacando-se a conservação dos recursos naturais. O aumento da produtividade constitui uma das alternativas para o incremento do suprimento mundial de alimentos. De acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e a Agricultura, agência especializada do Sistema (ONU) que trabalha no combate à fome e à pobreza por meio da melhoria da segurança alimentar e do desenvolvimento agrícola (FAO) (2015), a oferta de alimentos deverá ser elevada em 60% até 2050 para atender à demanda de aproximadamente 9 bilhões de habitantes.

O Brasil se destaca na produção alimento, pois houve um crescimento de 247% nos últimos 35 anos, ultrapassando a marca dos 162 milhões de toneladas na última safra, sendo que a área cultivada aumentou apenas 31% no mesmo período.

Estudos mostram que a questão alimentar extrapola a dimensão da oferta de alimentos e os processos de organização produtiva. Segundo CASSOL & SCHNEIDER, (2015), considera que o estudo das relações de consumo e dos sistemas de produção agroalimentares torna-se fundamental para a compreensão do comportamento e das ações dos indivíduos na sociedade moderna, assim como a conexão com a saúde coletiva e bem estar social.

Aliados à demanda por alimentos, a crescente busca por uma vida mais saudável tem levado a uma elevação no nível de exigência do consumidor em relação à qualidade de sua alimentação, sendo a sociedade cada vez mais consciente em relação à alimentação, saúde e o meio ambiente.

Ainda segundo CASSOL & SCHNEIDER (2015), a interação entre as formas de produzir e comercializar e os modos de consumir e alimentar são cruciais para desenvolver práticas sustentáveis, tanto de produção quanto de consumo.

Em substituição às formas de produção de alimentos convencionais, que utilizam de forma intensiva, tecnologias agrícolas, com base principalmente em insumos químicos e, conseqüentemente, em fontes de energia não renováveis, buscando a produtividade em larga escala, torna-se imperativo o desenvolvimento e adoção de tecnologia para a produção agrícola aliada à conservação ambiental (SANTOS, 2013). O plantio convencional das culturas, em meio ao declínio da fertilidade do solo, apresenta perda de carbono orgânico do solo e a aplicação de altos insumos não resulta em aumento de produtividade ou ainda, de rendimento.

Mas, em vez disso, contribuíram para altos níveis de emissões de gases de efeito estufa (GEE) da agricultura.

O uso da terra agrícola contribuiu com 19-20% das emissões globais de GEE, incluindo aquelas provenientes da aplicação de fertilizantes químicos (óxido nitroso – NO<sub>2</sub>) e preparação da terra e lavoura intensiva (FAOSTAT, 2020.; JANTKE et al., 2020). Até 2030, as reduções de emissões de metano agrícola (CH<sub>4</sub>) em até 48% e as emissões de óxido nitroso (NO<sub>2</sub>) em até 26%, em relação a 2010, serão necessárias para limitar o aquecimento global a 1,5 ° C (JANTKE et al., 2020).

Todavia, para melhorar o desempenho dos sistemas de produção e incrementar a produtividade, faz-se necessário o desenvolvimento sistemático de soluções tecnológicas que sejam transferidas e absorvidas pelos diversos setores da cadeia produtiva do agronegócio, tanto públicas e privadas. Dentre várias técnicas alternativas de produção, como Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), sistema plantio direto (SPD), inclui-se a consorciação entre gramíneas (*Poaceae*) e leguminosas, que permite a incorporação/manutenção da palhada de adubação verde na superfície do solo, que resulta principalmente em redução de erosão, melhoria das propriedades físico, químicas e biológicas do solo, bem como de sua capacidade produtiva.

A manutenção da produtividade do solo está ligada diretamente com a construção e a manutenção da matéria orgânica do solo. A adubação verde em consórcio com gramíneas de alto potencial produtivo promove a adição de resíduo vegetal, aumento do aporte de carbono e nitrogênio, proporcionando economia de fertilizantes nitrogenados, controle de insetos-pragas, fitonematóides, além de contribuir para minimizar os efeitos de gases estufa. Para adubação verde temos o feijão-guandu e a mucuna-preta dentre outros – com fornecimento de nitrogênio, controle de nematóide e até ciclagem de nutrientes. Agora para adição de carbono temos as braquiárias e o sorgo biomassa – com altas produtividades de fitomassa.

A relação C/N nesta hora é muito importante. Segundo OLIVEIRA et. al (2019) a relação C/N nada mais é do que a razão entre as quantidades de carbono (C) e nitrogênio (N) presente na biomassa da cultura. É um indicador de decomposição da matéria orgânica do solo. Com isso, há informação sobre o estado de humificação. Sendo que culturas com alta relação C/N (gramíneas) apresentam menores taxas de decomposição e seus resíduos permanecem por mais tempo no solo, em contra partida, as culturas com baixa relação C/N (leguminosas), apresentam uma rápida decomposição.

Segundo HEINRICHS (2001), existe insuficiência de conhecimento sobre o desempenho de plantas de cobertura no Brasil. Portanto, torna-se necessário ampliar o conhecimento sobre diferentes espécies de plantas, selecionando-se aquelas que melhor se adaptem ao sistema de cultivo, por exemplo, o consórcio, bem como estabelecer a proporção ideal de cada espécie nos cultivos diversos, visando maximizar a produção e incorporação de biomassa e de nutrientes ao solo, particularmente em ambientes degradados.

#### Objetivo(s) geral(is)

Testar e definir sistemas envolvendo cultivo em consórcio de leguminosas e gramíneas visando, o aumento do incremento do aporte de carbono (C) e nitrogênio (N) que é fornecido da fitomassa das culturas.

#### Objetivos específicos

Avaliar e definir arranjos e população de Mucuna-preta e Feijão-guandu consorciadas com o Sorgo biomassa.

Quantificar o aporte de carbono e nitrogênio em função do arranjo e população de plantas testados em consórcio.

Quantificar a fitomassa verde e seca das culturas nos arranjos.

## Revisão de literatura

### Dinâmica da matéria orgânica

O conhecimento dos processos que envolvam a decomposição de resíduos orgânicos e formação da matéria orgânica do solo (MOS) é importante para compreender os processos de mineralização e/ou imobilização dos nutrientes para as plantas. A oscilação nos níveis de deficiência de micronutrientes no solo é um fenômeno global nos dias de hoje (MONREAL et al., 2016). A MOS apresenta capacidade de modificar relações físico-químicas do solo, alterando a disponibilidade de micronutrientes (Zn, Cu, Fe, Mn, B e Mo), aumentando relações entre microrganismos do solo e sua fauna edáfica (DHALIWAL et al., (2019). A MOS favorece o ambiente reduzido (menor potencial redox) e aumenta a acessibilidade de cátions micronutrientes no solo.

O volume de MOS é determinado a partir do equilíbrio entre a entrada de matéria orgânica ao solo e saída de CO<sub>2</sub>. A ciclagem da MOS é controlada por taxas de deposição, decomposição e renovação dos resíduos, que ocorrem de uma forma dinâmica nos solos (MULVANEY et al., 2010).

As taxas de entrada de material vegetal ao solo em ecossistemas agrícolas podem sofrer ação pelo homem, a determinação da taxa de decomposição desses materiais é controlada por uma complexa interação entre fatores climáticos, população microbiana do solo e a composição química do material vegetal, que fogem ao controle (COSTA & SANGAKKARA, 2006).

Os dois fatores climáticos que mais influenciam a taxa de decomposição são os de umidade e temperatura. No geral, as taxas de decomposição são maiores com o aumento da umidade do solo e da temperatura (COSTA & SANGAKKARA, 2006). No entanto, o teor de matéria orgânica de uma determinada classe de solo e/ou ecossistema tende para um valor de equilíbrio (FERREIRA et al., 2012; PATERSON & SIM, 2013).

Dependendo das condições impostas as taxas podem mudar. Em solos sob vegetação natural não ocorrem grandes variações nos estoques de MOS, apesar da tendência de equilíbrio existe mudanças nas médias mensais do fluxo de CO<sub>2</sub> no solo devido à fatores edafoclimáticos, como mostra D'ANDREA et al. (2010), que concluíram que as emissões de CO<sub>2</sub> são fenômenos de natureza complexa, não sendo possível identificar um único atributo do solo ou do ambiente que explique, isoladamente, sua variação no espaço. Agora, para solos arados e, ou, gradeado, há aumento do potencial de perda de MOS por erosão hídrica e decomposição microbiana,

sendo a última a principal forma de perda de MOS afetada pela utilização de máquinas agrícolas (BAYER et al., 1999).

Como evidenciado acima, os agroecossistemas, os estoques de MOS podem ser influenciados por diversas práticas de manejo. Essas modificações na matéria orgânica do solo nos mostram consequências sobre as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo e se mostram dependentes das condições do solo, do clima e das práticas culturais adotadas (CARIDE et al., 2012).

As práticas de manejo conservacionistas podem resultar na manutenção ou incremento da MOS (CARIDE et al., 2012). Já sistemas agrícolas convencionais, pode levar ao declínio da MOS e degradação do solo, uma vez que esses sistemas promovem o rompimento de agregados, estimulando a atividade dos microrganismos. Perdas como essas citadas decorrem, em grande parte, do tipo de sistema de manejo adotado nas mais diversas condições ambientais (XAVIER et al., 2006).

Temos perdas de carbono diferente entre regiões. Em ecossistemas de regiões tropicais, as perdas de C observadas após a retirada da vegetação natural e cultivo dos solos são mais aceleradas do que em regiões temperadas (RANGEL et al., 2008). Nas regiões tropicais, temperaturas mais elevadas, altos índices pluviométricos e maior atividade microbiana causam rápida decomposição dos materiais orgânicos incorporados e presentes no solo (XAVIER et al., 2006).

O carbono da biomassa microbiana do solo, embora represente uma pequena fração da MOS, é também considerado um sensível indicador das mudanças promovidas pelos sistemas de manejo (CARDOSO et al., 2009). Outro atributo relacionado com dinâmica da MOS é o potencial de mineralização de carbono. O conhecimento das alterações da mineralização do carbono orgânico do solo (COS) que ocorrem nas diferentes condições edafoclimáticas, pode ajudar a desenvolver sistemas de manejo útil na melhora do uso da terra e de preservação do meio ambiente. Dependendo do manejo aplicado, pode ocorrer equilíbrio com recuperação e até mesmo acumulação nos estoques de MOS em agroecossistemas, podendo resultar na atenuação da emissão de CO<sub>2</sub> para atmosfera, aumentando o sequestro de carbono no solo, e simultaneamente aumentar a produtividade do solo (PERALTA & WANDER, 2008).

## **Matéria orgânica do solo**

Segundo ROSCOE e MACHADO (2002), entende-se por matéria orgânica do solo (MOS) todo o carbono (C) presente no solo, que pode ser encontrado em resíduos frescos ou em diferentes estágios de decomposição; na forma de compostos humificados; em materiais carbonizados, como carvão em solos de savana; na porção viva, formada por raízes e pelo micro, meso e macrofauna. Normalmente a MOS apresenta em torno de 58% de C (STOCKMANN et al., 2013).

A matéria orgânica, como um dos componentes fundamentais do solo, sendo também conhecida como a fração orgânica do solo ou húmus (GUIMARÃES et al., 2013). O crescente e gradativo desenvolvimento dos vegetais, bem como de outros organismos e microrganismos durante os processos de transformação de rochas em solo, ou mesmo nos processos de recuperação de áreas degradadas, permite o acúmulo de matéria orgânica ao solo (BRADY e WEIL, 2013).

Assim, a matéria orgânica do solo representa o componente essencial nos diversos processos químicos, físicos e biológicos dos ecossistemas terrestres, como ciclagem e retenção de nutrientes, agregação do solo e dinâmica da água, desempenhando importantes funções na manutenção de qualidade do solo, sustentabilidade dos sistemas naturais e agrícolas, assim como no balanço dos gases de efeito estufa (BALBINO et al., 2011).

Além disso, também atua na qualidade dos solos, influência direta com as propriedades químicas e físicas da própria matéria orgânica que, por consequência, destacando-se a elevada área superficial específica e as grandes quantidades de cargas superficiais (BRAIDA et al., 2010).

A matéria orgânica interfere no potencial produtivo dos solos (CECAGNO, 2015) e, por estar vinculada a inúmeras funções essenciais e propriedades e processos do solo, é amplamente utilizada como fonte de estudo para avaliação da qualidade do solo (MARTINEZ-SALGADO et al., 2010). Outra importância da matéria orgânica, particularmente em solos tropicais e subtropicais, devido às particularidades dessas regiões, é o fornecimento de nutrientes às culturas, a retenção de cátions, a complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes, a estabilidade estrutural do solo, o fluxo de água, a aeração e a atividade biológica (BAYER & MIELNICZUK, 1999).

O solo nos ecossistemas terrestres, constitui o principal reservatório provisório de C, sendo a humificação, agregação e sedimentação, os processos responsáveis pelo sequestro de carbono (MACHADO, 2005). Por outro lado, os processos responsáveis pelas perdas de C no



solo são erosão, decomposição, emissão e lixiviação (LAL., 1997), principalmente das camadas superficiais, que contêm as maiores concentrações de carbono (MACHADO, 2005).

A humificação da matéria orgânica do solo pode ser definida como a transformação de compostos orgânicos identificáveis, por exemplo amido e celulose, em compostos húmicos amorfos. Depois desta transformação, ocorre um enriquecimento de estruturas aromáticas que podem ser estabilizadas em radicais livres do tipo semiquinona, que compõem compostos orgânicos recalcitrantes da MOS (CANELLAS et al., 2007).

O caminho de um ecossistema natural para determinado agroecossistema altera as taxas de adição e decomposição da matéria orgânica no solo, sendo a decomposição intensificada por meio da destruição dos macroagregados (CALONEGO et al. 2012). Promovida principalmente por revolvimento excessivo do solo. Esse processo, expõe a matéria orgânica, o interior do macroagregado, favorecendo a oxidação e a ação microbiana, fazendo com que sua decomposição aumente a emissão de gases ( $\text{CO}_2$ ) contribuindo para o efeito estufa e aquecimento do planeta. O uso do solo, portanto, interfere nos teores de matéria orgânica (ARAÚJO et al., 2007). Em solos arenosos, que possuem poros maiores, há facilidade de acesso da microbiota do solo ao material orgânico, permitindo assim maior oxidação da matéria orgânica e redução nos teores de carbono (BALESDENT, 2000).

É cada vez maior a busca por sistemas de uso e manejo de culturas e uso de plantas de cobertura como a pastagem que promovam o incremento do estoque de C (DAWSON; SMITH, 2007) associados a plantas que forneçam junto o nitrogênio como os adubos verdes.

## **Ciclagem de Carbono**

O carbono (C), assim como outros nutrientes, passa por um ciclo antes de compor a matéria orgânica dos solos. O ciclo do carbono se inicia com o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) contido na atmosfera, em uma concentração de aproximadamente 0,03%. Por meio da fotossíntese realizada pelas plantas, este elemento é retirado da atmosfera e incorporado aos mais diversos componentes da planta, via síntese de compostos orgânicos, que também fazem parte da estrutura dos seres vivos (TAIZ & ZEIGER, 2013).

O carbono fotoassimilado nas plantas pode retornar à atmosfera via processo de respiração ou ser depositado ao solo pela decomposição de resíduos vegetais. Esse elemento também pode retornar à atmosfera por meio da queima destes materiais ou por meio da

combustão de combustíveis fósseis, como gasolina, óleo diesel e gás natural (MACHADO et al., 2012).

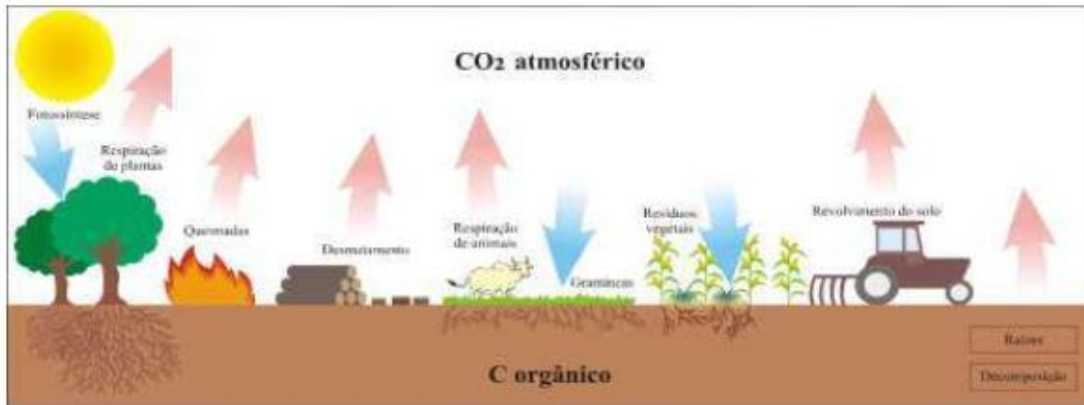
Resumidamente, o ciclo pode ser dividido em três etapas. A primeira fase é de organização do CO<sub>2</sub> atmosférico, realizada, principalmente, pelos vegetais fotossintetizantes, denominada de fase anabólica. Na segunda fase, ocorre a liberação dos produtos fotossintetizados e sua acumulação e estabilização no solo. Na terceira, resulta na mineralização destes produtos, bem como a passagem do CO<sub>2</sub> à atmosfera terrestre (CERRI et al., 1992). Partes da segunda e terceira fases acontecem no solo, originando o ciclo interno do carbono, portanto, merece destaque a atividade da comunidade microbológica presente na área, devido ao fato de que ela atua na realização destas fases, além de equilibrarem a entrada e saída de carbono por meio da respiração edáfica (MACHADO, 2005).

Segundo MACHADO (2005) o processo de decomposição está correlacionado com lixiviação, catabolismo e fragmentação. A lixiviação inicia após o depósito de resíduo vegetal e a solubilização em água. Para o catabolismo transforma complexo orgânico em complexos simples. E por fim, a redução de partículas em pequenos detritos, formando assim, grande área superficial para ação e colonização microbiana.

Esses processos e atividades bioquímicas sofrem bastante alterações, principalmente associadas a cultivos e seus manejos. Tais alterações ocorrem também devido a o tipo de resíduo adicionado ao solo, da seleção de cultivares, da fertilização da área de cultivo, dos procedimentos de colheita e da decomposição do material vegetal (MACHADO, 2005).

Os sistemas conservacionistas em regiões tropicais vêm garantindo acúmulo de matéria orgânica nos solos, uma vez que, além de sequestrar C atmosférico, por proporcionarem maior agregação das partículas do solo, reduzem a oxidação da matéria orgânica do solo (COSTA, et al. 2008). Conseqüentemente, há aumento da estabilização da MOS devido à formação de complexos organominerais e à oclusão de partículas lábeis nos agregados (BAYER et al., 2006b).

O balanço entre as entradas e saídas do carbono orgânico do solo (COS) influencia a concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> (AMUNDSON, 2001; LUTZOW et al., 2006). Para cada tipo de solo, o estoque de carbono varia, em função da entrada e saída de C (SMITH, 2008). A seguir vamos observar o processo complexo e dinâmico do COS (Figura 1).



**Figura 1:** Dinâmica do carbono orgânico em sistemas de manejo do solo.  
 Fonte: Martins, (2017).

A troca de carbono entre o solo e a atmosfera é o resultado de processos naturais e da emissão de gases causados pela ação antrópica (ROSA et al., 2014). O carbono entra no ecossistema natural ou o agroecossistema por meio da fotossíntese, dos quais, na média, metade desse valor é logo liberado como CO<sub>2</sub> pela respiração autotrófica (FERREIRA, 2013; ROSA et al., 2014).

A entrada de C no solo está relacionada principalmente com a produtividade da vegetação natural, medida pela produção primária líquida (NPP) (SMITH, 2008), que varia em função do clima, cobertura e tipo de solo. Uma parte da NPP entra no solo como fração de matéria orgânica, por meio de lixiviados de plantas, exsudatos radiculares ou até mesmo decomposição (JONES et al., 2004), alimentando o substrato para formar o COS (KIRSCHBAUM, 2000). Desta forma, o carbono orgânico adicionado ao solo, a taxa de respiração (raízes e micorrizas) aumentam (HOGBERG et al., 1996), fazendo com que seja maior que a NPP.

Os solos representam um importante componente no ciclo biogeoquímico do carbono, armazenando cerca de quatro vezes mais carbono que a biomassa vegetal e quase três vezes mais que a atmosfera (WATSON, 2001). Estima-se globalmente que o estoque de carbono do solo presente, em relação ao estoque contido na vegetação, uma proporção superior a 4:1 (EAGLE et al., 2012). A atmosfera é responsável por cerca de 760 Pg C, sendo o solo, comparativamente a esse compartimento, responsável por estocar 3,3 vezes mais carbono (LAL, 2008a).

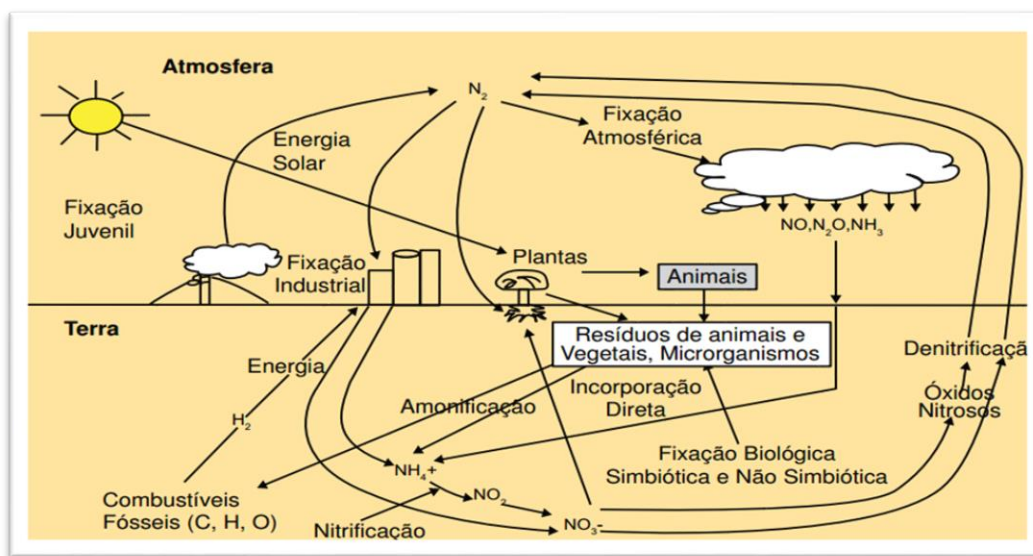
O tipo de solo também tem papel fundamental no processo de estocar carbono. Solos com teores elevado de argila segundo SILVA (2012), apresentam maiores teores de C, devido a capacidade da MOS formar diferentes tipos de ligações com partículas com elevada superfície

específica, tais como, as frações de argila, favorecendo a proteção coloidal da MOS. Por outro lado, solos arenosos com baixo teor de argila e baixa superfície específica, apresentam baixa densidade de carga e baixa ligação com o material orgânico o que resulta em menor teor de carbono (ZINN et al., 2005).

Alterações nos estoques de carbono orgânico geralmente promovem modificações nos estoques de nitrogênio do solo, uma vez que esses elementos apresentam dinâmica semelhante e possuem relação direta com os diferentes manejos e usos aplicados ao solo (CARDOSO et al., 2010).

### Ciclagem de Nitrogênio

O nitrogênio (N) está envolvido com a produção de novas células, tecidos, síntese de proteínas e outros compostos orgânicos e, conseqüentemente, tem influência no desenvolvimento das culturas (PEREIRA et al., 1981). A elevada exigência das plantas em N o caracteriza como um dos elementos mais limitantes a produtividade. A fonte primária de N para o sistema solo-planta é a atmosfera, sendo sua dinâmica no sistema solo-planta-atmosfera bastante complexa e envolve vários processos, como representados na Figura 2.



**Figura 2:** Ciclo do Nitrogênio. Fonte: GOMES et al. (2000).

A primeira etapa do ciclo do N é a fixação. É o processo pelo qual o N atmosférico é convertido em formas que a planta consegue utilizar. Há a fixação espontânea – descarga

elétricas, a fixação industrial – adubos nitrogenados produzidos pelas empresas, e a fixação biológica – é a transformação desse N atmosférico pelas bactérias fixadoras.

Amonificação é o processo realizado por bactérias denominado também de mineralização deste nitrogênio fixado (formas orgânicas) para formas inorgânicas disponíveis para as plantas. Neste processo estão envolvidos microrganismos heterotróficos, aeróbicos e anaeróbicos, que por sua vez, utilizam resíduos vegetais como fontes de carbono, N e energia.

Nitrificação é o termo usado para descrever a etapa, em que a amônia é oxidada a nitrito e o nitrito é oxidado a nitrato (METCALF & EDDY, 2003). Essa etapa se baseia na oxidação biológica do nitrogênio amoniacal por parte das AOB e NOB. Esse grupo de bactérias se caracteriza por obter sua energia para crescer da oxidação de compostos inorgânicos ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_2^-$ ), utilizar o carbono inorgânico ( $\text{CO}_2$ ) como fonte de carbono e o oxigênio ( $\text{O}_2$ ) como acceptor de elétrons (BELTRAN, 2008).

Desnitrificação é a remoção biológica do nitrato a óxido nítrico, óxido nitroso e gás nitrogênio (METCALF & EDDY, 2003). É um processo respiratório anóxico, realizado por bactérias heterotróficas. Os gêneros mais representativos incluem *Alcaligenes*, *Paracoccus*, *Pseudomonas*, *Thiobacillus* e *Thiosphaera* (CIUDAD, 2007). A capacidade de desnitrificar está relacionada com a quantidade de substrato biodegradável presente (relação carbono orgânico/nitrogênio) (LIU et al. 2010a).

Do mesmo modo que o C, 90% do nitrogênio no solo está ligado à fração argila que está diretamente ligado à matéria orgânica do solo. As formas de absorção pela planta do N (amônio e nitrato) também são importantes na dinâmica deste elemento (D'ANDRÉA et al., 2004). Trabalhos segundo (D'ANDRÉA et al., 2004) sobre diferentes sistemas de manejo não mostrou diferença no SPD, SPC e pastagens em relação ao estoque de nitrogênio.

Uma alternativa de entrada de nitrogênio no sistema solo-planta-atmosfera é a fixação biológica de nitrogênio (FBN). É uma alternativa tecnológica para aumentar a produtividade agropecuária e, não menos importante, minimizar a emissão dos gases do efeito estufa (GEE), contribuindo para mitigar os efeitos no clima. Um dos problemas na agricultura que contribui a emissão de GEE envolve a produção de fertilizantes nitrogenados pela indústria, que utiliza o gás natural (Petróleo – combustível fóssil – fontes energéticas não-renováveis) (HUNGRIA et al., 2001) resultado na emissão de  $\text{CO}_2$ , um dos gases que contribui para esse efeito. Como consequência, as emissões de  $\text{CO}_2$  a partir de fertilizantes sintéticos cresceram em média 3,9% ao ano, entre 1961 e 2010, em valores absolutos (ANPII., 2013).

A FBN é um processo biológico mediado por procariotos (bactérias) que possuem um complexo enzimático denominado nitrogenase. Nela, ocorre a transformação do nitrogênio do ar (N<sub>2</sub>) – forma quimicamente estável do nitrogênio (N) – em amônia e seus derivados estruturas assimiláveis por outros organismos, especialmente pelos vegetais.

O tipo mais comum de associação ocorre entre as espécies da família Leguminosae e as bactérias de solo dos gêneros *Azorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Photorhizobium*, *Rizobium* e *Sinorhizobium* (denominados de rizóbios). Essa relação entre a leguminosa e a bactéria é uma relação simbiótica, relação de troca entre as partes, a bactéria fornece o N e a leguminosa por sua vez, disponibiliza carboidratos obtidos na fotossíntese (ANPIL., 2013). A FBN também pode ocorrer em plantas não-leguminosas, nas quais as bactérias fixadoras, chamadas microrganismos endofíticos facultativos, atuam no interior das raízes das culturas. Tal situação é observada na cana-de-açúcar, cereais e algumas gramíneas forrageiras. Em culturas como essas citadas, recomenda-se o cultivo em consórcio com culturas mais eficientes na fixação simbiótica ou mesmo a realização de adubação verde antes do cultivo da cultura de interesse comercial (BALDANI & BALDANI, 2005).

### **Consórcio de gramínea e adubos verdes**

Um dos conceitos mais amplos e que mais se aplica nos dias atuais de adubação verde é a utilização em rotação, sucessão ou consorciação com as culturas, incorporando-as ao solo ou deixando-as na superfície, visando à proteção superficial bem como a manutenção e melhoria das características químicas, físicas e biológicas do solo (FERREIRA et al., 2012). Eventualmente, partes das plantas utilizadas como adubos verdes poderiam ter outras destinações como, por exemplo, produção de sementes, fibras, alimentação animal, etc. (COSTA, 1992).

Esse conceito condiz com uma visão integral, que atenda às demandas do solo (proteção e recuperação física, química e biológica), dos animais (forragens), para o homem (alimentação, fibras) e para o meio ambiente como um todo (diminuição dos impactados ambientais da agricultura e o sequestro de carbono – C).

Dentre os efeitos benéficos da adubação verde incluem-se: o aumentar o teor de matéria orgânica; diminuir índices de erosão, protegendo o solo de chuvas fortes; aumentar a retenção de água no solo; recuperar solos degradados e compactados; diminuir a perda de nutrientes, como o nitrogênio e reduzir a quantidade de plantas invasoras (LIMA & MENEZES, 2010).

As modalidades de plantio dos adubos verdes podem ser definidas de acordo com critérios, tais como: época de semeadura, ciclo das espécies e sistema de cultivo dos adubos verdes. Sendo então, esses três critérios muito importantes para o estabelecimento e condução das espécies (FILHO et al., 2014). A associação de espécies vegetais por meio de rotação, sucessão, consórcio de culturas e Integração Lavoura Pecuária, incluindo os adubos verdes, aumenta diversidade de espécies, quantidade e a qualidade de resíduos e matéria orgânica (FILHO et al., 2014).

A consorciação de culturas é caracterizada pela maximização de espaço mediante o cultivo simultâneo, num mesmo local de plantio de duas ou mais espécies para aumentar o rendimento, enriquecer a vida biológica do solo e protegê-lo contra a erosão (PEIXOTO et al. 2001), aproveitando as diferentes características quanto relacionadas à sua arquitetura vegetal, hábitos de crescimento e fisiologia vegetal.

Em um consórcio entre gramínea e leguminosa, a adubação verde tem grande vantagem na produção de biomassa (verde e/ou seca) com aporte de carbono e de nitrogênio. Neste sentido, esse sistema torna-se fundamental para a região de Cerrado, pois ela promove proteção, melhoria e manutenção da qualidade do solo, além de aumentos consideráveis dos teores de matéria orgânica e nutrientes (CARVALHO et al., 1999; LEITE et al., 2010).

Para que a associação de plantas para a cobertura do solo seja recomendável e benéfica, precisam ser usadas: plantas de decomposição rápida associadas a espécies com decomposição mais lenta, plantas de hábitos ereto e com capacidade limitada de cobertura do solo associadas com rasteiro ou rasteiro-trepador que cubra bem o solo (MONEGAT 1991).

A gramínea na associação fornece o carbono – C, parte importante na formação de matéria orgânica dos solos, pois seu cultivo aumenta a relação carbono/nitrogênio (C/N), proporciona um período maior de cobertura do solo, devido à sua decomposição mais lenta (SOMBROEK et al., 1993; BATIES, 1996; CERETA et al., 2002). A quantidade e qualidade de matéria orgânica, promove a permanência e multiplicação de microrganismos benéficos ao solo (LOURENTE et al., 2010; MAIA & PARRON, 2015).

O teor de matéria orgânica presente no solo, bem como a quantidade e qualidade dos resíduos vegetais adicionados a ele, juntamente com a utilização de práticas de manejo adequadas, influenciam e propiciam incrementos na concentração e na atividade microbiota do solo (GAMA-RODRIGUES et al., 2005; VENZKE FILHO et al., 2008).

A leguminosa na associação fornece o nitrogênio – N, parte não menos importante no processo de formação da matéria orgânica nos solos tropicais. Devido à capacidade das

bactérias dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* de fixar nitrogênio atmosférico (N<sub>2</sub>) em associação com as leguminosas, essas plantas podem substituir os adubos minerais e/ou diminuir o fornecimento de N para cultura de interesse comercial (SMYTH et al., 1991).

Dentre as alternativas que permitem aliar as características desejáveis destas duas espécies (gramíneas e leguminosas), destaca-se a consorciação. As principais vantagens desta prática em relação ao cultivo isolado, são: (a) maior incremento de matéria seca e maior acúmulo de nutrientes; (b) a gramínea no consórcio tem maior demanda de N disponível do solo e assim estimulará a fixação biológica de N<sub>2</sub> pela leguminosa; (c) a água e os nutrientes do solo podem ser mais eficientemente utilizados mediante a exploração de diferentes volumes de solo por sistemas radiculares com distribuição e profundidades distintas, e (d) a presença de gramíneas na mistura com leguminosas adiciona ao solo uma fitomassa com relação C/N intermediária àquelas das culturas isoladas, proporcionando, proteção do solo e fornecimento de N à cultura em sucessão (HEINRICHS et al., 2001).

### **Sorgo Biomassa** (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)

O sorgo pertence à família Poaceae, gênero *Sorghum* e espécie *Sorghum bicolor* (L.) Moench. O sorgo é uma planta C<sub>4</sub>, com elevada capacidade de produção de biomassa. Provavelmente foi introduzido no Brasil no século XX pela região nordeste (RIBAS, 2014). No Brasil a estimativa de produção de sorgo para a safra 19/20 é cerca de 835,4 mil ha de área cultivada, com a produtividade média de 2.991 kg ha<sup>-1</sup> (Companhia Nacional de Abastecimento CONAB, 2021).

Considerado como o quinto cereal mais cultivado atualmente no mundo, seus grãos são empregados tanto na alimentação animal quanto como matéria prima para produção de álcool anidro, bebidas alcoólicas, tintas e vassouras (RIBAS, 2003; YAGI, 2006; ANTUNES et al., 2007; MARTINS et al., 2016).

Encontram-se hoje seis tipos diferentes de sorgo e com diferentes finalidades, sendo eles: granífero (produção de grãos), silageiro ou forrageiro (produção de forragem), pastejo (pastejo de bovinos), vassoura (produção de vassouras), biomassa (produção de energia) e sacarino (produção de etanol e forragem) (MAY et al., 2013).

O sorgo ganhou destaque na agropecuária nacional por ser uma cultura versátil, apresenta alta tolerância a solos de baixa fertilidade, déficits hídricos e a estresses ambientais (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária EMBRAPA, 2010). Entretanto, o sorgo



responde bem ao suprimento de água e, em potencial, à adubação, podendo ultrapassar produtividades de grãos e matéria seca obtidas pela cultura do milho (RESENDE et al., 2009). Além disso, o sorgo biomassa é vigoroso, resistente a pragas, a doenças e apresenta boa tolerância ao acamamento (TORRES, 2013).

O sorgo biomassa vem se destacando no cenário brasileiro por apresentar alta produtividade com potencial para produzir mais de 50 t ha<sup>-1</sup> de massa seca por ciclo, grande quantidade de massa verde, porte alto e colmo fibroso em ciclo de apenas 6 meses (EMBRAPA, 2014). Somando-se a isso, o sorgo biomassa é propagado por sementes, gerando custo operacional menor, levando vantagens a outras alternativas.

Além disso, possui a particularidade de ser mais sensível ao fotoperíodo, o que possibilita a ampliação do ciclo vegetativo e, concomitantemente aumenta a produção de biomassa por hectare/ciclo em comparação com as cultivares insensíveis ao fotoperíodo (PARRELLA et al., 2010; PEREIRA et al., 2012).

Por ser uma planta sensível ao fotoperíodo, quando o sorgo biomassa é semeado entre os meses de outubro a dezembro, em que o fotoperíodo é maior que 12 horas e 20 minutos, o desenvolvimento da gema floral apenas iniciará a partir de 21 de março do ano seguinte, ampliando o ciclo vegetativo e o porte e, simultaneamente, possibilitando maior produção de biomassa por hectare/ciclo (MAY, et al. 2013).

### **Mucuna-preta** (*Mucuna aterrima*, sin. *Stizolobium aterrimum* Piper & Tracy)

A Mucuna-preta, leguminosa anual ou bianual de primavera-verão, possui grande adaptação às condições de deficiências hídrica e altas temperaturas. Ademais, é uma planta rústica com crescimento inicial rápido, apresenta bom controle de nematóides da galha e cisto, ser uma má hospedeira dos mesmos, e é uma planta que apresenta bom controle de plantas daninhas (MATEUS e WUTKE, 2006).

Desenvolve-se bem tanto em regiões tropicais quanto em regiões subtropicais, com invernos sem ocorrência de geadas e são bem resistentes à seca. Pode ser plantada em solos arenosos, argilosos e intermediários e também possui alta resistência a solos ácidos (CALEGARI, 1993). Segundo WUTKE et al. (2014), a Mucuna-preta possui alta capacidade de fixar nitrogênio e de ciclagem de outros nutrientes.

### **Feijão-guandu** (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.)

O feijão-guandu é uma leguminosa de primavera-verão de porte alto e de ciclo semi-perene, de crescimento lento, com temperatura adequada de desenvolvimento entre 18 e 30°C (WUTKE et al., 2014). A espécie possui uma flor com estrutura característica de autofecundação, contudo a presença de agentes polinizadores como as abelhas aumenta em 97,9% a produção de suas vagens e sementes (CRUZ-GARCIA & PRICE, 2011). É uma planta muito rústica com sistema radicular agressivo o que auxilia na descompactação de solos mais adensados.

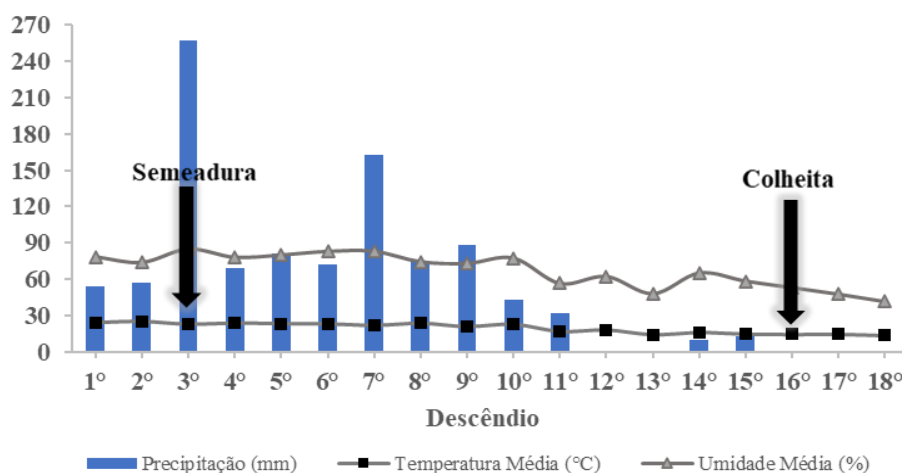
E, constitui uma excelente alternativa para alimentação animal, inclusive fornecendo forragem rica no período seco do ano (PIRAÍ SEMENTES, 2020). No Brasil, recebe nomes como: feijão-andu, guandeiro, guando ou andu (MIZUBUTI et al., 2000).

No cerrado, o feijão guandu têm potencial para cultivo em consórcio com culturas anuais, com boa adaptação em solos argilosos, com a vantagem primordial de fixar o N<sub>2</sub> atmosférico e assim, aumentar o nutriente no solo e diminuir o uso dos fertilizantes químicos (BALBINO et al., 2011).

A espécie já foi utilizada como banco de proteína e, atualmente, vem sendo utilizada na recuperação de pastagens degradadas, em que pode ser estabelecida em monocultivo ou em consórcio com culturas anuais (BALBINO et al., 2011), tanto para pastejo direto, quanto para produção de silagem.

## Material e Métodos

Os experimentos foram realizados no campo experimental da Embrapa Milho e Sorgo (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), localizada no estado de Minas Gerais, no município de Sete Lagoas, com as coordenadas 19°28'S de latitude, 44°15'08''W de longitude e altitude de 732 metros (m). O clima da região segundo a classificação de Köppen é do tipo Aw, típico de savana, com inverno seco e com precipitação média anual de 1300 mm e temperatura média de 22,1 °C. Os dados climáticos durante o período experimental (temperatura média, precipitação total e umidade relativa) se encontram na Figura 3.



**Figura 3:** Valores por descêndio de temperatura média (°C), precipitação total (mm) e umidade relativa média (%) em Sete Lagoas MG no período experimental (31/janeiro/2020 a 01/junho/2020). Fontes: INMET - Instituto Nacional de Meteorologia; Embrapa Milho e Sorgo, 2020.

Os experimentos foram conduzidos no verão de 2020 (2ª safra), sendo utilizadas no preparo do solo da área do experimental uma grade aradora, uma grade niveladora. A sementeira foi realizada no dia 31/01/2020. Um dia antes da sementeira foi utilizado sulcador para marcação das linhas de plantio para semente manual das leguminosas.

O solo da área em estudo é um Latossolo vermelho distrófico (LVd) de textura argilosa, sob o bioma de Cerrado. Sendo as características químicas deste solo apresentado na tabela 1.

**Tabela 1.** Características químicas do solo na camada 0-20 cm do experimento, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas - MG, 2020.

pH	M.O.	Al	H+Al	P	K	Ca	Mg	SB	CTC	Sat. Al	V
H <sub>2</sub> O	dag kg <sup>-1</sup>	---- cmol/dm <sup>3</sup> ---		----- mg/dm <sup>3</sup> -----		----- cmolc/dm <sup>3</sup> -----				----- % -----	
5,8	2,06	1,86	8	2,081	59	1,46	0,62	2,23	10,23	45,4	21,8

P e K: extraídos com solução de Mehlich<sup>-1</sup>; Ca e Mg: extraídos com KCL 1 mol L<sup>-1</sup>; pH em água; CTC a pH 7,0.

Os experimentos foram implantados em dois sistemas de cultivo, envolvendo consórcio de Sorgo biomassa x Mucuna-preta e Sorgo biomassa x Feijão-guandu, distribuídos em dois arranjos (arranjo 1 – A1 - duas linhas de sorgo e uma de leguminosa e arranjo 2 – A2 - uma linha de sorgo e uma linha de leguminosa, alternadas) e cinco densidades de leguminosa. As densidades foram 0, 4, 8, 12 e 16 plantas  $m^{-1}$  linear. Foi utilizado delineamento experimental de blocos casualizados, com três repetições, em parcelas subdivididas, sendo arranjo nas parcelas e densidade de leguminosa nas subparcelas, totalizando 30 parcelas para as avaliações para cada experimento.

As parcelas do A1 foram constituídas de 6 linhas com 6 metros de comprimento e 0,5 m de espaçamento entre linhas, ou seja, 4 linhas de sorgo e 2 linhas de leguminosa, totalizando 18  $m^2$  cada parcela. Para o A2 foi constituída de 8 linhas com 6 metros e comprimento e 0,5 metros de espaçamento entre linhas, ou seja, 4 linhas de sorgo e 4 linhas de leguminosa, totalizando 24  $m^2$  cada parcela. Sendo que ao longo do experimento para cada arranjo foi semeado duas linhas sorgo biomassa a mais para as faixas de bordadura.

Nos experimentos 1 e 2, para a cultura do sorgo foram semeadas 6 sementes por metro com 0,5 m entre linhas, totalizando uma população de 80000 plantas  $ha^{-1}$  para o arranjo 1. Para o arranjo 2 com as mesmas quantidades de semente por metro e espaçamentos entre linhas, totalizou-se uma população de 60000 plantas por  $ha^{-1}$ . Já para as leguminosas as densidades testadas para o arranjo 1 foram: densidade 0 corresponde a 0 plantas  $ha^{-1}$ , densidade 4 são 26664 plantas  $ha^{-1}$ , densidade 8 são 53328 plantas  $ha^{-1}$ , densidade 12 são 79992 plantas  $ha^{-1}$  e por fim densidade 16 corresponde a 106656 plantas  $ha^{-1}$ . Para as leguminosas as densidades testadas para o arranjo 2 foram: densidade 0 corresponde a 0 plantas  $ha^{-1}$ , densidade 4 são 40000 plantas  $ha^{-1}$ , densidade 8 são 80000 plantas  $ha^{-1}$ , densidade 12 são 120000 plantas  $ha^{-1}$  e por fim densidade 16 corresponde a 160000 plantas  $ha^{-1}$ . Com semeadura realizada no mesmo dia.

A cultivar de sorgo biomassa utilizada foi o BRS 716 um híbrido da Embrapa Milho e Sorgo juntamente com as leguminosas da cultivar Feijão guandu IAC Fava-larga, Guandu-fava-larga(forageiro) e a Mucuna preta da cultivar Comum, categoria S-2. A semeadura foi realizada no dia 31 de janeiro de 2020, com emergência do sorgo quatro dias após a semeadura (DAS) e as leguminosas com cinco DAS.

A adubação de plantio foi constituída de 400  $kg ha^{-1}$  da formulação 08-28-16 na área total. A adubação nitrogenada em cobertura do sorgo biomassa foi efetuada aos 30 dias após emergência (DAE), aplicando-se 120  $kg ha^{-1}$  de ureia (46% de N). Para o controle de plantas

daninhas foi realizado capina manual entre os dias 13/03 à 16/03/2020 nas entrelinhas do sorgo. Os demais tratos culturais foram realizados de acordo com a recomendação para as culturas.

No florescimento (100 DAE) foi realizada a colheita das plantas e determinados a produtividade de biomassa, teores de carbono e nitrogênio na parte aérea das plantas. A avaliação neste estágio é importante porque no florescimento do sorgo tem-se o máximo potencial dessa espécie como planta de cobertura do solo em Sistema Plantio Direto. Para amostragem as plantas foram cortadas manualmente e rente ao solo. A parcela útil para o sorgo foi composta 2 linhas centrais com 2 metros de comprimento cada, correspondendo a área amostrada colhida foi de 2 m<sup>2</sup>. Para as leguminosas do A1 foram amostradas as 2 linhas com 2 metros de comprimento cada, totalizando 2m<sup>2</sup>, sendo que para o A2 foram amostradas o mesmo valor só que das 4 linhas centrais. Com isso, foi constituída a área útil para procedimento dos cálculos do A1 como sendo 15 m<sup>2</sup> e para A2 com 20 m<sup>2</sup>.

Antes da colheita foi contado o número de plantas para definição do estande. O material vegetal colhido da parcela útil foi pesado e os valores obtidos, transformados em kg ha<sup>-1</sup> para a obtenção da massa verde (MV) da parte aérea das culturas. Em seguida o material foi triturado e homogeneizados, sendo retiradas e pesadas amostras de cerca de 450 gramas para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65°C até se atingir o peso constante, para quantificar a percentagem da massa seca (%MS) e a massa seca em kg ha<sup>-1</sup> (MS).

Após a secagem do material vegetal das culturas, as amostras foram moídas em moinho de facas do tipo Willey SL-31 com uma peneira de 1 mm de espessura. Logo após, o material foi colocado em potes e enviados para o laboratório para análise de teores de carbono e nitrogênio. Por fim, foi calculado o aporte de carbono (Aporte C) e o de nitrogênio (Aporte N), transformados em kg ha<sup>-1</sup>.

A Seguir a descrição das metodologias para obtenção das características avaliadas:

1. Número de plantas (Npl): contagem do número de plantas por metro linear.
2. Massa Verde (MV): pesagem das plantas colhidas na área útil da parcela, em balanças tipo dinamômetro. Os valores obtidos foram expressos em t ha<sup>-1</sup>.
3. Massa Verde da Amostra (MVA): amostras picadas das plantas colhidas na área útil da parcela, em uma ensiladeira estacionária e homogeneizados e pesados em balança analítica com aproximadamente 450 gramas. Valores obtidos expresso em kg.
4. Massa Seca da Amostra (MSA): secagem de amostras de cerca de 450 gramas do material verde em estufa com ventilação de ar a 65°C até o peso constante, transformadas em kg.

5. Percentagem de Massa Seca (%MS): pré-secagem de amostras de cerca de 450 gramas do material fresco em estufa com ventilação forçada de ar a 65°C até peso constante, e pesagem em balança analítica. O peso resultante, com base na massa verde obtida, foi multiplicado por 100 e o resultado expresso em porcentagem;  

$$\text{MTS (\%)} = (\text{MSA (kg)} / \text{MVA (kg)}) * 100$$
6. Massa Seca (MS): é a multiplicação da massa verde de plantas colhidas na área útil da parcela e transformada em t ha<sup>-1</sup> com a percentagem da massa seca.  

$$\text{MS (kg/ha)} = (\% \text{MTS} * \text{MV (kg)}) / 100$$
7. Teor de Carbono (Teor C): à análise de teor de carbono segundo método por combustão seca, em analisador elementar – LECO modelo CHN 600 da Embrapa 1997.
8. Teor de Nitrogênio (Teor N): a análise de teor de nitrogênio segundo método Kjeldahl por câmara de difusão da Embrapa 1997.
9. Acúmulo de Carbono (Acúmulo C): o acúmulo de carbono foi obtido pelo produto da massa seca com o teor de carbono, expresso em kg ha<sup>-1</sup>.
10. Acúmulo de Nitrogênio (Acúmulo N): o acúmulo de nitrogênio foi obtido pelo produto da massa seca com o teor de nitrogênio, expresso em kg ha<sup>-1</sup>.
11. Aporte de Carbono (Aporte C): foi obtido pela somatória do total de carbono do sorgo biomassa com o total de carbono da leguminosa, expresso em kg ha<sup>-1</sup>.
12. Aporte de Nitrogênio (Aporte N): foi obtido pela somatória do total de nitrogênio do sorgo biomassa com o total de nitrogênio da leguminosa, expresso em kg ha<sup>-1</sup>.

Os resultados foram submetidos à análise de variância, e quando ocorreram diferenças significativas, identificadas pelo teste F (P<0,05), foi realizada a comparação de média pelo teste Tukey (P<0,05) e foram ajustados modelos de regressão com o auxílio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2003). Os modelos para ajuste das equações foram escolhidos com base na significância dos parâmetros.

## Resultados e discussão

O resumo das análises de variância para o Sorgo Biomassa, do experimento 1 (consórcio: Sorgo biomassa (BRS 716+ Feijão-guandu (IAC Fava-larga) para as características massa verde (MV), massa seca (MS), total de carbono (T CS), total de nitrogênio (T NS) e aporte de carbono (AC S+F) em função de dois sistemas de produção e diferentes densidades de leguminosas, está apresentado na tabela 2.

**Tabela 2:** Resumo das análises de variância para o Sorgo Biomassa (BRS 716), submetidos a dois sistemas de cultivo (A1 - 2:1 e A2 - 1:1) e cinco densidades de leguminosa (0, 4, 8, 12, 16 plantas m<sup>-1</sup>) para massa verde (MV) e massa seca (MV), em t ha<sup>-1</sup>, total de carbono (T CS) em kg ha<sup>-1</sup>, total de nitrogênio (T NS) em kg ha<sup>-1</sup>, aporte de carbono de sorgo + feijão (AC S+F), em kg ha<sup>-1</sup>. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas - MG, 2020.

FV	GL	QM				
		MV	MS	T CS	T NS	AC S+F
Bloco	2	61342814,98	3010300,35	765160,34	1960,78	734281,49
Arr (A)	1	1,0574192e^0009**	17205776,18 <sup>NS</sup>	4840983,18 <sup>NS</sup>	14782,03*	680646,75 <sup>NS</sup>
Erro1	2	3435703,69	2919263,45	960354,90	79,84	896373,29
Dens (D)	4	17438190,88 <sup>NS</sup>	531179,04 <sup>NS</sup>	169365,01 <sup>NS</sup>	1096,78 <sup>NS</sup>	2406424,34 <sup>NS</sup>
A*D	4	50205246,46 <sup>NS</sup>	2699361,29 <sup>NS</sup>	765028,42 <sup>NS</sup>	1643,75 <sup>NS</sup>	647874,88 <sup>NS</sup>
Erro2	16	53761241,36	6701791,72	2065928,84	1923,02	2094940,48
Total	29					
CV1 (%)		4,01	12,17	12,83	5,65	11,07
CV2 (%)		15,86	18,44	18,82	27,72	16,92
Média		46,238	14,037	7636,491	158,189	8552,486
Geral						

\*\* Significativo (P<0,01); \* Significativo (P<0,05); <sup>NS</sup> Não significativo (P>0,05)

Observa-se que houve efeito significativo do fator arranjo apenas para a produção de massa verde e para o acúmulo de nitrogênio da planta.

A massa verde do sorgo biomassa apresentou valor médio entre os tratamentos de 46,24 t ha<sup>-1</sup>, variando entre 36,76 t ha<sup>-1</sup> a 57,13 t ha<sup>-1</sup>, sendo que o arranjo de melhor desempenho foi o A1 com produtividade de massa verde de 52,17 t ha<sup>-1</sup> como mostra a tabela 3. Muito provavelmente essa menor produtividade ocorreu pelo atraso na semeadura.

**Tabela 3:** Massa verde (MV), massa seca (MS), total de carbono (T CS) e total de nitrogênio (T NS) na parte aérea do sorgo biomassa BRS 716.

Tratamentos	MV	MS	T CS	T NS
	t ha <sup>-1</sup>		kg ha <sup>-1</sup>	
A1 - 2:1	52,17 a	14,79 a	8038,19 a	180,38 a
A2 - 1:1	40,30 b	13,27 a	7234,78 a	135,99 b

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey (P<0,05).

Em trabalho de LANZA (2017), em monocultivo na safra, com o mesmo cultivar de sorgo desta pesquisa a produtividade média de massa verde em seis épocas diferentes de corte foi de 91,35 t ha<sup>-1</sup>. CASTRO (2014) verificou que a produção de massa verde dos híbridos de sorgos avaliados variou de 49,70 a 125,89 toneladas por hectare. A maioria das produtividades citadas anteriormente são maiores do que as observadas neste trabalho, já que foi no monocultivo. Isso, provavelmente, se deve às condições climáticas durante a condução do experimento, onde se observou baixa precipitação no final do ciclo e inadequada distribuição de chuvas. E também por ser menor a população (densidade) desta cultura, quando comparado a cultivo solteiro.

Para OLSON et al. (2012), maior acúmulo de biomassa em híbridos de sorgo pode ser explicado pelo maior período vegetativo (sensível ao fotoperíodo), maior índice de área foliar, maior interceptação e aproveitamento eficiente de radiação (planta C4). O que confirma o alto potencial de produção de massa verde dessa espécie. A época de semeadura é muito importante quando se fala de produção de massa verde, pois está ligada ao desenvolvimento vegetativo da planta de sorgo. Quando mais tardia for a semeadura, menor o rendimento de matéria verde, ou seja, pois nesta condição ocorre a diminuição da disponibilidade de água no solo, da temperatura e de insolação, principalmente no estágio de maturação das plantas.

A matéria seca contém a matéria orgânica e inorgânica, que são componentes importantes para uma melhor cobertura do solo, aumento da matéria orgânica e para o desenvolvimento animal.

A produção de massa seca do sorgo biomassa na média 14,03 t ha<sup>-1</sup>, variando entre 12,38 a 15,93 t ha<sup>-1</sup>. LANZA (2017), verifico a produtividade média de massa seca em seis épocas de corte avaliadas de 28,37 t ha<sup>-1</sup>. Dados apresentados por SANTOS et al. (2014), com dois materiais de sorgo biomassa, mostraram média de produtividade de 20,74 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca na safra 2011-12. Segundo CALVO et al. (2010) em cultivo de sorgo solteiro verificou-se uma produtividade massa seca de 7,08 t ha<sup>-1</sup> aos 90 dias após a semeadura, com uma média de corte de 3,95 kg ha<sup>-1</sup>.

Com a baixa produtividade da massa verde, a não reposta significativa dos tratamentos para massa seca e somado a isso o atraso no plantio não se alcançou uma melhor produtividade. Para MATEUS et al. (2005) que estudaram o efeito da época de semeadura, e também constataram antecipação dos estágios de desenvolvimento da planta, à medida que houve atraso



na semeadura, e que semeaduras tardias, reduzem o desenvolvimento da planta e tem como consequência menor produção.

O acúmulo de carbono na parte aérea do sorgo biomassa foi em média 54,38 dag kg<sup>-1</sup>, variando entre 54,06 a 54,74 dag kg<sup>-1</sup>. O acúmulo de nitrogênio na parte aérea do sorgo biomassa foi em média 1,12 dag kg<sup>-1</sup>, variando entre 0,95 a 1,12 dag kg<sup>-1</sup>. Essas duas variáveis resposta não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos.

O total de carbono ou conteúdo, na planta de sorgo biomassa apresentou uma média entre os tratamentos de 7.636,49 kg ha<sup>-1</sup>, variando entre 6.762,75 a 8.626,50 kg ha<sup>-1</sup>. Também não mostrou diferença significativa entre os tratamentos realizados.

O total de nitrogênio na parte aérea do sorgo biomassa foi em média de 158,18 kg ha<sup>-1</sup>, variando entre 127,54 a 223,01 kg ha<sup>-1</sup>. sendo que o arranjo 1 (A1 – 2:1) apresentou melhor desempenho, resultando em valor de 180,38 kg ha<sup>-1</sup> N acumulado na planta, como já apresentado na tabela 2. Segundo ALMEIDA et al. (2011), apenas o milho em cultivo solteiro apresentou menor quantidade de N acumulado, quando comparados aos demais tratamentos, que independentemente da forma de cultivo, acumularam quantidades superiores a 110,0 kg ha<sup>-1</sup> de N. Neste trabalho as médias entre os tratamentos foram superiores ao encontrado por ALMEIDA et al. (2011). Nesta variável resposta o presente trabalho apresenta uma boa acumulação deste nutriente, proveniente da adubação realizada e o manejo.

O aporte de carbono do consórcio de Sorgo Biomassa e Feijão-guandu apresentou-se uma média geral de produção de 8,55 t ha<sup>-1</sup>, variando entre 7,20 a 9,50 t ha<sup>-1</sup>. A média geral de produção de massa seca presente neste trabalho foi 8,55 t ha<sup>-1</sup>, superior as 6,0 t ha<sup>-1</sup>, citadas por DENARDIN & KOHHANN (1993), como sendo a quantidade mínima ideal de adição de matéria seca em um sistema de rotação de culturas, de maneira que se mantenha adequada a cobertura do solo.

Ressalta-se a importância do fator ambiental para as variáveis avaliadas, aumentando o carbono há aumento da matéria orgânica do solo, pois é constituída em média por 58% de carbono. Maior teor de MO no solo reduz, perdas por processos como a lixiviação, o carreamento de partículas por erosão e outros, processos esses que resultam em perdas na qualidade dos solos, sobretudo em ambientes tropicais com solos em algum nível de degradação.

Para o aporte de carbono do consórcio sorgo biomassa x feijão-guandu não houve efeito dos arranjos testados, e os resultados obtidos ficaram acima do mínimo ideal de massa seca

para manter uma boa cobertura do solo (6 t ha<sup>-1</sup>), favorecendo a adição de carbono ao sistema solo.

O resumo das análises de variância para o Feijão-guandu, do experimento 1 (consórcio: Sorgo biomassa (BRS 716+ Feijão-guandu (IAC Fava-larga) para as características massa verde (MV), massa seca (MS), acúmulo de carbono (A CS), acúmulo de nitrogênio (A NS) e aporte de nitrogênio (AN S+F) em função de dois sistemas de produção e diferentes densidades de leguminosas, está apresentado na tabela 4.

Houve efeito significativo da interação nas seguintes variáveis: massa verde, massa seca, acúmulo de carbono e acúmulo de nitrogênio do feijão-guandu (Tabela 4).

**Tabela 4:** Resumo das análises de variância para o Feijão-guandu (IAC Fava-larga), submetidos a dois sistemas de cultivo (A1 - 2:1 e A2 - 1:1) e cinco densidades de leguminosa (0, 4, 8, 12, 16 plantas m<sup>-1</sup>) para de massa verde (MV) e massa seca (MSF), em t ha<sup>-1</sup>, total de carbono (T CF) em kg ha<sup>-1</sup>, total de nitrogênio (T NF) em kg ha<sup>-1</sup>, aporte de carbono de sorgo + feijão (AC S+F), em kg ha<sup>-1</sup>. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas - MG, 2020.

FV	GL	QM				
		MVF	MSF	T CF	T NF	AN S+F
Bloco	2	67793,973	6101,082	2578,223	3,456	1830,484
Arr (A)	1	26445370,245**	6295868,674*	1891203,305**	4141,168**	3239,820**
Erro1	2	31210,647	12949,226	4113,723	26,398	19,497
Den (D)	4	46072549,882**	6498906,415**	1902546,894**	4798,868**	2198,386 <sup>NS</sup>
A*D	4	3259577,502**	655941,622**	196855,389**	377,959**	3427,477 <sup>NS</sup>
Erro2	16	156817,130	18442,557	5983,711	23,883	1961,420
Total	29					
CV1 (%)		3,99	6,72	7,00	11,07	2,16
CV2 (%)		8,94	8,02	8,44	10,53	21,65
Média Geral		4,431	1,692	915,994	46,401	204,590

\*\* Significativo (P<0,01); \* Significativo (P<0,05); NS Não significativo (P>0,05)

A massa verde do feijão-guandu apresentou a média entre os tratamentos de 4,431 t ha<sup>-1</sup>, oscilando entre 3,183 t ha<sup>-1</sup> a 8,833 t ha<sup>-1</sup>, sendo que o arranjo 2 (A2) de melhor desempenho com a média 5,370 t ha<sup>-1</sup> representado na tabela 5. A massa seca do feijão-guandu apresentou média entre os tratamentos de 1,692 t ha<sup>-1</sup>, oscilando entre 1,178 a 3,504 t ha<sup>-1</sup>, seguindo o mesmo padrão da massa verde, com melhor resultado do arranjo 2 com média 2,150 t ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 5:** Valores médios do consórcio para produção massa verde (MV) em t ha<sup>-1</sup>, produção massa seca (MSF) em t ha<sup>-1</sup> submetido a dois arranjos de cultivo e densidades diferentes de leguminosa para o Feijão-guandu (IAC Fava-larga). Embrapa, Sete Lagoas – MG, 2020

Arranjo	MVF	Médias
	Densidades (planta m <sup>-1</sup> )	

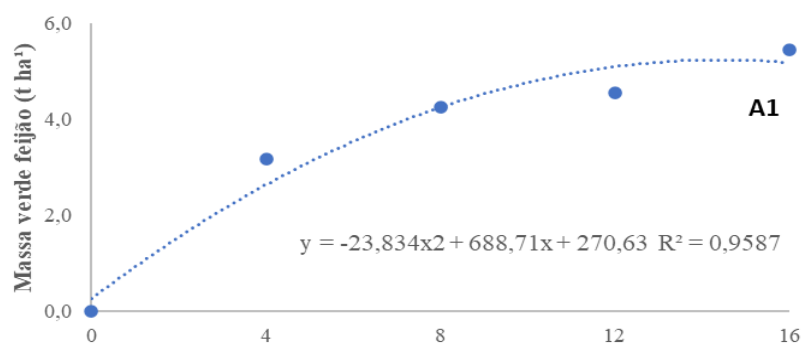
	0	4	8	12	16	
A1 – 2:1	0,00	3,183	4,261	4,555	5,461	3,492 b
A2 – 1:1	0,00	4,677	5,408	7,933	8,833	5,370 a
Médias dos tratamentos	4,431					

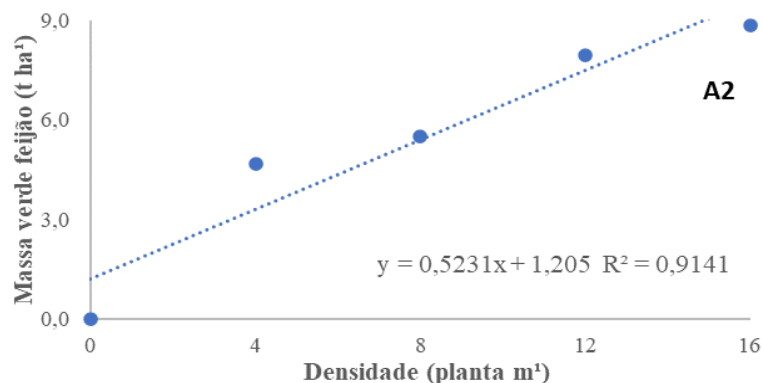
Arranjo	MSF					Médias
	Densidades (planta m <sup>-1</sup> )					
	0	4	8	12	16	
A1 – 2:1	0,00	1,178	1,503	1,634	1,856	1,243 b
A2 – 1:1	0,00	1,965	2,184	3,098	3,504	2,150 a
Médias dos tratamentos	1,692					

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 1% de probabilidade

As variáveis estudadas sofreram efeitos significativos da interação entre arranjo e densidades de feijão, considerando a massa verde ( $P < 0,01$ ), massa seca ( $P < 0,01$ ), acúmulo de carbono ( $P < 0,01$ ) e total de nitrogênio ( $P < 0,01$ ), para o feijão-guandu.

A análise de regressão mostrou que o feijão-guandu do arranjo 1 teve seu ponto máximo com 14,44 plantas por metro linear resultando num valor máximo de 5,245 t ha<sup>-1</sup>, estimado pela equação de regressão  $-23,834x^2 + 688,71x + 270,63$  e o  $R^2 = 95,87\%$  (Figura 4 - A1). Para o arranjo 2 a resposta da massa verde à densidade de leguminosas foi linear, mostrando que quanto maior a densidade de feijão-guandu, maior é sua massa verde em t ha<sup>-1</sup>, estimada pela equação de regressão  $0,5231x + 1,205$  e o  $R^2 = 91,41\%$  (Figura 4 - A2). O ponto de máximo, com a densidade de 16 plantas por metro linear, resultou em valor de 8,833 t ha<sup>-1</sup> de massa verde.

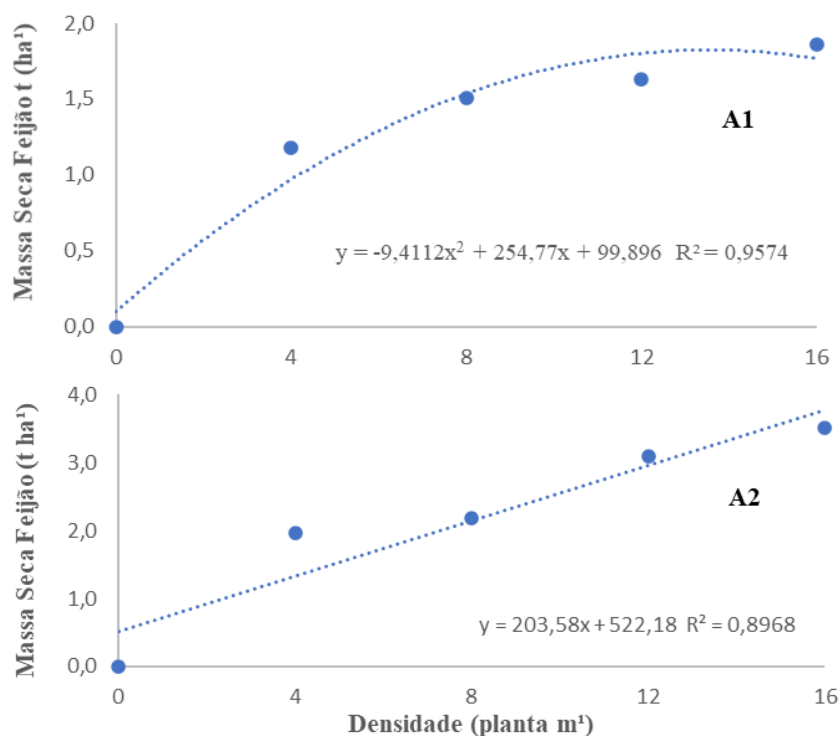




**Figura 4.** Massa verde de feijão-guandu em função dos arranjos de cultivo (A1 e A2) e o consórcio com sorgo biomassa semeados na safrinha com diferentes densidades deste feijão, na Embrapa, Sete Lagoas – MG (2020). Teste F: \*\* - significativo ( $P < 0,01$ ).

No trabalho de MELO (2012), com o cultivo solteiro e com densidades diferentes foi obtida uma massa verde do feijão-guandu de  $30,06 \text{ t ha}^{-1}$  em média. Para ALMEIDA et al. (2011) o consórcio feijão-guandu + milho com  $31,70 \text{ kg ha}^{-1}$  não apresentou diferença significativa na produtividade de massa fresca, quando comparado com cultivos solteiros dessas espécies (feijão-guandu e milho), com produtividades de massa fresca de  $42,50 \text{ t ha}^{-1}$  e  $25 \text{ t ha}^{-1}$ , respectivamente. A produtividade de massa fresca do feijão-guandu pode variar entre os limites de  $30$  e  $40 \text{ t ha}^{-1}$ , estabelecidos por CALEGARI (1995). Somando as médias gerais dos tratamentos da cultura do sorgo e feijão a massa verde do consórcio foi de  $50,67 \text{ t ha}^{-1}$ . De modo geral, a produtividade de massa verde encontrada no consórcio foi superior aos resultados encontrados por MELO (2012) e também entre os estabelecidos por CALEGARI (1995). A baixa produtividade de massa verde do feijão solteiro, pode ser explicada pelo fato de não terem sido realizadas adubações, de cobertura e inoculação das sementes.

Para massa seca do feijão-guandu o arranjo 1 teve seu ponto máximo com 13,53 plantas por metro linear resultando num valor máximo de  $1,824 \text{ t ha}^{-1}$ , estimado pela equação de regressão  $-9,4112x^2 + 254,77x + 99,896$  e o  $R^2 = 95,74\%$  (Figura 5). No arranjo 2 a massa seca do feijão variou de forma linear com a densidade de feijão-guandu, ou seja, quanto maior a densidade de feijão melhor sua produtividade de massa verde, com o ponto e máximo sendo  $3,504 \text{ t ha}^{-1}$  de massa seca na densidade de 16 plantas por metro linear (Figura 5). Sendo sua equação de regressão  $203,58x + 522,18$  e o  $R^2 = 89,68\%$ .



**Figura 5.** Massa seca de feijão-guandu em função dos arranjos de cultivo (A1 e A2) e o consórcio com sorgo biomassa semeados na safrinha com diferentes densidades do feijão, na Embrapa, Sete Lagoas – MG (2020). Teste F: \*\* - significativo ( $P < 0,01$ ).

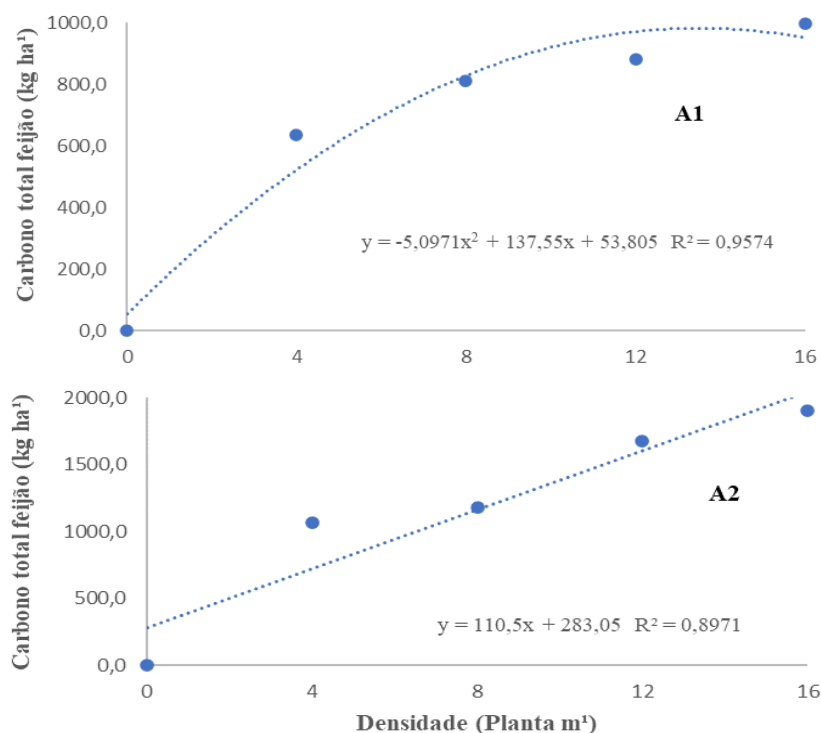
No trabalho de MELO (2012), o cultivo solteiro com densidades diferentes foi obtida produtividade de massa seca do feijão-guandu de  $9,74 \text{ t ha}^{-1}$  em média. AMBROSANO et al. (2013) avaliaram a produção de biomassa seca, dentre outras características em espécies de adubos verdes, entre elas, o feijão-guandú IAC-Fava-Larga, e seus efeitos em culturas sucessoras em Piracicaba - SP, e obtiveram uma produtividade de  $22 \text{ t ha}^{-1}$ , resultado superior aos obtidos neste estudo. Segundo os autores, além da maior ocorrência das chuvas na região, altas temperaturas podem ter possibilitado maior incremento na produção de massa seca. BORKERT et al. (2003), avaliaram a cultura em diversos experimentos e obtiveram rendimentos de feijão-guandú entre  $1.390$  e  $12.190 \text{ kg ha}^{-1}$  de fitomassa seca.

Segundo CALVO et al. (2010), o consórcio de Feijão-guandu + Sorgo apresentou as 90 (DAS) uma massa seca de  $9,23 \text{ t ha}^{-1}$  sendo que a média entre as culturas de cobertura no mesmo período foi de  $7,03 \text{ t ha}^{-1}$ , sendo estatisticamente esse melhor tratamento. No presente trabalho o somatório das médias gerais dos tratamentos da cultura do sorgo e feijão a massa seca do consórcio foi de  $15,72 \text{ t ha}^{-1}$ . Resultados semelhantes foram demonstrados por LAMAS (2007), com semeadura de espécies de cobertura no início de março e amostragem de fitomassa em

julho no Centro-Oeste brasileiro, onde o consórcio guandu + sorgo superou o consórcio guandu + milho.

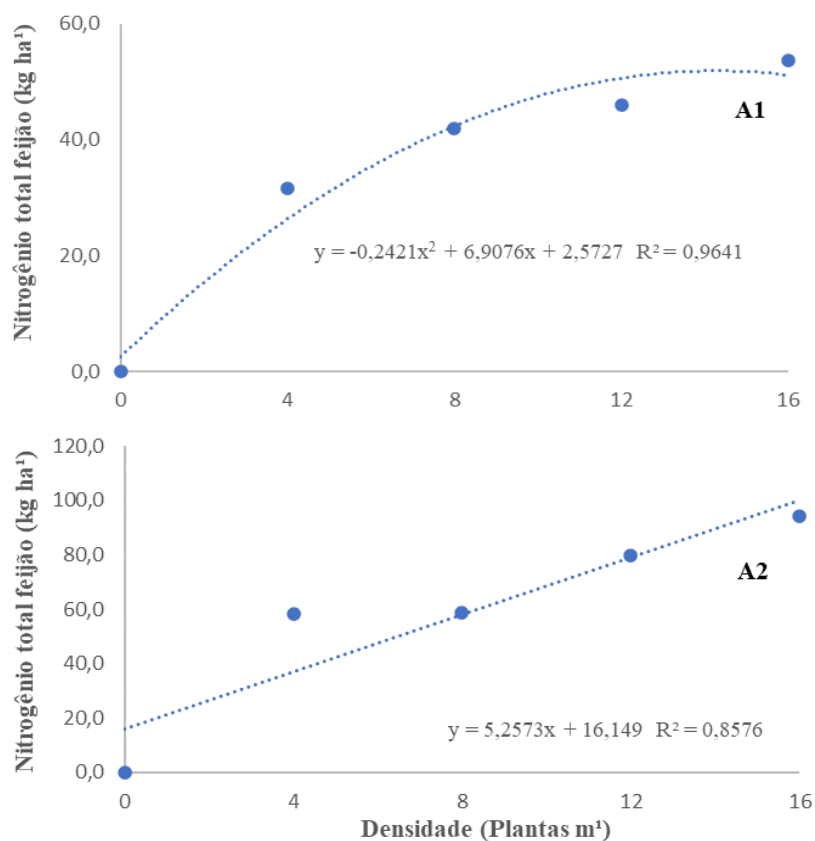
Pesquisas de AMABILE et al. (2000), que testaram três épocas de semeadura para o guandu na região do Cerrado brasileiro, (12 de novembro, 7 de janeiro e 4 de março), obtiveram produtividades médias de 12.655, 11.142 e 5.753 kg ha<sup>-1</sup> de fitomassa seca respectivamente. Os autores concluíram que ocorre acentuada redução no rendimento de fitomassa desta leguminosa à medida que se atrasa a semeadura e se avança no outono-inverno. Esse efeito também observado neste trabalho com uma baixa produtividade de massa seca do feijão solteiro, que pode ter sido influenciada pelo atraso da semeadura, somando a má distribuição da chuva.

O total de carbono do feijão-guandu foi, em média, de 915,99 kg ha<sup>-1</sup>, oscilando entre 635,93 kg ha<sup>-1</sup> a 1905,67 kg ha<sup>-1</sup>, sendo que o arranjo 2 (A2) resultou em melhor desempenho, com a média 1167,07 kg ha<sup>-1</sup>. Para o arranjo 1 o valor máximo do total de carbono (981,78 kg ha<sup>-1</sup>) foi obtido com 13,49 plantas por metro linear, estimado pela equação de regressão - 5,0971x<sup>2</sup> + 137,55x + 53,805 e o R<sup>2</sup> = 95,74% (Figura 6). No arranjo 2, conforme o resultado das outras variáveis avaliadas, mostrou resposta linear do total de carbono em função da densidade da leguminosa (Figura 6), estimada pela equação de regressão 110,5x + 283,05 e o R<sup>2</sup> = 89,71%. Na densidade máxima de plantas 16 plantas por metro, o total de carbono foi de 1905,67 kg ha<sup>-1</sup>.



**Figura 6.** Total de carbono do feijão-guandu em função dos arranjos de cultivo (A1 e A2) e o consórcio com sorgo biomassa semeados na safrinha com diferentes densidades deste feijão, na Embrapa, Sete Lagoas – MG (2020). Teste F: \*\* - significativo ( $P < 0,01$ ).

O total de nitrogênio do feijão-guandu apresentou valor médio de  $46,40 \text{ kg ha}^{-1}$ , oscilando entre  $31,62 \text{ kg ha}^{-1}$  a  $94,33 \text{ kg ha}^{-1}$ , sendo que o arranjo 2 (A2) o de melhor desempenho com a média  $58,20 \text{ kg ha}^{-1}$  (Figura 7). Para o arranjo 1 o valor máximo do total de nitrogênio ( $51,84 \text{ kg ha}^{-1}$ ) foi obtido com 14,26 plantas por metro linear, estimado pela equação de regressão  $-0,2421x^2 + 6,9076x + 2,5727$  e o  $R^2 = 96,41\%$  (Figura 6). No arranjo 2, conforme o resultado das outras variáveis avaliadas, mostrou resposta linear do total de nitrogênio em função da densidade da leguminosa (Figura 6), estimada pela equação de regressão  $5,2573x + 16,149$  e o  $R^2 = 85,76\%$ . Na densidade máxima de plantas 16 plantas por metro, o total de carbono foi de  $94,33 \text{ kg ha}^{-1}$ .



**Figura 7.** Total nitrogênio de feijão-guandu em função dos arranjos de cultivo (A1 e A2) e o consórcio com sorgo biomassa semeados na safrinha com diferentes densidades deste feijão, na Embrapa, Sete Lagoas – MG (2020). Teste F: \*\* - significativo ( $P < 0,01$ ).

O nitrogênio total do feijão-guandu no trabalho de ROMEU et al. (2010), não apresentou diferença significativa da testemunha, da vegetação espontânea com  $10,65 \text{ kg ha}^{-1}$  de N em sua massa. Em pesquisa de TORRES et al. (2008), foram observadas fortes variações anuais no

acúmulo de N nas culturas de cobertura avaliadas, no estágio de pleno florescimento, com os seguintes resultados: no primeiro ano, foram obtidos 165, 84, 118, 29, 51 e 131 kg ha<sup>-1</sup> de N total do milho, sorgo, crotalária, aveia-preta, guandu e *Brachiaria brizantha*, respectivamente; e no segundo ano foram observadas quantidades bastante inferiores 56, 45, 76, 46, 62 e 42 kg ha<sup>-1</sup> de N total no milho, sorgo, crotalária, aveia-preta, guandu e *Brachiaria brizantha*, respectivamente. Portanto, ressalta-se que a capacidade das espécies de cobertura de incorporar N na fitomassa está fortemente relacionada ao ambiente de produção e manejo (MENEZES & LEANDRO, 2004; CAZETTA et al., 2005; SUZUKI & ALVES, 2006; TORRES et al., 2008).

Para o aporte de nitrogênio do feijão-guandu só houve efeito significativo para arranjo, que apresentou valor médio entre as densidades avaliadas de 204,59 kg ha<sup>-1</sup>, sendo que o arranjo 1 (A1) de melhor desempenho com a média 214,98 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 6).

**Tabela 6:** Valores médios do aporte de nitrogênio (kg ha<sup>-1</sup>) em função dos arranjos de cultivo para o Feijão-guandu (IAC Fava-larga). Embrapa, Sete Lagoas – MG, 2020

Arranjo	Aporte de nitrogênio (kg ha <sup>-1</sup> )
A1	214,98 a
A2	194,19 b

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 1% de probabilidade.

Segundo CALVO et al. (2010), o consórcio de feijão-guandu + sorgo se destacou entre os demais tratamentos com 129,40 kg ha<sup>-1</sup> de N aos 90 DAS. Onde neste trabalho as culturas solteiras não se diferenciaram. Ainda segundo o autor, o destaque foi para a espécie com o maior incremento de fitomassa no período, ou seja, aos 90 DAS, o melhor desempenho em termos de rendimento de fitomassa foi para o sorgo no consórcio sorgo + feijão-guandu, contribuindo com 70% do total de palhada. Já para SILVA et al. (2009), não encontro diferença significativa entre o consórcio de feijão-guandu + sorgo do cultivo solteiro do sorgo aos 120 dias após semeadura, apresentado o consórcio 87,14 kg ha<sup>-1</sup> de N. O cultivo consorciado de sorgo biomassa e feijão-guandu apresentou em média um aporte de N maior que os citados pelos autores acima citados. E a diferença de densidades não interferiu nesta variável resposta.

Esses resultados reforçam o potencial para o do Feijão-guandu na adubação verde, como alternativa para economia de fertilizantes, particularmente importantes para os agricultores familiares, recuperação de solos degradados, devido aos anos de exploração ou à escassez de reservas de nutrientes como o N.

O resumo das análises de variância para o Sorgo Biomassa, do experimento 2 (consórcio: Sorgo biomassa BRS 716 + Mucuna-preta cultivar Comum-categoria S-2) para as



características massa verde (MV), massa seca (MS), total de carbono (T CS), total de nitrogênio (T NS) e aporte de carbono (AC S+F) em função de dois sistemas de produção e diferentes densidades de leguminosas, está apresentado na tabela 7.

**Tabela 7:** Resumo das análises de variância para o Sorgo Biomassa (BRS 716), submetidos a dois sistemas de cultivo (A1 - 2:1 e A2 - 1:1) e cinco densidades de leguminosa (0, 4, 8, 12, 16 plantas m<sup>-1</sup>) para de massa verde (MV) e massa seca (MS), em t ha<sup>-1</sup>, total de carbono (T CS) em kg ha<sup>-1</sup>, total de nitrogênio (T NS) em kg ha<sup>-1</sup>, aporte de carbono de sorgo + feijão (AC S+F), em kg ha<sup>-1</sup>. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas - MG, 2020.

FV	GL	QM				
		MV	MS	T CS	T NS	AC S+M
Bloco	2	17828696,53	1768697,48	622080,42	1172,45	612520,11
Arr (A)	1	1,5080429e^0009 <sup>NS</sup>	117191393,08 <sup>NS</sup>	3268753,45 <sup>NS</sup>	23432,49*	2733266,83 <sup>NS</sup>
Erro1	2	11422693,21	10633804,62	2984260,54	1211,55	3632152,65
Dens (D)	4	13184286,13 <sup>NS</sup>	2747426,81 <sup>NS</sup>	883839,40 <sup>NS</sup>	1169,46 <sup>NS</sup>	647711,10 <sup>NS</sup>
A*D	4	39835145,70 <sup>NS</sup>	8563095,18 <sup>NS</sup>	2678168,10 <sup>NS</sup>	1727,33 <sup>NS</sup>	2998505,79 <sup>NS</sup>
Erro2	16	25495723,30	3808200,40	1133335,33	1050,18	1112511,54
Total	29					
CV1 (%)		22,30	23,32	22,99	13,41	23,98
CV2 (%)		10,53	13,96	14,17	21,80	13,27
Média Geral		47,929	13,983	7515,379	148,656	7946,620

\*\* Significativo (P<0,01); \* Significativo (P<0,05); <sup>NS</sup> Não significativo (P>0,05)

Observa-se que houve efeito significativo apenas para o acúmulo de nitrogênio da planta de sorgo, somente no fator arranjo. A falta de resposta ao fator densidade, no experimento 2 evidencia também uma boa adaptação, estabilidade e pouca ocorrência do acamamento das plantas em campo deste híbrido de sorgo quando cultivado em safrinha para as condições deste trabalho, mesmo em consórcio com a mucuna-preta.

A massa verde do sorgo biomassa apresentou valor médio entre os tratamentos de 47,92 t ha<sup>-1</sup>, variando entre 36,22 a 58,01 t ha<sup>-1</sup>. Não havendo efeito significativo, como o ocorrido no experimento 1. Mesmo assim, uma produtividade média um pouco maior que o experimento anterior. Pesquisas de PARRELLA et al. (2010), verificaram uma produtividade de massa verde em híbridos de sorgo biomassa que variou de 17,72 a 135,28 t ha<sup>-1</sup>. Também indica que as condições climáticas de baixa precipitação no final do ciclo acarretou produtividades menores que observados em outros trabalhos.

A produção de massa seca do sorgo biomassa na média 13,98 t ha<sup>-1</sup>, variando entre 10,94 a 18,22 t ha<sup>-1</sup>. Também não houve efeito significativo. Resultados obtidos por PARRELLA et al. (2010) que trabalharam com sorgo biomassa plantados em novembro (Sete Lagoas, MG) e dezembro (Nova Porteirinha, MG), no ano de 2009, relataram em produtividades médias de

massa seca de 22,71 e 33,87 t ha<sup>-1</sup> para o CMSXS 7020 e o CMSXS 652, respectivamente, considerando os dois locais. Com a baixa produtividade da massa verde, a baixa produtividade se demonstra na massa seca, evidenciando que há efeito época de semeadura sobre o sorgo biomassa. Também estudos por MATEUS et al. (2005).

O acúmulo de carbono na parte aérea do sorgo biomassa foi em média 53,74 dag kg<sup>-1</sup>, variando entre 53,38 a 54,25 dag kg<sup>-1</sup>. O acúmulo de nitrogênio na parte aérea do sorgo biomassa foi em média 1,05 dag kg<sup>-1</sup>, variando entre 0,88 a 1,19 dag kg<sup>-1</sup>. Essas duas variáveis resposta não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos.

O total de carbono na planta de sorgo biomassa apresentou uma média entre os tratamentos de 7.515,37 kg ha<sup>-1</sup>, variando entre 5.903,33 a 9.856,15 kg ha<sup>-1</sup>. Também não mostrou diferença significativa entre os tratamentos realizados.

O total de nitrogênio na parte aérea do sorgo biomassa foi em média de 148,65 kg ha<sup>-1</sup>, variando entre 100,39 a 216,78 kg ha<sup>-1</sup>. sendo que o arranjo 1 (A1 – 2:1) apresentou melhor desempenho, resultando em valor de 176,60 kg ha<sup>-1</sup> N acumulado na planta, como apresentado na tabela 8.

**Tabela 8:** Valores médios do total de nitrogênio (kg ha<sup>-1</sup>) em função dos arranjos de cultivo para o Sorgo biomassa (BRS 716). Embrapa, Sete Lagoas – MG, 2020

Arranjo	Total de nitrogênio (kg ha <sup>-1</sup> )
A1	176,60 a
A2	120,70 b

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 1% de probabilidade.

Resultado do experimento 2 no arranjo A1 apresentou-se uma média maior que o experimento 1. Estudos de OLIVEIRA et al. (2002) mostraram um acúmulo de N na parte aérea de 198 kg ha<sup>-1</sup>, valor esse semelhante estatisticamente ao obtido no consórcio com o feijão-deporco, que quando comparado aos demais cultivos testados, acumularam quantidades também superiores a 110 kg ha<sup>-1</sup>. O presente experimento também apresentou uma boa acumulação deste nutriente, proveniente da adubação realizada e o manejo.

O aporte de carbono do consórcio de Sorgo Biomassa + Mucuna-preta apresentou-se uma média geral de produção de 7,94 t ha<sup>-1</sup>, variando entre 6,37 a 10,28 t ha<sup>-1</sup>. Valor médio é menor que o experimento 1 (aproximadamente 7 % menor). Média essa ainda superior a 6,0 t ha<sup>-1</sup>, citadas por DAROLT (1998). Para o aporte de carbono do consórcio sorgo biomassa x Mucuna não houve efeito dos arranjos testados, e os resultados obtidos ficaram acima do

mínimo ideal de massa seca para manter uma boa cobertura do solo (6 t ha<sup>-1</sup>), favorecendo a adição de carbono ao sistema solo.

O resumo das análises de variância para o Mucuna-preta, do experimento 2 (consórcio: Sorgo biomassa (BRS 716+ Mucuna-preta (cultivar Comum S-2) para as características massa verde (MV), massa seca (MS), acúmulo de carbono (A CS), acúmulo de nitrogênio (A NS) e aporte de nitrogênio (AN S+F) em função de dois sistemas de produção e diferentes densidades de leguminosas, está apresentado na tabela 9.

**Tabela 9:** Resumo das análises de variância para a Mucuna-preta (Cultivar Comum S-2), submetidos a dois sistemas de cultivo (A1 - 2:1 e A2 - 1:1) e cinco densidades de leguminosa (0, 4, 8, 12, 16 plantas m<sup>-1</sup>) para de massa verde (MVM) e massa seca (MSM), em t ha<sup>-1</sup>, total de carbono (T CM) em kg ha<sup>-1</sup>, total de nitrogênio (T NM) em kg ha<sup>-1</sup>, aporte de carbono de sorgo + mucuna (AC S+M), em kg ha<sup>-1</sup>. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas - MG, 2020.

FV	GL	QM				
		MVM	MSM	T CM	T NM	AN S+M
Bloco	2	19810,00	87202,24	23175,44	93,63	1314,46
Arr (A)	1	2252278,45 *	8670988,94 <sup>NS</sup>	239351,34 <sup>NS</sup>	496,81 <sup>NS</sup>	17105,38 <sup>NS</sup>
Erro1	2	35130,00	122534,27	13463,08	77,76	1726,16
Den (D)	4	13780012,64**	2025220,73**	557845,41**	1153,69**	1892,08 <sup>NS</sup>
A*D	4	278989,92**	103441,80**	28745,80**	61,85**	2044,05 <sup>NS</sup>
Erro2	16	15443,84	9822,48	2635,11	10,29	1054,65
Total	29					
CV1 (%)		8,50	42,58	41,37	45,44	24,72
CV2 (%)		5,63	12,06	11,90	16,54	19,32
Média Geral		2,206	0,822	431,241	19,408	168,064

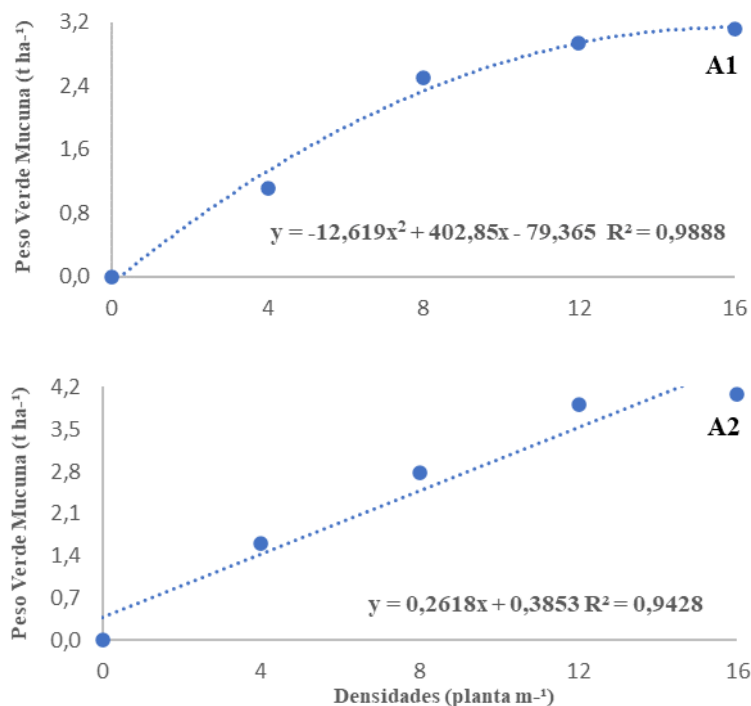
\*\* Significativo (P<0,01); \* Significativo (P<0,05); <sup>NS</sup> Não significativo (P>0,05)

A massa verde do mucuna-preta apresentou a média entre os tratamentos de 2,206 t ha<sup>-1</sup>, oscilando entre 1,116 t ha<sup>-1</sup> a 4,085 t ha<sup>-1</sup>, sendo que o arranjo 2 (A2) de melhor desempenho com a média 2,480 t ha<sup>-1</sup>. A massa seca do mucuna-preta apresentou média entre os tratamentos de 0,882 t ha<sup>-1</sup>, oscilando entre 0,362 a 1,702 t ha<sup>-1</sup>, não havendo efeito significativo entre os arranjos de cultivo.

As variáveis estudadas sofreram efeitos significativos da interação entre arranjo e densidades de mucuna, considerando a massa verde (P<0,01), massa seca (P<0,01) e acúmulo de nitrogênio (P<0,01), para o mucuna-preta.

A análise de regressão mostrou que o mucuna-preta do arranjo A1 teve seu ponto máximo com 15,96 plantas por metro linear resultando num valor máximo de 3,135 t ha<sup>-1</sup>, estimado pela equação de regressão -12,619x<sup>2</sup> + 402,85x - 79,365 e o R<sup>2</sup> = 98,88% (Figura 7 - A1). Para o arranjo 2 a resposta da massa verde à densidade de leguminosas foi linear,

mostrando que quanto maior a densidade de mucuna-preta, maior é sua massa verde em  $t\ ha^{-1}$ , estimada pela equação de regressão  $0,2618x + 0,3853$  e o  $R^2 = 94,28\%$  (Figura 7 - A2). O ponto de máximo, com a densidade de 16 plantas por metro linear, resultou em valor de  $4,085\ t\ ha^{-1}$  de massa verde.



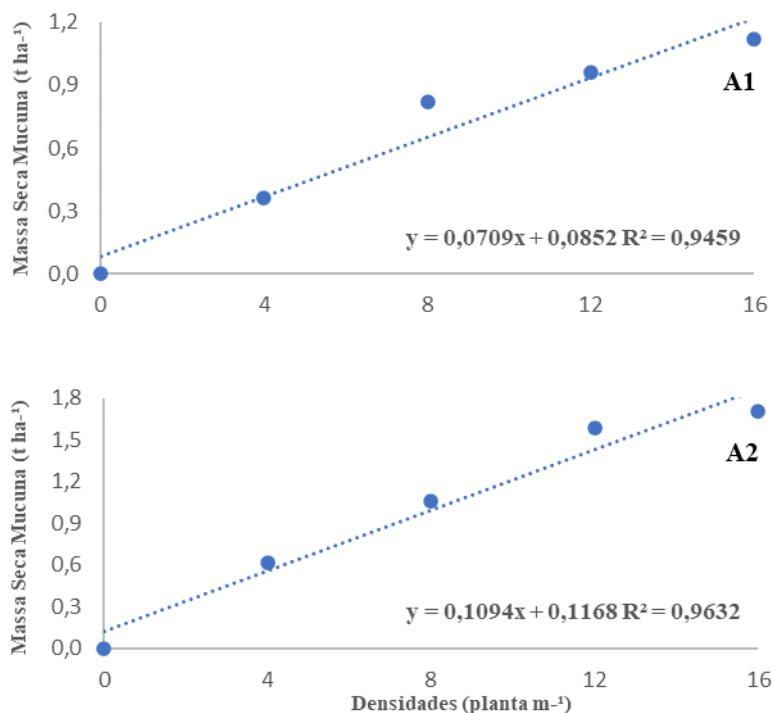
**Figura 7.** Massa verde da mucuna-preta em função dos arranjos de cultivo (A1 e A2) e o consórcio com sorgo biomassa semeados na safrinha com diferentes densidades desta mucuna, na Embrapa, Sete Lagoas – MG (2020). Teste F: \*\* - significativo ( $P < 0,01$ ).

Estudos de ROMEU et al. (2010), a massa verde obtida pela mucuna-preta em cultivo solteiro foi em média  $62,17\ t\ ha^{-1}$ . Valores menores foram encontrados por FONTANÉTTI et al. (2006), média de  $42,43\ t\ ha^{-1}$ . Pesquisas de AMABILE et al. (2000), com três épocas diferentes (novembro, janeiro e março) dois espaçamentos (0,4 e 0,5 m) em cultivo solteiro, onde não houve efeito significativo na produtividade de massa verde na planta de mucuna, com média de  $14,35\ t\ ha^{-1}$ ,  $13,93\ t\ ha^{-1}$  e  $15,80\ t\ ha^{-1}$ , respectivamente as épocas. De acordo com as pesquisas de PEREIRA & KAGE (1980) & SABADIN (1984), a mucuna-preta não possui reação à variação do comprimento do dia. Assim, a mucuna é uma espécie com potencial para sistemas de produção que necessitem atrasar a semeadura, realizando-a, por exemplo, na 2ª safra.

O presente trabalho apresentou valores médios inferiores, tanto no A1 quanto no A2. A baixa produtividade de matéria fresca da leguminosa pode ser explicada pelo fato de não terem

sido realizadas adubações ou inoculação das sementes, falta de chuva no final do ciclo e pelo tipo de cultivo realizado – consórcio.

Para o arranjo 1, a massa seca da mucuna variou de forma linear com a densidade de mucuna-preta, ou seja, quanto maior a densidade da mucuna melhor sua produtividade de massa verde, com o ponto e máximo sendo 1,119 t ha<sup>-1</sup> de massa seca na densidade de 16 plantas por metro linear (Figura 8). Sendo sua equação de regressão  $0,0709x + 0,0852$  e o  $R^2 = 94,59\%$ . No arranjo 2 a massa seca do feijão variou de forma linear com a densidade de feijão-guandu, ou seja, quanto maior a densidade de feijão melhor sua produtividade de massa verde, com o ponto e máximo sendo 1,703 t ha<sup>-1</sup> de massa seca na densidade de 16 plantas por metro linear (Figura 8). Sendo sua equação de regressão  $0,1094x + 0,1168$  e o  $R^2 = 96,32\%$ .



**Figura 8.** Massa seca da mucuna-preta em função dos arranjos de cultivo (A1 e A2) e o consórcio com sorgo biomassa semeados na safrinha com diferentes densidades desta mucuna, na Embrapa, Sete Lagoas – MG (2020). Teste F: \*\* - significativo ( $P < 0,01$ ).

Segundo as pesquisas de ALVARENGA et al. (2001), o acúmulo de 6 t ha<sup>-1</sup> é uma quantidade de massa seca que proporciona boa taxa de cobertura do solo, sendo assim o trabalho de TEODORO et al. (2011) com o cultivo solteira de algumas leguminosas tornou-se a mucuna-preta promissora planta a adubação verde na região do trabalho, por apresentar 7,50 t ha<sup>-1</sup>, deixando o feijão-guandu com massa seca 2,65 t ha<sup>-1</sup> sendo a pior nesta variável resposta do estudo e ficando bem abaixo do considerado uma boa taxa de cobertura do solo. Resultados

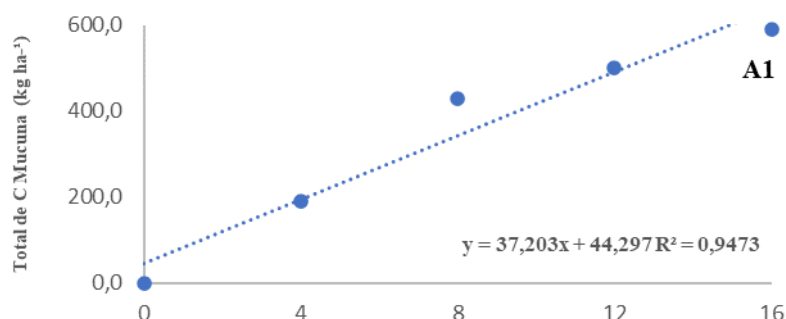
relativos à matéria seca das pesquisas de AMABILE et al. (2000), foram semelhantes aos da matéria verde para o caso da mucuna-preta, ou seja, não houve efeito. Esses parâmetros caracterizou a adaptabilidade dessa espécie às épocas de semeadura em condições climáticas variáveis, como a diminuição de chuvas em diferentes épocas estudadas pelos autores.

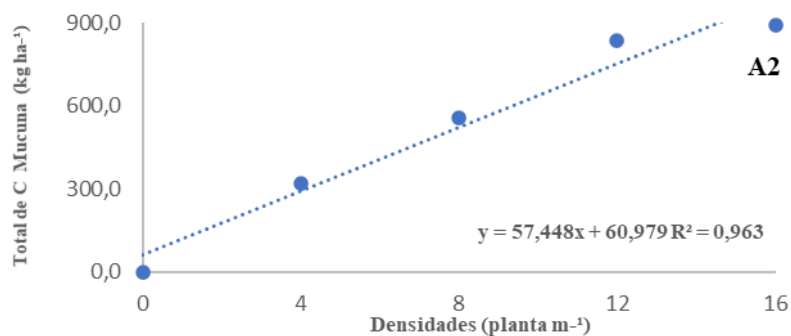
Médias obtidas neste trabalho, tanto no A1 e A2 não apresentaram o mínimo para uma boa taxa de cobertura do solo. Mesmo utilizando a maior densidade estudada neste trabalho.

O acúmulo de carbono na parte aérea do mucuna-preta foi em média 41,96 dag kg<sup>-1</sup>, variando entre 52,09 a 52,66 dag kg<sup>-1</sup>. O acúmulo de nitrogênio na parte aérea do mucuna-preta foi em média 1,87 dag kg<sup>-1</sup>, variando entre 2,20 a 2,48 dag kg<sup>-1</sup>. Não havendo efeito significativo entre os arranjos de cultivo e a interação.

O total de carbono na planta de mucuna-preta apresentou uma média entre os tratamentos de 431,24 kg ha<sup>-1</sup>, variando entre 190,43 a 893,06 kg ha<sup>-1</sup>. A análise de regressão mostrou que o mucuna-preta do arranjo A1 teve a resposta do total de carbono à densidade de leguminosa foi linear, mostrando que quanto maior a densidade da mucuna-preta, maior fica o total de carbono em kg ha<sup>-1</sup>, estimada pela equação de regressão  $37,203x + 44,297$  e o  $R^2 = 94,73$  (Figura 9 - A1). O ponto de máximo, com a densidade de 16 plantas por metro linear, resultou em valor de 589,31 kg ha<sup>-1</sup> do total de carbono na fitomassa.

Para o arranjo 2 a resposta do total de carbono à densidade de leguminosas também se mostrou linear, ou seja, quanto maior a densidade da mucuna-preta, maior é sua produtividade total de C em t ha<sup>-1</sup>, estimada pela equação de regressão  $54,448x + 60,979$  e o  $R^2 = 96,30\%$  (Figura 9 - A2). O ponto de máximo, com a densidade de 16 plantas por metro linear, resultou em valor de 893,06 kg ha<sup>-1</sup> do total de carbono na fitomassa.

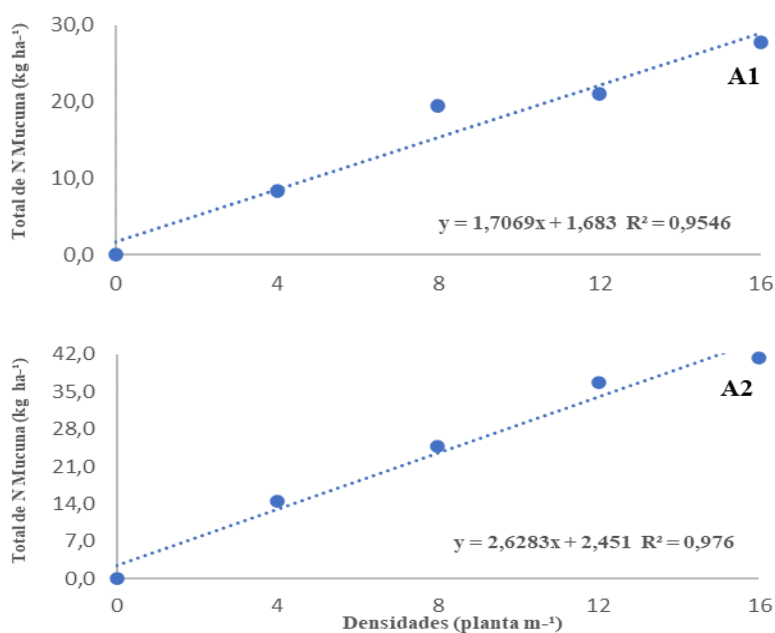




**Figura 9.** Total de carbono (C) na fitomassa da mucuna-preta em função dos arranjos de cultivo (A1 e A2) e o consórcio com sorgo biomassa semeados na safrinha com diferentes densidades desta mucuna, na Embrapa, Sete Lagoas – MG (2020). Teste F: \*\* - significativo ( $P < 0,01$ ).

O total de nitrogênio na planta de mucuna-preta apresentou uma média entre os tratamentos de  $19,40 \text{ kg ha}^{-1}$ , variando entre  $8,41$  a  $41,39 \text{ kg ha}^{-1}$ . A análise de regressão mostrou que o mucuna-preta do arranjo A1 teve a resposta do total de nitrogênio à densidade de leguminosa foi linear, mostrando que quanto maior a densidade da mucuna-preta, maior fica o total de nitrogênio em  $\text{kg ha}^{-1}$ , estimada pela equação de regressão  $1,7069x + 1,683$  e o  $R^2 = 95,46$  (Figura 10 - A1). O ponto de máximo, com a densidade de 16 plantas por metro linear, resultou em valor de  $27,83 \text{ t ha}^{-1}$  do total de nitrogênio na fitomassa.

Para o arranjo 2 a resposta do total de nitrogênio à densidade de leguminosas também se mostrou linear, ou seja, quanto maior a densidade da mucuna-preta, maior é seu total de nitrogênio em  $\text{t ha}^{-1}$ , estimada pela equação de regressão  $2,6283x + 2,451$  e o  $R^2 = 97,60\%$  (Figura 10 - A2). O ponto de máximo, com a densidade de 16 plantas por metro linear, resultou em valor de  $41,39 \text{ t ha}^{-1}$  do total de nitrogênio na fitomassa.



**Figura 10.** Total de nitrogênio (N) na fitomassa da mucuna-preta em função dos arranjos de cultivo (A1 e A2) e o consórcio com sorgo biomassa semeados na safrinha com diferentes densidades desta mucuna, na Embrapa, Sete Lagoas – MG (2020). Teste F: \*\* - significativo ( $P < 0,01$ ).

Pesquisas de ROMEU et al. (2010), dentre as espécies de leguminosas utilizadas no experimento a mucuna-preta em cultivo solteiro foi a segunda com  $199,78 \text{ kg ha}^{-1}$  de N em sua massa, seguida pelo coquetel com  $113,16 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. Para TEODORO et al. (2011), a mucuna-preta acumulou cerca de  $358 \text{ kg ha}^{-1}$  de N em sua massa, onde nota-se que o feijão-guandu ficou abaixo com  $87,00 \text{ kg ha}^{-1}$  e se apresentando como a quantidade de N dentre as estudadas neste trabalho. No que se refere à conteúdos de N oriundos da fixação biológica de  $\text{N}_2$  (FBN), MOREIRA et al. (2003) observaram que, em média, 61 % do N acumulado pelo feijão-guandu provém da FBN; já mucuna-preta, mucuna-cinza, *Crotalaria spectabilis* e *lab-labe* teriam, em média, 70 % do N total proveniente da FBN, segundo afirmativa de GILLER (2001).

No presente trabalho, o arranjo que acumulou mais N em sua massa foi o arranjo 2 (A2), na população mais alta com 16 plantas por metro linear. Com o resultado de  $41,39 \text{ t ha}^{-1}$  de N em sua fitomassa, ficou abaixo dos trabalhos relatados acima, portanto, pode-se argumentar que a capacidade das espécies de cobertura de incorporar N na fitomassa está fortemente relacionada ao ambiente de produção e manejo (SUZUKI & ALVES, 2006 & TORRES et al., 2008).

O aporte de nitrogênio do consórcio de Sorgo Biomassa + Mucuna-preta apresentou-se uma média geral de produção de  $168,06 \text{ t ha}^{-1}$ , variando entre  $116,86$  a  $236,20 \text{ t ha}^{-1}$ . Para o aporte de nitrogênio de sorgo biomassa + Mucuna-preta não houve efeito dos arranjos testados. Valor médio encontrado no experimento 2 é aproximadamente 21,5% menor que o experimento 1, e onde resultou-se que o melhor arranjo foi A1 com  $214,58 \text{ t ha}^{-1}$  em média, de aporte de N do consórcio.

Por fim, os sistemas conservacionistas em regiões tropicais vêm garantindo acúmulo de matéria orgânica nos solos, uma vez que o além de sequestrar C atmosférico, por proporcionarem maior agregação das partículas do solo, reduzem a oxidação da matéria orgânica do solo (COSTA, et al. 2008) aumentando ainda a sua estabilização devido a formação de complexos organominerais e a oclusão de partículas lábeis nos agregados (BAYER et al., 2006b). Esses resultados reforçam o potencial para o uso de leguminosas na adubação verde, sobretudo das espécies estudadas, como alternativa para economia substancial de fertilizantes, particularmente importantes para os agricultores familiares da região e de outras regiões, que



normalmente são descapitalizados e muitas vezes cultivam em solos depauperados, devido aos anos de exploração ou à escassez de reservas de nutrientes.

## **Conclusões**

O acúmulo de biomassa na cultura do sorgo foi influenciado significativamente pelo arranjo testado no experimento 1, com valores mais elevados no arranjo A1 – com duas linhas de sorgo para uma de leguminosa.

Para as variáveis estudadas para as leguminosas nos consórcios houveram incremento em função da densidade e aumento da incorporação de C e N.

O consórcio com Sorgo e Feijão teve melhor desempenho no aporte de C, independentemente do sistema de cultivo.

O consórcio com Sorgo e Feijão teve melhor desempenho no aporte de N com o arranjo A1.

## Referências Bibliográficas

ALCÂNTARA, F. A.; FURTINI Neto, A. E.; PAULA, M. B. de; MESQUITA, H. A.; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, n.2, p.277-288, 2000.

ALVARENGA, R.C.; CABEZAS, W.A.L.; CRUZ, J.C. & SANTANA, D.P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. *Inf. Agropec.*, 22:25-36, 2001.

AMABILE, R. F.; FANCELLI, A. L.; CARVALHO, A. M. de. Evaluation of green manures in different sowing dates and row-spacings in the Cerrados region. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, n.1, p.47-54, 2000.

AMBROSANO, E. J.; FOLTRAN, D. E.; CAMARGO, M. S.; ROSSI, F.; SCHAMMASS, E. A.; SILVA, E. C.; AMBROSANO, G. M. B.; DIAS, F. L. F. Acúmulo de biomassa e nutrientes por adubos verdes e produtividade da canaplanta cultivada em sucessão, em duas localidades de São Paulo, Brasil *Revista Brasileira de Agroecologia*, 199-209, 2013.

AMUNDSON, R. The carbon budget in soils. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v.29, p.535–562, 2001.

ANPII, 2013. **Associação Nacional dos Produtores e Importadores de Inoculantes**. Disponível em: [hp://www.anpii.org.br/site/](http://www.anpii.org.br/site/)

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1099-1108, 2007.

ARIHARA, J.; AE, N.; OKADA, K.. Phosphorus nutrition of grain legumes in the semi-arid tropics. Patancheru: ICRISAT, 1991, p.183-1994.

BALBINO, L.C.; KICHEL, A.N.; BUNGENSTAB, D.J.; ALMEIDA, R.G. de. Sistemas de integração: o que são, suas vantagens e limitações. In: BUNGENSTA, D.J. (Ed.). **Sistemas de**

**integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável.** 2.ed. Brasília: Embrapa, 2012. p.11-18.

BALBINO, L.C.; BARCELLOS, A.O.; STONE, L.F. Marco referencial: **integração lavourapecuária-floresta (ILPF)**. Brasília: Embrapa, p. 130, 2011.

BALESDENT, J. **Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage.** Soil and tillage Research, Amsterdam, v.53, p.215-230, 2000.

BALDANI, J. I. e BALDANI, V. L. D. História da pesquisa fixação biológica de nitrogênio em gramíneas: especial ênfase na experiência brasileira. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** 77.3. 549-579. 2005.

BATJES, N. H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **European Journal of Soil Science**, v. 47, p.151 - 163, 1996.

BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p.687-694, 1999.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil Tillage Research**. v.86, p. 237-245, 2006b.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. (eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 9-26.

BELTRAN, C.A.E. (2008) **Aplicación de un sistema de control supervisor de pH y OD en la operación continua de un reactor nitrificante de disco rotatório.** Departamento de Ingeniería Química, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

Boletim 80 da FAO – 2005. **A importância da matéria orgânica do solo é**

fundamental para solos resistentes à seca e produção sustentada de alimentos. Roma, Itália. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, 2005. 78 p.

BORKERT, C.M.; GAUDENCIO, C.A.; PEREIRA, J.E. Nutrientes minerais da biomassa da parte aérea em culturas de cobertura do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.38, p.143-153, 2003.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades do solo**. 3ª edição. Porto Alegre: Bookman Editora LTDA. 2013, 683 p.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; VEIGA, M. Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e Argissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.131-139, 2010.

CALEGARI, A. Leguminosas para adubação de verão no Paraná. Londrina, IAPAR, 1995. 118p.

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E. A.; WILDER, L. P.; COSTA, M. B. B.; ALCÂNTARA, P. B., MYASAKA, S., AMADO, T. J. C.. Adubação verde no Brasil. 2. ed Rio de Janeiro: **Assessoria de Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa**, 346 p. 1993.

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E. A.; COSTA, M. B. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. Aspectos gerais da adubação verde. In: Costa, M. B. B. (Coord.). Adubação verde no sul do Brasil. 2.ed. Rio de Janeiro: ASPTA, 1993. p.1-56.

CALONEGO, J. C.; SANTOS, C. H.; TIRITAN, C. S.; CUNHA JÚNIOR, J. R. Estoques de carbono e propriedades físicas de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 2, p. 128-135, 2012.

CALVO, C. L.; FOLONI, J. S. S.; B, S. R. PRODUTIVIDADE DE FITOMASSA E RELAÇÃO C/N DE MONOCULTIVOS E CONSÓRCIOS DE GUANDU-ANÃO, MILHETO E SORGO EM TRÊS ÉPOCAS DE CORTE. *Bragantia*, Campinas, v.69, n.1, p.77-86, 2010.

CANELLAS, L.P.; BALDOTTO, M.A.; BUSATO, J.G.; MARCIANO, C.R.; MENEZES, S.C.; SILVA, N.M.; RUMJANEK, V.M.; VELLOSO, A.C.X.; SIMÕES, M.L. & MARTINETO, L. Estoque e qualidade da matéria orgânica de um solo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p.331-340, 2007.

CARDOSO, E.L.; SILVA, M.L.N.; MOREIRA, F.M.S.; CURI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, p.631-637, 2009.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; SILVA, C. A.; CURI, N.; FREITAS, D. A. F. Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 9, p. 1028- 1035, 2010.

CARIDE, C.; PIÑEIRO, G.; PARUELO, J.M. How does agricultural management modify ecosystem services in the argentine Pampas? The effects on soil C dynamics. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.154, p.23-33, 2012.

CAROLAN, M. *The sociology of food and agriculture*. London; New York: Routledge, 2012.

CARVALHO, A.M.; BURLE, M.L.; PEREIRA, J. & SILVA, M.A. Manejo de adubos verdes no Cerrado. Embrapa Cerrados, 1999. 28p. (Circular Técnica, 4).

CASTRO, F.M. R. Potencial Agronômico e energético de híbridos de sorgo Biomassa 2014.80f. Dissertação (mestrado em agronomia) -Programa de Pós-graduação em agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2014.

CASSOL, A.; SCHNEIDER, S. Produção e consumo de alimentos: novas redes e atores. *Lua Nova: Revista de Cultura e Política*, São Paulo, n.95, maio-ago 2015. Disponível em: . Acesso em: 07 junho 2021.

CAZETTA, D.A.; FORNASIERI FILHO, D.; GIROTTO, F. Composição, produção de matéria seca e cobertura do solo em cultivo exclusivo e consorciado de milheto e crotalária. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.27, p.575-580, 2005.

CECAGNO, D. Carbono **Orgânico do solo em sistema integrado de produção agropecuária**. 2015, 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRJ. Porto Alegre-RS.

CERRI, C.C.; MORAES, J.F.L.; VOLKOFF, B. Dinâmica do carbono orgânico em solos vinculados a pastagens da Amazônia brasileira. **Revista Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria**, Uruguai, v.1, p. 95-102, 1992.

CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; HERBES, M.G.; POLETTO, N.; SILVEIRA, M.J. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, v. 32, p. 49-54, 2002.

CONAB- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Conjuntura mensal do sorgo. Brasília, 2019.

COSTA, M. B. B. da (Coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1992. 346 p.

COSTA, W.A.J.M.D.; SANGAKKARA, U.R. Agronomic regeneration of soil fertility in tropical Asian smallholder uplands for sustainable food production. *Journal of Agricultural Science*, v.144, p.111-133, 2006.

COSTA, F. de S.; BAYER, C.; ZANNATA, J. A.; MIELNICZUK, J. Estoques de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 323-332, 2008.

CRUZ-GARCIA, G.S.; PRICE, L.L. Ethnobotanical investigation of ‘wild’ food plants used by rice farmers in Kalasin, Northeast Thailand. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, v.7, n.33, p.1-20, 2011.

DAWSON, J. J. C.; SMITH, P. Carbon losses from soil and its consequences for land-use management. **Science of the Total Environment**, v. 382, 165-190, 2007.

D'ANDREA, A.F.; SILVA, M.L.N.; FREITAS, D.A.F.; CURI, N.; SILVA, C.A. Variações de curto prazo no fluxo e variabilidade espacial do CO<sub>2</sub> do solo em floresta nativa. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v.30, p.85-92, 2010.

SS Dhaliwal.; R.K. Naresh.; Agniva Mandal.; Ravinder Singh.; M.K. Dhaliwal. Dynamics and transformations of micronutrients in agricultural soils as influenced by organic matter build-up: A review. *Environmental and Sustainability Indicators*. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2019.100007>

EAGLE, A. J.; OLANDER, L. P.; HENRY, L. R.; HAUGEN-KOZYRA, K.; MILLAR, N.; ROBERTSON, G. P. **Greenhouse gas mitigation potential of agricultural land management in the United States**: a synthesis of the literature. 3. ed. Durham, NC: Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions - Duke University. 2012. (Report NI R 10-04).

EMBRAPA. 1997. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: EMBRAPA/SNLCS, 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA MILHO E SORGO. Cultivo do sorgo, Brasília, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MILHO E SORGO. Cultivo do sorgo. Brasília, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MILHO E SORGO. Dados climáticos. 2020. Disponível em: < [www.cnpms.embrapa.br](http://www.cnpms.embrapa.br)>. Acesso em mar 2021.

FARIA, C. M. B.; COSTA, N. D.; FARIA, A. F. Atributos químicos de um Argissolo e rendimento de melão mediante o uso de adubos verdes, calagem e adubação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.2, p.299-307, 2007.

FAO, ITPS. **Status of the World's Soil Resources (SWSR)**—technical summary. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy 2015.

FAOSTAT [Documento WWW], 2020. Emiss. Ações, Foog agric. Órgão. Nações Unidas.<http://www.fao.org/faostat/en/#data/EM/metadata>(acessado em 6.19.

FERRAZ, S.; FREITAS, L. G. O controle de fitonematóides por plantas antagonistas e produtos naturais. <http://www.ufv.br/dfp/lab/nematologia/antagonistas.pdf>. 26 Jan. 2008.

FERREIRA, E. A. B. **Dinâmica de longo prazo do carbono do solo em sistemas de manejo no cerrado**. 235 p. Tese (Pós-Graduação) – Ecologia, Universidade de Brasília, 2013.

FERREIRA, A.O.; MORAES SÁ, J.C.; HARMS, M.G.; MIARA, S.; BRIEDIS, C.; NETTO, C.Q.; SANTOS, J.B.; CANALLI, L.B. Carbon balance and crop residue management in dynamic equilibrium under a no-till system in campos gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, p.1583-1590, 2012.

FERREIRA, L. E.; SOUZA, E. P.; CHAVES, A. F. Adubação verde e seu efeito sobre os atributos do solo. Disponível em: <http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/681/1274>. Acesso em: 19fevereiro. 2020.

Filho, O. F. L.; Ambrosano, E. J.; Rossi, F.; Carlos, J. A. D. Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática – Brasília, DF: Embrapa, 2014. v.2 (478 p.): il. Color. ; 18,5 cm x 25,5cm.

FONTANÉTTI, A.; CARVALHO, G. C.; GOMES, L. A. A.; ALMEIDA, K.; MORAES, S. R. G.; TEIXEIRA, C. M. Adubação verde na produção orgânica de alface americana e repolho. *Horticultura Brasileira*, v.24, n.2, p.146-150, 2006.



GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.893-901, 2005.

GILLER, K.E. Nitrogen fixation in tropical cropping systems. 2.ed. Wallingford, CBA International, 2001. 448p.

GUIMARÃES, D.V.; GONZAGA, M. I. S.; da SILVA, O. T.; da SILVA, T. L.; MATIAS, M. I. S. Soil organic matter pools and carbon fractions in soil under diferente land uses. **Soil and Tillage Research**, v. 126, p. 177–182. 2013.

HEINRICHS, R.; AITA, C.; AMADO, T.J.C.; FANCELLI, A.L. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.331-340, 2001.

HOGBERG, P. et al. Substrate-induced respiration measured in situ in a C3-plant ecosystem using additions of C4-sucrose. **Soil Biol. Biochem.**, v.28, p.1131–1138, 1996.

Hungria, M.; Campo, R. J.; Mendes, I. C. **Fixação Biológica do nitrogênio na cultura da soja**. (Circular Técnica / Embrapa Soja, ISSN 1516-7860; n.35) (Circular Técnica / Embrapa Cerrados), ISSN 1517-0187; n.13. p.48. Londrina: Embrapa Soja. 2001.

Jantke, K., Hartmann, MJ, Rasche, L., Blanz, B., Schneider, UA, 2020. Agricultura emissões de gases de efeito estufa: conhecimento e posições dos agricultores alemães. Land 9, 130. <https://doi.org/10.3390/LAND9050130>.

JONES, M. B. et al. Carbon sequestration in temperate grassland ecosystems and the influence of management, climate and elevated CO<sub>2</sub>. **New Phytol**, v.164, p.423–439, 2004.

KIRSCHBAUM, M. U. F. Will changes in soil organic carbon act as a positive or negative feedback on global warming. **Biogeochemistry**, v.48, p.21–51, 2000.

Köppen, W. Climatologia: conunestudio de los climas de La Tierra. México: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478p.

LAMAS, F.M. Espécies para cobertura do solo e seus efeitos no algodoeiro. Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas, v. 11, p.55-63, 2007.

LAL, R. Carbon sequestration. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 363, p. 815-830, 2008a.

Lal, R. Degradation and resilience of soils. Philos Trans Royal Soc London Ser B. 1997; 352:997-1010.

Lal, R. Soil degradation by erosion. Land Degrad Dev. 2001; 12:519-39.

Lal, R. Soils and sustainable agriculture: a review. Agron Sustain Dev. 2008; 28-57-64.

LAL, R. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO<sub>2</sub>-enrichment. **Soil Till. Res.** v.43, p.81–107, 1997.

LANZA, A. L. Avaliação Forrageira do Sorgo Biomassa (BRS 716) em Diferentes Épocas de Corte e Estratégias de Adubação em Cobertura. Orientador Iran Dias Borges, coorientador Rafael Augusto da Costa Parrella. – Sete Lagoas, 2017. 63p. Dissertação Mestrado.

LEITE, L.F.C.; FREITAS, R.C.A.; SAGRILO, E. & GALVÃO, S.R.S. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre Latossolo Amarelo no Cerrado Maranhense. R. Ci. Agron., 41:29-35, 2010.

LIMA, R.; MENEZES, V. Utilização da Adubação Verde na Agricultura Sustentável. Disponível em:

<[http://www.catolicato.edu.br/portal/portal/downloads/docs\\_gestaoambiental/projetos20101/3 periodo/Utilizacao\\_da\\_adubacao\\_verde\\_na\\_agricultura\\_sustentavel.pdf](http://www.catolicato.edu.br/portal/portal/downloads/docs_gestaoambiental/projetos20101/3 periodo/Utilizacao_da_adubacao_verde_na_agricultura_sustentavel.pdf)>. Acesso em: 19 fevereiro. 2020.

LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; MARCHETTI, M. E.; SOUZA, L. C. F.; SOUZA, C. M. A.; GONÇALVES, M. C.; SILVA, M. A. G. Rotação de culturas e relações com atributos químicos e microbiológicos do solo e produtividade do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 4, p. 829-842, 2010.

LÜTZOW, M. V. et al. Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions – a review. **European Journal of Soil Science**, v.57, p.426–445, 2006.

MACHADO, P. L. O. A. Carbono do Solo e a Mitigação da Mudança Climática Global. **Química Nova**. São Paulo - SP, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005.

MACHADO, D. M.; SCHOSSLER, T. R.; ZUFFO, A. M.; FABRÍCIO RIBEIRO DE ANDRADE, F. R.; PIAULINO, A. C. Atividades microbianas e as transformações no ciclo dos elementos no solo. **Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer**, v.8, n.15, p. 180 - 195, 2012.

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M.; RODRIGUES, J.A.S. Ecofisiologia do sorgo. In: RODRIGUES, J.A.S.; SANTOS, F.G. (Ed.). Sistema de produção do sorgo. Sete Lagoas: Embrapa, 2006. Disponível em: [www.embrapa.br](http://www.embrapa.br). Acesso em: 8 jan 2006.

MAIA, C. M. B. de F.; PARRON, L. M. Matéria orgânica como indicador da qualidade do solo e da prestação de serviços ambientais. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Ed.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF : Embrapa, 2015. p. 101 – 108.

MARTINEZ-SALGADO, M. M.; GUTIERREZ-ROMERO, V.; JANNSENS, M.; MATEUS, G. P. & WUTKE, E.B. **Espécies de Leguminosas Utilizadas como Adubos Verdes**. Pesquisa e Tecnologia, vol. 3, n.1, Jan – Jun 2006.

MARTINS, L. dos SANTOS; MENEZES, C. B. de, SIMON, G. A.; da SILVA, A. G., TARDIN, F. D.; GONÇALVES, F. H. Adaptabilidade e estabilidade de híbridos de sorgo granífero no sudoeste de Goiás. *Agrarian*, v. 9, n.34, 334-347, 2016.

Martins, C. M. S. Estoque de carbono no solo sob diferentes sistemas de manejo agrícola no Brasil: uma meta-análise. 1989-M386e. 90 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Aplicada). UFV, 2017.

MAY, A.; MENDES, S.; da SILVA, D. D.; PARRELLA, R. D. C.; de MIRANDA, R. A.; da SILVA, A. F.; ...; KARAM, D. Cultivo de sorgo sacarino em áreas de reforma de canaviais: Desempenho produtivo de sorgo sacarino cultivado em reforma de canaviais nos últimos anos. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas, MG. Circular técnica, 186. 36p, 2013.

MELO, I. G. C e. Densidades de semeadura de leguminosas na melhoria da qualidade do solo e na produtividade do milho. 2012. 60f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFRSA), Mossoró – RN, 2012.

MENEZES, L.A.S.; LEANDRO, W.M. Avaliação de espécies de coberturas do solo com potencial de uso em sistema de plantio direto. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.34, p.173-180, 2004.

METCALF & EDDY. (2003) Wastewater engineering: treatment and reuse. Boston: McGraw-Hill.

MOREIRA, V.F.; PEREIRA, A.J.; GUERRA, J.G.M.; GUEDES, R.E. & COSTA, J.R. Produção de biomassa de guandu em função de diferentes densidades e espaçamentos entre sulcos de plantio. Seropédica, Embrapa Agrobiologia, 2003. 5p (Comunicado Técnico, 57).

MIZUBUTI, I.Y.; Júnior, O. B.; Souza, L. W. O.; Silva, R. S. dos S. F.; Ida, E. I. Propriedades funcionais da farinha e concentrado protéico de feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp). **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v.50, n.3, p. 274-280, 2000.

MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo**: características e manejo em pequenas propriedades. Chapecó, 1991. 337 p.

Monreal, C.M., DeRosa, M., Mallubhotla, S.C., Bindraban, P.S., Dimkpa, C.O., 2016. Nanotechnologies for increasing the crop use efficiency of fertilizer-micronutrients. *Biol. Fertil. Soils* 52 (3), 423–437. <https://doi.org/10.1007/s00374-015-1073-5>.

MULVANEY, M.J.; WOOD, C.W.; BALKCOM, K.S.; SHANNON, D.A.; KEMBLE, J.M. Carbon and nitrogen mineralization and persistence of organic residues under conservation and conventional tillage. *Agronomy Journal*, v.102, p.1425-1433, 2010.

NASCIMENTO, J. T.; SILVA, I. F. Quantitative and qualitative evaluation of legumes as soil cover. *Ciência Rural*, v.34, n.3, p.947-949, 2004.

OLIVEIRA, A. B. et al. COLEÇÃO 500 PERGUNTAS, 500 RESPOSTAS. Embrapa, Brasília, 274 p. 2019.

OLIVEIRA, H. C. de; LEANDRO, W. M.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. P. de; LIMA, J. H. S.; BOTELHO, S. A. Biomassa total de coberturas verdes plantadas no verão em sistema de plantio direto em Goiás. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13., 2000, Ilhéus. Anais... Ilhéus: Ceplac/Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. 1 CDROM.

OLSON, S. N. et al. High biomass yield energy sorghum: developing a genetic model for C4 grass bioenergy crops. *Biofuels, Bioproducts & Biorefining*, Chichester, v. 6, p. 640-655, Dec. 2012.

ORTEGA-BLU, R. Biological soil quality indicators: a review. In: MENDEZ-VILAS, A. (Ed.). **Current research, technology and education topics in applied microbiology and microbial biotechnology. Formatex Research Center.** Extremadura: Formatex Research Center ,2010. p. 319–328.

PARRELLA, R.A.C. et al. Desenvolvimento de híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo visando alta produtividade de biomassa. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 25p.

PARRELLA, R. A. C.; RODRIGUES, J. A. S.; TARDIN, F. D.; DAMASCENO, C. M. B.; SCHAFFERT, R. E. Desenvolvimento de híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo visando alta produtividade de biomassa. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 25p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 28).

PARRELLA, R. A. C. et al. Cultivo do sorgo biomassa para cogeração de energia elétrica / – Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. 65 p.: il. -- (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 152).

PEIXOTO, A.M.; PEDREIRA, C.G.S.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. A planta forrageira no sistema de produção. In: 17º Simpósio sobre manejo de pastagem. **Anais...FEALQ**, Piracicaba, 2001.

PATERSON, E.; SIM, A. Soil-specific response functions of organic matter mineralization to the availability of labile carbon. *Global Change Biology*, v.19, p.1562-1571, 2013.

PERALTA, A.L.; WANDER, M.M. Soil organic matter dynamics under soybean exposed to elevated [CO<sub>2</sub>]. *Plant Soil*, v.303, p.69-81, 2008.

PEREIRA FILHO, I. A.; Parrella, R. A. C; Moreira, J. A. A.; May, A.; Souza, V. F.; Cruz, J. C. Avaliação de cultivares de sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* L. MOENCH] em diferentes densidades de semeadura visando a características importantes na produção de etanol. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 12, p. 118 -127, 2013.

PEREIRA, G. A. et al. Desempenho agrônomo de híbridos de sorgo biomassa. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, Águas de Lindóia. **Anais... Águas de Lindóia**: [s. n.], 2012.

PEREIRA, J.; KAGE, H. Manejo da matéria orgânica em solos de Cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 5., 1979, Brasília. *Cerrado: uso e manejo*. Brasília : Editerra, 1980. p.581-591.

PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J. G. M.; CECON, P. R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, n.1, p.35-40, 2004.

PIRAÍ SEMENTES, **Espécies: Feijão - Guandu comum forrageiro**. Disponível em <[http://www.pirai.com.br/semente\\_feijao\\_guandu\\_forrageiro\\_ano-texto b100.html](http://www.pirai.com.br/semente_feijao_guandu_forrageiro_ano-texto_b100.html)>. Acessado em 19/02/2020.

PIZARRO, E. A. Alguns fatores que afetam o valor nutritivo da silagem de sorgo. Inf. Agropecu. v.47, p.12-19, 1978.

REINBOTT, T. M; CONLEY, S. P.; BLEVINS, D. G. No-tillage corn and grain sorghum response to cover crop and nitrogen fertilization. Agronomy Journal, v.96, n.4, p.1158-1163, 2004.

RESENDE, A. V. de; COELHO, A. M.; RODRIGUES, J. A. S.; SANTOS, F. C. Adubação maximiza o potencial produtivo do sorgo. 2009. 8p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica 119).

RIBAS, P. M. (2014) **Origem e importância econômica**. In: Borém, A.; Pimentel, L.; Parrela, R. Sorgo: do plantio à colheita. Editora UFV, 2014, 275p.

RIBAS, P.M. Sorgo: introdução e importância econômica. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, Documentos, 26, 2003. 16p.

ROMEU C. ANDRADE NETO, NEYTON O. MIRANDA, GUSTAVO P. DUDA, GIÊIDSON B. GÓES & ANDRÉ S. LIMA. Crescimento e produtividade do sorgo forrageiro BR 601 sob adubação verde, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.2, p.124-130, 2010 Campina Grande, PB, UAEEA/UFCG - <http://www.agriambi.com.br> Protocolo 044.08 – 06/03/2008 • Aprovado em 17/04/2009.

ROSA, R. et al. **Estoque de carbono em solos sob pastagens cultivadas na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba**. Uberlândia: Soc. & Nat., 2014.

SABADIN, H.C. Adubação verde. Lavoura Arrozeira, v.37, n.354, p.19-26, 1984.

SANTOS, R. S. Alimentos convencionais, orgânicos, hidropônicos e transgênicos, qual a diferença? Portal AgroDebate. 2013. Disponível em <<http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=29427&secao=ArtigAr%20Especiais>> acessado em 07/06/2021.

SANTOS, F.C.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R.; RESENDE, A.V.; OLIVEIRA, A.C.; GOMES, T.C.; OLIVEIRA, M.S. Adubações nitrogenada e potássica no sorgo biomassa- produtividade e qualidade de fibra. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 13: 1-13, 2014.

SILVA, P. C. G. da. Produtividade de fitomassa e relação C/N em consórcios de sorgo e milho. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.44, n.11, p.1504-1512, nov. 2009.

SMITH, P. Land use change and soil organic carbon dynamics. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.81, p.169–178, 2008.

SMYTH, T.J.; CRAVO, M.S. ; MELGAR, R.J. Nitrogen supplied to corn by legumes in a Central Amazon Oxisol. **Tropical Agriculture**, London, v.68, n.4, p.366-372, 1991.

SOMBROEK, W. G.; NACHTERGALE, F. O.; HEBEL, A. Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. **Ambio**, v. 27, n. 2, p. 417 - 426, 1993.

SUZUKI, L.E.A.S.; ALVES, M.C. Fitomassa de plantas de cobertura em diferentes sucessões de culturas e sistemas de cultivo. *Bragantia*, v.65, p.121-127, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 5.ed. Porto Alegre: Artemed, 2013. 954p.

TEODORO, R. B.; OLIVEIRA, F. L.; SILVA, D. M. N.; FÁVERO, C.; & QUARESMA, M. A. L. ASPECTOS AGRONÔMICOS DE LEGUMINOSAS PARA ADUBAÇÃO VERDE NO CERRADO DO ALTO VALE DO JEQUITINHONHA. *Revista Brasileira de Ciências do Solo* vol.35, no.2, Viçosa Mar./Abr. 2011.

TORRES, M. Sorgo biomassa: cultura promissora para geração de energia, 2013, *Jornal Eletrônico da Embrapa Milho e Sorgo*. Ano 07, Ed. 43. Disponível em: <<http://grao.cnpms.embrapa.br/noticia.php?ed=MTM=&id=NDY>>. Acessado em: 27 de maio de 2018.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; FABIAN, A.J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.43, p.421-428, 2008.



VENZKE FILHO, S. P.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C.; SIQUEIRA NETO, M.; CERRI, C. C. Biomassa microbiana do solo em sistema plantio direto na região de Campos Gerais - Tibagi, PR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.599-610, 2008.

XAVIER, F.A.S.; MAIA, S.M.F.; OLIVEIRA, T.S.; MENDONÇA, E.S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba – CE. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.247-258, 2006.

WATSON, R. T. (Ed.). **Climate change 2001: synthesis report: third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University, 2001. 408 p.

WUTKE, E. B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. P. **Espécies de Adubos Verdes e Plantas de Cobertura e Recomendações para seu Uso**. Research Gate, p.59 – 167, 2014.

ZINN, Y.L.; LAL, R. & RESCK, D.V.S. **Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil**. *Soil Till. Res.*, 84:28-40, 2005.

GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D. de; BOEIRA, R. C.; TOLEDO, L. G. de. Nutrientes vegetais no meio ambiente: ciclos biogeoquímicos, fertilizantes e corretivos. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 50 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 18).

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica. Dourados: EMBRAPA Agropecuária Oeste; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2002. 86 p.

STOCKMANN, U.; ADAMS, M. A.; CRAWFORDA, J. W.; FIELDA, D. J.; HENAKAARCHCHI, N.; JENKINS, M.; MINASNYA, B.; MCBRATNEYA, A. B.; COURCELLES, V. R.; SINGHA, K.; WHEELER, I.; ABBOTT, L.; ANGERS, D. A.; BALDOCK, J.; BIRDE, M.; BROOKES, P. C.; CHENUG, C.; JASTROWH, J. D.; LAL, R.; LEHMANNJ, J.; O'DONNELL, A. G.; PARTON, W. J.; WHITEHEAD, D.;

ZIMMERMANN, M. The knowns, know nunknowns and of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 164, p. 80-99, 2013.