

Consórcio de guandu-anão com milho: persistência e liberação de macronutrientes e silício da fitomassa

Jayme Ferrari Neto; Carlos Alexandre Costa Crusciol; Rogério Peres Soratto(*); Claudio Hideo Martins da Costa

Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), Departamento de Produção Vegetal, Caixa Postal 237, 18603-970 Botucatu (SP), Brasil.

(* Autor correspondente: soratto@fca.unesp.br

Recebido: 8/set./2011; Aceito: 19/mar./2012

Resumo

O consórcio de gramíneas com leguminosas pode ser alternativa interessante para o fornecimento de fitomassa para sistemas de rotação de culturas, porém, pouco se sabe sobre a dinâmica de decomposição e de liberação de nutrientes da palhada. Assim, objetivou-se avaliar a persistência de palhada e a liberação de macronutrientes, carbono e silício da fitomassa do consórcio guandu-anão+milho com e sem a fragmentação mecânica da mesma. O experimento foi desenvolvido em esquema fatorial 2x6 sob delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. O primeiro fator foi constituído por dois manejos da fitomassa da parte aérea (sem e com fragmentação mecânica) e o segundo por seis épocas de coleta (0, 18, 32, 46, 74 e 91 dias após manejo (DAM)). A fragmentação da palhada não alterou a decomposição e a liberação de N, P, K, Ca, Mg e S e as máximas liberações diárias ocorreram de 0 a 18 DAM. Aos 91 DAM pelo menos 80% de todos os macronutrientes foram liberados ao solo. O K foi o nutriente mais rapidamente liberado, restando aos 91 DAM, apenas 1,4% da quantidade total acumulada, na média dos manejos com e sem fragmentação mecânica. O Si foi o elemento mais lentamente liberado da palhada, restando ainda aos 91 DAM, em média 69% da quantidade total acumulada. A relação C/Si pode ser uma ferramenta para avaliar a degradação de palhada.

Palavras-chave: *Cajanus cajan*, *Pennisetum glaucum*, reciclagem, taxa de decomposição, manejo da palhada, cobertura vegetal.

Pigeonpea and millet intercropping: phytomass persistence and release of macronutrients and silicon

Abstract

Grasses and legumes intercropping can be an attractive alternative for phytomass supply to crop rotation systems; however, information about its decomposition and macronutrient release dynamics is scarce. Thus, the objective of this work was to evaluate the persistence of dry matter, nutrient, carbon and silicon release of pigeonpea and millet intercropping, with and without mechanical fragmentation of straw. The experiment was arranged as a 2x6 factorial in randomized block design, with four replications. First factor consisted of two straw managements (without and with fragmentation) and second consisted of six sampling times (0, 18, 32, 46, 74 and 91 days after management (DAM)). The fragmentation of straw did not alter decomposition and release of N, P, K, Ca, Mg and S, and the maximum daily release of these occurred between 0 and 18 DAM. At 91 DAM at least 80% of all macronutrients were released to the soil. Potassium was released faster, leaving only 1.4% of the total amount accumulated in the straw at 91 DAM, on average of the managements with and without mechanical fragmentation. Silicon was the most slowly released from the straw, still leaving 69% of the total amount accumulated in the straw at 91 DAM. The C/Si ratio is suggested as a tool to evaluate the degradation of straw.

Key words: *Cajanus cajan*, *Pennisetum glaucum*, recycling, decomposition rate, straw management, cover crop.

1. INTRODUÇÃO

A persistência e a dinâmica de liberação de nutrientes da palhada são importantes aspectos a serem considerados na escolha de plantas para compor esquemas de rotação de culturas em sistema plantio direto (BOER et al., 2008; LEITE et al., 2010).

Gramíneas tropicais, como o milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown), são utilizadas no Brasil Central, principalmente, por ser relativamente tolerante à seca, pela elevada produção de fitomassa e capacidade de reciclar nutrientes (PORTUGAL et al., 2003; PEREIRA FILHO et al., 2005; CRUSCIOL e SORATTO, 2007; 2009; LEITE et al., 2010).

Leguminosas, como o guandu-anão (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.), possuem menor relação C/N que gramíneas como o milheto, com menor persistência de palhada. Entretanto, possui capacidade de fornecer N ao sistema, via fixação biológica (TEIXEIRA et al., 2005). Outra característica marcante do guandu-anão é o sistema radicular agressivo, pois além de promover a reciclagem de nutrientes, mediante sua absorção das camadas mais profundas do solo, pode também ser utilizado em áreas com problemas de compactação no sistema plantio direto.

SILVA e ROSELEM (2001) relataram o uso da rotação de culturas com espécies de sistema radicular vigoroso como alternativa para reduzir a compactação dos solos. Assim, o cultivo consorciado do guandu-anão com o milheto visa aliar os benefícios individuais de cada espécie, como a manutenção da palhada no sistema e a reciclagem de nutrientes (TEIXEIRA et al., 2005).

O tipo de manejo também pode influenciar a decomposição da palhada e, conseqüentemente, a liberação de nutrientes para a cultura em sucessão (GIACOMINI et al., 2003). PARIZ et al. (2011) citaram efeitos benéficos da fragmentação da palhada de forrageiras perenes relacionados à ciclagem de nutrientes. Contudo, segundo DENARDIN e KOCHHANN (1993), a compactação, o baixo rendimento e o alto custo são algumas das desvantagens relacionadas ao uso de implementos específicos, como o triturador de palha horizontal, no manejo da palhada.

Estudos relacionando persistência de palhada com silício (Si) são escassos (FERNANDEZ et al., 2009), porém, esta relação pode ser indicador da qualidade da cobertura vegetal. O Si absorvido pelas plantas e depositado na parede celular poderia funcionar como uma espécie de barreira física, diminuindo a perda e, ou o acesso ao material celular durante a decomposição da palhada no solo (SILVA e BOHNEN, 2001).

Diante do exposto, objetivou-se avaliar a persistência de palhada e a liberação de nutrientes, carbono e silício da fitomassa do consórcio guandu-anão+milheto com e sem fragmentação mecânica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em condições de campo, sobre Nitossolo Vermelho textura argilosa, durante o ano

agrícola 2004/2005, em Botucatu, SP (22°58'S, 48°23'O e 765 m de altitude). Segundo a classificação climática de Köppen, o clima predominante na região é do tipo Cwa. É caracterizado pelo clima tropical de altitude, com inverno seco e verão quente e chuvoso.

Durante a execução do experimento, a precipitação pluvial e a temperatura média mensais foram de, respectivamente, 95 mm e 22 °C em novembro, 160 mm e 23 °C em dezembro, 430 mm e 23 °C em janeiro, 70 mm e 23,5 °C em fevereiro, 120 mm e 23,5 °C em março e 88 mm e 22,8 °C em abril.

As características químicas e granulométricas do solo (0-20 cm) foram determinadas antes da instalação do experimento e os resultados foram: 25,0 g dm⁻³ de matéria orgânica; pH (CaCl₂) 5,0; 17, mg dm⁻³ de P (resina); 1,6, 33,3, 17,6, 34,1 mmol_c dm⁻³ de K, Ca, Mg e H+Al respectivamente; 6,5 mg dm⁻³ de Si; 61% de saturação por bases; 512 g kg⁻¹ de argila; 381 g kg⁻¹ de areia e 107 g kg⁻¹ de silte.

O experimento foi realizado em esquema fatorial 2x6 sob delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. O primeiro fator foi constituído por dois manejos da fitomassa da parte aérea do consórcio guandu-anão+milheto (sem e com fragmentação mecânica) e o segundo, por seis épocas de coleta da fitomassa (0, 18, 32, 46, 74 e 91 dias após o manejo (DAM)). A dimensão das parcelas foi de 5 m de largura e 15 m de comprimento, totalizando 75 m².

Antes da semeadura do consórcio guandu-anão+milheto foi realizada a dessecação das plantas presentes na área com a utilização do herbicida glyphosate (1920 g ha⁻¹ i.a.). A semeadura do guandu-anão, cv. IAPAR 43-Aratá, e do milheto, cv. BN-2, misturados na proporção de 20 + 10 kg ha⁻¹, foi efetuada em 21/10/2004, cuja emergência ocorreu após nove dias (30/10/2004). O espaçamento utilizado foi de 0,17 m entre as fileiras com aproximadamente 0,05 m de profundidade, não sendo realizada qualquer adubação, assim como tratamentos culturais (controle de pragas e doenças).

Em 14/1/2005, aos 75 dias após a emergência (DAE), quando as culturas atingiram o estágio de florescimento pleno, foi realizado o manejo químico com a utilização do herbicida glyphosate (1920 g ha⁻¹ i.a.). Após a dessecação, realizou-se o manejo mecânico por meio de triturador de palha horizontal, nas parcelas previamente determinadas.

Foram realizadas coletas da cobertura vegetal no dia do manejo do consórcio guandu-anão + milheto (0 DAM), em 1.º/2/2005 (18 DAM), em 15/2/2005 (32 DAM), em 1.º/3/2005 (46 DAM), em 29/3/2005 (74 DAM) e em 15/4/2005 (91 DAM). Em cada época de coleta foi amostrado o material vegetal contido na área interna de três quadros, com 0,25 m² (amostras simples), que constituíram uma amostra composta por parcela. O caminhamento de amostragem, dentro das unidades experimentais, foi realizado no sentido diagonal, sendo

aleatória a escolha dos pontos de coleta, excluindo-se 0,50 m de cada extremidade como bordadura.

Os resíduos passaram por pré-limpeza através de peneiras (malha 3 mm), para remoção do solo aderido, em seguida foram lavados sem o emprego de detergente, agitando-os por alguns segundos em água deionizada, em três porções sucessivas, sendo depois colocados sobre papel absorvente. Ressalta-se que a não utilização de detergente diminui o tempo de exposição à agitação com água e o número de porções sucessivas, o que reduziu ao máximo as prováveis perdas de K da fitomassa.

As amostras foram acondicionadas em sacos de papel e secadas em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C, e pesadas, para determinação da fitomassa seca. A seguir, o material foi moído em moinho tipo Willey, para posterior determinação dos teores de macronutrientes (MALAVOLTA et al., 1997), C (TEDESCO et al., 1995) e Si (KORNDÖRFER et al., 2002).

As quantidades de macronutrientes, C e Si remanescentes na fitomassa (QN) foram determinadas pelo

produto da quantidade de fitomassa (QF) seca e os teores de nutrientes do resíduo vegetal (TN), usando a equação 1.

$$QN \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = (QF \times TN) / 1000 \quad (1)$$

De posse dos valores de QN, calculou-se a liberação de nutrientes (LN) para o solo em quantidade (kg ha⁻¹) e porcentagem, mediante a equação 2.

$$LN = (QN_1 - QN_2) \quad (2)$$

Em que:

LN = nutriente liberado (kg ha⁻¹ ou %), com base nos valores das equações ajustadas;

QN₁ = nutriente remanescente (kg ha⁻¹ ou %) no tempo t1;

QN₂ = nutriente remanescente (kg ha⁻¹ ou %) no tempo t2.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F (Tabela 1). Os dados do fator épocas de avaliação da fitomassa foram ajustados a funções matemáticas

Tabela 1. Análise da variância para variáveis relacionadas à quantidade de fitomassa seca, teor de nutrientes, relações entre carbono e nutrientes e quantidade remanescente de nutrientes na palhada do consórcio guandu-anão+milheto em função do tipo de manejo e tempo após o manejo

Variável	Valor de F			CV (%)
	Manejo (M)	Época (E)	M x E	
Quantidade de fitomassa (kg ha ⁻¹)	0,402ns	96,486**	0,491ns	12,8
Fitomassa remanescente (%)	0,399ns	74,327**	0,429ns	14,5
Relação C/N	0,095ns	9,030**	0,729ns	15,2
Relação C/P	1,150ns	9,014**	0,215ns	13,6
Relação C/S	1,069ns	45,549**	0,279ns	18,2
Relação C/Si	0,103ns	102,068**	0,541ns	17,2
Teor de N (g kg ⁻¹)	0,031ns	16,759**	0,491ns	21,4
Teor de P (g kg ⁻¹)	0,121ns	26,848**	0,506ns	12,5
Teor de K (g kg ⁻¹)	0,013ns	169,895**	0,038ns	25,6
Teor de Ca (g kg ⁻¹)	0,188ns	14,475**	0,171ns	19,1
Teor de Mg (g kg ⁻¹)	1,273ns	27,622**	0,227ns	15,5
Teor de S (g kg ⁻¹)	0,557ns	70,366**	0,169ns	16,2
Teor de C (g kg ⁻¹)	0,442ns	18,852**	0,898ns	5,1
Teor de Si (g kg ⁻¹)	7,400*	15,545**	3,025*	24,1
Quantidade de N (kg ha ⁻¹)	0,002ns	57,047**	0,047ns	26,5
Quantidade de P (kg ha ⁻¹)	0,288ns	112,130**	0,155ns	17,4
Quantidade de K (kg ha ⁻¹)	0,010ns	167,910**	0,010ns	31,3
Quantidade de Ca (kg ha ⁻¹)	0,006ns	76,004**	0,144ns	25,0
Quantidade de Mg (kg ha ⁻¹)	0,213ns	101,111**	0,518ns	19,8
Quantidade de S (kg ha ⁻¹)	0,497ns	130,587**	0,225ns	21,5
Quantidade de C (kg ha ⁻¹)	0,198ns	117,633**	0,244ns	13,6
Quantidade de Si (kg ha ⁻¹)	2,767ns	4,021*	0,402ns	23,1
N remanescente (%)	0,948ns	73,361**	0,117ns	22,5
P remanescente (%)	0,360ns	114,908**	0,154ns	14,0
K remanescente (%)	0,035ns	545,479**	0,032ns	17,1
Ca remanescente (%)	0,002ns	97,928**	0,220ns	21,3
Mg remanescente (%)	0,292ns	126,975**	0,723ns	17,4
S remanescente (%)	0,793ns	178,446**	0,398ns	18,2
C remanescente (%)	0,325ns	106,981**	0,273ns	14,0
Si remanescente (%)	3,147ns	7,823*	0,327ns	25,2

ns: não significativo; *p<0,05; **p<0,01.

em vista do tempo, adotando-se como critério para escolha do modelo a magnitude dos coeficientes de regressão significativos pelo teste F ($p < 0,05$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de fitomassa do consórcio guandu-milheto aos 75 DAE foi de 6200 kg ha^{-1} (Figura 1a). Esses dados corroboram os de CALVO et al. (2010), que constataram produção média de fitomassa do mesmo consórcio, em três épocas de corte, de 6451 kg ha^{-1} , com semeadura realizada em março, mas utilizando na adubação de semeadura 16 kg ha^{-1} de N, 25 kg ha^{-1} de P e 27 kg ha^{-1} de K. A produção referente ao presente trabalho alcançou a quantidade mínima de fitomassa relatada por DAROLT (1998) para que se mantenha a adequada cobertura do solo em condições de clima menos favorável à decomposição, como nos Estados do Sul do país. Todavia, para o Cerrado, esse valor deve ser maior.

A decomposição da fitomassa foi influenciada somente pela época de avaliação (Tabela 1). A fitomassa

da palhada foi reduzida em 50% da quantidade inicial em períodos equivalentes em ambos os manejos, aos 52 e 56 DAM, sem e com a fragmentação mecânica respectivamente (Figura 1b). Na última amostragem, restavam apenas 32% e 33% da quantidade inicial da fitomassa nos tratamentos sem e com fragmentação da palhada, respectivamente, evidenciando semelhança entre os manejos quanto à taxa de decomposição da fitomassa. As taxas de decomposição da fitomassa foram semelhantes entre os manejos da palhada em todos os períodos de avaliação (Figura 1a), variando de $73 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (0 e 18 DAM), a $28 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (75 e 91 DAM).

Os resultados das relações C/N, C/P, C/S e C/Si são indicativos da dureza do resíduo vegetal e evidenciaram as semelhanças nas taxas de decomposição da palhada e liberação de nutrientes em ambos os manejos, pois seus valores não diferiram em função dos manejos (Tabela 1). No momento da dessecação, os valores foram de 33, 210, 218 e 780, respectivamente, para as relações C/N, C/P, C/S e C/Si (Figuras 1c, 1d, 1e e 1f). No entanto, com o passar do tempo, as relações C/N, C/P e C/S aumentaram,

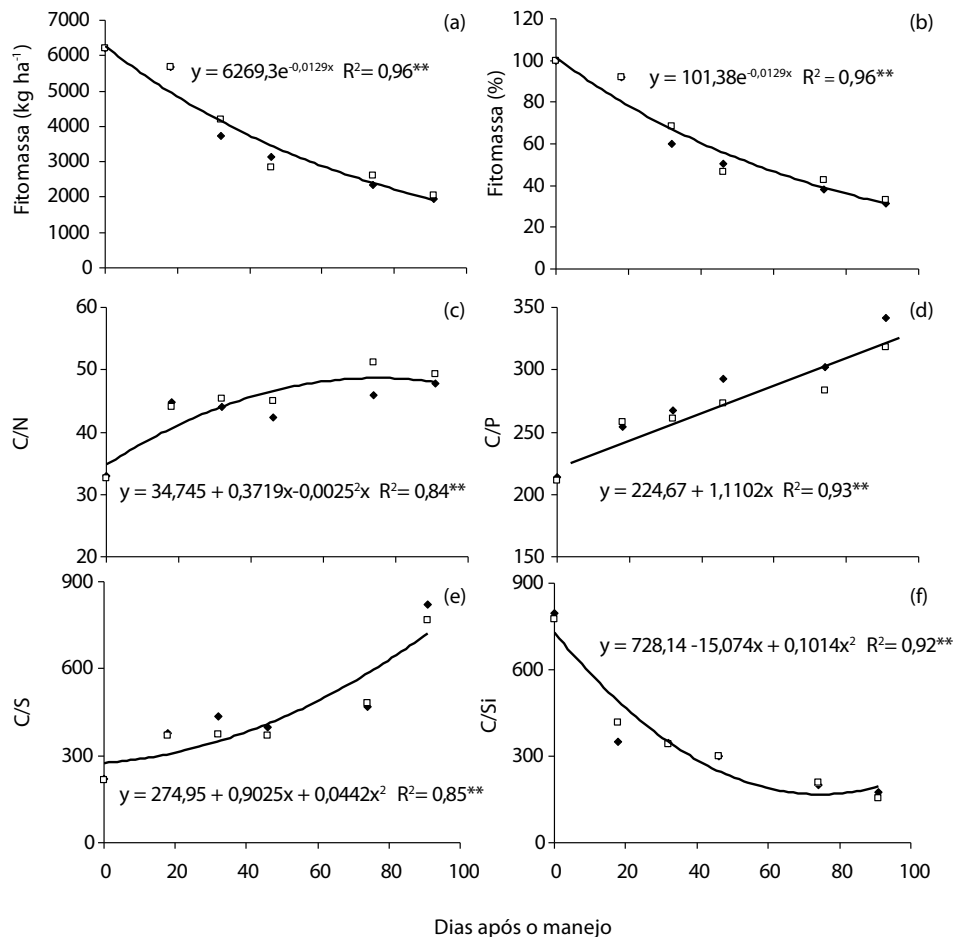


Figura 1. Fitomassa seca (a), porcentagem remanescente de fitomassa (b), relações C/N (c), C/P (d), C/S (e) e C/Si (f) da palhada do consórcio guandu-anão+milheto em função do tempo após o manejo, sem (♦) e com (□) a fragmentação. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$. Equações ajustadas com base nas médias dos tratamentos de fragmentação.

enquanto a relação C/Si diminuiu, atingindo valores médios, respectivamente, de 49, 330, 793 e 164 na última amostragem. Esses resultados evidenciam que os macronutrientes N, P e S são mais facilmente liberados da palhada (Figura 2a,b,f), em relação ao carbono (Figura 2g), por estarem associados a componentes orgânicos do tecido vegetal (MARSCHNER, 1995). Quanto ao Si, por estar associado a estruturas de difícil degradação, como fitólitos (PINILLA, 1997), há maior perda de carbono que do Si do material vegetal, o que reduziu o teor de carbono e aumentou o teor de Si (Figura 2g,h), reduzindo a relação C/Si (Figura 1f).

No resíduo vegetal restante na última coleta (91 DAM) observou-se maior teor de Si em sua constituição, sendo de difícil degradação. Esse fato é explicado porque,

o Si ao ser absorvido pela planta polimeriza-se na forma de fitólitos, sílica amorfa de difícil decomposição, que se acumulam, principalmente, no entorno ou dentro das células do tecido vegetal (PINILLA, 1997). Assim, conforme a palhada se degrada, aumenta a concentração dos fitólitos no resíduo vegetal, até que esta alta concentração diminui a taxa de decomposição (Figura 1a). Pode-se inferir que assim como as demais, a relação C/Si é uma ferramenta importante na análise da degradação da palhada.

No momento do manejo, os teores de N, P, K, Ca, Mg, S e C foram, respectivamente, 16,0; 2,2; 19,0; 7,0; 2,5; 2,0 e 478,0 g kg⁻¹ (Figura 2). TEIXEIRA et al. (2005), trabalhando com guandu-anão consorciado com milheto, verificaram valores próximos de N, P, K, Ca, Mg e S.

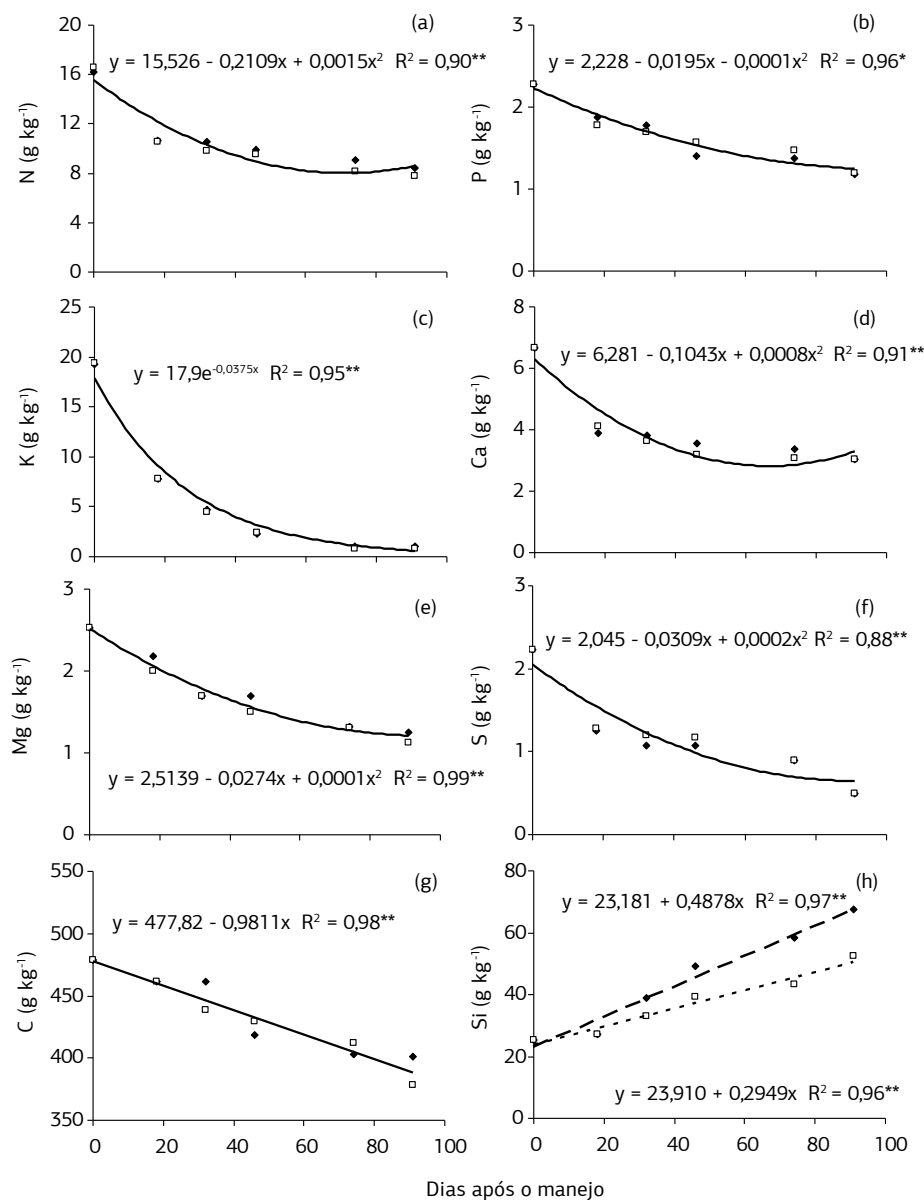


Figura 2. Teores de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e), S (f), C (g) e Si (h) da palhada do consórcio guandu-anão+milheto em função do tempo após o manejo, sem (♦) e com (□) a fragmentação. *p<0,05; **p<0,01. Equações ajustadas com base nas médias dos tratamentos de fragmentação.

Os teores de todos os macronutrientes foram reduzidos, acompanhando os resultados de fitomassa no transcorrer das avaliações, não havendo diferença entre os manejos da palhada (Figura 2). Assim, comparando os teores iniciais e na última avaliação, verificaram-se reduções de 50%, 48%, 95%, 55%, 60%, 75% e 80% de N, P, K, Ca, Mg, S e C, respectivamente, na média dos manejos da palhada.

O K foi o macronutriente mais rapidamente liberado da palhada, e os teores médios nos manejos com e sem a fragmentação mecânica foram 19,0; 8,0; 5,0; 2,0; 1,0 e 1,0 g kg⁻¹, respectivamente, aos 0, 18, 32, 46, 74 e 91 DAM. A rápida liberação de K também foi comprovada por CRUSCIOL et al. (2005; 2008) e BOER et al. (2007), em palhada de nabo forrageiro, aveia preta, amaranto e

milheto. Esse processo ocorre devido ao K ser um elemento que não está associado a nenhum componente estrutural do tecido vegetal (MARSCHNER, 1995). Esse nutriente não é metabolizado na planta e forma ligações com complexos orgânicos de fácil reversibilidade (ROSOLEM et al., 2003). Assim, à medida que a parte aérea das plantas inicia o processo de secagem e se degrada, a concentração desse nutriente no tecido diminui drasticamente, pois é facilmente lavado pela água das chuvas (KHATOUNIAN, 1999), após o rompimento das membranas plasmáticas (MALAVOLTA et al., 1997).

O teor de Si na palhada foi afetado pelos fatores estudados, bem como pela interação entre eles (Tabela 1). Diferente do observado para os demais elementos, o teor de Si aumentou ao longo das amostragens, sendo, aos

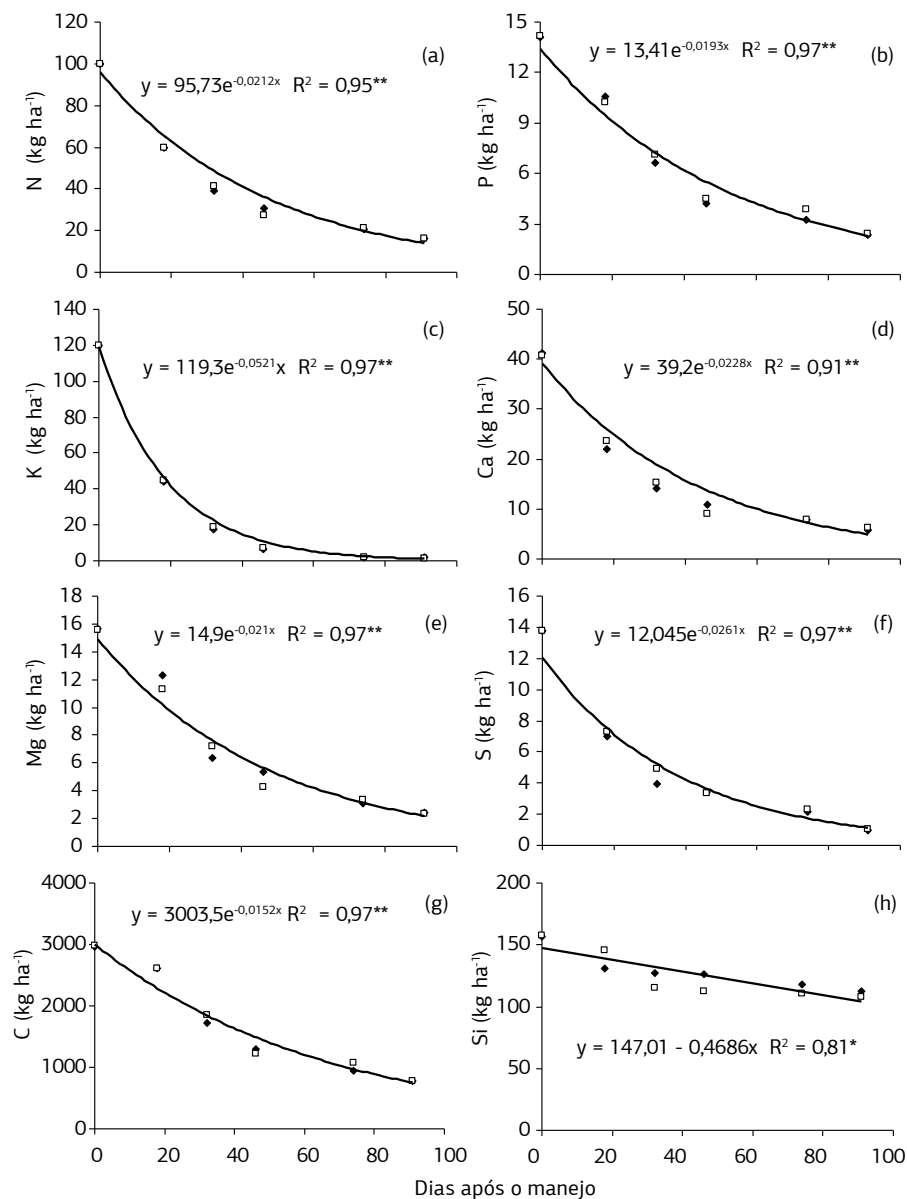


Figura 3. Quantidade remanescente do N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e), S (f), C (g) e Si (h) da palhada do consórcio guandu-anão+milheto em função do tempo após o manejo, sem (♦) e com (□) a fragmentação. *p<0,05; **p<0,01. Equações ajustadas com base nas médias dos tratamentos de fragmentação.

91 DAM, 240% e 181,3% maiores que os valores iniciais, respectivamente, nos tratamentos sem e com fragmentação da palhada (Figura 2h). Esse fato está relacionado com a mais rápida liberação dos outros elementos avaliados, especialmente o C (Figura 2g). Parte da sílica está fortemente ligada à celulose e somente pode separar-se da celulose quando mineralizada, portanto, sendo difícil sua degradação (LEWIS e REIMANN, 1969). A fragmentação mecânica, apesar de não ter interferido nos teores dos outros nutrientes estudados, auxiliou a mineralização da sílica, visto que o teor de Si nas duas últimas avaliações foi maior onde não foi feita a fragmentação mecânica da palhada.

As quantidades acumuladas de N, P, K, Ca, Mg, S, C e Si, no momento da dessecação, foram de

aproximadamente 100, 14, 120, 41, 15, 14, 2970 e 157 kg ha⁻¹ respectivamente (Figura 3). Esses valores expressam quantidades substanciais desses elementos que podem ser reciclados pelo cultivo consorciado do guandu-anão + milho. Comparando-se com os resultados observados por CRUSCIOL et al. (2005) no nabo forrageiro, o cultivo consorciado guandu-anão + milho acumulou maior quantidade de N, K, Ca e Mg e valores semelhantes de P e S. Quando comparado à aveia preta (CRUSCIOL et al., 2008), o consórcio utilizado no presente trabalho acumulou maiores quantidades de N, K, Ca, Mg e S. O valor do N acumulado no momento do manejo do presente trabalho corrobora com os obtidos por CALVO et al. (2010) na média de três épocas de corte.

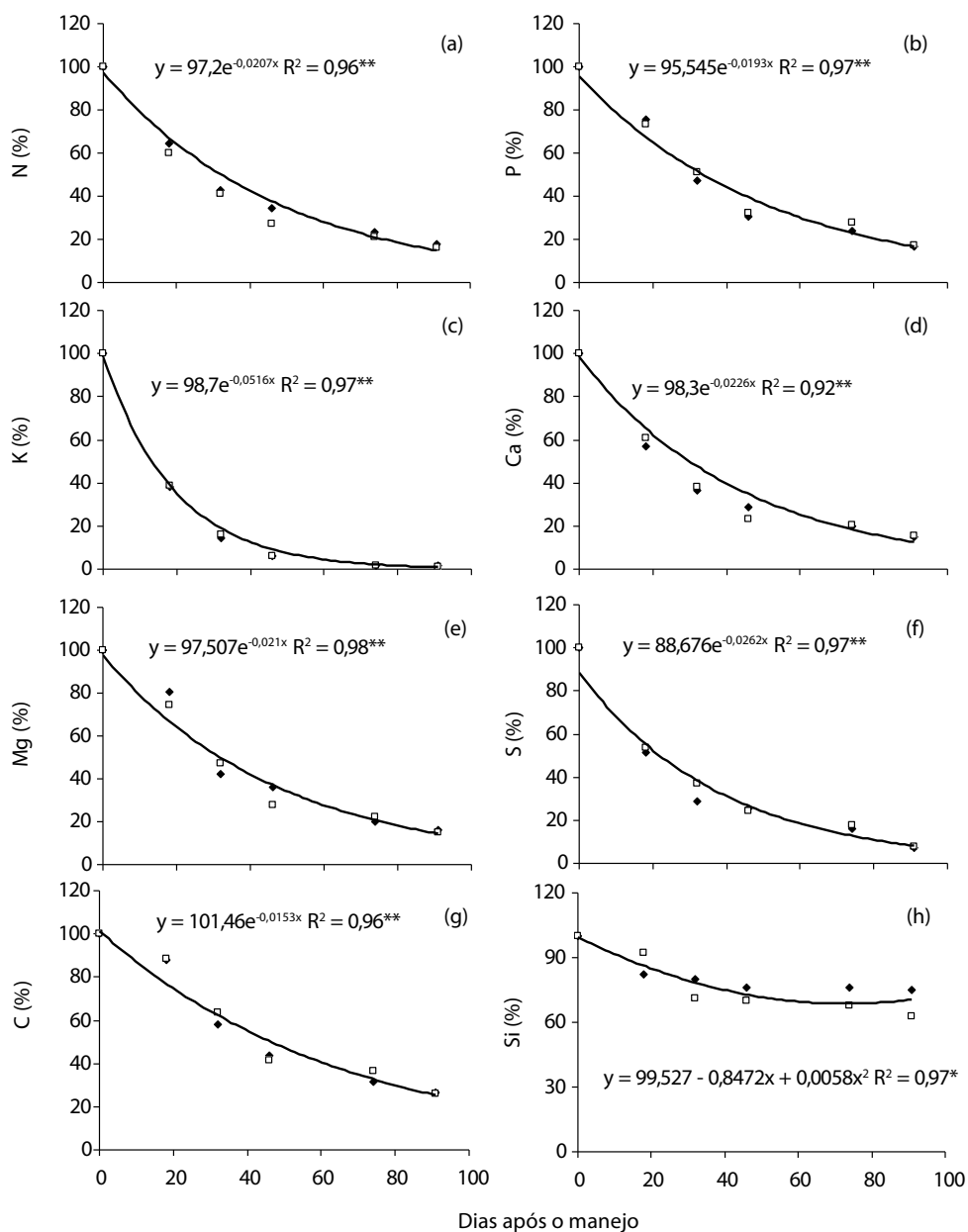


Figura 4. Porcentagem da quantidade remanescente do N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e), S (f), C (g) e Si (h) da palhada do consórcio guandu-anão+milho em função do tempo após o manejo, sem (♦) e com (□) a fragmentação. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$. Equações ajustadas com base nas médias dos tratamentos de fragmentação.

A liberação da palhada ao longo do tempo foi atenuada para todos os nutrientes, não havendo diferença entre os manejos com e sem a fragmentação mecânica (Figura 3). Assim, na última avaliação restavam na palhada, na média dos manejos, 16,0; 2,4; 1,6; 6,0; 2,4; 1,0 e 781,0 kg ha⁻¹, respectivamente, de N, P, K, Ca, Mg, S e C. Na média dos dois manejos, as quantidades disponibilizadas durante o período de avaliação foram de 84,0; 11,6; 118,4; 35,0; 13,6; 12,8 e 2189,0 kg ha⁻¹, respectivamente, de N, P, K, Ca, Mg, S e C.

Em termos de adubação NPK, aos 91 DAM, a palhada tinha fornecido ao solo quantidades de nutrientes equivalentes a 191, 145 e 245 kg ha⁻¹, dos fertilizantes uréia (44% N), superfosfato simples (18% P₂O₅) e cloreto de potássio (58% K₂O) respectivamente (Figuras 2a, b, c). Quanto ao Si, na última avaliação ainda restava em média 110 kg ha⁻¹, portanto, tinham sido disponibilizados ao solo apenas 48 kg ha⁻¹ (Figura 3h).

Em termos percentuais, aos 91 DAM, já haviam sido liberados da palhada, independentemente da fragmentação mecânica, 83%, 83%, 99%, 85%, 86%, 93%, 74%, respectivamente, de N, P, K, Ca, Mg, S e C. Quanto ao Si, foram liberados 31% até aos 91 DAM (Figura 4).

Verifica-se que não houve diferenças entre os manejos da palhada e que, além da grande quantidade acumulada, foram liberadas porções significativas dos nutrientes, o que poderia atender as necessidades da cultura sucessiva (Figura 3). Na média dos manejos da palhada, 50% das quantidades totais de N, P, K, Ca, Mg, S e C acumuladas na fitomassa foram liberadas, respectivamente, aos 29, 34, 10, 25, 32, 22 e 46 DAM (Figura 4). Evidencia-se, desta forma, que a reciclagem e a retenção de nutrientes por plantas de cobertura e por adubos verdes sempre minimizam os riscos de perdas por lixiviação (AITA et al., 1994).

Quanto ao Si, observou-se grande acúmulo na palhada do cultivo consorciado do guandu-anão + milheto, com liberação lenta e gradual, e na última avaliação ainda restava na palhada 69% da quantidade inicial (Figuras 3h e 4h). Grande parte do Si absorvido provavelmente foi polimerizado, formando fitólitos, compostos de difícil decomposição.

Independentemente do manejo da palhada, a liberação diária máxima dos macronutrientes ocorreu entre 0 e 18 DAM (Figura 2). Portanto, houve rápida liberação dos elementos na fase logo após o manejo, com redução contínua a partir de então e posterior tendência à estabilização em valores próximos a zero. Quanto ao Si, no período em que a degradação da palhada foi avaliada, a máxima liberação diária também ocorreu durante o primeiro período, porém, a quantidade liberada foi pequena (Figura 4h).

CRUSCIOL et al. (2008), avaliando a taxa de liberação dos nutrientes da aveia preta, observaram maior taxa entre 10 e 20 DAM, para os nutrientes N, K, Ca e Mg. Devido à liberação diária máxima dos elementos estudados ter

ocorrido entre 0 e 18 DAM é de suma importância que a cultura subsequente seja instalada logo após o manejo da fitomassa.

4. CONCLUSÃO

A fragmentação mecânica da palhada do consórcio guandu-anão+milheto não altera a decomposição e a liberação de N, P, K, Ca, Mg e S, e as máximas taxas de liberação diária ocorrem de 0 a 18 DAM.

Na última avaliação (91 DAM), pelo menos 80% de todos os macronutrientes são liberados ao solo. A liberação de Si foi baixa, sendo, proporcionalmente menor que a taxa de degradação da palhada, o que acarreta aumento do teor do elemento com o passar do tempo, principalmente com a fragmentação mecânica.

O K é o nutriente mais rapidamente liberado e o Si, o elemento mais lentamente liberado da palhada. A relação C/Si pode ser uma ferramenta para avaliar a degradação de palhada.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP, pelo financiamento do projeto, e ao CNPq, pela concessão de bolsa de Produtividade em Pesquisa ao segundo e terceiro autores.

REFERÊNCIAS

- AITA, C.; CERETTA, C.A.; THOMAS, A.L.; PAVINATO, A.; BAYER, C. Espécies de inverno como fonte de nitrogênio para o milho no sistema de cultivo mínimo e feijão em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.18, p.101-108, 1994.
- BOER, C.A.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F.R. Biomassa, decomposição e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região centro-oeste do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.843-851, 2008.
- BOER, C.A.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F.R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, p.1269-1276, 2007.
- CALVO, C.L.; FOLONI, J.S.S.; BRANCALÍÃO, S.R. Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milheto e sorgo em três épocas de corte. *Bragantia*, v.69, p.77-86, 2010.
- CRUSCIOL, C.A.C.; COTTICA, R.L.; LIMA, E.V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, p.161-168, 2005.

- CRUSCIOL, C.A.C.; MORO, E.; LIMA, E.V.; ANDREOTTI, M. Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. *Bragantia*, v.67, p.481-489, 2008.
- CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R.P. Nitrogen supply for cover crops and effects on peanut grown in succession under a no-till system. *Agronomy Journal*, v.101, p.40-46, 2009.
- CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R.P. Nutrição e produtividade do amendoim em sucessão ao cultivo de plantas de cobertura no sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, p.1553-1560, 2007.
- DAROLT, M.R. Princípios para implantação e manutenção do sistema. In: DAROLT, M.R. *Plantio direto: pequena propriedade sustentável*. Londrina: IAPAR, 1998. p.16-45.
- DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A. Requisitos para a implantação e a manutenção do sistema plantio direto. In: EMBRAPA. *Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (Passo Fundo, RS). Plantio direto no Brasil*. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPQ/FUNDACEP FECOTRIGO/ Fundação ABC/Aldeia Norte, 1993. p.19-27
- FERNANDEZ, F.A.; BULL, L.T.; CORRÊA, J.C.; CRESPIAM, D.R. Influência de silicato e calcário na decomposição de resíduos culturais e disponibilidade de nutrientes ao feijoeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.935-945, 2009.
- GIACOMINI, S.J. AITA, C.; VENDRUSCOLO, 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*, v.27, p.325-334, 2003.
- KHATOUNIAN, C.A. O manejo da fertilidade em sistemas de produção. In: CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. (Coord.). *Uso e manejo dos solos de baixa aptidão agrícola*. Londrina: IAPAR, 1999. p.179-221. (Circular, 108)
- KORNDÖRFER, G.H. PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura. Uberlândia: GPSi/ ICIAG/UFU, 2002. 23p. (Boletim Técnico)
- LEITE, L.F.C.; FREITAS, R.C.A.; SAGRILO, E.; GALVÃO, S.R.S. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre Latossolo Amarelo no Cerrado Maranhense. *Revista Ciência Agronômica*, v.41, p.29-35, 2010.
- LEWIS, J.; REIMANN, B.E.F. Silicon and plant growth. *Plant Physiology*, v.20, p.289-304, 1969.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319p.
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. London: Academic Press, 1995. 889p.
- PARIZ, C.M.; ANDREOTTI, M.; BUZZETTI, S.; BERGAMASCHINE, A.F.; ULIAN, N.A.; FURLAN, L.C.; MEIRELLES, P.R.L.; CAVASANO, F.A. Straw decomposition of nitrogen-fertilized grasses intercropped with irrigated maize in an integrated crop-livestock system. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.2029-2037, 2011.
- PEREIRA FILHO, I.A.; RODRIGUES, J.A.S.; KARAM, D.; COELHO, A.M.; ALVARENGA, R.C.; CRUZ, J.C.; CABEZAS, W.L. Manejo da cultura do milho. In: NETTO, D.A.M.; DURÕES, F.O.M. (Ed.). *Milho: tecnologias de produção e agronegócio*. Brasília: Embrapa Informações tecnológicas, 2005. p.59-87.
- PORTUGAL, A.F.; ROCHA, V.S.; SILVA, A.G.; PINTO, G.H.F.; PINA-FILHO, O.C. Fenologia de cultivares de sorgo no período de verão e rebrota na safrinha. *Revista Ceres*, v.50, p.325-336, 2003.
- PINILLA, A.; JUAN-TRESSERRAS, J.; MACHADO M.J. (Eds.). *Estado actual de los estudios de fitolitos en suelos y planta*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1997. 292p.
- ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C.; FOLONI, J.S.S. Lixiviação de potássio da palhada de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.355-362, 2003.
- SILVA, R.H.; ROSOLEM, C.A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.253-259, 2001.
- SILVA, L.S.; BOHNEN, H. Rendimento e acúmulo de nutrientes pelo arroz em solução nutritiva com e sem a adição de silício. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.771-777, 2001.
- TEDESCO, M.J., GIANELLO, C., BISSANI, C. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5)
- TEIXEIRA, C.M.; CARVALHO, G.J.; FURTINI NETO, A.E.; ANDRADE, M.J.B.; MARQUES, E.L.S. Produção de biomassa e teor de macronutrientes do milho, feijão-de-porco e guandu-anão em cultivo solteiro e consorciado. *Ciência e Agrotecnologia*, v.29, p.93-99, 2005.