

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

CURSO DE AGRONOMIA

DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE MACRONUTRIENTES DE DIFERENTES  
PALHADAS EM CULTIVO DE MILHO VERDE

GUSTAVO RESENDE CAPANEMA

UBERLÂNDIA - MG

2021

GUSTAVO RESENDE CAPANEMA

DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE MACRONUTRIENTES DE DIFERENTES  
PALHADAS EM CULTIVO DE MILHO VERDE

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Agronomia da  
Universidade Federal de Uberlândia para  
obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Wedisson Oliveira  
Santos

UBERLÂNDIA – MG

2021

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família por todo apoio e suporte durante todo o período de estudos, por me dar a oportunidade de focar e concentrar os esforços aos estudos, principalmente nos momentos difíceis. Agradeço a minha irmã por me apoiar e aconselhar nos momentos de desânimo, me dando forças a não desistir e continuar a jornada.

Aos amigos e colegas de faculdade por caminharem juntos comigo, nos momentos de dedicação e esforço, mas também nos momentos de diversões, o que contribuiu para uma caminhada mais leve e alegre.

Aos amigos Marcelo e Marcio que realizam os experimentos comigo, pela ajuda, pelo compartilhamento de conhecimento e experiência, e pelos momentos de descontração. A Fabiene por ter confiado o trabalho em nossas mãos e pelo apoio durante a realização. A minha vó Orlandina que me ajudou muito nas confecções das bolsas de nylon, pois sem ela não seria possível a realização do experimento.

Ao professor Dr. Wedisson Oliveira Santos por me ajudar a finalizar o trabalho, com grande ajuda nas análises estatísticas, na interpretação dos resultados e na confecção do mesmo.

Aos professores e técnicos que encontrei durante toda a trajetória, pelo conhecimento e aprendizado.

Por fim, agradeço a todos que tiveram participação direta ou indireta na realização deste trabalho

Muito obrigado!

## RESUMO

Palhadas de plantas de cobertura podem representar importante reserva de nutrientes para cultivos subsequentes, mas também exercem função protetora do solo à processos erosivos. Assim, em condições tropicais úmidas, onde as condições climáticas geralmente favorecem a rápida decomposição dos resíduos há necessidade de se conhecer o comportamento de diferentes palhadas para melhor entendimento e posicionamento de manejos visando a proteção da superfície do solo ou a ciclagem biogeoquímica de nutrientes. Portanto, foi objetivo do trabalho avaliar a decomposição e liberação de nutrientes de palhadas de Ruziziensis (*Brachiaria ruziziensis* L.), Milheto (*Pennisetum glaucum* L.), Crotalaria Juncea (*Crotalaria juncea* L.) e um Mix de *Brachiaria ruziziensis* e *Crotalaria juncea* L, em área com cultivo de milho verde. O método de avaliação utilizado foi o *litter bag*, no qual utilizaram-se sacos de *nylon* para armazenar as palhadas de maneira que não interferisse no seu ciclo natural de transformação. Posteriormente, as amostras foram analisadas em laboratório para quantificar a massa de matéria seca remanescente e teores de N, P, K, Ca, Mg e S. A combinação de resíduos de *B. ruziziensis* e Crotalaria promoveu alterações nas taxas de decomposição do resíduo misto, em contraste com as coberturas isoladas. O comportamento similar de decomposição de resíduo de plantas de metabolismo C4 e C3 sugere que as condições de decomposição foram ótimas, incluindo a disponibilidade de N no sistema. A estabilidade do Ca-rem nos resíduos sugere que este elemento se encontra majoritariamente em compostos de elevada recalcitrância bioquímica. A liberação similar de K das diferentes coberturas corrobora com o fato deste elemento ser facilmente liberado de resíduos pois não desempenha funções estruturais em órgãos vegetais.

**Palavras-chave:** decomposição dos resíduos, macronutrientes, *Brachiaria ruziziensis*, *Pennisetum glaucum*, *Crotalaria juncea* L., *litter bags*

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	6
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	7
2.1 Matéria orgânica .....	7
2.2 Cobertura vegetal.....	8
2.3 Decomposição de resíduos e ciclagem de nutrientes.....	9
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	10
4. RESULTADOS .....	12
5. DISCUSSÃO.....	18
6. CONCLUSÃO .....	20
REFERÊNCIAS .....	21

## 1. INTRODUÇÃO

A cultura do milho (*Zea mays* L.) possui grande importância no âmbito social e econômico do Brasil. Presente principalmente no período da segunda safra (entre janeiro e junho), foi produzido 99.984,1 mil toneladas de milho na safra 2018/2019 em todo o território brasileiro (CONAB, 2019). Por ser uma cultura comum em segunda safra, é frequente a presença de restos vegetais provenientes de culturas anteriores, sendo assim de grande interesse a utilização de diferentes práticas de cultivo com o intuito de preservar o solo.

O uso intensivo do solo acarreta em potenciais danos, como o desgaste da camada superficial ocasionado geralmente pelo escoamento superficial da água, erosão e compactação. Por isso é interessante realizar um manejo que evite tais problemas e que permita que o solo exerça as suas funções de ciclagem e armazenamento de nutrientes, além da retenção hídrica (ARAÚJO, 2010).

O uso de plantas como cobertura é uma prática de conservação do solo que consiste na produção de palha seca ou verde, em áreas onde é possível utilizar o sistema plantio direto (SPD), que atua na proteção do solo contra erosão e contribui na melhoria da porosidade, permeabilidade e densidade do solo. Entre as plantas utilizadas como cultura de cobertura, se destacam espécies pertencentes à família Poaceae (Gramíneas) e Fabaceae (Leguminosas), devido à alta capacidade de produção de biomassa e maior recalcitrância em condições tropicais, das poaceas e fixação biológica de N pelas fabaceas (SIQUEIRA et al., 1997).

O SPD é uma forma de manejo conservacionista do solo, onde os restos vegetais são deixados em superfície. Tal sistema consiste no revolvimento do solo somente no local de depósito da semente e do fertilizante, por um pequeno sulco no solo (FERREIRA et al., 2015).

Algumas características que são favoráveis para um bom desempenho, devendo ser levadas em consideração quanto a escolha das plantas de cobertura. Dentre elas tem-se a capacidade de produzir matéria seca, a taxa de crescimento, tolerância ao frio, a déficit hídrico e ao calor, facilidade de manejo, a profundidade e o vigor do sistema radicular e relação C/N elevada (EMBRAPA, 1996).

Além das características da planta, deve-se levar em consideração as características da área onde essa prática será implementada, para assim escolher a planta

que melhor se adaptará as condições locais, possibilitando um rápido estabelecimento e uma elevada produção de fitomassa. O rápido estabelecimento da planta de cobertura no ambiente proporciona benefícios mais rápidos, seja para a proteção do solo e/ou na prevenção do estabelecimento das plantas daninhas (VIDAL & TREZZI, 2004).

Uma alta produção de material vegetal pela planta de cobertura é de certa maneira um indicador do quanto irá proteger o solo, devido a formação de palhada, e também na reciclagem de nutrientes por meio da exploração de suas raízes e dos resíduos da parte aérea (EMBRAPA, 2002). Em casos nos quais a decomposição do material vegetal ocorre de maneira acelerada, a proteção superficial do solo se mantém por um menor tempo, porém benefícios como aumento da porosidade causado por um elevado desenvolvimento radicular, agregação de partículas do solo, e também auxiliam na proteção do solo contra erosão (ALVARENGA et al., 2001).

A decomposição e liberação de nutrientes consiste na ciclagem dos mesmos da palhada. Estimativas do valor nutricional de diferentes palhadas por meio da análise da liberação de nutrientes, pode auxiliar no cálculo da dose de fertilizante a ser aplicada em cultivos subsequentes (CARVALHO, 2000; AMADO et al., 2002; SANTOS et al., 2008). Essas ciclagens apresentam uma dinâmica governada fundamentalmente pela bioquímica do material vegetal e pelas condições climáticas, principalmente pela precipitação pluvial e a temperatura; tipo de solo, da fertilidade do solo e do manejo (ROSOLEM et al., 2003; MOREIRA & SIQUEIRA, 2006; CARVALHO et al., 2009; MATOS et al., 2011; MARCELO et al., 2012). Portanto, foi objetivo do trabalho avaliar a decomposição e liberação de nutrientes de palhadas de Ruziziensis (*Brachiaria ruziziensis*), Milheto (*Pennisetum glaucum*), Crotalaria (*Crotalaria juncea L.*) e um Mix de *Brachiaria ruziziensis* e *Crotalaria juncea L* em área com cultivo de milho verde.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Matéria orgânica**

Uma vez que apresenta papel importante na manutenção das condições físicas do solo, na capacidade de resistir à compactação causada pelo tráfego de máquinas e implementos agrícolas por meio do aumento da força de aderência entre partículas e agregados do solo e da elasticidade, por exemplo, faz com que o teor de matéria orgânica seja considerado um dos fatores mais importantes para o solo (RICHART et al., 2005)

Tendo em vista que a matéria orgânica e agregação do solo apresentam uma relação causa-efeito, ocorre um efeito sinérgico entre o aumento da matéria orgânica e os processos que levam ao aumento da estabilidade do solo, fazendo com que o aumento da estabilidade dos agregados é tanto causa como consequência dos aumentos na quantidade de matéria orgânica no solo (COSTA et al., 2014).

A matéria orgânica também apresenta importância como condicionadora química do solo, principalmente no que se diz respeito a sua interferência na capacidade de troca de cátions (CTC), a interferência no pH devido as cargas, na condutividade elétrica, na ciclagem dos nutrientes e também na complexação de elementos considerados tóxicos ao solo, como por exemplo o  $Al^{3+}$  e  $Mn^{2+}$  (GISMONTI, 2012).

Por fim, temos os benefícios da matéria orgânica quanto a biologia do solo, no qual exerce papel fundamental com destaque para a estimulação da biota do solo, como resultado do fornecimento de energia e nutrientes para a atividade desses organismos. Assim, os resíduos orgânicos contidos na superfície do solo possuem um efeito direto sobre a dinâmica dos microrganismos do solo (COSTA, 2014).

## **2.2 Cobertura vegetal**

A escolha de uma planta para cobertura vegetal deve levar em consideração certas características: é importante escolher uma planta que se adapte bem as condições edafoclimáticas regionais, que possua um rápido desenvolvimento e estabelecimento, que não seja hospedeiras de pragas e doenças. Assim, possibilitando que a planta escolhida possa atender aos objetivos esperados, como produção de biomassa para proteção do solo, fixação de nitrogênio, ou outro objetivo. Uma boa planta de cobertura deve possuir elevada produção de matéria seca, rápido crescimento, não apresentar capacidade de infestar as áreas agrícolas, possuir uma certa resistência a seca e frio, deve ser de fácil manejo e por fim apresentar um bom desenvolvimento radicular, que seja robusto e profundo para realizar a ciclagem de nutrientes (EMBRAPA, 1996).

Se o foco da planta de cobertura for a proteção do solo, geralmente são recomendadas gramíneas, uma vez que geralmente produzem grande quantidade de biomassa, além de características que favorecem do solo com seus resíduos, como no caso da alta concentração de lignina que auxilia em uma boa estruturação e estabilidade dos agregados do solo (FASSBENDER & BORNEMISZA, 1994)

Se o objetivo for sucessão de cultura para fornecimento de N ao solo, por exemplo, geralmente é recomendado o uso de plantas leguminosas, uma vez que essas plantas liberam resíduos ricos em N, fazendo também uma redistribuição de certos nutrientes como no caso do K, além do fato de causar uma diminuição na relação C/N da matéria orgânica do solo (HARGROVE, 1986).

### **2.3 Decomposição de resíduos e ciclagem de nutrientes**

A decomposição de resíduos orgânicos no solo se dá por uma combinação de processos biológicos e físicos, que em sua maior parte é realizada por microrganismos e invertebrados saprófagos (GRAÇA et al., 2015). O processo de decomposição é essencial na ciclagem de nutrientes, uma vez que é grande responsável na liberação gradual desses elementos para o sistema (WALLACE et al., 1997).

O início da decomposição se dá em uma ação conjunta do processo de lixiviação e da atuação microbiana. O papel da lixiviação tem maior intensidade no início da decomposição, atuando na decomposição dos compostos mais solúveis, como no caso de aminoácidos (WANTZEN et al., 2008). Já os microrganismos estão presentes durante todo o processo, porém o principal papel se dá na fase mais inicial da decomposição, atuando na degradação dos compostos mais recalcitrantes (GRAÇA, 1993).

A utilização de plantas de coberturas ocasiona um aumento no aproveitamento dos fertilizantes, favorecendo um alto desempenho para as plantas de interesse comercial (ROSSI, 2009). Após o corte das plantas de cobertura se inicia o processo de decomposição dos resíduos das mesmas, o que acarreta na liberação dos nutrientes para cultivos subsequentes, porém pode ocorrer em taxas variáveis.

O processo de ciclagem de nutrientes se dá pela absorção do nutriente pela planta, a translocação interna, e a transferência para a manta orgânica do solo, atmosfera e hidrosfera (ANDRADE et al., 2012). Em áreas agrícolas, é comum um desequilíbrio nessa ciclagem nutricional, com isso é costumeiro a aplicação de fertilizantes minerais e orgânicos, e também o uso de plantas de cobertura, a chamada adubação verde, para reestabelecer a ciclagem ao nível necessário para a planta. Boer et al. (2007) diagnosticaram que se tem a maior taxa de liberação de nutrientes em coberturas como amaranto (C4), indicando rápida decomposição de seus resíduos devido à baixa relação C/N (21:1). Em um comparativo foi concluído que o comportamento semelhante na

dinâmica de liberação de N, P, Mg e S entre milheto e o capim-pé-de-galinha, e nos maiores valores obtidos em relação ao amaranto, demonstra que essas espécies escolhidas pelo autor são opções eficientes na ciclagem dos nutrientes, em razão do maior acúmulo de biomassa e acúmulo de grande quantidade de nutrientes. Crusciol et al. (2008) reportaram que o picão preto também é uma boa opção de cobertura para ciclagem de nutrientes, o qual além da quantidade satisfatória de massa seca produzida, também possui grande potencial de ciclar nutrientes, principalmente, N, P e K, evitando a lixiviação acentuada ou imobilização, deixando esses nutrientes disponíveis às culturas subsequentes.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área experimental localizada na Fazenda do Glória, pertencente a Universidade Federal de Uberlândia, no período de 08 de dezembro de 2019 a 15 de junho de 2020. A área está situada no município de Uberlândia – MG, a 18°58'52'' de latitude sul, 48°12'24'' de longitude oeste e a uma altitude de aproximadamente 912 m. O clima da região é classificado como Aw, caracterizado por um inverno seco, ameno, com baixa intensidade de chuvas e verão quente e chuvoso. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, de textura argilosa.

O preparo da área se deu por meio de dessecação de plantas infestantes com o herbicida glyphosate WG (2 kg p.c/ha), após a dessecação das plantas foi realizada uma subsolagem (0-0,3 m) e gradagem (niveladora).

Após preparo do solo definiu-se a área experimental, onde cinco tipos de cobertura vegetal (*Brachiaria ruziziensis*, *Pennisetum glaucum*, *Crotalaria juncea* e um Mix de *Brachiaria ruziziensis* + *Crotalaria juncea*) foram distribuídas em blocos casualizados, com três repetições. A unidade experimental foi composta de parcelas com 5 x 4 m.

As coberturas foram semeadas a lanço, de forma manual, no início de dezembro de 2019 (08/12/2019). Foi realizado o controle das plantas infestantes por meio de capina manual, com intuito de não promover alterações na composição do povoamento.

Aos 90 dias após semeadas, as coberturas foram trituradas utilizando um Tritton, sendo em seguida realizada a semeadura do milho da empresa Agrocere (Ag 1051) em espaçamento 0,8 x 0,33 m, utilizando semeadora mecânica. A área útil do experimento foi constituída pelas três linhas centrais da parcela.

Com base na análise química do solo e exigências da cultura aplicou-se 400 kg/ha do formulado 4-30-16. Em cobertura, nos estádios V3 e V6, foi aplicado 120 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônio, respectivamente (Tabela 1).

**Tabela 1.** Resultados da análise de solo das camadas 0-20 cm e 20-40 cm na área experimental da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Glória.

Parâmetros	Unidade	Camada de 0-20 cm	Camada de 20-40 cm
pH H <sub>2</sub> O	-	5,8	5,8
P meh <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	17,1	8,6
K	mg dm <sup>-3</sup>	102	103
S	mg dm <sup>-3</sup>	30	32
Ca	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	5,7	4,5
Mg	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,2	1,0
Al	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,0	0,0
H+Al	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,8	1,8
Matéria Orgânica M.O	dag kg <sup>-1</sup>	2,3	1,8
Carbono Orgânico C.O	dag kg <sup>-1</sup>	1,3	1,0
SB	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	7,11	5,75
t (CTC efetiva)	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	7,11	5,75
T (CTC total)	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	8,91	7,55
V	%	80	76
m	%	0	0

Fósforo remanescente; P(res)= Fósforo resina; SB = Soma de bases; t = CTC efetiva; T = CTC a pH 7,0; m = Sat. Alumínio; pH CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>; Ca P, K = (Mehlich-1); S-SO<sub>4</sub> = (Fosfato Monocálcico 0,01 mol L<sup>-1</sup>); Ca, Mg, Al = (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); H + Al = (Solução Tampão SMP a pH 7,5); M.O. = Método Colorimétrico).

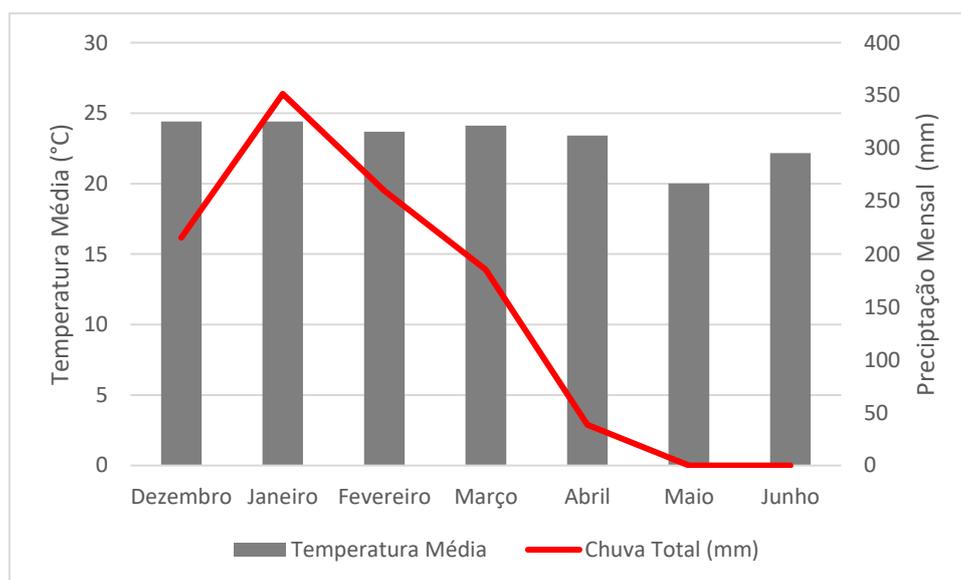
A taxa de decomposição das diferentes coberturas e liberação de macronutrientes foram avaliadas por meio do método de *litter bags* (BOCOCK & GILBERT, 1957), em bolsas de nylon com malha de aproximadamente 1 mm, permitindo livre circulação da água e nutrientes. Cada bolsa possuía dimensão de 0,2 x 0,2 m, ocupando área de 0,04 m<sup>2</sup>. Utilizando-se de um quadrado de madeira confeccionado com medidas equivalente a bolsa de nylon, foi realizado a coleta de maneira aleatória logo após a cobertura ter sido triturada, de seis amostras por parcela, com exceção do tratamento controle, da palhada presente na área do quadrado e colocadas nas bolsas que foram fechadas na sequência.

Amostras foram retiradas do campo em diferentes tempos (0, 10, 20, 40, 60 e 80 d), sendo em seguida secadas em estufa de circulação forçada de ar com temperatura de

65°C, até massa constante para obtenção da matéria seca remanescente (MSR). Em seguida, as amostras foram moídas e enviadas para o laboratório da Safrar Análises Agrícolas, para determinação dos teores de macronutrientes.

A partir dos teores de nutrientes e massa de MSR, foram calculadas as quantidades remanescentes dos macronutrientes (MR). As taxas de decomposição e de liberação dos macronutrientes das palhadas foram analisadas por meio de análise de regressões.

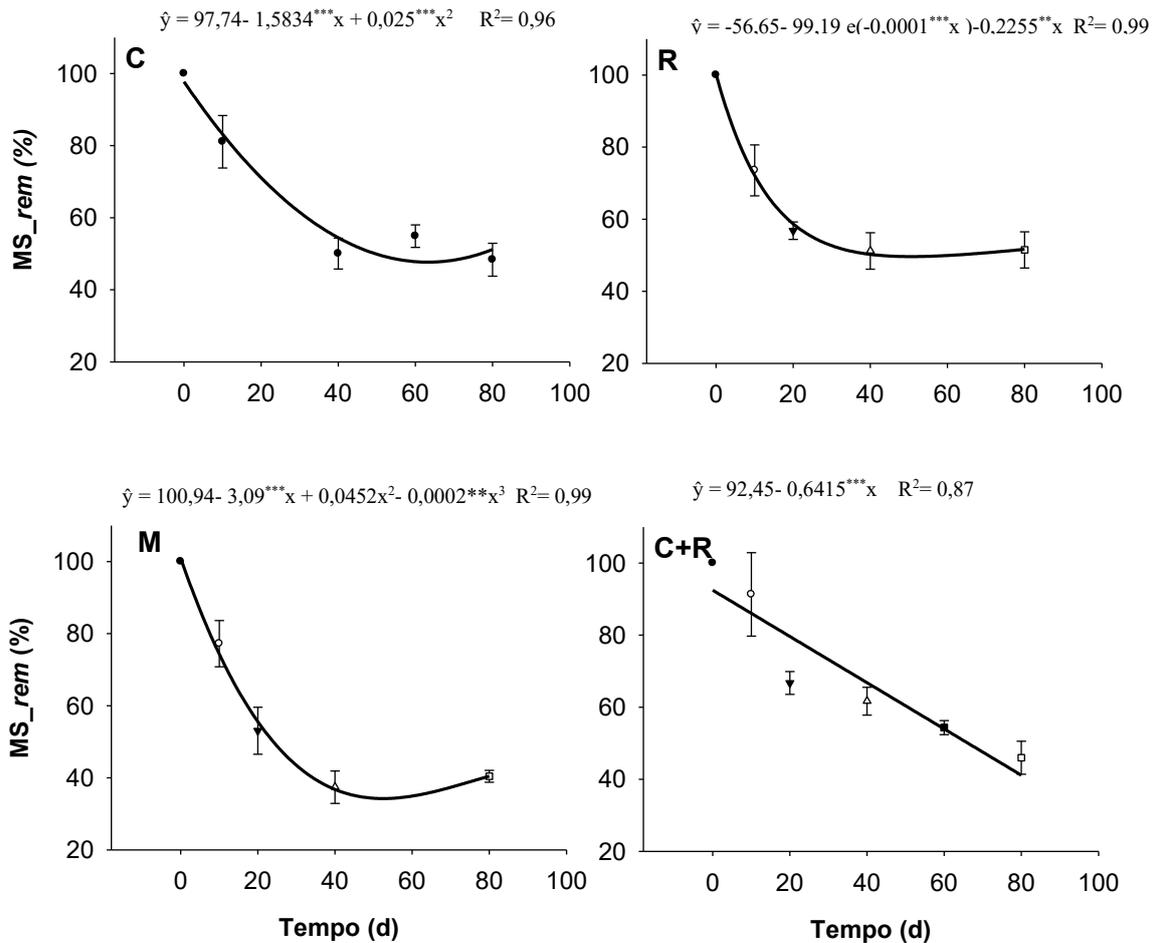
Durante o período do experimento, houve um total de 1050,6 mm de precipitação no local de realização dos estudos, distribuídos em maior parte entre dezembro de 2019 a março de 2020 (Figura 1).



**Figura 1.** Precipitação total mensal e temperatura média mensal no período de condução do experimento

#### 4. RESULTADOS

A decomposição dos resíduos apresentou diferentes tendências ao longo do tempo (Figura 2). Para a Crotalária o modelo quadrático melhor se ajustou aos dados, indicando que a maior taxa de decomposição ( $\hat{y} = 1,58x$ ) se deu até os 40 dias, quando a decomposição alcançou cerca de 50% da massa inicial. Tendências similares foram observadas para os resíduos R e M, porém se ajustaram melhor à modelos exponenciais. Após 40 dias houve estabilização da decomposição desses resíduos. Por outro lado, o tratamento “C+R” (Crotalária + *B. ruzizensis*) apresentou taxa constante de decomposição ao longo do tempo ( $\hat{y} = 0,64x$ ), contrastando-se com demais tratamentos. Aos 80 dias, apenas cerca de 41% do resíduo misto remanesceu.



**Figura 2.** Decomposição de diferentes tipos de resíduos vegetais (C, crotalária; M, milho; R, *Brachiaria ruziziensis* e C+R, misto), em *litter bags*, em cultivo de milho verde, representada pela proporção de matéria seca remanescente (MS-rem).

A liberação de nutrientes dos diferentes resíduos apresentou comportamentos distintos, entre nutrientes e resíduos (Figura 3). Para N, nas diferentes coberturas, apesar do ajuste de modelos semelhantes, as tendências se diferenciaram pontualmente. De fato, para Crotalária a liberação foi significativa até cerca de 30 d, quanto aproximadamente 65% do nutriente foi liberado, sendo em seguida estabilizada a liberação. Comportamento similar foi observado para o milho, porém aos 30 d a quantidade liberada foi ligeiramente menor (~60%). Para o tratamento misto, a liberação do elemento se deu até cerca de 40 dias, quando ainda remanesceu aproximadamente 50% de N. Para o *B. ruziziensis* observou-se elevada liberação de N até 20 d, sendo em seguida estabelecida uma tendência mais suave. Considerando a quantidade total liberada de N, o resíduo de C se destacou (61,12%), seguido do M (59,29%), C+R (51,78%) e R (34,53%).

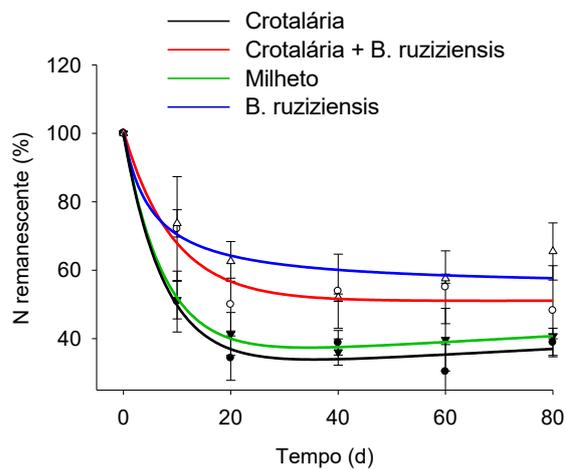
Semelhante ao N, o P apresentou uma redução intensa até 20 d para a maioria das coberturas, tendendo a se estabilizar em tempos maiores, exceto para Crotalária, que não apresentou tendências (Figura 3). Para o resíduo de *Crotalária* + *B. ruzizensis* e *B. ruzizensis* ajustes exponenciais demonstraram elevadas taxas de liberação de P até 20 d, de cerca de 85 e 65 %, respectivamente. Em tempos posteriores, a liberação de P não foi significativa. Para o resíduo de Milheto, a liberação se estendeu até 40 d, quando cerca de 60 % de P foi mineralizada. Em contrapartida, a Crotalária não apresentou tendências, permanecendo estabilizado com cerca de 67% de P remanescente.

É visível um comportamento similar para todas as coberturas no quesito de K remanescente, onde as coberturas liberam de maneira expressiva em significativa nos primeiro 20 dias, sendo que nesse período a *B. ruzizensis* e o Mix de Crotalária + *B. ruzizensis* já liberaram cerca de 80% de seu K enquanto o Milheto e a Crotalária liberaram cerca de 90% de seu K no mesmo período. Após os 20 dias, as quatro coberturas apresentam K remanescente estabilizados, sendo que no final do ciclo todas apresentam valores de cerca de 5% de K remanescente.

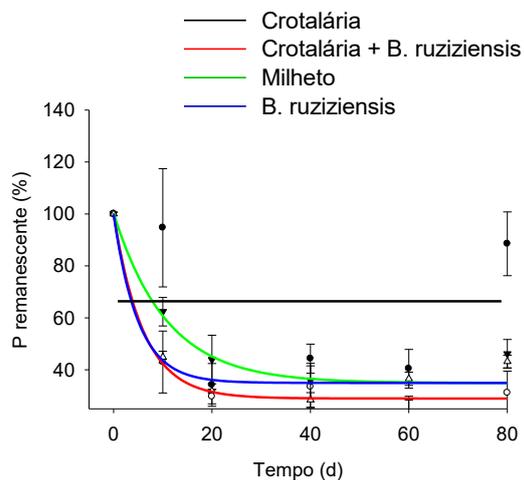
Os valores de cálcio remanescente não variaram de acordo com o tempo para nenhuma das coberturas estudadas.

O comportamento do Magnésio ao decorrer do tempo foi de maneira semelhante para as coberturas *B. ruzizensis* e Mix, diminuindo seus valores durante os 80 dias, mas de maneira discreta, onde a *B. ruzizensis* liberou cerca de 40% de Mg e o Mix cerca de 50%. Já as coberturas Crotalária e Milheto apresentaram comportamento semelhantes entre si, sofrendo reduções significativas nos primeiros 20 dias e depois de estabilizando, chegando a perder cerca de 60 e 80% de Mg respectivamente.

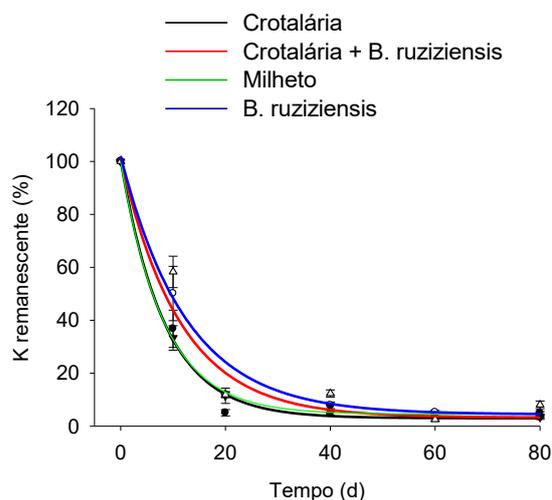
Quando observado os valores de enxofre é possível perceber que a cobertura Crotalária não sofre efeitos do tempo sobre o S remanescente. Em contrapartida, as demais coberturas possuem comportamentos semelhantes entre si. A cobertura gerada a partir do Mix de Crotalária + *B. ruzizensis* e a cobertura Milheto liberaram S de maneira mais expressiva nos primeiros 20 dias e estabilizando após esse período, chegando a uma liberação de cerca de 30 e 50% respectivamente. Já a cobertura *B. ruzizensis* teve sua liberação de S estabilizada próximo dos 10 dias, chegando a liberar cerca de 55% de seu enxofre.



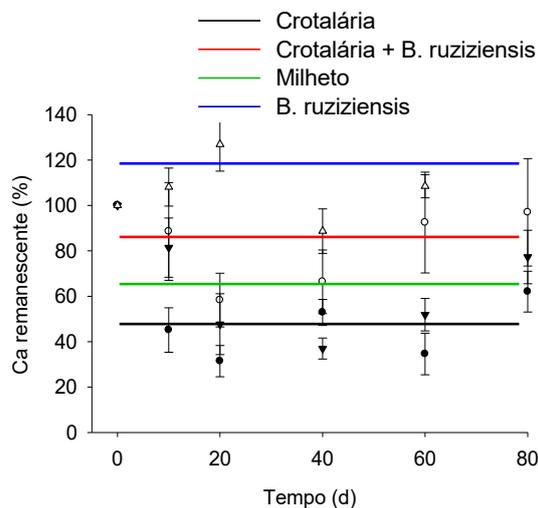
\_\_\_\_  $\hat{y} = 30,30 + 69,81 \exp(-0,13x) + 0,084x$   $R^2 = 0,98$   
 \_\_\_\_  $\hat{y} = 50,83 + 49,84 \exp(-0,10x) + 0,003x$   $R^2 = 0,95$   
 \_\_\_\_  $\hat{y} = 33,70 + 66,22 \exp(-0,13x) + 0,088x$   $R^2 = 0,99$   
 \_\_\_\_  $\hat{y} = 16,40 + 83,36 \exp(-0,04x) + 0,589x$   $R^2 = 0,99$



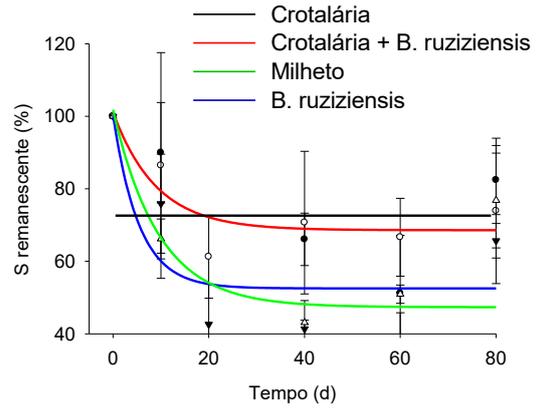
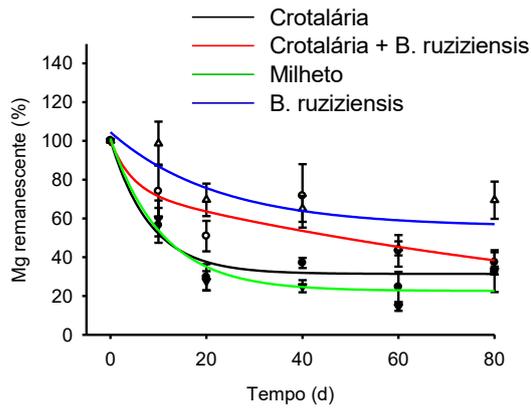
\_\_\_\_  $R = \hat{y} = \bar{y} = 67,00$   
 \_\_\_\_  $\hat{y} = 28,95 + 71,09 \exp(-0,16x)$   $R^2 = 0,98$   
 \_\_\_\_  $\hat{y} = 34,93 + 65,45 \exp(-0,09x)$   $R^2 = 0,93$   
 \_\_\_\_  $\hat{y} = 34,96 + 65,12 \exp(-0,20x)$   $R^2 = 0,96$



\_\_\_\_  $\hat{y} = 2,97 + 97,63 \exp(-0,11x)$   $R^2 = 0,99$   
 \_\_\_\_  $\hat{y} = 3,20 + 98,01 \exp(-0,08x)$   $R^2 = 0,98$   
 \_\_\_\_  $\hat{y} = 4,47 + 95,59 \exp(-0,12x)$   $R^2 = 0,99$   
 \_\_\_\_  $\hat{y} = 4,43 + 97,66 \exp(-0,07x)$   $R^2 = 0,96$



\_\_\_\_  $\hat{y} = \bar{y} = 54,34$   
 \_\_\_\_  $\hat{y} = \bar{y} = 83,78$   
 \_\_\_\_  $\hat{y} = \bar{y} = 65,88$   
 \_\_\_\_  $\hat{y} = \bar{y} = 120,97$



—  $\hat{y} = 31,38 + 69,22 \exp(-0,12x)$   $R^2 = 0,95$

—  $\hat{y} = 25,31 \exp(-0,22x) + 74,80 \exp(-0,0083x)$   $R^2 = 0,82$

—  $\hat{y} = 22,63 + 78,61 \exp(-0,09x)$   $R^2 = 0,94$

—  $\hat{y} = 55,69 + 48,81 \exp(-0,04x)$   $R^2 = 0,75$

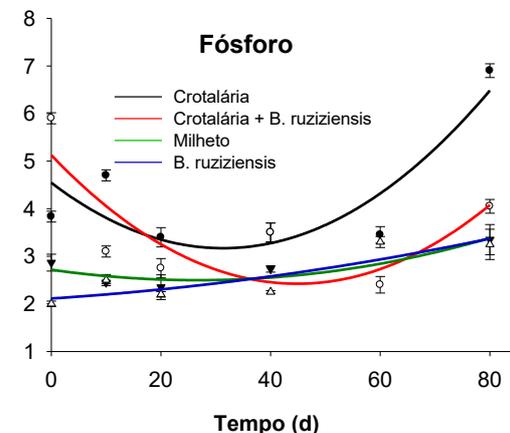
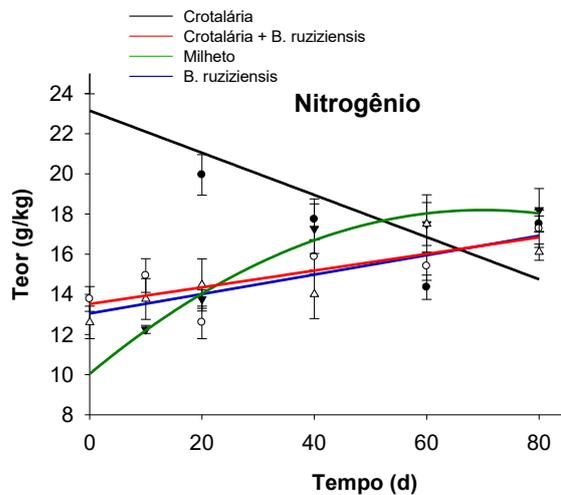
—  $R = \hat{y} - \bar{y} = 72,02$

—  $\hat{y} = 68,58 + 32,56 \exp(-0,11x)$   $R^2 = 0,79$

—  $\hat{y} = 47,34 + 54,43 \exp(-0,10x)$   $R^2 = 0,77$

—  $\hat{y} = 52,51 + 47,96 \exp(-0,18x)$   $R^2 = 0,63$

**Figura 3.** Libertação de nutrientes de diferentes tipos de resíduos (*litter bags*), em cultivo de milho verde, representada pela proporção remanescente ao longo do tempo. Modelos foram significativos a 5% pelo teste t.



—  $\hat{y} = 23,14 - 0,1050x$   $R^2 = 0,68$

—  $\hat{y} = 13,52 + 0,0415x$   $R^2 = 0,61$

—  $\hat{y} = 10,03 + 0,2330x - 0,0017x^2$   $R^2 = 0,97$

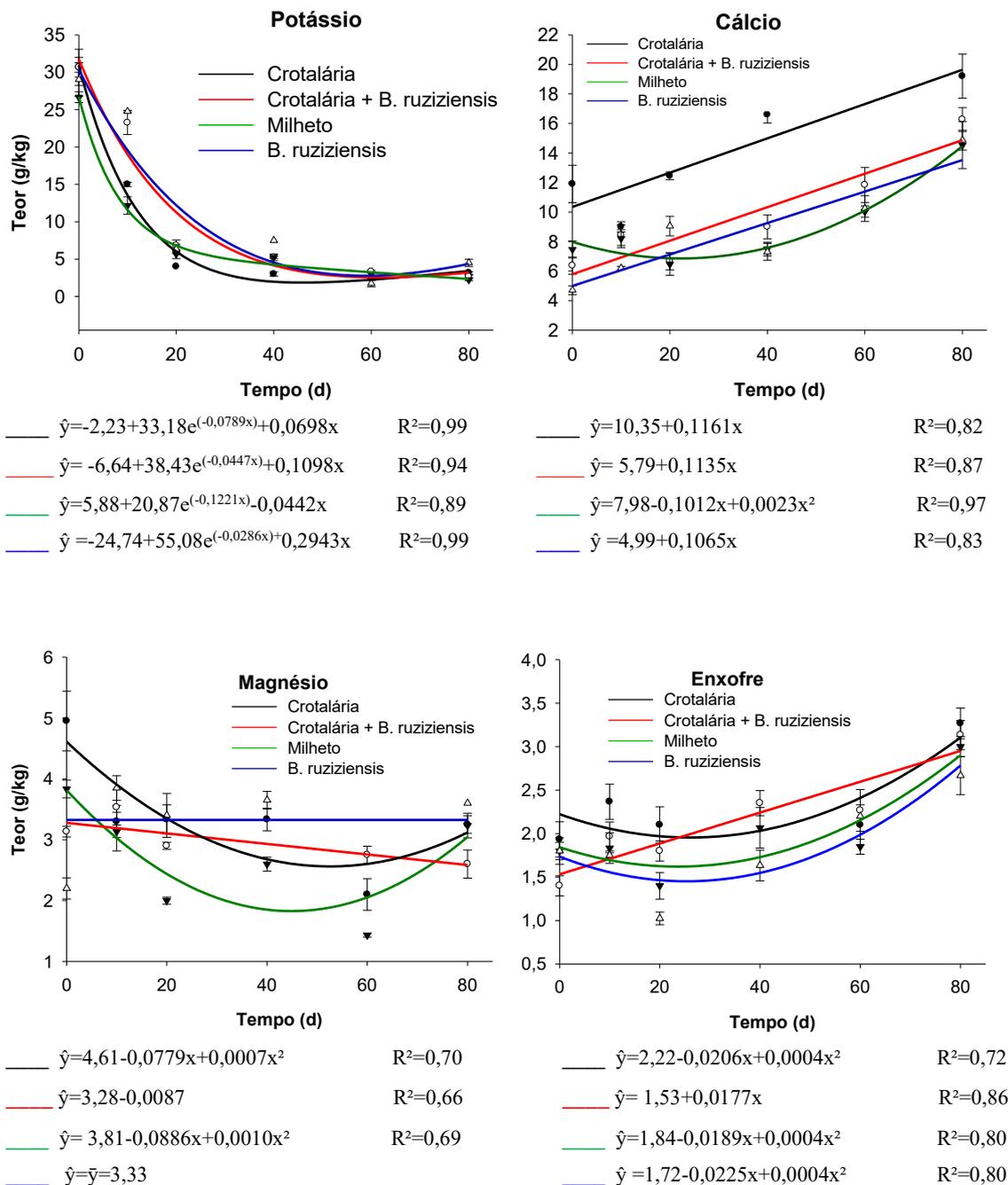
—  $\hat{y} = 13,04 + 0,0484x$   $R^2 = 0,71$

—  $\hat{y} = 4,54 - 0,0878x + 0,0014x^2$   $R^2 = 0,75$

—  $\hat{y} = 5,12 - 0,1204x + 0,0013x^2$   $R^2 = 0,62$

—  $\hat{y} = 2,72 - 0,0165x + 0,0003x^2$   $R^2 = 0,84$

—  $\hat{y} = 2,11 + 0,0075x + 0,0001x^2$   $R^2 = 0,76$



**Figura 4.** Teor de nutrientes de diferentes tipos de resíduos (*litter bags*), em cultivo de milho verde ao longo do tempo. Modelos foram significativos a 5% pelo teste t.

Analisando-se os teores de N (Figura 4), pôde-se notar um aumento linear com o tempo para as coberturas, *B.ruziziensis* e Mix (Crotalária + *B.ruziziensis*). Em contrapartida, o teor de N da cobertura de Crotalária diminui de maneira acentuada ( $\hat{y} = 0,0415 x$ ), perdendo cerca de 8 g/kg de N durante o período de exposição. Já para o

Milheto, o ajuste quadrático indicou aumento no teor de N até cerca de 60 d, a partir de quando houve tendência de estabilidade.

Com exceção à cobertura Mix que diminuiu o seu teor de P, as demais coberturas apresentaram ajustes dos mesmos modelos, quadráticos, com tendência a um aumento nos teores desse elemento ao decorrer do tempo. Sendo que as coberturas Milheto e *B. ruzizensis* apresentaram aumento menos expressivo quando comparado à Crotalária (2 g/kg P).

Os teores de K para as diferentes coberturas apresentou tendências semelhantes, sendo ajustados por modelos exponenciais, sofrendo perdas bastante expressivas nos primeiros 20 d e depois se estabilizando em valores bem próximos a 5,0 g/kg.

O teor de Ca apresentou um aumento entre as coberturas ajustados em sua maioria por modelos lineares, com exceção ao milho que se ajustou a um modelo quadrático. Diferentemente do K, os valores aumentaram com o decorrer do tempo, alcançando valores próximos ao dobro do inicial, no final do período de avaliação.

As coberturas Mix, Crotalária e Milheto apresentaram redução nos seus teores de Mg ao longo do tempo. Já a cobertura de *B. ruzizensis* não apresentou alterações significativas nos teores desse elemento, mantendo esses valores estáveis, próximos a 3,3 g/kg.

O tempo de exposição dos resíduos influenciou nos teores de S de forma semelhante entre as coberturas (modelos curvilíneos, com tendência de aumento), exceto para a cobertura Mix (efeito linear positivo).

## 5. DISCUSSÃO

O comportamento da decomposição dos resíduos contrariou a hipótese de que as espécies C4 (*B. ruzizensis* e Milheto), com relação C/N de 40:1 e 30:1 (EMBRAPA, 2011) apresentariam menores taxas de decomposição em comparação a espécie C3 (Crotalária), com relação C/N de 17:1, devido à maior relação C/N e maior teor de lignina que possuem, o que geralmente retarda a decomposição. Certamente o suprimento de N (dados não quantificados) no solo não limitou a decomposição dos resíduos, assim aproximando as palhadas de Crotalária, Ruzizensis e Milheto em termos de taxas de decomposição. Como o milho apresenta relação C/N próxima do limite superior do equilíbrio mineralização/imobilização (30/1), de fato condições com balanço positivo de N favoreceriam a decomposição do resíduo.

Outro fator que deve ter influenciado na decomposição dos materiais foi a pluviosidade nos diferentes períodos do trabalho. As coberturas foram trituradas no início de março e a maior intensidade da decomposição dos materiais se deu nos primeiros 40 dias após a trituração e após esse período, a decomposição tendeu a se estabilizar. Isso pode ser explicado pela pluviosidade e temperatura média dos períodos, onde nos primeiros 40 dias apresentou uma temperatura média próxima de 24°C e pluviosidade total próxima dos 225 mm, já após esse período, a temperatura média se encontrou em torno de 21°C e a pluviosidade se encerrou até o fim do experimento. Uma vez que temperaturas mais elevadas e umidade no solo acentua a atividade microbiana do solo, é justificável a maior intensidade no período de chuvas mais abundantes e temperaturas mais elevadas.

O comportamento diferenciado de decomposição do resíduo mix (taxa constante), pode indicar que condições de maior diversidade de substrato promove maior diversidade microbiana, promovendo equilíbrios microbiológicos diferentes na decomposição dos substratos.

A maior liberação de N dos resíduos de Crotalária e Milheto já era esperado já que são resíduos com relação C/N menor. O milho, apesar de ser uma planta da família Poacea, possui relação C/N, em geral próxima a 30/1. O fato de ambos os resíduos terem apresentado comportamento similar reforça a hipótese de que o suprimento de N não foi restritivo no sistema.

A estabilidade do P remanescente ao longo do tempo para o resíduo de Crotalária, pode ser atribuído ao fato de esse elemento ser importante na síntese de ATP, uma vez que plantas de ciclo C4 consomem mais ATP que as de ciclo C3 (KROMER,1995). De fato, de forma coerente percebeu-se que as concentrações de P se elevaram ao longo do tempo, com maior destaque para o resíduo de Crotalária, mostrando que a taxa de decomposição do resíduo foi superior a liberação de P condicionando a aumentos de concentração do elemento no resíduo remanescente. Comportamento similar foi observado para Ca, entretanto para esse elemento atribui-se ao fato de estar presente em estruturas mais recalcitrantes nos tecidos vegetais, se destacando a composição estrutural de pectatos na parede celular (MALAVOLTA et al., 1997).

A elevada liberação de K dos resíduos justifica-se plenamente, já que esse elemento está presente nos tecidos vegetais na forma catiônica, não desempenhando

quaisquer funções estruturais. Assim, para a liberação de K dos resíduos é necessário apenas hidratação do tecido, não havendo necessidade de decomposição (BARTZ, 1998).

Os valores obtidos para o Magnésio, que é um nutriente móvel essencial no processo de fotossíntese devido ao fato de participar da síntese de ATP nos cloroplastos, apresenta maior eficiência na ciclagem desse nutriente para as coberturas que possuem a *B. ruzizensis*, tendo relação com o maior acúmulo de biomassa dessa cobertura.

O Enxofre é um nutriente importante com diversas funções estruturais como em proteínas, para a composição da membrana e também está presente nos aminoácidos metionina e cisteína. Nas leguminosas que apresentam um conteúdo maior de proteínas, o enxofre pode exercer papel fundamental para maximizar a fixação biológica do N (MONTEIRO et. al.,1983), o que explica o fato das coberturas com a presença de Crotalária, que é uma planta C3, apresentaram maior S remanescente que as demais.

## 6. CONCLUSÃO

A combinação de resíduos de *B. ruzizensis* com Crotalária altera a dinâmica de decomposição dos resíduos, quando comparados isoladamente, possibilitando maiores massas remanescentes.

Mesmo em condições supostamente favoráveis a decomposição, incluindo a elevada disponibilidade de N no solo, resíduos de Crotalária (C3) tendem a liberar mais N no curto prazo (até 1 mês), enquanto, por outro lado o resíduo de *B. ruzizensis* tende a liberar menores quantidade de N, Ca, K e Mg.

A concentração de Ca nos resíduos remanescentes ao longo do tempo endossa que esse elemento está presente majoritariamente em compostos de maior recalcitrância à decomposição no curto prazo;

Potássio, por se tratar de um elemento presente apenas na forma catiônica no tecido vegetal, apresenta taxa de liberação similar entre os diferentes resíduos.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. J. B., VON PINHO, R. G. E SILVA, R. Produtividade de híbridos de milho verde experimentais e comerciais. **Bioscience Journal**; 2008.

ALVARENGA, R. C., LARA-CABEZAS, W. A., CRUZ, J. C. E SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**; 2001.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. & AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**; 2002.

ARAÚJO, FERNANDO SILVA. Atributos do solo e suas relações com resíduos vegetais e matéria orgânica em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. 98 p. **Tese (doutorado)** - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas; 2012.

BOCOCK, K.L., GILBERT, O.J.W. The disappearance of leaf litter under different woodland conditions. **Plant Soil**; 1957.

BOKHORST, S.; WARDLE, D. A. Microclimate within litter bags of different mesh size: implications for the ‘arthropod effect’ on litter decomposition. **Soil Biology & Biochemistry**; 2013.

BRAZ, A. J. B. P.; SILVEIRA, P. M.; KLIEMANN, H. J.; ZIMMERMANN, F. J. P. Acumulação de nutrientes em folhas de milheto e dos capins braquiária e mombaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**; 2004.

CARVALHO, A.M.; BUSTAMANTE, M.M.C.; ALCÂNTARA, F.A.; RESCK, I.S. & LEMOS, S.S. Characterization by solid-state CPMAS <sup>13</sup>C NMR spectroscopy of decomposing plant residues in conventional and no-tillage systems in Central Brazil. **Soil & Tillage Research**; 2009.

CARVALHO, F.T. Sistema de interpretação de análise de solo para recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura do milho. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 93p. **(Dissertação de Mestrado)**; 2000.

COLEMAN, D. C.; JR CROSSLEY, D. A.; HENDRIX, P. F. **Fundamentals of soil ecology**. 2. ed. 2004. 404p.

COSTA, M.G.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; ZAIA, F.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F. Leguminosas arbóreas para recuperação de áreas degradadas com pastagem em Conceição de Macabu, Rio de Janeiro, Brasil. **Scientia Forestalis**; 2014, v.42, p.1 01-112.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa; 1997.

EMBRAPA. **Determinação da densidade de solos e de horizontes cascalhentos**. Comunicado técnico. Sete Lagoas; 2008.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Soja: Recomendações técnicas para o Mato Grosso do Sul e Matogrosso**. Dourados: Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste; 1996.

FERREIRA, B. G. C.; FREITAS, M. M. L.; MOREIRA, G. C. Custo operacional efetivo de produção de soja em sistema de plantio direto. **Revista Ipecege**, v. 1, n. 1, p.39-50, 2015.

GLIESSMAN, R. S. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: UFRGS, 2000. 637 p.

GOMES, M.A.F.; FILIZOLA, H.F. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola**. Embrapa Meio Ambiente. Jaguariúna, p. 8, 2006.

GRAÇA MAS, FERREIRA V, CANHOTO C et al. A conceptual model of litter breakdown in low order streams. **International Review**; 2015. 100: 1-12

GRIME, J. P. **Plant strategies and vegetation process**. New York: John Wiley & Sons; 1979. 209 p.

KHATOUNIAN, C.A. O manejo da fertilidade em sistemas de produção. In: CASTRO FILHO, C.; MUZILLIO, O. (Ed.). **Uso e manejo dos solos de baixa aptidão agrícola**. Londrina: IAPAR, 1999. p.179-221. (Circular, 108)

MARCELO, A.V.; CORÁ, J.E. & FERNANDES, C. Sequências de culturas em sistema de semeadura direta. II. Decomposição e liberação de nutrientes na entressafra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36:1568-1582, 2012.

MATOS, E.S.; MENDONÇA, E.S.; CARDOSO, I.M.; LIMA, P.C. & FREESE, D. Decomposition and nutrient release of leguminous plants in coffee agroforestry systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:141-149, 2011.

MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: UFV, 2006. p. 281-298.

MONTEIRO, F.A.; CARRIEL, J.M.; MARTINS, L.; CASTRO, J.V.; LIEM. T.H. Aplicação de níveis de enxofre, na forma de gesso, para cultivo de leguminosa forrageiras. **B. Industr. anim.**, Nova Odessa, v.40,p.229-240,1983.

MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 729p.

PEZARICO, C. R.; VITORINO, A.C.T.; MERCANTE, F.M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista Ciência Agronômica**. v.56, p.40-7, 2013.R. Compactação do solo: Causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, p. 321

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O.R.; LLANILLO, R.F. & FERREIRA, ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C. & FOLONI, J.S.S. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:355-362, 2003.

SANTOS, F.C.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SEDIYAMA, C.S. Modelagem da recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1661-1674, 2008.

SIQUEIRA, R.; BOLLER, W.; GAMERO, C.A. Capacidade de trabalho e consumo de combustível na trituração de três coberturas vegetais. In: **Congresso brasileiro de engenharia agrícola**. Anais. Campina Grande: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1997.

TREZZI, M.M.; VIDAL, R.A.. Potencial de utilização de cobertura vegetal de sorgo e milho na supressão de plantas daninhas em condição de campo: **II - Efeitos da cobertura morta. Planta daninha**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 1-10, Mar. 2004.

WALLACE, J. & EGGERT, SUSAN & MEYER, JUDY & WEBSTER, JACKSON. Stream invertebrate productivity linked to forest subsidies: 37 stream-years of reference and experimental data. **Ecology**; 96. 1213-1228. 10.1890/14-1589.1.

WANTZEN KM, YULE CM, MATHOOKO JM, PRINGLE CM Organic Matter Processing in Tropical Streams. In: **Tropical Stream Ecology**. Elsevier, London; 2008.

WUTKE, E. B. **Adubação verde**: manejo da fitomassa e espécies utilizadas no Estado de São Paulo. Campinas: IAC, 1993. 37 p.