

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Engenharia Agrícola e Ambiental

**TAXA DE MINERALIZAÇÃO DE NUTRIENTES DE RESÍDUOS DE
GRAMÍNEAS EM CONDIÇÕES TROPICAIS**

Gbison Ferreira de Almeida

Gbison Ferreira de Almeida

**TAXA DE MINERALIZAÇÃO DE NUTRIENTES DE RESÍDUOS DE
GRAMÍNEAS EM CONDIÇÕES TROPICAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental, sob orientação do Prof. Dr. Rodinei Facco Pegoraro

Montes Claros
Instituto de Ciências Agrárias - UFMG
2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aluno (A): **Gbison Ferreira de Almeida**

Orientador(A): **Rodinei Facco Pegoraro**

Título do trabalho de conclusão de curso:

Taxa de mineralização de nutrientes de resíduos
de gramíneas em condições tropicais

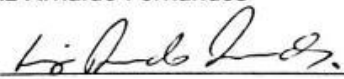
Local e data da defesa: Montes Claros MG, 26 de Junho de 2019

Banca de avaliadores (Orientador e no mínimo mais dois membros):

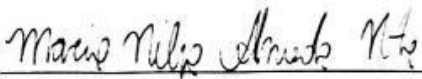
Nome : **Rodinei Facco Pegoraro**

Assinatura:  Nota(0 a 100 pontos): 95

Nome : **Luiz Arnaldo Fernandes**

Assinatura:  Nota(0 a 100 pontos): 95

Nome : **Maria Nilfa de Almeida Neta**

Assinatura:  Nota(0 a 100 pontos): 95

Nome :

Assinatura: _____ Nota(0 a 100 pontos): _____

Média: 95

Conceito Final: A Aprovado(A): X Reprovado(A): _____

RESUMO

A utilização de gramíneas como cobertura vegetal garante ao solo a proteção contra processos erosivos que afetam diretamente a sua capacidade de uso, além de aumentar a disponibilidade de nutrientes e matéria orgânica à cultivos subsequentes. Nesse sentido, objetivou-se avaliar a decomposição de resíduos vegetais de gramíneas e a mineralização de nutrientes, por meio da massa remanescente de matéria seca ao longo de 112 dias de avaliação em condições de campo. O estudo foi conduzido no delineamento em blocos casualizados com quatro repetições, em esquema fatorial 4 x 9, consistindo da utilização de quatro resíduos culturais: sorgo, milho, aveia preta e pousio; e nove tempos de mineralização dos resíduos: 0, 14, 28, 42, 56, 70, 84, 98 e 112 dias após a montagem do estudo (DAM) no campo. Os resíduos vegetais foram dispostos na superfície do solo com o uso de gabaritos de madeira, contendo 156,25 cm² de área superficial para cada unidade experimental. Foram avaliados a massa remanescente dos resíduos vegetais, o tempo de meia vida e a massa seca mineralizada durante o período. Observou-se aos 112 DAM, menor taxa de decomposição para os resíduos de sorgo e milho, com massa seca remanescente (MSR) de 40% e 31% respectivamente, em comparação aos resíduos de aveia e pousio que apresentaram 17% de MSR. Com isso, a taxa de mineralização dos resíduos decresceu na seguinte ordem: pousio>aveia>milho>sorgo, e correspondeu a 83, 83, 69 e 60% para porcentagem mineralizada, respectivamente e a ordem de mineralização entre os nutrientes (K>P>N>C>Mg>S>Ca) e corresponderam a 96,42; 88,42; 88,18; 79,81; 76,18 e 74,40%. Quanto ao tempo de meia vida ($t^{1/2}$), os resíduos apresentaram similaridade na ordem: aveia>milho>sorgo>pousio. Esses resultados indicaram maior ciclagem de nutrientes no solo após a aplicação de resíduos vegetais de pousio e aveia preta, para as condições climáticas do norte do estado de Minas Gerais. No entanto, o uso de resíduos vegetais de sorgo e milho podem manter a cobertura vegetal do solo por maior período de tempo, auxiliando os sistemas agrícolas em fatores relacionados a produção e manejo cultural, como a proteção física, controle da erosão superficial, redução na perda de água do solo, evaporação e redução da temperatura superficial do solo.

Palavras chaves: Massa remanescente, *Sorghum bicolor*, *Pennisetum glaucum*, *Avena* sp.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Gabarito contendo 32 unidades experimentais	16
Figura 2 - Precipitação e Temperatura durante o experimento	18
Figura 3 - Massa seca remanescente (MSR) e Massa Mineralizada (MM) dos resíduos vegetais de sorgo, milho, aveia preta e pousio ao longo de 112 dias após a montagem do estudo (DAM).....	21
Figura 4 - Mineralização acumulada (%) de carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre ao longo de 112 dias após a montagem do experimento (DAM), dos resíduos vegetais de sorgo, milho, aveia preta e pousio.	25
Figura 5 - Relação C:N e tamanho dos compartimentos	26

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Características bioquímicas e químicas dos resíduos culturais e quantidade aportada em cada unidade experimental.....	17
TABELA 2 - Análise de variância parcial representada pelo quadrado médio (QM) e médias por tempo de observação de Massa seca remanescente (MSR), carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre	20
TABELA 3 - Conteúdos médios inicial (CI) e final (CF), quantidade mineralizada (QM) até 112 dias após início da incubação, porcentagem mineralizada (PM) de carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, como modelo ajustado ao conteúdo do nutriente remanescente, seguido dos tempos de meia vida lábil ($t_l^{1/2}$) e recalcitrante ($t_r^{1/2}$) e coeficiente de determinação (R^2)	23

LISTA DE ABREVIATURAS

DAM – DIAS APÓS A MONTAGEM

MS – MASSA SECA

MSR – MASSA SECA REMANESCENTE

QM – QUANTIDADE MINERALIZADA

PM – PORCENTAGEM MINERALIZADA

MM – MASSA MINERALIZADA

CI – CONTEÚDO INICIAL

CF – CONTEÚDO FINAL

TN – TEOR DO NUTRIENTE

CNR – CONTEÚDO DO NUTRIENTE REMANESCENTE

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1. Considerações gerais sobre o plantio direto e decomposição de resíduos vegetais.....	9
2.2 Culturas de cobertura do solo	11
2.2.1 Milheto	11
2.1.2 Aveia Preta	13
2.2.3 Sorgo	14
2.3. Decomposição e mineralização de nutrientes de resíduos vegetais.....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	19
5. CONCLUSÕES	27
6. REFERÊNCIAS	27

1. INTRODUÇÃO

Com a crescente demanda por produção de alimentos, em áreas cada vez mais reduzidas devido à redução na disponibilidade de áreas agricultáveis no mundo, implicam na adoção de sistemas de cultivo conservacionistas que utilizam técnicas de manejo sustentável, de forma a aumentar a produtividade e manter a qualidade edáfica e do ecossistema agrícola.

Dentre os principais sistemas conservacionistas, o plantio direto por preconizar a utilização permanente de cobertura vegetal e ausência de revolvimento do solo têm contribuído para a ciclagem de nutrientes, teor de matéria orgânica e redução da perda de solo por erosão, entre outros, contribuindo para a sustentabilidade dos cultivos agrícolas no mundo. No entanto, a utilização de culturas de cobertura em ambientes tropicais apresenta elevada taxa de mineralização, o que pode comprometer a longevidade da cobertura do solo, fundamental para manutenção dos sistemas conservacionistas. Nesse contexto, a utilização de gramíneas em sistemas conservacionistas apresenta menor taxa de mineralização, em comparação aos restos vegetais de leguminosas, o que pode contribuir para a manutenção da cobertura do solo por maior período de tempo.

Os resíduos vegetais provenientes de cultivos agrícolas apresentam considerável proporção de nutrientes com potencial taxa de mineralização e liberação de nutrientes para cultivos subsequentes, no entanto até hoje a maioria dos manuais de recomendação de adubação desconsideram essa parcela de nutrientes no manejo da adubação, o que poderia contribuir para redução dos custos de produção e uso excessivo de fertilizantes.

O plantio direto no Brasil tem sua eficiência comprovada por estudos conduzidos principalmente na região Sul do País, onde a decomposição dos resíduos culturais ocorre de forma lenta, favorecidos pela boa distribuição de chuvas e temperaturas mais baixas ao longo do ano. A justificativa deste trabalho se dá pelo déficit de estudos de campo sobre a decomposição de resíduos vegetais de plantas de cobertura nas regiões com clima tropical do país, onde os processos de decomposição são acelerados.

O objetivo proposto no estudo é avaliar o tempo de permanência dos resíduos de gramíneas na superfície do solo, a sua decomposição e mineralização de nutrientes em condições de campo no norte de Minas Gerais.

Além desta introdução, o texto se estrutura da seguinte forma: Primeiramente uma revisão de literatura que ressalta os principais aspectos relacionados ao sistema de plantio direto e decomposição de resíduos culturais, define as características das culturas de cobertura

utilizadas do estudo e sua justificativa, e por fim as características específicas da decomposição de resíduos culturais. A segunda parte, detalha os métodos e materiais utilizados para o desenvolvimento do estudo, além de informações necessárias para desenvolvimento dos resultados. Por fim, apresenta-se os resultados e a discussão comparando com os principais e atuais trabalhos correlatos, e demonstra-se as principais conclusões obtidas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Considerações gerais sobre o plantio direto e decomposição de resíduos vegetais

Nas últimas cinco décadas, a produção agrícola mundial triplicou, entretanto, atualmente, a principal desafio é manter a sustentabilidade dessa produção a longo prazo, que é depende do desenvolvimento de novas tecnologias de manejo do solo e dos cultivos, como a expansão de áreas no sistema plantio direto (MALUF *et al.*, 2015 a).

Além disso, o revolvimento intensivo do solo pelo preparo convencional e a reposição inadequada de nutrientes exportados da área de cultivo podem promover a degradação gradativa do solo, possibilitando a intensificação dos processos de erosão e compactação, tornando-se assim, fatores limitantes à manutenção e aumento da produtividade das culturas (MATIAS, 2013).

Dentre os sistemas agrícolas deve-se optar por aqueles considerados conservacionistas, que contribuam para a melhoria da fertilidade do solo, proporcionando redução no uso de corretivos, fertilizantes e índices de degradação do solo (MATIAS *et al.*, 2009). A manutenção superficial de resíduos vegetais no solo oriundos de plantas de cobertura constitui-se em importante forma de melhoria da qualidade do solo, pois o protege da radiação solar, diminui o impacto das gotas de chuva, mantém a umidade do solo e auxilia no controle de plantas daninhas (LEITE *et al.*, 2010).

Um importante instrumento para a manutenção e recuperação da capacidade produtiva de solos manejados em sistema convencional e de áreas degradadas foi do desenvolvimento do sistema de semeadura direta (TORRES; PEREIRA; FABIAN, 2008). SILVA *et al.* (2011) afirmam que as culturas de cobertura, além de fornecerem proteção ao solo dos agentes erosivos, apresenta capacidade de sequestro C atmosférico e potencial para elevar o teor de matéria orgânica no solo e reciclar os nutrientes acumulados em seus tecidos. A permanência de resíduos vegetais sobre o solo e sua decomposição são fatores

determinantes na ciclagem de nutrientes e o conhecimento do processo é fundamental, assim resultando em maior possibilidade de desenvolvimento às culturas subseqüentes (FABIAN, 2009).

A maioria dos estudos que comprovam a eficiência do sistema de plantio direto no Brasil são conduzidos na região sul do país, onde observa-se distribuição regular de chuvas durante todo o ano, ausência de período seco e temperaturas brandas, que possibilitam melhor estabelecimento das coberturas vegetais e favorecem a decomposição lenta de seus resíduos (FABIAN, 2009). Existe déficit de estudos de campo sobre a decomposição de resíduos vegetais de culturas de cobertura nas regiões mais quentes do país, onde os processos de decomposição desses resíduos são acelerados devido a altas temperaturas. (MATIAS, 2009)

O principal empecilho para o sucesso do sistema plantio direto consiste na produção e a manutenção de biomassa sobre a superfície do solo, principalmente em regiões tropicais, onde à umidade proporcionada pelo grande volume de chuvas concentradas, aliadas as elevadas temperaturas, aceleram o processo de decomposição dos resíduos vegetais (TEIXEIRA *et al.*, 2010).

Novas espécies de plantas de cobertura introduzidas no sistema de produção de regiões tropicais podem contribuir para o desenvolvimento da semeadura direta, por garantir a manutenção da cobertura do solo com seus resíduos vegetais. Propiciando melhorias nas características químicas e físicas, aumento nos níveis de matéria orgânica; proteção proporcionada pela cobertura do solo, que, diminui a incidência de erosão hídrica e eólica; diminuição da temperatura do solo; além de agir como impedimento contra o desenvolvimento de plantas daninhas, favorecendo o desenvolvimento das culturas subseqüentes (BOER *et al.*, 2008).

A manutenção de resíduos culturais na superfície do solo e sua decomposição contribuem, para que, parte dos nutrientes acumulados pelas plantas retornem ao sistema e possam ser reaproveitados pelas culturas posteriormente implantadas. Os estudos com ciclagem de nutrientes em agrossistemas, com diversos tipos de resíduos vegetais em diferentes condições de solo e clima estão em constante avanço, entretanto, ainda existe deficiência de informações sobre o fluxo e a dinâmica no solo, como a mineralização de nutrientes provenientes de resíduos culturais que serviriam de suporte aos trabalhos visando verificar a disponibilidade desses nutrientes para as plantas (MALUF *et al.*, 2015 b).

A adoção de manejos eficientes, envolvendo resíduos culturais em áreas agrícolas, é dependente do conhecimento de fatores relacionados a decomposição, transformações de C

e transferência de nutrientes para o solo, provenientes de diferentes tipos de resíduos vegetais, com características químicas e bioquímicas distintas (MALUF *et al.*, 2015 a).

O tipo de manejo dos resíduos culturais adotado, irá resultar em distintas velocidades de decomposição (TORRES *et al.*, 2005). E a sensibilidade dos resíduos vegetais à decomposição está diretamente relacionada à sua composição química, como os teores de celulose, lignina e polifenóis e às relações entre estes componentes, como a relação C/N, lignina/N e polifenóis/N (AITA; GIACOMINI, 2003; ESPINOLA *et al.*, 2006; MALUF *et al.*, 2015 a).

Segundo Torres; Pereira e Fabian (2008) resíduos vegetais com maior relação C/N, como as gramíneas, persistem por mais tempo sobre o solo, porém, há maior imobilização de nutrientes no início do processo, pois a quantidade, principalmente de N, disponíveis na biomassa é menor para os microrganismos decompositores, o que resulta em maior imobilização e diminuição da disponibilidade de alguns nutrientes para as culturas. Por outro lado, o uso de leguminosas possibilita maior liberação de nutrientes, principalmente N ao solo, pelo processo de fixação biológica realizado por estas espécies (Aita e Giacomini, 2006). Embora mantenham por menor tempo a proteção ao solo.

O uso de plantas de cobertura perenes, como as braquiárias, é capaz de suportar o estresse hídrico e altas temperaturas, resultando em significativo acúmulo de fitomassa em relação a outras plantas (PACHECO *et al.*, 2008).

Uma alternativa é o cultivo das espécies consorciadas, que resultam em material com relação C/N intermediária em relação espécies de forma individual, com menor taxa de decomposição quando comparada à das leguminosas e proporcionando maior período de cobertura do solo (GIACOMINI *et al.*, 2003). A utilização dos consórcios em regiões tropicais, é dependente da adaptação correta das técnicas, por meio da identificação de espécies que combinadas possuam uma melhor adaptação, além de estudar a dinâmica de decomposição do material e da mineralização de nutrientes no solo (TEIXEIRA *et al.*, 2010).

2.2 Culturas de cobertura do solo

2.2.1 Milheto

O milheto (*Pennisetum glaucum* (L.), *Pennisetum americanum*) é uma planta anual, de crescimento cespitoso e ereto, muito utilizada como planta de cobertura em regiões tropicais. Apresenta ciclo de aproximadamente 130 dias, a altura do colmo pode superar 3,0

m. Aos 50 a 55 dias após a emergência pode atingir 1,5 m de altura. Apresenta folhas com lâminas largas com bordos serrados. A inflorescência é uma panícula cilíndrica e longa (SALTON, 1998; FONTANELI, 2012). Bernardi *et al.* (2004) cita que dentre as gramíneas utilizadas como cobertura destaca-se o milheto, devido à sua adaptação a áreas de maior déficit hídrico e à possibilidade de uso tanto para cobertura do solo como para forragem, dessa maneira possibilitando a expansão de semeadura direta em regiões tropicais.

A semeadura do milheto com adequado estabelecimento ocorre a partir de outubro, quando a temperatura do solo se situa em torno de 20° C, sob essa condição, a forrageira apresenta boa germinação e o crescimento ocorre com rapidez, destaca-se também que a cultura apresenta bons resultados quando consorciada com leguminosas (FONTANELI, 2012).

Como principais características da espécie, destacam a alta capacidade de reciclagem de nutrientes como o N e K, e alta capacidade de supressão de plantas daninhas por meio dos efeitos físicos e alelopáticos; a possibilidade de diminuir a incidência de nematoides no manejo de rotação de culturas; e a formação de palhada mais duradoura em relação às leguminosas (BERNARDI *et al.*, 2004).

Perin *et al.* (2004) e Alvarenga *et al.* (2001) destacam que alta capacidade do milheto em reciclar o potássio, justificado devido a sua elevada capacidade de acúmulo na parte aérea, agregado ao desenvolvimento do sistema radicular que atinge até dois metros de profundidade podendo extrair nutrientes de camadas profundas.

De maneira geral a produção de biomassa é dependente da época de cultivo, da adubação e disponibilidade hídrica da região. Torres; Pereira e Fabian (2008) verificaram produção de 10,3 t.ha⁻¹ de MS, no município de Uberaba-MG, no período de agosto a novembro sem aplicação de adubos e irrigação. Diferindo de Teixeira *et al* (2011) que alcançaram produção de 3,5 t.ha⁻¹ de outubro a dezembro, sem adubação e irrigação no período de condução em Seropédica – RJ. No mesmo local deste presente estudo Moreira *et al.* (2015) verificaram produção de 9,67 t.ha⁻¹ com aplicação de 200 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ de biofertilizante suíno e 8,82 t.ha⁻¹ com dose 80 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ de fonte mineral, no período de junho a setembro em condições de irrigação. Marcelo *et al.* (2012) em Jaboticabal-SP, obtiveram produção de 6,5 t.ha⁻¹ de MS com semeadura em fevereiro e nas mesmas condições anteriores, ressalta-se que todas essas regiões recebem a classificação climática Aw de Köppen.

2.1.2 Aveia Preta

A aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) é uma das principais plantas de cobertura estabelecidas na região sul do Brasil, muito utilizada como adubo verde em grande parte do estado do Paraná, também é muito cultivada no estado de São Paulo (CALEGARI, 2001). Além de ser uma importante reserva de nutrientes, apresenta a capacidade de manter o solo coberto até o estabelecimento da cultura posterior (CRUSCIOL *et al.*, 2008).

Quanto à morfologia, a planta apresenta colmo cilíndrico, ereto e glabro, composto de uma série de nós e entre-nós. As folhas inferiores apresentam bainha, lígula obtusa e margem denticulada, com lâmina de 0,14 a 0,40 m de comprimento; os nós são sólidos, o grão de aveia é uma cariopse, semicilíndrico e agudo nas extremidades, encoberto pelo lema e pela pálea (FONTANELI, 2012). Aveia é uma planta de clima temperado que apresenta tolerância a déficit hídrico e temperaturas elevadas para as plantas deste grupo anatômico (C3), podendo ser cultivada nas regiões de clima tropical. São plantas anuais, eretas, com crescimento cespitoso podendo alcançar altura de 0,7 a 1,5 m, glabras ou pouco pilosas, folhas estreitas e longas; inflorescências em panículas abertas ou piramidais; espiguetas com 1 a 3 antécios; glumas desenvolvidas; lemas, normalmente, com aristas dorsais retorcidas (MACHADO, 2010). A aveia preta caracteriza-se por crescimento vigoroso e tolerância à acidez nociva do solo, causada pela presença de alumínio (FONTANELI, 2012).

Estima-se que a utilização da aveia preta seja em torno de 30% em relação às demais espécies usadas em rotações e sucessões de cultura. Especificamente na região oeste do Paraná, onde o plantio direto representa, aproximadamente, 70% a 80% dos sistemas de cultivo, além disso, a aveia preta é muito empregada no cultivo consorciado (CALEGARI, 2001).

As principais características que destacam a aveia preta como planta de cobertura são: a capacidade de perfilhamento do sistema radicular, a resistência a pragas além de suprimir diferentes espécies de nematoides, rapidez na formação da cobertura do solo e a elevada produção de fitomassa seca (3 a 6 t.ha⁻¹), eficiência na reciclagem de N, P e K; a aveia preta possui também elevado efeito supressor e/ou alelopático sobre plantas daninhas. (CALEGARI, 2006; CALEGARI, 2016).

Torres; Pereira e Fabian (2008) verificaram produção de 2,4 t.ha⁻¹ de MS, similar aos resultados de Crusciol *et al.* (2008) que obtiveram 2,95 t.ha⁻¹ no PR em condições

desfavoráveis, com deficiência hídrica, plantio tardio e sem adubação, diferindo dos resultados de Santos *et. al* (2011) verificaram 7,5 t.ha⁻¹ Ponta Grossa – PR, justificado pelas boas condições de fertilidade, solo e adubação, manejo de plantas daninhas no período de condução do experimento. Alvarenga (2001), descreve que para garantir uma boa cobertura do solo, recomenda-se como produtividade ideal de 6 t.ha⁻¹, compreendendo que essa produtividade irá depender das condições propiciadas e o tipo de cultura.

2.2.3 Sorgo

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) apresenta alta resistência à seca e temperaturas elevadas, a espécie tem origem na África e partes da Ásia, sendo o seu cultivo muito utilizado em regiões com precipitações em torno de 625 mm por ano. E também utilizado para cobertura morta e produção de biomassa para pastejo ou fenação, ainda existem os grupos: forrageiro para silagem, granífero para produção de grãos (RIBAS, 2003).

É uma gramínea anual de verão, com crescimento cespitoso, alcançando altura de 0,6 a 4,5 m de altura. Pode apresentar colmos suculentos e eretos, dispostos em forma de touceiras, as folhas são lineares, com 50 a 100 cm de comprimento e 25 a 50 mm de largura. Sua inflorescência é uma panícula aberta e com ramificações curtas, nos sorgos forrageiros e com sementes menores que os graníferos (FONTANELI, 2012).

O sorgo pode ser mais produtivo que o milheto, principalmente em condições de déficit hídrico. As cultivares de ciclo mais longo apresentam a vantagem da melhor de maior e melhor produção de biomassa, a limitação ao cultivo do sorgo é o alto custo da semente em relação ao milheto; das características destaca-se a precocidade no estabelecimento, semelhante ao milheto, além de produção de forragem de boa qualidade (MACHADO, 2010).

A biomassa seca de sorgo é bastante utilizada nos EUA como forma de supressão de plantas daninhas, não só devido ao efeito físico como também à atividade alelopática, relacionado a liberação de compostos de natureza hidrofílica como ácidos fenólicos e hidrofóbica principalmente benzoquinona sorgoleone, que pode inibir da respiração mitocondrial e o transporte de elétrons (TREZZI; VIDAL, 2004).

Quanto a produção de biomassa seca Torres; Pereira e Fabian (2008), verificaram produção de 7,1 t.ha⁻¹, diferindo dos resultados encontrados por Teixeira *et al.* (2011) que obtiveram 3,56 t.ha⁻¹ e Rossi *et al.* (2013) que alcançaram produção de 3,8 t.ha⁻¹ em Montividiu -GO, no período seco sucedendo o cultivo de soja com adubação.

2.3. Decomposição e mineralização de nutrientes de resíduos vegetais

O estudo da decomposição e mineralização de nutrientes de distintos resíduos culturais é fundamental para que, posteriormente, estas possam ser introduzidas no sistema de produção da forma mais eficiente, promovendo proteção do solo pela persistência dos resíduos na área e ciclagem dos nutrientes garantindo seu fornecimento para culturas subsequentes (MALUF *et al.*, 2015 a).

A taxa de decomposição dos resíduos culturais determinará o tempo de mineralização da maioria dos nutrientes (TEIXEIRA *et al.*, 2010). Além de fatores anteriormente citados como características bioquímicas do material e relação C/N.

A porcentagem de mineralização dos nutrientes dependerá também de fatores edafoclimáticos, de forma que, experimentos em campo podem obter resultado distintos dos observados em condições controladas. Marcelo *et al.* (2012) verificaram a mineralização de distintas espécies vegetais, com presença de gramíneas e leguminosas, onde obtiveram maior mineralização de Milheto com 49%, comparado com Crotalária e Guandu com 41% e 47% da MS inicial, respectivamente após 180 dias; resultados similares a Maluf *et al.* (2015 a) que encontraram maior mineralização de braquiária em relação a estilosantes com 35,1 e 44,9 % de massa remanescente após 175 dias, respectivamente.

O tempo de meia vida, corresponde ao tempo necessário para decompor metade da massa decomposta do resíduo vegetal, a obtenção desta informação é muito importante para verificar o tempo de persistência dos resíduos sobre o solo. Teixeira *et al.* (2011) obtiveram tempos de meia vida para duas variedades de milho correspondente a 98 e 112 dias e 96 dias para uma variedade de sorgo. Torres; Pereira e Fabian (2008) estudaram decomposição de gramíneas e leguminosas e encontraram os seguintes resultados: 131, 117, 98, 110, 113, 56 dias para Milheto, Sorgo, Crotalária, Aveia, Guandu e Braquiária. O tempo de meia vida ainda pode ser calculado para compartimentos lábeis e recalcitrantes dos resíduos, como também para a liberação dos nutrientes, desta forma podendo identificar quais resíduos persistiram sobre a superfície do solo por mais tempo, os que irão liberar maior quantidade de nutrientes e em qual tempo.

A cinética e a quantidade da liberação dos nutrientes pelo processo de decomposição dos resíduos serão dependentes do acúmulo destes na massa seca do material e na relação C/Nutriente como afirma Maluf *et al.* (2015 a). Teixeira *et al.* (2011) verificaram que o K e o Mg são mais rapidamente liberados dos resíduos das plantas de cobertura e o N

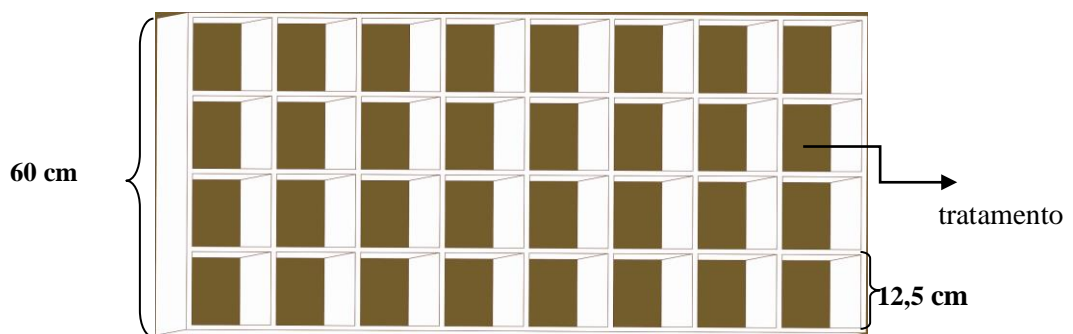
teve comportamento diferente para os resíduos, apresentando maior mineralização (78%) para o resíduo de sorgo após 120 dias e o P apresentou a menor mineralização, Maluf *et al.* (2015) verificaram liberação mais rápida de K, N e Mg e mais lenta para P e Ca e Torres; Pereira e Fabian (2008) observaram liberação mais rápida de N, Ca e Mg e lenta para P, não avaliaram o K.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em área experimental localizada no município de Montes Claros, no Norte do Estado de Minas Gerais, localizado na latitude 16°40'57,70" Sul, longitude 43°50'19,62" Oeste e apresenta altitude média de 650 m. O clima da região pela classificação de Köppen é Aw, com temperatura média mensal variando de 22,8 (janeiro) a 18,3°C (julho) e a precipitação média anual de 1.096 mm (ALVARES *et al.*, 2014).

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados com quatro repetições, em esquema fatorial 4 x 9, consistindo de quatro resíduos culturais: sorgo (*Sorghum bicolor*), milho (*Pennisetum glaucum*), aveia preta (*Avena* sp.) e pousio (predomínio de Gramíneas); e nove tempos de observação: 0, 14, 28, 42, 56, 70, 84, 98 e 112 dias após a alocação dos resíduos no campo (DAM).

Figura 1 - Gabarito contendo 32 unidades experimentais



Fonte: Do autor, 2019.

As plantas utilizadas como resíduos culturais foram anteriormente cultivadas em sistema convencional, com correção da fertilidade do solo as condições ideais das culturas, até o período de florescimento, quando foram colhidas obtendo-se produção de biomassa seca equivalente a 11,84; 12,31; 7,24; 5,51 t ha⁻¹, para sorgo, milho, aveia e pousio respectivamente. Parte dos resíduos vegetais foram secos em estufa de circulação de ar forçada, a 65° C por 72 horas e trituradas para determinação das características estruturais e

químicas (TABELA 1). A caracterização estrutural de cada resíduo vegetal para lignina foi realizada segundo Tappi (1969). Outra parte dos resíduos culturais foram secos à sombra, fragmentados manualmente com auxílio de tesoura de poda em partículas de 0,01 a 0,02 m. Após padronização por tamanho de partículas, os resíduos vegetais foram dispostos na superfície do solo com o uso de gabarito de madeira, contendo 156,25 cm² de área superficial para cada unidade experimental. A quantidade de resíduo adicionado representou, em proporção, a produtividade por hectare de cada cultura sendo: 18,50; 19,23; 11,31 e 8,61g respectivamente para sorgo, milho, aveia e pousio.

TABELA 1 - Características estruturais e químicas dos resíduos culturais e quantidade aportada em cada unidade experimental

Resíduo	Lignina	C	N	P	K	Ca	Mg	S
dag kg ⁻¹								
Sorgo	20,26	45,47	1,18	0,44	2,18	0,53	0,38	0,33
Milho	25,28	41,71	1,62	0,47	3,45	0,70	0,26	0,21
Aveia	20,13	39,89	1,37	0,50	3,19	0,67	0,33	0,20
Pousio	38,88	34,65	1,72	0,47	2,93	1,32	0,39	0,33
	C/N	C/P	C/S	Lig/C	Lig/N	Lig/S	MS	
t/ha								
Sorgo	38,46	103,85	138,75	0,45	17,13	61,82	11,84	
Milho	25,74	89,29	196,11	0,61	15,60	118,86	12,31	
Aveia	29,04	80,08	195,42	0,50	14,65	98,61	7,24	
Pousio	20,18	73,56	105,55	1,12	22,65	118,46	5,51	

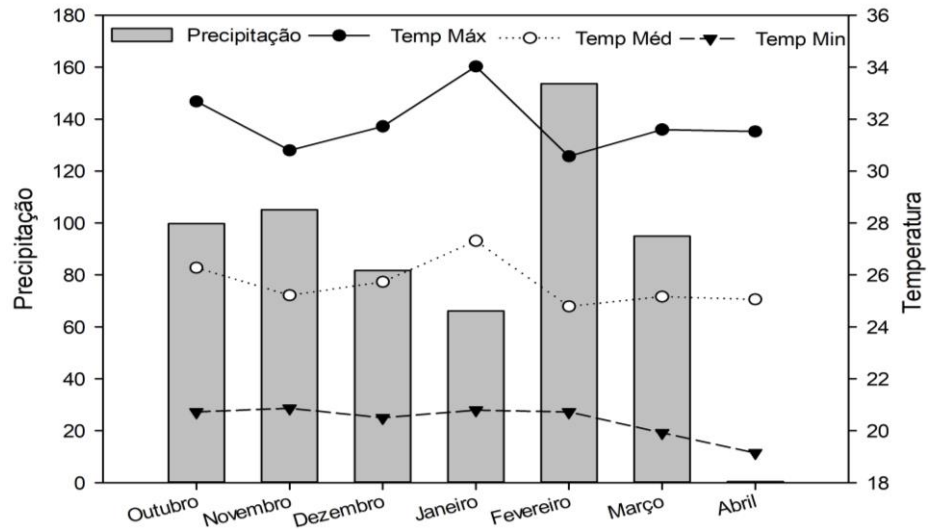
Fonte: Do autor, 2019.

Para evitar a perda excessiva de umidade do resíduo e do solo, ao longo da do período de observação, esses foram reumedecidos com de lâmina d'água de 5 mm, sempre que necessário, de acordo com a precipitação e temperaturas (Figura 2) obtidas durante o tempo de observação.

Os resíduos culturais alocados nos gabaritos foram coletados periodicamente, secos em estufa de circulação de ar forçada, a 65 °C por 72 horas para obtenção da massa remanescente dos resíduos vegetais, o tempo de meia vida e a massa seca mineralizada durante o período de avaliação. Posteriormente o material foi moído, em moinho do tipo Willey com malha de 1 mm e determinou-se o teor de C- orgânico pelo método Tedesco et al.

(1995), de N após digestão sulfúrica; e P, K, Ca, Mg e S após digestão nitroperclórica, na proporção 2:1, de acordo com método descrito pela Embrapa (2009).

Figura 2 – Precipitação e Temperatura durante o experimento no ano de 2017



Fonte: Do autor, 2019

Com base nos teores de cada nutriente e na massa seca remanescente (MSR), foi calculado o conteúdo dos nutrientes remanescentes (CNR) nos resíduos culturais pela equação:

$$\text{CNR (t/ha)} = [(\text{TN} \times \text{MSR}) / 100] \quad \text{Equação (1)}$$

Em que, TN é o teor do nutriente (dag kg^{-1}); MSR, e a massa seca remanescente do resíduo (t ha^{-1}), dividido por 100, para N, P, K, Ca, Mg e S. As taxas de decomposição e mineralização dos nutrientes nos resíduos foram estimadas ajustando-se modelos de regressão aos valores observados, testando os modelos de Wieder e Lang (1982), pelas equações 2 e 3 e Dossa *et al.* (2009) na equação (4)

$$\hat{y} = A^{-kat} + (100 - A) \quad \text{Equação (2)}$$

$$\hat{y} = A^{-kat} + (100 - A)^{-kbt} \quad \text{Equação (3)}$$

$$\hat{y} = A(1 - e^{-kat}) \quad \text{Equação (4)}$$

Em que, \hat{y} é a quantidade estimada de massa seca (MSR) ou de conteúdo do nutriente remanescente (CNR), por cada modelo, no tempo(t) em dias; ka e kb são parâmetros de decomposição da massa seca ou de mineralização dos nutrientes, A é o

parâmetro do compartimento facilmente decomponível e $(100 - A)$, parâmetro do compartimento mais recalcitrante.

A escolha do modelo foi feita com base no menor valor da soma dos quadrados do erro, na significância dos parâmetros da equação ($p < 0,05$) e no maior valor do coeficiente de determinação (R^2) ajustado. A meia-vida ($t_{1/2}$) dos resíduos foi calculada por:

$$t_{1/2} = -\ln(0,5)/k = 0,693/k \quad \text{Equação (5)}$$

Em que $t_{1/2}$ é o tempo necessário para decomposição de 50 % da massa seca do resíduo. Com base no CNR, foram calculadas a quantidade mineralizada (QM) e a porcentagem mineralizada (PM) de cada resíduo pelas equações 6 e 7.

$$QM = CI - CF \quad \text{Equação (6)}$$

$$PM = (CF \times 100) / CI \quad \text{Equação (7)}$$

Sendo:

CI é o conteúdo inicial do nutriente ($t \text{ ha}^{-1}$);

CF o conteúdo final do nutriente ($t \text{ ha}^{-1}$) remanescente no resíduo cultural após 112 DAM.

Os dados foram submetidos à análise da variância (Quadro 2), e as médias referentes à QM (Quadrado médio) de cada nutriente foram comparadas pelo teste Skott knott, a 5 % de probabilidade, por meio do programa computacional R-3.2.2. Os modelos que descrevem a cinética da MSR e do CNR foram testados no programa SigmaPlot 12.0.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A quantidade de MSR dos resíduos não foi influenciada pelo controle local (Blocos), não ocorreu interação entre resíduos x tempo ($p < 0,05$), isso mostra que as condições experimentais podem ser consideradas homogêneas e que a composição bioquímica dos resíduos é o fator determinante para a decomposição, não apresentando relação direta entre o tipo de resíduo e o tempo de observação. Embora de forma independente os dois fatores sejam significativos.

Para a mineralização acumulada dos nutrientes foi verificada influência pelos tipos de resíduos, tempos de observação e controle local para o N, P, K, Mg e S que também apresentaram interação entre tempo e resíduos evidenciando que os diferentes tipos de resíduos apresentam comportamento distintos de liberação de nutrientes ao longo do tempo de acordo com sua composição Bioquímica, para o C o controle local foi significativo e não

houve interação entre tempo e resíduos. Não foi possível um ajuste estatístico dos dados para obtenção de ANOVA para a mineralização acumulada do Ca, devido os dados não adaptarem a uma distribuição de probabilidade. Isso pode ser explicado pelo alto teor de Ca presente na água de irrigação e nos solos da região, como evidenciado por Nunes *et al.* (2008), em estudo do uso de irrigação por água de poços tubulares na região de Janaúba-MG obtiveram média de 10,34 mmol_c L⁻¹ de Ca. Confirmado por Valadares *et al.* (2014) que em estudo realizado em Montes Claros -MG, na mesma localização descrita neste trabalho, no qual verificaram 15,3 dS.m⁻¹ de Ca presente na água de irrigação advinda de poços tubulares.

TABELA 2 - Análise de variância parcial representada pelo quadrado médio (QM) e médias por tempo de observação de Massa seca remanescente (MSR), carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre

FV	GL	Quadrado Médio							
		MSR	C ^(T)	N	P	K	Ca	Mg	S ^(T)
		%				kg t ⁻¹			
Bloco	3	218,50 ^{ns}	0,03*	162,7*	25,09*	35 *	-	18,53*	0,57*
Resíduo	3	2272,70*	0,21*	6773,8*	76,19*	9674*	-	175,13*	30,31*
Tempo	7	3889,70*	2,20*	4690,5*	364,30*	62880*	-	79,30*	4,76*
Resíduo x Tempo	21	148,20 ^{ns}	0,01 ^{ns}	221,6*	2,43	288*	-	7,71*	0,56*
Erro	93	98,00	0,004	3,2	0,90	3	-	0,77	0,03
CV (%)	-	27,03	5,6	6,4	14,19	1,68	-	22,53	8,11

^{ns} não significativo, *significativo pelo teste F a 5% de probabilidade e ^(T) dados transformados

Fonte: Do autor, 2019

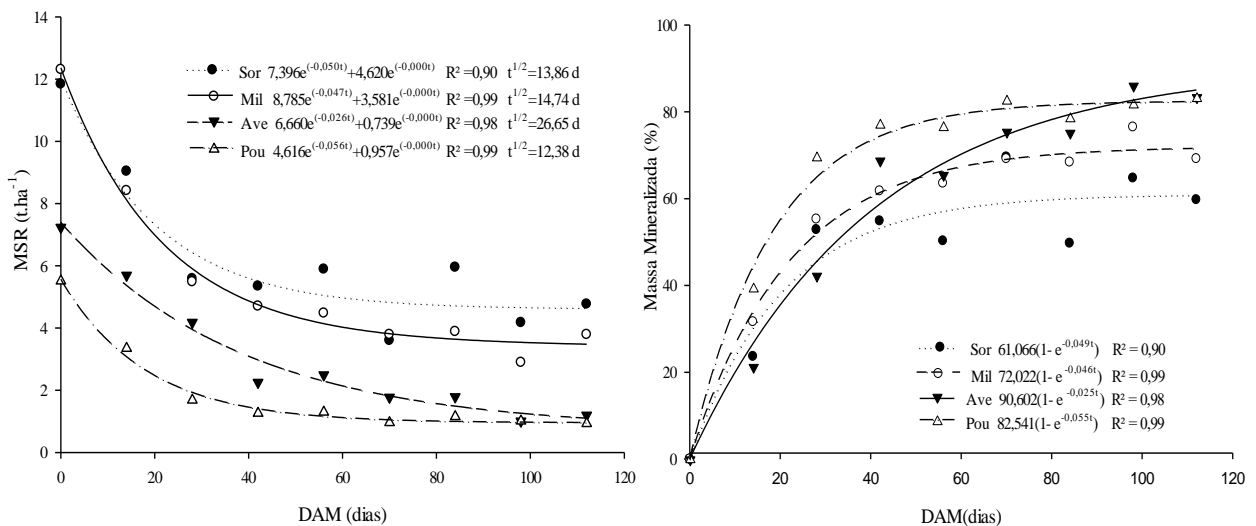
Os resíduos vegetais de aveia e pousio apresentaram maior taxa de mineralização que os resíduos de sorgo e milho (Figura 1), isso ocorre devido a menor relação C:N e maior teor de N presentes nos resíduos de pousio e menor teor de lignina no resíduo de aveia em comparação àqueles de sorgo e milho (TABELA 1).

A menor taxa de decomposição de resíduos vegetais de milho também foi obtida por Torres *et al.* (2008), esses autores observaram aos 210 dias de avaliação, a seguinte ordem decrescente de decomposição: braquiária (88,6%) > pousio (87,4%) > aveia-preta (74,2%) > sorgo (69,4%) > guandu (69,2%) > crotalaria (67,8%) > milho (67,6%). Acosta *et al.* (2014) descreveram que resíduos vegetais com maior teor de N e baixa relação C/N (como a ervilha) apresentam maior taxa de mineralização e liberação de nutrientes.

A decomposição dos resíduos vegetais está diretamente relacionada a composição bioquímica da planta, a mineralização de nutrientes ocorre de forma estequiométrica,

inversamente proporcional a razão carbono/nutriente de maneira que baixas relações tendem a maior mineralização e maiores relações tendem a imobilização (MALUF *et al.*, 2015 a; MANZONI *et al.*, 2010). Ao final dos 112 dias de avaliação, a massa seca remanescente (MSR) nos resíduos de sorgo, milho, aveia e pousio corresponderam a 40, 31, 17 e 17%, respectivamente, e o tempo de meia vida decresceu na ordem: pousio>sorgo>milho>aveia que correspondeu a 12,38; 13,86; 14,74 e 26,65 dias.

Figura 3 - Massa seca remanescente (MSR) e Massa Mineralizada (MM) dos resíduos vegetais de sorgo, milho, aveia preta e pousio ao longo de 112 dias após a montagem do estudo (DAM).



Fonte: Do autor, 2019

Tais resultados corroboraram com àqueles obtidos por Maluf *et al.* (2015a) que encontraram tempo de meia vida de 15,20 e 10,73 dias para resíduos de gramíneas, milho e braquiária, respectivamente. No entanto, Teixeira *et al.* (2010), obtiveram menor taxa de decomposição de resíduos de milho solteiro e em consórcio com feijão-de-porco, pois observaram aos 72 dias de avaliação, 72% de MSR em comparação com 30% para o mesmo período verificado nesse trabalho para o resíduo de milho, no município de Lavras, MG, possivelmente em decorrência da presença de menores temperaturas médias no período de condução do estudo. As taxas de decomposição dos resíduos vegetais no presente estudo foram consideradas elevadas, possivelmente em decorrência do método adotado para condução do estudo e condições climáticas locais. Nesse estudo, os resíduos foram alocados diretamente sobre o solo aumentando a superfície de contato e a aeração, contribuindo para a

atividade microbiana decompositora. A presença de elevada temperatura média atmosférica obtida durante a condução do estudo (Figura 1), intensifica a atividade decompositora. A ocorrência de altas temperaturas tem efeito principalmente sobre o compartimento recalcitrante, intensificando o processo de decomposição, devido a maior energia de ativação das reações como evidenciado por Bauer *et al.* (2008) e Dungait *et al.* (2012).

Para o resíduo de sorgo os resultados corroboram com aqueles descritos por Rossi *et al.* (2013), no qual avaliando a decomposição de sorgo e braquiária sob sistema de plantio direto com soja em Goiás, encontraram MSR de 44%, comparado a 40% nesse estudo, e os resultados de MSR obtidos para resíduos de aveia preta foram similares aos encontrados por Crusciol *et al.* (2008), esses autores obtiveram, no estado do Paraná, MSR de 36,6% após 53 dias de avaliação comparados a 33,4% encontrados para o mesmo período nesse trabalho.

A quantidade mineralizada (QM) média de nutrientes, aos 112 dias de avaliação correspondeu a 53,90; 14,24; 196,40; 8,83; 7,08 e 8,09 kg t⁻¹ de resíduo para N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente, também obteve-se a seguinte porcentagem média de nutrientes mineralizados (PM): 88,18; 88,42; 96,42; 74,40; 79,81 e 76,18% (Tabela 3 e Figura 3). Destacando-se os resíduos de milho, sorgo e aveia com maior capacidade de liberação de nutrientes. Com isso, obteve-se considerável contribuição dos resíduos vegetais para a nutrição de cultivos subsequentes, indicando a necessidade de inclusão dessas informações em manejos futuros de programas de recomendação de adubação.

Os resíduos de aveia e pousio apresentaram maior mineralização de carbono comparado aos de sorgo e milho, de forma que o compartimento recalcitrante não foi significativo, os resíduos de sorgo e milho apresentaram significância nos dois compartimentos, no entanto o compartimento lábil apresentou majoritária fração mineralizada. Esses resultados indicam a rápida mineralização do C presente dos resíduos estudados, com tempo de meia vida do C variando de 11 a 24 dias para o compartimento lábil (TABELA 3).

A mineralização do carbono e outros nutrientes estruturais ocorrem em duas etapas, inicialmente em compostos menos resistentes geralmente solúveis em água denominado compartimento lábil e posteriormente compostos menos solúveis e mais resistentes, denominado compartimento recalcitrante como relatado por Boer *et al.* (2007); Kleber (2010); Maluf *et al.* (2015 a) e verificado por Abera; Wolde-Meskel; Bakken (2012), desta maneira o modelo exponencial duplo (Eq. 3) de Wieder e Lang (1982) é o mais

adequado para descrever esse processo e modelo exponencial crescente simples (Eq. 4) melhor descreve a mineralização acumulada (figura 4).

TABELA 3 - Conteúdos médios inicial (CI) e final (CF), quantidade mineralizada (QM) até 112 dias após início da incubação, porcentagem mineralizada (PM) de carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, como modelo ajustado ao conteúdo do nutriente remanescente, seguido dos tempos de meia vida lábil ($t_l^{1/2}$) e recalcitrante ($t_r^{1/2}$) e coeficiente de determinação (R^2)

Resíduo	CI	CF	QM		MM	EQUAÇÃO	$t_l^{1/2}$	$t_r^{1/2}$	R^2	
			t ha ⁻¹	kg t ⁻¹						%
Carbono										
Sorgo	5,383	1,504	3,879	711,89	a	72,05	f = 62,942e(-0,061x)+37,616e(-0,003x)	11,4	231,0	0,975
Milheto	5,134	1,065	4,069	579,79	a	79,26	f = 60,853e(-0,059x)+39,263e(-0,007x)	53,3	99,0	0,996
Aveia	2,887	0,305	2,582	674,99	a	89,44	f = 93,983e(-0,029x)+6,669e(-0,00x)	23,9	Ns	0,995
Pousio	1,909	0,196	1,713	684,05	a	89,72	f = 88,402e(-0,059x)+12,225e(-0,00x)	11,7	Ns	0,995
Nitrogênio										
Sorgo	0,140	0,029	0,111	30,21	d	79,45	f = 70,171e(-0,069x)+30,074e(-0,002x)	10,0	346,5	0,982
Milheto	0,199	0,027	0,173	64,33	b	86,62	f = 72,029e(-0,149x)+27,971e(-0,008x)	4,7	86,6	0,999
Aveia	0,099	0,007	0,092	37,12	c	92,82	f = 99,329e(-0,029x)+2,401e(-0,00x)	23,9	Ns	0,992
Pousio	0,095	0,005	0,090	83,94	a	94,77	f = 87,125e(-0,114x)+12,907e(-0,008x)	6,1	86,6	0,999
Fósforo										
Sorgo	0,052	0,010	0,042	11,64	d	80,93	f = 68,347e(-0,05x)+32,614e(-0,005x)	13,3	138,6	0,974
Milheto	0,062	0,008	0,054	17,22	a	87,20	f = 71,874e(-0,077x)+28,276e(-0,008x)	9,0	86,6	0,997
Aveia	0,034	0,002	0,031	13,01	c	92,86	f = 96,853e(-0,031x)+3,540e(-0,00x)	22,4	ns	0,984
Pousio	0,026	0,002	0,024	15,06	b	92,70	f = 92,445e(-0,06x)+8,333e(-0,00x)	11,6	ns	0,994
Potássio										
Sorgo	0,302	0,015	0,287	163,62	d	94,91	f = 3,595+ 98,072e(-0,069x)	10,0	NC	0,976
Milheto	0,398	0,016	0,382	214,69	b	95,87	f = 2,502+ 98,145e(-0,083x)	8,3	NC	0,992
Aveia	0,231	0,006	0,225	225,19	a	97,58	f = 2,872+ 97,105e(-0,152x)	4,6	NC	0,999
Pousio	0,148	0,004	0,144	182,09	c	97,31	f = 2,809+ 97,197e(-0,151x)	4,6	NC	1,000
Cálcio										
Sorgo	0,062	0,032	0,030	0,03	b	48,88	f = 62,506e(-0,022x)+43,34e(-0,00x)	31,5	ns	0,859
Milheto	0,086	0,024	0,062	2,10	b	71,80	f = 81,513e(-0,028x)+21,809e(-0,00x)	24,8	ns	0,977
Aveia	0,049	0,006	0,043	1,84	b	87,89	f = 56,209e(-0,016x)+60,348e(-0,016x)	43,3	43,3	0,899
Pousio	0,073	0,008	0,065	31,33	a	89,02	f = 79,856e(-0,075x)+19,993e(-0,006x)	9,2	115,5	0,996
Magnésio										
Sorgo	0,045	0,012	0,033	8,28	b	72,84	f = 72,336e(-0,068x)+29,044e(-0,00x)	10,2	ns	0,869
Milheto	0,031	0,010	0,022	1,54	d	69,33	f = 68,621e(-0,059x)+33,004e(-0,00x)	11,7	700,0	0,938
Aveia	0,024	0,003	0,020	6,38	c	86,11	f = 90,763e(-0,033x)+9,763e(-0,00x)	21,0	ns	0,993
Pousio	0,021	0,002	0,019	12,12	a	90,95	f = 87,920e(-0,084x)+12,498e(-0,002x)	8,3	346,5	0,992
Enxofre										
Sorgo	0,048	0,012	0,036	16,96	a	74,52	f = 80,179e(-0,116x)+19,846e(-0,00x)	6,0	ns	0,967
Milheto	0,031	0,010	0,021	4,53	c	66,99	f = 72,735e(-0,109x)+27,453e(-0,00x)	6,4	ns	0,969
Aveia	0,017	0,004	0,013	0,80	d	75,74	f = 86,751e(-0,026x)+14,425e(-0,00x)	26,7	ns	0,909
Pousio	0,021	0,003	0,018	10,07	b	87,47	f = 88,309e(-0,083x)+12,361e(-0,00x)	8,3	ns	0,981

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 5%, pelo teste de Scott-Knott.

Fonte: Do autor, 2019

O nitrogênio seguiu o mesmo comportamento do carbono, como esperado, no entanto, as taxas de mineralização foram maiores para todos os resíduos, que apresentaram significância nos compartimentos lábil e recalcitrante, com exceção da aveia para o segundo. Como relatado Abera; Wolde-Meskel; Bakken (2012), essas altas taxas de mineralização se devem a intensidade da atividade microbiana em função de condições favoráveis e maior proporção de substrato lábil como ácidos orgânicos, aminoácidos, açúcares e outros compostos menos estáveis.

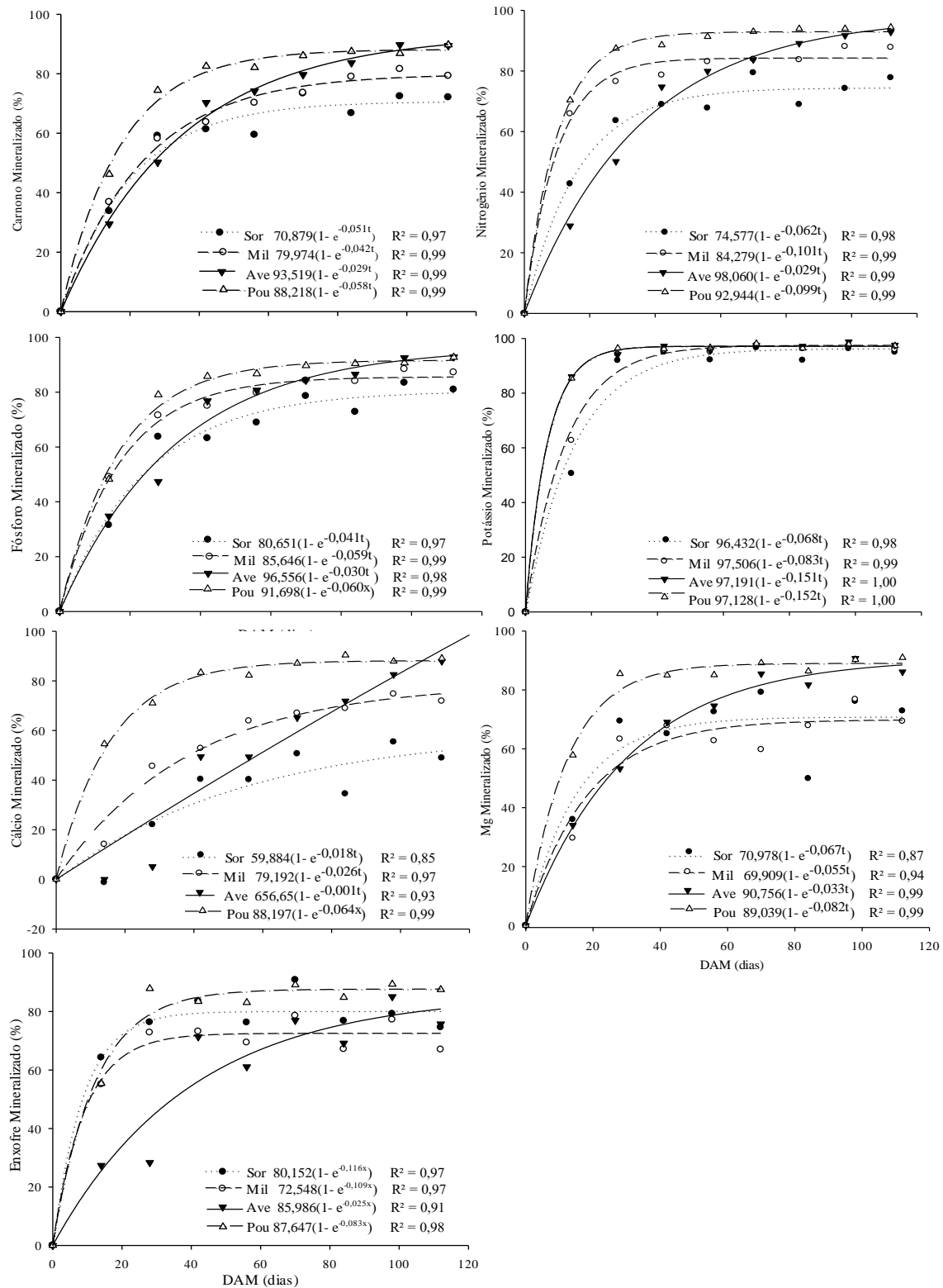
O fósforo apresentou elevadas taxas de mineralização, sendo aveia e pousio com valores semelhantes, e apresentando compartimento recalcitrante não significativo, seguidos por milho ou sorgo com valores inferiores, que pode ser explicado pela baixa relação C/P como verificado por Dossa *et al.* (2009) e Maluf *et al.* (2015 a), que relações menores que 200 favorecem a mineralização do fósforo e maior ou igual a 300 tendem a imobilização. Ressaltando que o fósforo é componente de compostos como os açúcares fosfato, intermediários da respiração e da fotossíntese, bem como dos fosfolipídios que compõem as membranas vegetais, nucleotídeos utilizados no metabolismo energético das plantas e no DNA e no RNA (TAIZ *et al.*, 2017).

Diferentemente dos outros nutrientes a liberação do potássio não depende da relação carbono, uma vez que não é um componente estrutural da planta. O potássio é responsável por muitas funções fisiológicas nas plantas, auxiliando principalmente na estabilização do pH e regulação osmótica e estomática (BARKER; PILBEAM, 2015).

Por ser um componente livre na forma iônica sua liberação é muito rápida dependendo basicamente da umidade, desta forma o modelo exponencial simples (Eq. 2), foi o mais adequado para descrever o processo, uma vez que não se observa compartimento recalcitrante. Verificou-se que aos 28 dias DAM todos os resíduos apresentaram mais de 90% de mineralização (Tabela 3), o que é confirmado pelo baixo tempo de meia vida (variou de 5 a 10 dias) e a mineralização se deu na ordem de aveia > pousio > milho > sorgo.

O cálcio apresentou menor taxa de mineralização entre todos os nutrientes com destaque para o sorgo e milho, as taxas para aveia e pousio podem ser consideradas altas; essas baixas taxas foram relatadas por outros estudos como Maluf *et al.* (2015 a) que afirma que essa lenta decomposição se dá pelo Ca ser componente da parede celular, e sua liberação depender de faixas de pH específicas.

Figura 4 - Mineralização acumulada (%) de carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre ao longo de 112 dias após a montagem do experimento (DAM), dos resíduos vegetais de sorgo, milho, aveia preta e pousio.



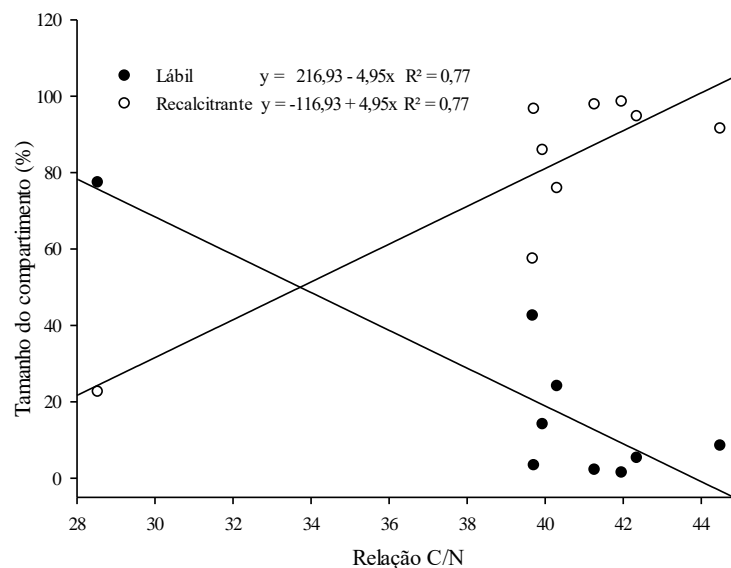
Fonte: Do autor, 2019.

O resíduo de milho apresentou a menor taxa de mineralização de Mg em relação aos outros resíduos, apresentando significância nos compartimentos lábil e recalcitrante juntamente com o pousio, para o sorgo e aveia houve significância somente no compartimento lábil. Pode ser justificado pela função do Mg, que segundo Marschner (2012) atua principalmente no vacúolo correspondendo entre 60 e 90% do seu total na planta, sendo facilmente liberado; a parcela restante por fazer parte de componentes estruturais das plantas como clorofila e pectina da parede celular, tem liberação mais lenta e depende dos processos de decomposição.

Novamente o resíduo de milho apresentou a menor taxa de mineralização de S, comparado ao demais resíduos, Maluf *et al.* (2015 a) relata que relação C/S menor que 200 favorece a mineralização e maior que 400 tendem a imobilização, isso explica as altas taxas de mineralização dos resíduos, que não apresentaram significância nos compartimentos recalcitrantes. Justifica-se também pelo fato de o enxofre estar ligado diretamente a atividades metabólicas, podendo ser encontrado em certos aminoácidos, ser constituinte de várias coenzimas e vitaminas, como coenzima A S-adenosilmetionina, biotina, vitamina B1 e ácido pantotênico (TAIZ *et al.*, 2017).

A figura 5, descreve o comportamento dos compartimentos lábil e recalcitrante em relação a razão C/N média dos resíduos, evidencia quanto maior for esta razão menor será o compartimento facilmente decomposto (lábil) pela ação microbiológica e maior o compartimento mais persistente à decomposição (recalcitrante).

Figura 5 - Relação C:N e tamanho dos compartimentos



Fonte: Do autor, 2019.

5. CONCLUSÕES

1 - Os resíduos de sorgo e milho são mais adequados para a região devido à maior permanência sobre o solo, garantindo proteção física contra erosão, aumentando a umidade e retenção de água e diminuindo a temperatura em sua superfície.

2 - Os resíduos de aveia preta e pousio apresentam rápida liberação de nutrientes, indicando seu uso potencial como adubo orgânico.

3 - Ordem de mineralização entre os resíduos pousio=aveia>milho>sorgo com 17, 31 e 40, respectivamente e a ordem de mineralização entre os nutrientes (K>P>N>C>Mg>S>Ca) corresponderam a 96,42; 88,42; 88,18; 79,81; 76,18 e 74,40 %.

6. REFERÊNCIAS

ABERA, G; WOLDE-MESKEL, E.; BAKKEN, L.R. Carbon and nitrogen mineralization dynamics in different soil of the tropic sameded with legume residues and contrasting soil moisture contents. **Biology and Fertility of Soils**, v. 48, n. 1, p. 51-66, 2012.

ACOSTA, J.A.A. et al. Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. **Embrapa Trigo-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2014.

AITA, C; GIACOMINI, S.J. Plantas de cobertura de solo em sistemas agrícolas. In: Alves BJR, Urquiaga S, Aita C, Boddey RM, Jantalia CP, Camargo FAO, editores. **Manejo de sistemas agrícolas: impacto no sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. Porto Alegre: Genesis; 2006. p.59-79

AITA, C. & GIACOMINI, S.J. Decomposição e liberação de nitrogênio (N) de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:601-612, 2003

ALVARENGA, R.C.; CABEZAS, W.A.L.; CRUZ, J.C.; SANTANA, D.P. **Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto**. Informe Agropecuário, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L; SENTELHAS, P.C., GONÇALVES JLM, SPAROVEK G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorol Z**. v.22, n.6, p.711–728. 2014

TEIXEIRA, M.B. et al. Decomposição e liberação de nutrientes da parte aérea de plantas de milho e sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 3, 2011.

BARKER, A.V.; PILBEAM, D.J. **Hand book of plant nutrition**. CRC press, 2015.

BAUER, J.; KIRSCHBAUM, M.U.F; WEIHER, L.M; HUISMAN, J.A; HERBST, M; VEREECKEN, H (2008) Temperature response of wheat decomposition is more complex than the common approaches of most multi-pool models. **Soil Biology and Biochemistry**, 40,2780–2786.

BERNARDI, A.C de C. et al. No sistema plantio direto é possível antecipar a adubação do algodoeiro. **Embrapa Solos. Comunicado Técnico**, 2005.

BERNARDI, A. C. C. Algodão: adubação antecipada. **Cultivar Grandes Culturas**. Pelotas. v.5. n.66. p.10-14, 2004. ISSN 1518-3157.

BOER, C.A. et al. Biomass, decomposition and soil cover by residues of three plant species in central-western Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 843-851, 2008.

CALEGARI, A. Plantas de cobertura. In: CASÃO JÚNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y. R.; PASSINI, J. J. (Ed.). **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR; Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2006. p. 55-73

CALEGARI, A. Rotação de culturas e plantas de cobertura como sustentáculo do sistema de plantio direto. In: **Congresso brasileiro de ciência do solo**, Londrina, 2001. Anais. Londrina, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2001. p.241

CALEGARI, A. **Plantas de cobertura: Manual técnico**. Londrina: IAPAR, 2016.

CRUSCIOL, C.A.C. et al. Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, p. 481-489, 2008.

CARNEIRO, W.J. de O. et al. Mineralização de nitrogênio em Latossolos adubados com resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 3, 2013.

DOSSA, E.L. et al. Carbon, nitrogen and phosphorus mineralization potential of semiarid Sahelian soil amended with native herb residues, **Geoderma** 148 (2009) 251e260

DUNGAIT, J.A.J et al. Soil organic matter turnover is governed by accessibility not recalcitrance. **Global Change Biology**, v. 18, n. 6, p. 1781-1796, 2012

ESPINDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L. de; TEIXEIRA, M.G.; URQUIAGA., S. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.321-328, 2006.

FABIAN, A. J. **Plantas de cobertura: efeito nos atributos do solo e na produtividade de milho e soja em rotação**. 2009. 83 f. Tese (doutorado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

FONTANELI, R.S.; DOS SANTOS, Henrique Pereira. Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira. **Embrapa Trigo-Livro científico (ALICE)**, 2012.

GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; VEDRUSCOLO, E.R.O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R.S. & FRIES, M.R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:325-334, 2003.

MALUF, H.J.G.M. et al. Decomposição de resíduos de culturas e mineralização de nutrientes em solo com diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 6, 2015 a.

MALUF, H.J.G.M. et al. Disponibilidade e recuperação de nutrientes de resíduos culturais em solo com diferentes texturas. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 39, n. 6, p. 1690-1702, 2015 b.

KLEBER, M. What is recalcitrant soil organic matter? **Environmental Chemistry**, v. 7, n. 4, p. 320-332, 2010.

MACHADO, L.A.Z et al. Principais espécies forrageiras utilizadas em pastagens para gado de corte. **Embrapa Pecuária Sudeste-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2010.

MARCELO, A.V.; CORÁ, José Eduardo; FERNANDES, Carolina. Crop sequences in no-tillage system: II-dry matter decomposition and nutrient release in the second growing season. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1568-1582, 2012.

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3rd.ed. New York: Academic Press; 2012.

MATIAS, M.C.B.; SALVIANO, A.A.C.; LEITE, L.F.C.; GALVÃO, S.R.S. Propriedades químicas em Latossolo Amarelo de Cerrado do Piauí sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 3, p. 356- 362, 2009.

MATIAS, M.C.B.S. **Decomposição de resíduos vegetais de plantas de cobertura e produtividade da cultura de milho**. 2013.

MOREIRA, E.D.S. et al. Características agronômicas e produtividade de milho e milheto para silagem adubados com biofertilizante suíno sob irrigação. **Boletim de Indústria Animal**, v. 72, n. 3, p. 185-192, 2015.

NUNES, W.A.G.A. et al. Chemical characteristics of soils irrigated with deep-well or Gortutuba river water in Janauba region, Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 227-236, 2008.

PACHECO, L.P. *et al.* Desempenho de plantas de cobertura em sobressemeadura na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 2008;43:815-23.

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**, Brasília, v.39, n.1, p.35-40, jan. 2004.

- RIBAS, P. M. **Sorgo: introdução e importância**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 16 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 26).
- ROSSI, C.Q. et al. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de braquiária, sorgo e soja em áreas de plantio direto no cerrado goiano. **Embrapa Solos-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2013.
- SALTON, J.C.; KICHEL, A.N. **Milheto - Alternativa para cobertura do solo e alimentação animal**. Dourados: EMBRAPA, 1998. 6p. Folheto.
- SILVA, T.O. da; FURTINI NETO, A. E.; CARNEIRO, L. F.; PALUDO, V. Plantas de cobertura submetidas a diferentes fontes de fósforo em solos distintos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1315-1326, 2011.
- TAIZ, L et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.
- Technical Association of Pulp and Paper Industry - **TAPPI. Testing methods recommended practices specification**. New York:TAPPI Standards; 1969.
- TEDESCO, M.J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Ufrgs, 1995.
- TEIXEIRA, C.M. et al. Liberação de macronutrientes das palhadas de milheto solteiro e consorciado com feijão-de-porco sob cultivo de feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, 2010.
- TEIXEIRA, M.B. et al. Decomposition and nutrient release from millet and sorghum biomass. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 3, p. 867-876, 2011.
- TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J.C.; FABIAN, A.J. Decomposição e liberação de nitrogênio e resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.609-618, 2005.
- TORRES, J.L.R.; PEREIRA, Marcos Gervasio; FABIAN, Adelar José. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 3, p. 421-428, 2008.
- TREZZI, M.M.; VIDAL, R.A. Potencial de utilização de cobertura vegetal de sorgo e milheto na supressão de plantas daninhas em condição de campo: II – Efeitos da cobertura morta. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.22, n.1, p.1-10, 2004.
- VALADARES, R.V. et al. Teores de nutrientes no solo e nutrição mineral do milho em áreas irrigadas com água calcária. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 3, p. 169-176, 2014.
- WIEDER, R.K; Lang, G.E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology**. 1982; 63:1636-42.