

LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES DA PALHADA DE FORRAGEIRAS CONSORCIADAS COM MILHO E SUCESSÃO COM SOJA

Veridiana Zocoler de Mendonça⁽¹⁾, Luiz Malcolm Mano de Mello⁽¹⁾, Marcelo Andreotti^{(1)*},
Cristiano Magalhães Pariz⁽¹⁾, Élcio Hiroyoshi Yano⁽¹⁾ e Francisco Cezar Belchor Lages
Pereira⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, *campus* de Ilha Solteira, São Paulo, Brasil.

* Corresponding author.

E-mail: dreotti@agr.feis.unesp.br

RESUMO

Em regiões de clima tropical ocorre rápida decomposição do material vegetal depositado sobre o solo, sendo a capacidade de reciclar nutrientes pela decomposição da palhada um dos aspectos mais importantes das plantas de cobertura. Objetivou-se avaliar a produtividade e a liberação de nutrientes de forrageiras consorciadas com milho para ensilagem, sucedido pela cultura da soja. Em área da Universidade Estadual Paulista, *campus* de Ilha Solteira, o experimento consistiu do consórcio de milho com quatro forrageiras: *Urochloa brizantha* cv. Marandu, *Urochloa ruziziensis*, *Panicum maximum* cv. Tanzânia e *Panicum maximum* cv. Áries, semeadas de três formas: na linha de semeadura do milho, misturada ao adubo; a lanço no mesmo dia da semeadura do milho; e a lanço no estágio V4 do milho, em delineamento de blocos casualizados com esquema fatorial 4×3 e quatro repetições. A avaliação da liberação de nutrientes foi realizada durante o cultivo da soja em sucessão aos consórcios pelo método do litter bag, aos 30, 60, 90 e 120 após a semeadura da soja. *Panicum maximum* cv. Tanzânia apresentou maior produtividade de matéria seca quando semeada a lanço por ocasião da semeadura do milho. A semeadura das forrageiras na linha do milho e a lanço simultaneamente ao milho proporcionaram maior produtividade de matéria seca para formação de palhada. O consórcio da cultura do milho com forrageiras no outono é alternativa para elevar a quantidade de palhada e ciclagem de macronutrientes em sistema plantio direto. O K foi o nutriente que apresentou maior acúmulo na palhada das forrageiras (até 150 kg ha^{-1}), com 100 % de liberação aos 90 dias após a semeadura da soja, sendo excelente alternativa de ciclagem desse nutriente. *Panicum maximum* cv. Tanzânia semeada a lanço simultaneamente ao milho se destacou na ciclagem de P (13 kg ha^{-1}). *Panicum maximum* cv. Tanzânia distribuída

Recebido para publicação em 4 de novembro de 2013 e aprovado em 9 de setembro de 2014.

DOI: 10.1590/01000683rbc20150666

a lanço no estágio V4 do milho é a opção com menor potencial para produção de palhada e ciclagem de nutrientes, enquanto as demais opções (forrageiras e modalidades de semeadura) têm maior potencial de utilização, ficando a critério da disponibilidade dos maquinários para implantação do consórcio com a cultura do milho.

Palavras-chave: sistema plantio direto, ciclagem de nutrientes, *Urochloa*, *Panicum*, Cerrado de baixa altitude.

ABSTRACT: NUTRIENT RELEASE FROM FORAGE STRAW INTERCROPPED WITH MAIZE AND FOLLOWED BY SOYBEAN

*In tropical regions there is rapid decomposition of plant material deposited on the soil, and the ability to recycle nutrients through this decomposition is one of the most important aspects of cover crops. The aim of this study was to evaluate the yield and nutrient release from forage crops intercropped with maize for silage, and soybean in succession. The study was conducted in the experimental area of Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira campus, Brazil. The experiment consisted of maize for silage intercropped with four forage species (*Urochloa brizantha* cv. Marandu, *Urochloa ruziziensis*, *Panicum maximum* cv. Tanzania, and *Panicum maximum* cv. Aries) sown in three modalities: in the maize row, together with fertilizer; broadcast at maize sowing; and broadcast in the V4 stage of maize, in a randomized block design in a 4 × 3 factorial arrangement with four replications. The evaluation of nutrient release was performed during the soybean cropping that followed the intercropping by the litter bag method at 30, 60, 90, and 120 days after sowing of soybean. *Panicum maximum* cv. Tanzânia showed higher dry matter yield when sown by broadcasting at maize sowing. Sowing of forages in the maize row, and through broadcasting at maize sowing led to greater dry matter yield for straw formation. Intercropping of maize with forages in the autumn is an alternative for increasing the amount of straw and cycling of macronutrients in a no-till system. Potassium was the nutrient with the greatest accumulation in the forage straws (up to 150 kg ha⁻¹), with 100 % release at 90 days after sowing soybean. The forage straws are thus an excellent alternative for cycling of this nutrient. *Panicum maximum* cv. Tanzânia sown by broadcasting at the time of maize sowing showed greater phosphorus cycling (13 kg ha⁻¹). *Panicum maximum* cv. Tanzânia broadcast in the V4 stage of maize is the option with least potential for straw production and nutrient cycling, while the other options (forages and sowing modalities) have higher potential for use, at the criteria of machine availability for setting up intercropping with corn.*

Keywords: no-till system, corn, nutrient cycling, *Urochloa*, *Panicum*, Low altitude tropical savanna.

INTRODUÇÃO

Nas regiões de clima tropical, em razão das condições de elevadas temperaturas e umidade na primavera/verão, a decomposição dos resíduos vegetais ocorre rapidamente, diminuindo a sua persistência sobre o solo, devendo-se atentar para a quantidade e durabilidade da palhada produzida pela espécie antecedente à cultura principal (Alves et al., 1995).

No sistema plantio direto (SPD), o uso de plantas de cobertura é uma alternativa para aumentar a sustentabilidade dos modelos de produção agrícola, podendo restituir quantidades consideráveis de nutrientes aos cultivos, uma vez que essas plantas absorvem nutrientes das camadas subsuperficiais do solo e os liberam, posteriormente, na camada superficial pela decomposição dos resíduos (Duda et al., 2003). Nesse sentido, as forrageiras consorciadas com culturas graníferas podem proporcionar cobertura permanente do solo (Pariz et al., 2011a). Em áreas de milho destinadas à ensilagem, em razão

da exportação de grande quantidade de material vegetal no processo, com alta extração de nutrientes, principalmente N e K (Jaremtchuk et al., 2006), o consórcio evidenciou-se eficiente alternativa para promover a cobertura do solo para continuidade do SPD (Chioderoli et al., 2012a), com efeitos positivos nas características físicas do solo e na produtividade da cultura da soja em sucessão (Chioderoli et al., 2012b).

As plantas de cobertura, principalmente as gramíneas, integradas de forma planejada no modelo de rotação de culturas, proporcionam alta produção de fitomassa, de elevada relação C/N, garantindo a cobertura do solo por um período prolongado (Borghi et al., 2006). Resultados de Costa et al. (2014) demonstraram que *Urochloa brizantha* cv. Xaraés e *Urochloa ruziziensis* são boas alternativas para a produção de palhada por apresentarem elevada produtividade de palhada em antecessão à cultura do milho sob SPD. Porém *Urochloa ruziziensis* apresentou maior acúmulo de N e K em relação à *Urochloa brizantha* cv. Xaraés. As

forrageiras do gênero *Panicum*, com destaque para o capim-tanzânia, também são boas alternativas para o consórcio com a cultura do milho, visando a formação de pastagem no inverno (Pariz et al., 2011b), com posterior formação de palhada para continuidade do SPD (Pariz et al., 2011a).

Resíduos culturais na superfície do solo constituem importante reserva de nutrientes, cuja disponibilização pode ser rápida e intensa (Rosolem et al., 2003), ou lenta e gradual, conforme a interação entre os fatores climáticos, principalmente precipitação e temperatura, atividade macro e microbiológica do solo e qualidade e quantidade do resíduo vegetal (Alcântara et al., 2000; Oliveira et al., 2002; Pariz et al., 2011a). Diversas espécies de plantas de cobertura do solo podem ser utilizadas a fim de melhorar a ciclagem de nutrientes no solo. Porém, para que uma espécie seja eficaz nessa ciclagem, deve haver sincronia entre o nutriente liberado pelo resíduo da planta de cobertura e a demanda da cultura de interesse comercial, cultivada em sucessão (Braz et al., 2004).

Este trabalho teve como objetivo avaliar, em sistema plantio direto no Cerrado, a quantidade de palhada e a liberação de nutrientes remanescentes da palhada de forrageiras consorciadas com milho outonal para ensilagem sucedida pela cultura da soja.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no ano agrícola 2010/11 na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão, pertencente à Faculdade de Engenharia

da Universidade Estadual Paulista - UNESP, *campus* de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria, MS, com altitude local de 350 m e 4 % de declividade.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico textura argilosa (Embrapa, 2006), e o clima da região, pela classificação de Köppen, é do tipo Aw, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno.

Na figura 1, estão ilustrados os dados de precipitação pluvial e as médias das temperaturas máxima, mínima e média durante o período de condução do experimento. O fornecimento de água foi realizado mediante irrigação por aspersão (pivô central) conforme a rotina da fazenda experimental.

No outono, os tratamentos foram constituídos do consórcio de milho para silagem com quatro forrageiras: *Urochloa brizantha* cv. Marandu; *Urochloa ruziziensis*; *Panicum maximum* cv. Tanzânia e *Panicum maximum* cv. Áries; e três formas de semeadura das forrageiras: na linha de semeadura do milho, misturada ao adubo; a lança simultânea a semeadura do milho; e a lança na época de adubação de cobertura do milho, no estágio V4. A semeadura do milho foi efetuada em 20 de maio de 2010, em espaçamento de 0,45 m, objetivando uma população de 60.000 plantas ha⁻¹. Na primavera do mesmo ano, foi implantada a cultura da soja sobre a palhada das forrageiras oriunda dos tratamentos anteriores. Antes da semeadura da soja, as forrageiras foram dessecadas com glifosato na dose de 2,4 kg ha⁻¹ (i. a.) em 12 de novembro de 2010, e a semeadura da soja foi realizada em 20 de novembro de 2010.

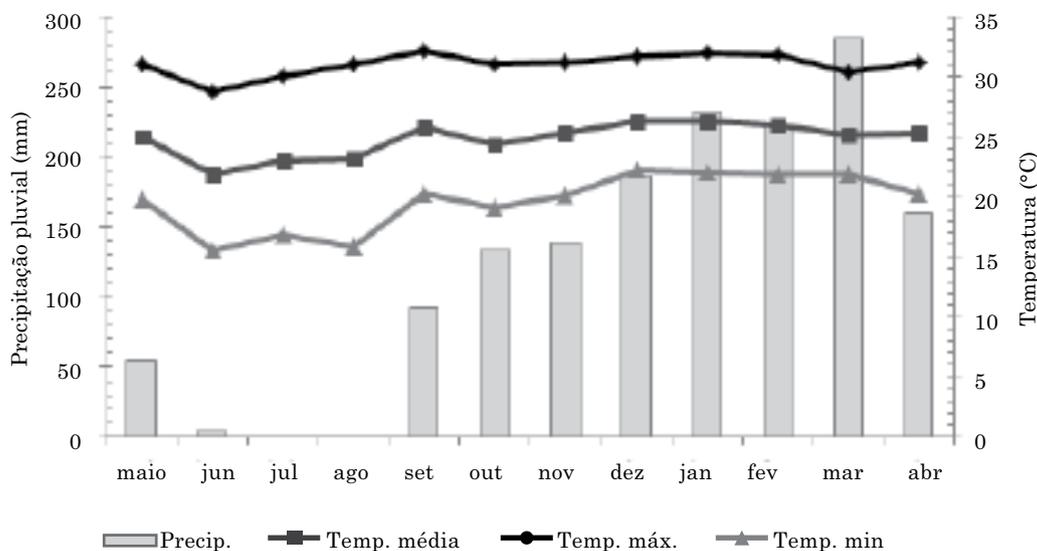


Figura 1. Valores médios da precipitação pluvial, temperaturas máxima, mínima e média do período de maio de 2010 a abril de 2011. Fonte: Laboratório de Hidráulica e Irrigação, Faculdade de Engenharia - UNESP, *campus* de Ilha Solteira.

Cada parcela experimental foi constituída de sete linhas de milho (DKB 390 YG®) no outono e sete linhas de soja (M-SOY 7908 RR®) na primavera, espaçadas a 0,45 m, com 18 m de comprimento e carregadores de 15 m entre os blocos experimentais para manobras das máquinas. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 4 × 3, com quatro repetições.

Na época da semeadura da soja, determinou-se a produtividade de matéria seca das forrageiras (quantidade de palhada rente à superfície do solo), com uso de uma armação de ferro (0,25 m²), realizando a pesagem da massa úmida; e, após secagem em estufa por 72 h a 65 °C, a pesagem da massa de matéria seca. A avaliação da liberação de nutrientes da palhada foi realizada segundo método descrito por Kliemann et al. (2006), por meio de coleta de amostras da parte aérea das forrageiras na época da semeadura da soja, que foram acondicionadas em saquinhos de náilon - *litter bags* - com dimensão de 0,20 × 0,30 m com quantidades de palhada proporcionais à palhada produzida por área, pelas respectivas coberturas (tratamentos experimentais). Foram distribuídos sobre o solo quatro *litter bags* por parcela e retirados mensalmente, um por vez, contando-se a partir da semeadura da soja até sua colheita, aos 30, 60, 90 e 120 dias. Após recolhidos os *litter bags*, o material vegetal foi limpo em peneira e levado à estufa (65 °C por 48 h), para posterior pesagem, trituração e avaliação da liberação de nutrientes pela palhada. Foram determinados, na palhada, os teores de N, Ca, Mg, K e P, pelo método proposto por Malavolta et al. (1997).

Os dados da quantidade de palhada das forrageiras nas três formas de semeadura foram submetidos à análise de variância pelo teste F (p<0,05); e as médias comparadas pelo teste de Tukey (p<0,05). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o *software* estatístico Sisvar (Ferreira, 1999). A liberação de nutrientes da palhada foi analisada conforme sugerido por Wider e Lang (1982) na utilização do método do *litter bag*, adotando-se a equação com maior coeficiente de determinação (r²) (p<0,05), utilizando o *software Excel*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação entre os fatores forrageiras e formas de semeadura foi significativa na produtividade de matéria seca das forrageiras, e, em média, os tratamentos semeados no estádio V4 do milho apresentaram menores produtividades, diferindo-se dos semeados na linha e a lanço simultâneo ao milho (Quadro 1). *P. maximum* cv. Tanzânia apresentou diferença quanto às formas, em que a semeadura a lanço simultânea ao milho evidenciou maior produtividade de matéria seca. Também nessa

forma ocorreu variação entre as forrageiras, tendo *P. maximum* cv. Tanzânia superado a produtividade da *U. brizantha* cv. Marandu.

Os melhores resultados de produtividade de matéria seca na forma a lanço simultaneamente ao milho (Quadro 1) podem ser explicados pelo maior potencial de competição das forrageiras com o milho por água, luz e nutrientes, em razão das melhores condições para germinação, emergência e crescimento (Pariz et al., 2011c). Nesse caso, as sementes das forrageiras foram distribuídas a lanço e incorporadas ao solo com gradagem superficial leve (profundidade de 0,03 m), enquanto no consórcio em linha foi depositada no solo na mesma profundidade do adubo de semeadura (0,08 m). Já na semeadura das forrageiras a lanço no estádio V4 do milho, as sementes não foram incorporadas ao solo, atrasando a germinação delas, além da maior competição por água, luz e nutrientes exercida pela cultura do milho, que já se encontrava em estádio mais avançado de desenvolvimento. Pariz et al. (2011c), avaliando quatro espécies de braquiárias consorciadas na linha e a lanço no momento da semeadura do milho, também relataram que, apesar de satisfatória produtividade de matéria seca (acima de 2.500 kg ha⁻¹), com exceção da *B. brizantha*, as demais espécies consorciadas a lanço foram superiores às consorciadas na linha, com destaque para *B. decumbens* e *B. ruziziensis*.

Verificou-se maior liberação de N nos primeiros 30 dias (Figura 2), chegando a 70 kg ha⁻¹ no consórcio de *P. maximum* cv. Tanzânia na semeadura a lanço simultânea ao milho. A liberação de nutrientes das forrageiras quando consorciadas na linha de semeadura do milho variou entre o ajuste potencial, para *U. brizantha* cv. Marandu e *Panicum maximum* cv. Tanzânia, e o logarítmico, para *U. ruziziensis* e *P. maximum* cv. Áries. Na forma a lanço, com semeadura

Quadro 1. Produtividade de massa matéria seca das forrageiras em consórcio com milho, semeadas no plantio do milho, na linha (Linha) ou a lanço (Lanço) ou no estádio V4 a lanço (LançoV4), avaliada no momento da semeadura da soja

Forrageira	Linha	Lanço (V4)	
		Lanço	Lanço (V4)
kg ha ⁻¹			
<i>U. brizantha</i> cv. Marandu	4250 aA	3150 bA	2850 aA
<i>U. ruziziensis</i>	4150 aA	4650 abA	3000 aA
<i>P. maximum</i> cv. Tanzânia	3550 aB	5600 aA	1950 aB
<i>P. maximum</i> cv. Áries	3050 aA	3950 abA	3200 aA
DMS coluna		2.137	
DMS linha		1.938	

Médias seguidas de mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

simultânea ao milho, os ajustes foram logarítmicos, exceto para *U. ruziziensis* com significância no ajuste potencial. Para a semeadura a lanço em V4, os ajustes significativos foram potencial para *U. brizantha* cv. Marandu e *P. maximum* cv. Áries; e logarítmico, para *U. ruziziensis* e *Panicum maximum* cv. Tanzânia. As formas de semeadura estudadas estão relacionadas diretamente com a quantidade de nutrientes extraídos por cada espécie e, conseqüentemente, com a quantidade de palhada produzida, sendo a liberação de N mais intensa até os 30 dias, tendendo a estabilização a partir desse período.

O N foi o segundo nutriente mais extraído pelas forrageiras e, portanto, com maior acúmulo na fitomassa, ou seja, maior teor de N na palhada, necessitando de maior período para que a mesma quantidade extraída fosse liberada e retornasse ao solo, corroborando Crusciol et al. (2005), os quais encontraram ponto de intersecção em que a

porcentagem de N acumulada no resíduo foi igual à porcentagem de N liberado para o solo, aos 26 dias após o manejo. Os autores destacaram a evidência que, uma vez fixado em compostos orgânicos, o N fica à disposição da ciclagem no complexo planta-palha-solo, formado pelos agroecossistemas.

Segundo Perin et al. (2010), a taxa de liberação de N encontra-se intimamente relacionada à liberação do C, pois o N remanescente segue o mesmo comportamento da biomassa remanescente, reforçando o conceito de que a relação C/N tem grande contribuição na regulação do processo de decomposição da biomassa vegetal.

O N é um elemento muito móvel no sistema. Apesar das perdas em razão da volatilização, lixiviação, percolação e escorrimento por erosão laminar, estima-se que 60 a 70 % desse nutriente encontrado na biomassa vegetal heterotrófica sejam

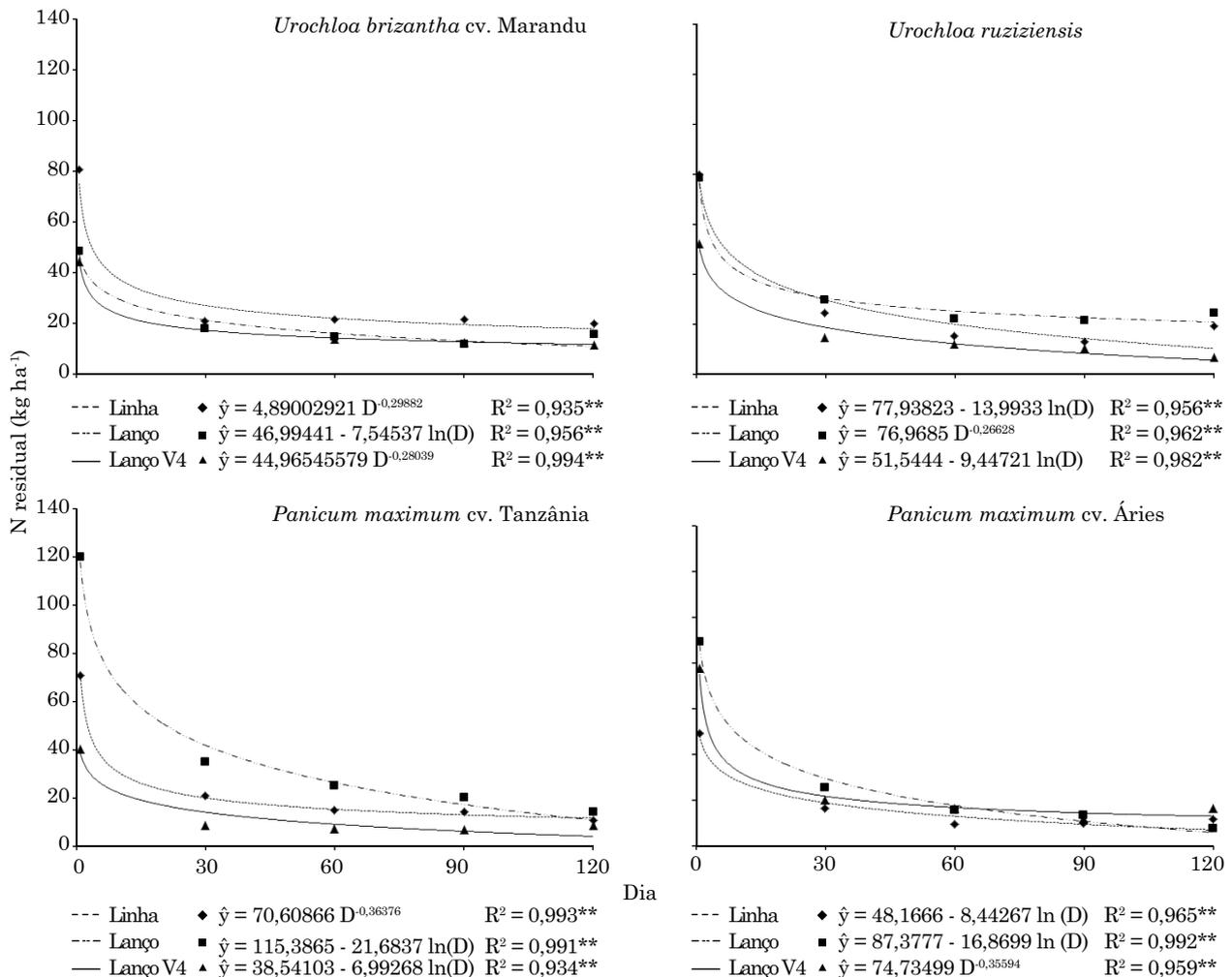


Figura 2. Nitrogênio residual na palhada das forrageiras remanescente no solo até 120 dias durante o cultivo da soja, para as condições das forrageiras semeadas no plantio do milho, na linha (Linha) ou a lanço (Lanço) ou no estágio V4 a lanço (LançoV4). ** e * $p < 0,01$ e $< 0,05$, respectivamente.

reciclados e novamente absorvidos pelas plantas no cultivo seguinte (Spain e Salinas, 1985). Portanto, a quantidade de N que retorna ao solo na forma de resíduos de plantas constitui considerável porção do N total absorvido pelas plantas em sucessão, mesmo em culturas que não sejam fixadoras de N como a soja, comparada à pequena parte que é liberada pelas raízes e lavada das folhas pela chuva (Costa et al., 2012).

Em estudo realizado por Pariz et al. (2011a), a maior quantidade de palhada foi obtida na semeadura simultânea das forrageiras com o milho, o que proporcionou aumento das quantidades de N, P e K depositadas na superfície do solo pela palhada. Entre as forrageiras estudadas pelos autores, *U. brizantha* cv. Marandu proporcionou maior liberação de N, P e K da palhada para a superfície do solo. Esses autores ainda destacaram o potencial de utilização de gramíneas como forragem durante

o inverno/primavera e como palhada para o sistema plantio direto em ambientes de Cerrado.

Na figura 3, estão apresentados os ajustes para o P residual, em que se verifica ajuste logarítmico para semeadura na linha do milho, exceto para *U. ruziziensis* com ajuste potencial. As semeaduras a lanço, simultânea ao milho e em V4 apresentaram modelo potencial, com exceção para *P. maximum* cv. Tanzânia e cv. Áries, com ajuste logarítmico.

A quantidade potencial de P a ser liberada dos tecidos orgânicos, normalmente ligados estruturalmente a moléculas proteicas e em compostos ligados ao transporte de energia, pode tornar-se disponível tanto para absorção do sistema radicular da cultura em sucessão quanto para imobilização em compostos minerais de difícil solubilidade. Aproximadamente 77 % do P das folhas e 79 % do P das raízes mortas ficam disponíveis durante o crescimento da cultura subsequente, após

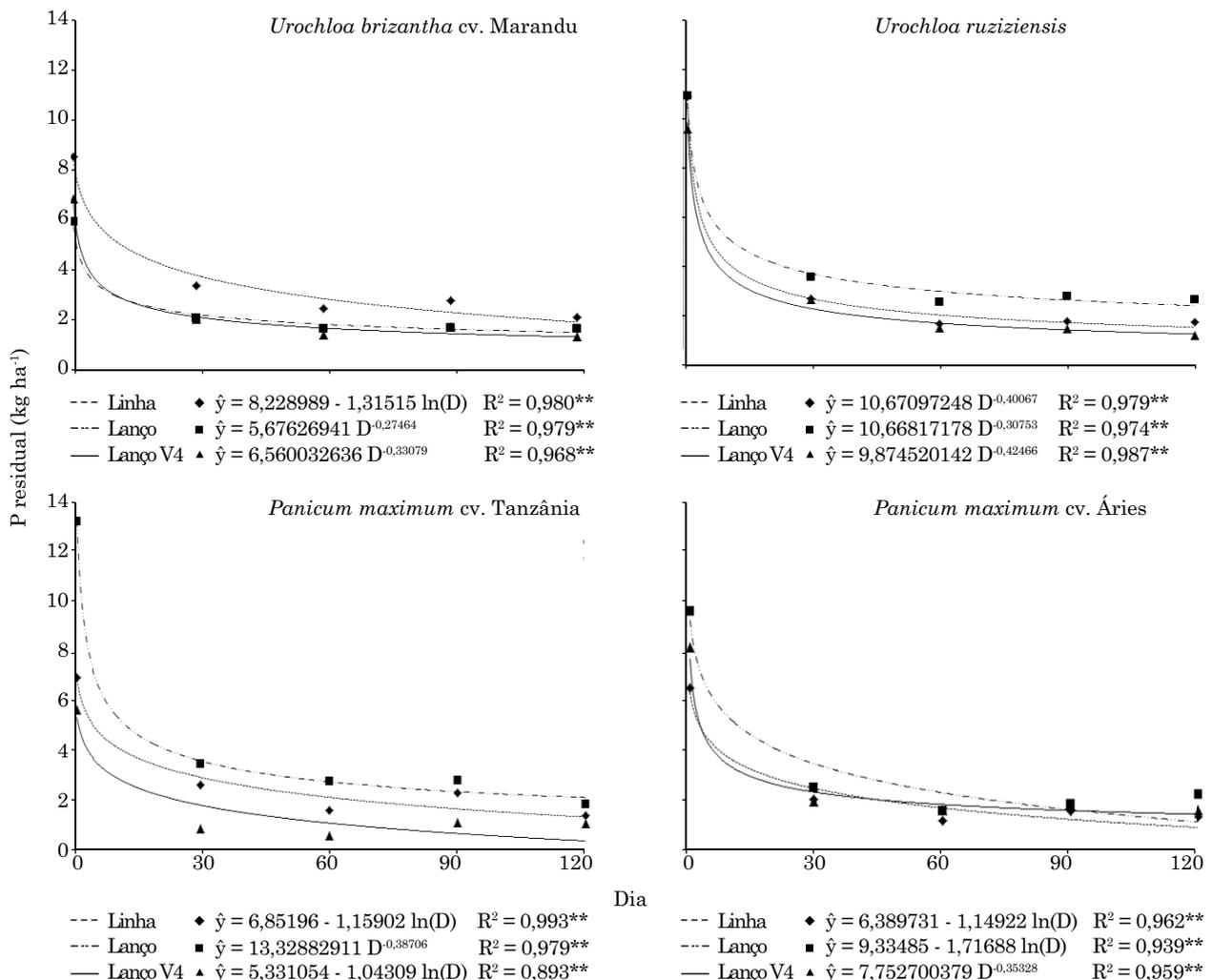


Figura 3. Fósforo residual na palhada das forrageiras remanescente no solo até 120 dias durante o cultivo da soja, para as condições das forrageiras semeadas no plantio do milho, na linha (Linha) ou a lanço (Lanço) ou no estágio V4 a lanço (LançoV4). ** e * $p < 0,01$ e $< 0,05$, respectivamente.

as plantas de cobertura (Bromfield e Jones, 1970). Embora o P seja pouco solúvel, grande quantidade pode retornar ao solo por chuvas de alta intensidade (Bromfield, 1961), visto que a intensidade e duração da chuva também interferem nas quantidades de P que retornam ao solo proveniente da palhada (Costa et al., 2012). Nesse sentido, a ocorrência de chuvas logo que implantados os *litter bags* com palhada residual na avaliação do experimento (Figura 1), com média de 213 mm mês⁻¹, de novembro a março, pode ter favorecido para que grande quantidade de P presente no material vegetal retornasse ao solo.

De modo geral, nas formas de semeadura a lanço houve liberação inicial mais rápida do P residual da palhada, com ajuste potencial; *U. ruziziensis*, das forrageiras estudadas, foi a planta de cobertura que apresentou tal ajuste para as três formas de semeadura. Assim, quando um dos objetivos for a reposição de P com auxílio da decomposição de

palhada para a próxima cultura, pode-se destacar essa forrageira como adequada opção para essa finalidade.

Na figura 4, verifica-se que o K residual na palhada teve ajustes significativos em todas as forrageiras em razão das formas de semeadura. A semeadura na linha apresentou ajuste logarítmico para todos os consórcios, exceto para *U. ruziziensis*, enquanto a lanço simultâneo ao milho somente *U. brizantha* cv. Marandu teve ajuste potencial, tendo os demais consórcios ajustes logarítmicos. Contudo, na semeadura a lanço em V4, os ajustes foram potenciais, exceto para o consórcio com *U. ruziziensis*, tendo ajuste logarítmico.

Nos ajustes potenciais, a queda de K residual nos primeiros dias de avaliação proporcionou grande liberação desse elemento das palhadas; aos 30 dias, o valor médio de K residual nesses consórcios foi inferior a 10 kg ha⁻¹. Aos 90 dias, as forrageiras de todas as formas de palhada

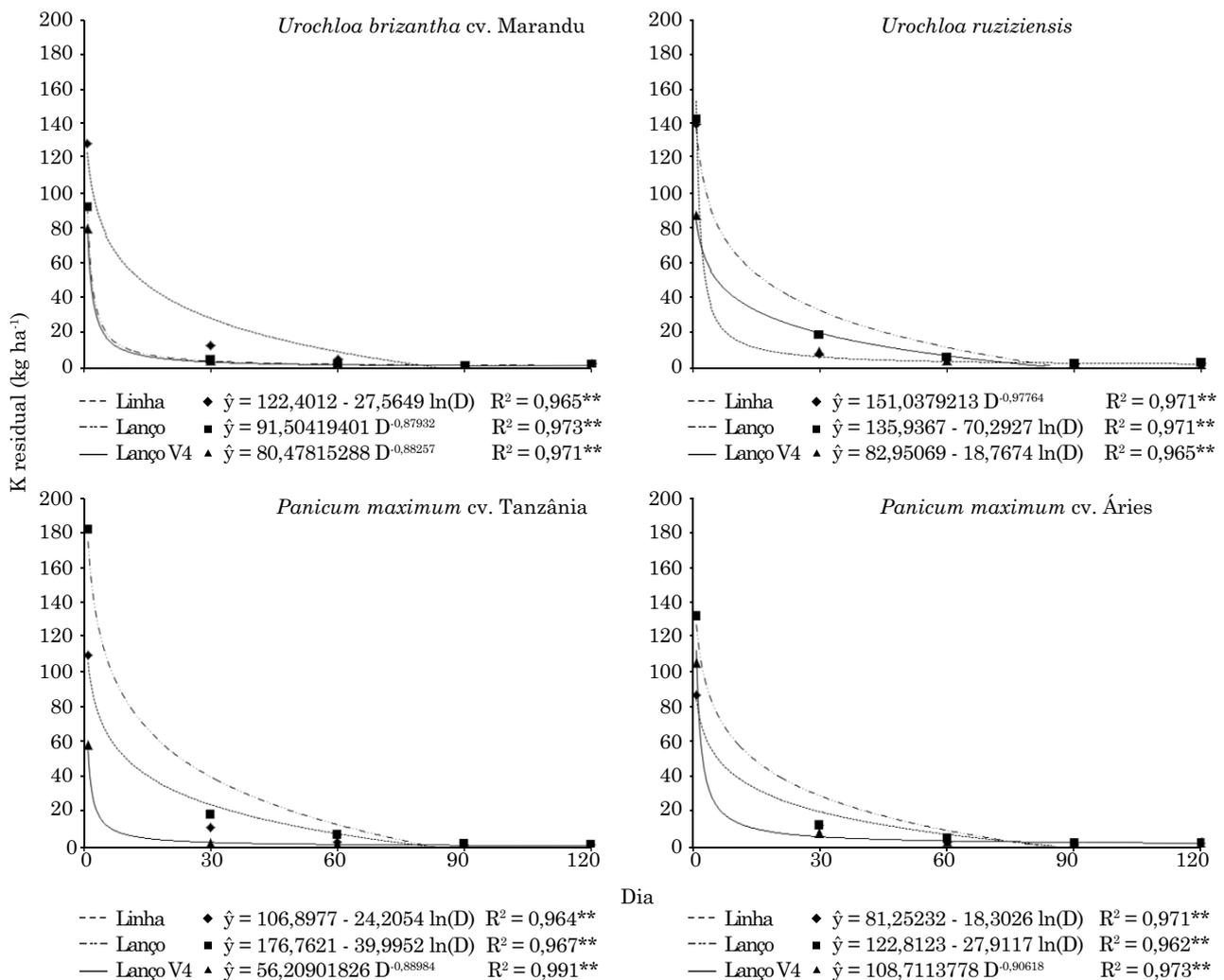


Figura 4. Potássio residual na palhada das forrageiras remanescente no solo até 120 dias durante o cultivo da soja, para as condições das forrageiras semeadas no plantio do milho, na linha (Linha) ou a lanço (Lanço) ou no estágio V4 a lanço (LançoV4). ** (p<0,01).

atingiram, praticamente, a liberação total desse nutriente. A velocidade de liberação de nutrientes dos resíduos culturais durante o processo de decomposição depende da localização e forma em que esses se encontram no tecido vegetal. O K, que se encontra em componentes não estruturais e na forma iônica no vacúolo das células das plantas, é rapidamente lixiviado logo após a ceifa das plantas de cobertura, com pequena dependência dos processos microbianos (Giacomini et al., 2003).

O K é o cátion mais abundante no citoplasma das células vegetais e não possui função estrutural, forma ligações com complexos orgânicos de fácil reversibilidade e, portanto, de fácil liberação dos restos vegetais; a decomposição desses o libera total e rapidamente. Assim, após a dessecação dos capins, a concentração desse nutriente no tecido diminuiu drasticamente, pois é facilmente lavado pela água das chuvas, após o rompimento das

membranas plasmáticas (Crusciol et al., 2008). Pode-se considerar um aproveitamento do K, da palhada para o solo, de quase 100 % (Spain e Salinas, 1985). Resultados de Garcia et al. (2008) demonstraram que o consórcio da cultura do milho com *Urochloa brizantha* cv. Marandu foi eficiente na reciclagem de K, elevando a forma trocável desse nutriente no solo. Assim, os resultados deste estudo comprovaram tal eficiência, visto que essa forrageira liberou de 80 a 122 kg ha⁻¹ de K sobre a superfície do solo. Tal resultado se explica pela capacidade das raízes dessa forrageira em extrair K em maiores profundidades do solo, disponibilizando posteriormente o nutriente quando essas forem dessecadas para formação de palhada.

A liberação de Ca residual (Figura 5) da palhada de *U. brizantha* cv. Marandu e *U. ruziziensis* apresentou ajuste logarítmico para as formas de semeadura na linha e a lanço simultâneo ao milho,

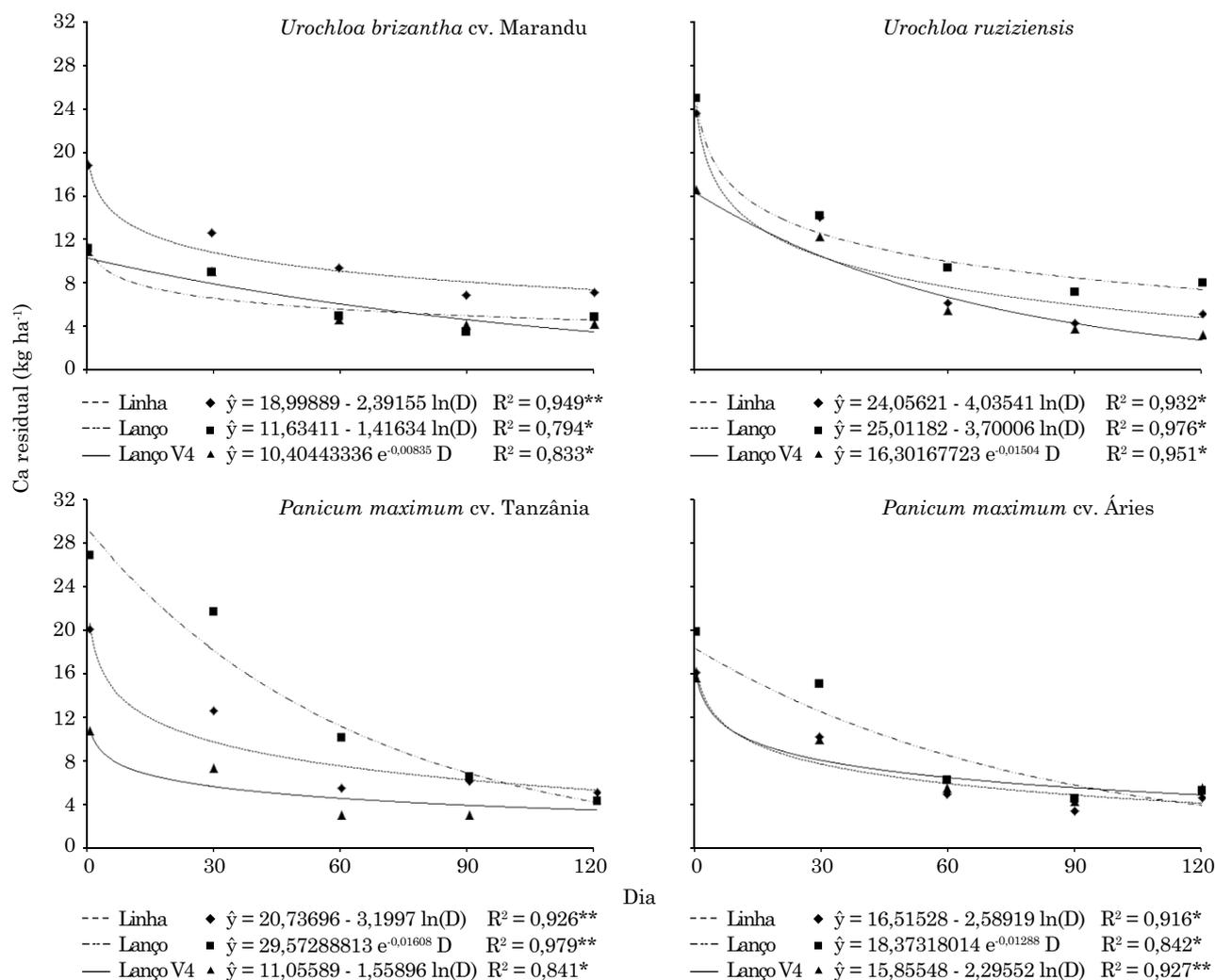


Figura 5. Cálcio residual na palhada das forrageiras remanescente no solo até 120 dias durante o cultivo da soja, para as condições das forrageiras semeadas no plantio do milho, na linha (Linha) ou a lanço (Lanço) ou no estágio V4 a lanço (LançoV4). ** e * $p < 0,01$ e $< 0,05$, respectivamente.

enquanto na forma a lanço com semeadura no estágio V4 do milho os ajustes foram exponenciais. Para forrageiras do gênero *Panicum*, os ajustes foram logarítmicos para as modalidades na linha e a lanço em V4, e ajuste exponencial para a semeadura a lanço no dia da semeadura do milho. *Panicum maximum* cv. Tanzânia semeada a lanço apresentou maior liberação de Ca, em média 23 kg ha⁻¹ contra 15 e 6 kg ha⁻¹ nas formas na linha e a lanço em V4, respectivamente. Aos 120 dias, o Ca residual foi, em média, de 5 kg ha⁻¹ nos arranjos estudados.

O Ca, nutriente extraído em menor quantidade quando comparado ao N e K, foi intensamente liberado da palhada, favorecendo a cultura sucessora que poderia absorver quantidades consideráveis desse elemento. Crusciol et al. (2005) citaram que a elevada liberação de Ca e Mg é decorrente da participação desses elementos em compostos iônicos e moléculas solúveis.

Entretanto, ressalta-se que uma espécie será eficaz na ciclagem de nutrientes se houver sincronia entre o nutriente liberado pelo resíduo da planta de cobertura e a demanda da cultura de interesse comercial, cultivada em sucessão (Braz et al., 2004). No entanto, não se deve esquecer de que se trata de uma reciclagem, devendo haver tempo suficiente para que todos esses nutrientes sejam disponibilizados no solo, ou seja, esses benefícios não são imediatos (Costa et al., 2012).

Para o Mg residual, a semeadura na linha apresentou ajustes logarítmicos para todas as forrageiras. Na forma a lanço simultânea ao milho, os ajustes foram logarítmicos, com exceção da *U. ruzizensis*. Na forma a lanço em V4 com ajustes logarítmicos, ocorreu exceção para *P. maximum* cv. Áries com ajuste potencial, bem como para a *U. ruzizensis* a lanço simultânea ao milho (Figura 6).

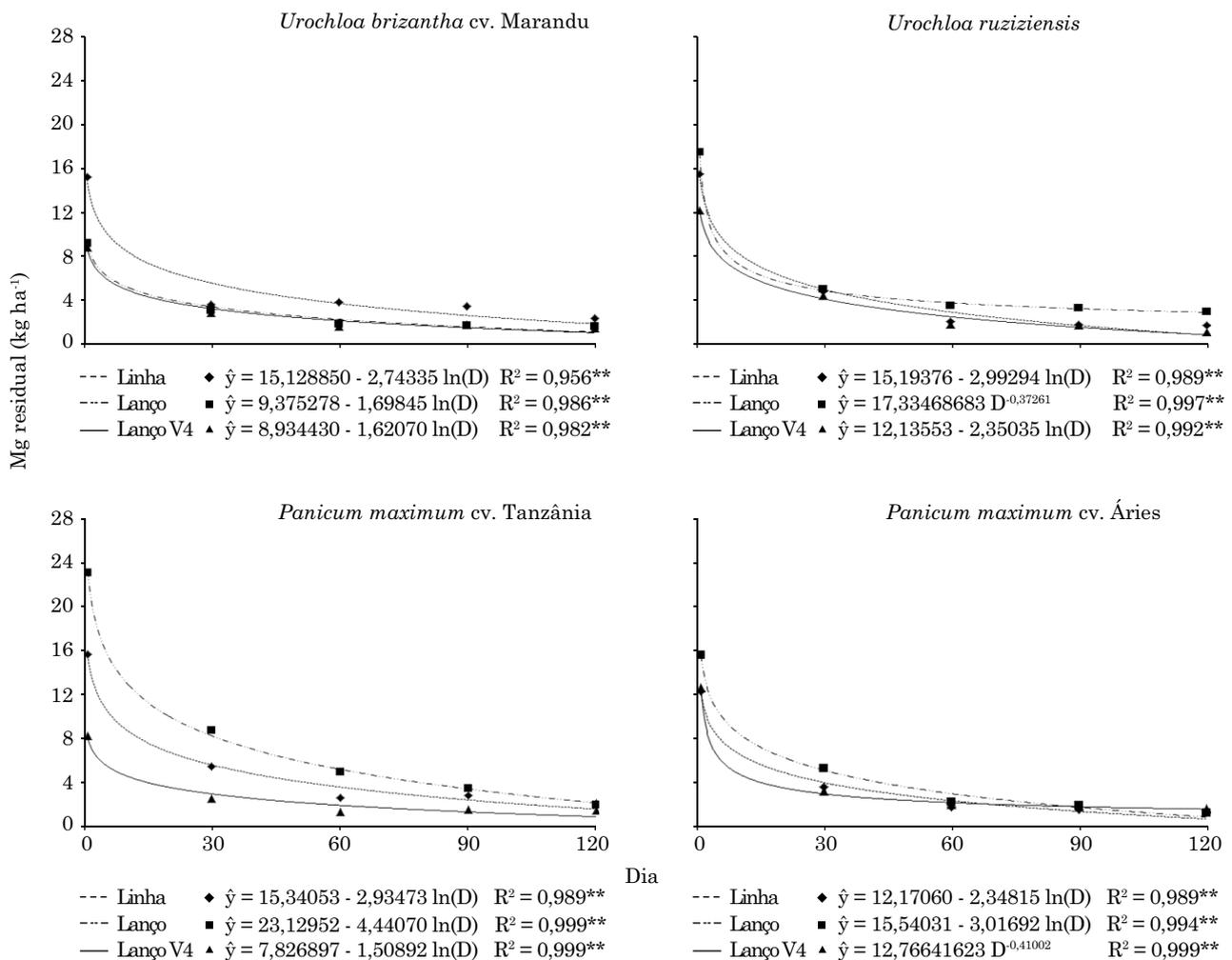


Figura 6. Magnésio residual na palhada das forrageiras remanescente no solo até 120 dias durante o cultivo da soja, para as condições das forrageiras semeadas no plantio do milho, na linha (Linha) ou a lanço (Lanço) ou no estágio V4 a lanço (LançoV4). ** ($p < 0,01$).

Os ajustes logarítmicos e, em especial, o potencial indicaram liberação inicial rápida de nutrientes, até 15 dias após semeadura da soja. A liberação inicial de Mg em grande quantidade ocorre em razão de os 70 % desse elemento estarem no vacúolo (Marschner, 1995). Assim, a maior parte do Mg é rapidamente liberada, uma vez que essa porção não faz parte de constituintes celulares. O restante do Mg (30 %) é liberado posteriormente de forma gradual, pois faz parte de compostos estruturais das plantas (Crusciol et al., 2008).

Crusciol et al. (2008) obtiveram para Ca e Mg provenientes da decomposição de fitomassa de aveia-preta ajustes quadráticos, cujos pontos de máxima liberação acumulada foram atingidos aos 53 e 50 dias após o manejo, respectivamente. Pela análise da taxa de liberação dos nutrientes, verificaram que a maior velocidade de liberação de Ca e Mg ocorreu entre 10 e 20 dias da dessecação da fitomassa, corroborando neste trabalho. Esses autores observaram também rápida liberação desses macronutrientes até 10 dias após o manejo, com redução contínua, a partir de 20 dias, e posterior tendência à estabilização em valores próximos a zero.

CONCLUSÕES

A forrageira *Panicum maximum* cv. Tanzânia apresentou maior produtividade de massa de matéria seca quando semeada a lanço por ocasião da semeadura do milho.

A semeadura das forrageiras na linha do milho e a lanço simultaneamente ao milho proporcionou maior produtividade de matéria seca para formação de palhada.

O consórcio da cultura do milho com forrageiras no outono é alternativa para elevar a quantidade de palhada e ciclagem de macronutrientes em sistema plantio direto.

O K foi o nutriente que evidenciou maior acúmulo na palhada das forrageiras (até 150 kg ha⁻¹), com 100 % de liberação aos 90 dias após a semeadura da soja, sendo excelente alternativa de ciclagem deste nutriente.

A forrageira *Panicum maximum* cv. Tanzânia semeada a lanço simultaneamente ao milho se destacou na ciclagem de P (13 kg ha⁻¹).

A forrageira *Panicum maximum* cv. Tanzânia semeada a lanço no estágio V4 do milho é a opção com menor potencial para produção de palhada e ciclagem de nutrientes, enquanto as demais opções (forrageiras e formas de semeadura) têm maior potencial de utilização, ficando a critério da disponibilidade dos maquinários para implantação do consórcio com a cultura do milho.

AGRADECIMENTO

À Fundação Agricultura Sustentável - Agrisus, pela bolsa de estudo e pelo financiamento à esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Alcântara FA, Furtini Neto AE, De Paula MB, Mesquita HA, Muniz JA. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. *Pesq Agropec Bras.* 2000;35:277-88.
- Alves AGC, Cogo NP, Levien R. Relações da erosão do solo com a persistência da cobertura vegetal morta. *R Bras Ci Solo.* 1995;19:127-32.
- Borghi É, Crusciol CAC, Costa C. Desenvolvimento da cultura do milho em consorciação com *Brachiaria brizantha* em sistema plantio direto. *Energia Agric.* 2006;21:19-33.
- Braz AJBP, Silveira PM, Kliemann HJ, Zimmermann FJP. Acumulação de nutrientes em folhas de milho e dos capins braquiária e mombaça. *Pesq Agropec Bras.* 2004;34:83-7.
- Bromfield SM. Sheep faces in relation to the phosphorus cycle under pastures. *Aust J Agric Res.* 1961;12:111-23.
- Bromfield SM, Jones OL. The effect of sheep on the recycling of phosphorus in hayed-off pastures. *Aust J Agric Res.* 1970;21:699-711.
- Chioderoli CA, Mello LMM, Holanda HV, Furlani CEA, Grigolli PJ, Silva JOR, Cesarin AL. Consórcio de *Urochloas* com milho em sistema plantio direto. *Ci Rural.* 2012a;42:1804-10.
- Chioderoli CA, Mello LMM, Grigolli PJ, Furlani CEA, Silva JOR, Cesarin AL. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. *R Bras Eng Agric Amb.* 2012b;16:37-43.
- Costa NR, Andreotti M, Gameiro RA, Pariz CM, Buzetti S, Lopes KSM. Adubação nitrogenada no consórcio de milho com duas espécies de braquiária em sistema plantio direto. *Pesq Agropec Bras.* 2012;47:1038-47.
- Costa NR, Andreotti M, Fernandes JC, Cavasano FA, Ulian NA, Pariz CM, Santos FG. Acúmulo de nutrientes e decomposição da palhada de braquiárias em função do manejo de corte e produção do milho em sucessão. *R Bras Ci Agron.* 2014;9:166-73.
- Crusciol CAC, Cottica RL, Lima EV, Andreotti M, Moro E, Marcon E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. *Pesq Agropec Bras.* 2005;40:161-8.
- Crusciol CAC, Moro E, Lima EV, Andreotti M. Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. *Bragantia.* 2008;67:481-9.
- Duda GP, Guerra JGM, Monteiro MT, De-Polli H, Teixeira MG. Perennial herbaceous legumes as live soil mulches and their effects on C, N and P of the microbial biomass. *Sci Agric.* 2003;60:139-47.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Sistema brasileiro de classificação dos solos. 2ª ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa em Solos; 2006.
- Ferreira, D.F. SISVAR: Sistema de análise de variância. Lavras: Universidade Federal de Lavras; 1999.

- Garcia RA, Crusciol CAC, Calonego JC, Rosolem CA. Potassium cycling in a corn-brachiaria cropping system. *Eur J Agron*. 2008;28:579-85.
- Giacomini SJ, Aita C, Hubner AP, Lunkes A, Guidini E, Amaral EB. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. *Pesq Agropec Bras*. 2003;38:1097-104.
- Jaremchuk AR, Costa C, Meirelles PRL, Gonçalves HC, Ostrensky A, Koslowski LA, Madeira HMF. Produção, composição bromatológica e extração de potássio pela planta de milho para silagem colhida em duas alturas de corte. *Acta Sci Agron*. 2006;28:351-7.
- Kliemann HJ, Braz AJBP, Silveira PM. Taxa de composição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho distroférrico. *Pesq Agropec Trop*. 2006;36:21-8.
- Malavolta E, Vitti GC, Oliveira SA. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. 2ª ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato; 1997.
- Marschner H. Mineral nutrition of higher plants. London: Academic Press; 1995.
- Oliveira TK, Carvalho GJ, Moraes RNS. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. *Pesq Agropec Bras*. 2002;37:1079-87.
- Pariz CM, Andreotti M, Buzetti S, Bergamaschine AF, Ulian NA, Furlan LC, Meirelles PRL. Cavasano FA. Straw decomposition of nitrogen-fertilized grasses intercropped with irrigated maize in an integrated crop-livestock system. *R Bras Ci Solo*. 2011a;35:2029-37.
- Pariz CM, Andreotti M, Bergamaschine AF, Buzetti S, Costa NR, Cavallini MC, Ulian NA, Luiggi FG. Yield, chemical composition and chlorophyll relative content of Tanzania and Mombaça grasses irrigated and fertilized with nitrogen after corn intercropping. *R Bras Zootec*. 2011b;40:728-38.
- Pariz CM, Andreotti M, Azenha MV, Bergamaschine AF, Mello LMM, Lima RC. Produtividade de grãos de milho e massa seca de braquiárias em consórcio no sistema de integração lavoura-pecuária. *Ci Rural*. 2011c;41:875-82.
- Perin A, Santos RHS, Caballero SSU, Guerra JGM, Gusmão LA. Acúmulo e liberação de P, K, Ca e Mg em crotalária e milheto solteiros e consorciados. *R Ceres*. 2010;57:274-81.
- Rosolem CA, Calonego JC, Foloni JSS. Lixiviação de potássio da palhada de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. *R Bras Ci Solo*. 2003;27:355-62.
- Spain JM, Salinas JG. A reciclagem de nutrientes nas pastagens tropicais. In: Anais da 16ª Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo; jul 1984; Ilhéus. Ilhéus: Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira; 1985. p.259-99.
- Wider RK, Lang GE. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. *Ecology*. 1982;63:1636-42.