

LIXIVIAÇÃO DE POTÁSSIO DA PALHA DE PLANTAS DE COBERTURA EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE SENESCÊNCIA APÓS A DESSECAÇÃO QUÍMICA⁽¹⁾

Juliano Carlos Calonego⁽²⁾, José Salvador Simoneti
Foloni⁽³⁾ & Ciro Antonio Rosolem⁽⁴⁾

RESUMO

O manejo químico de espécies de cobertura do solo é prática usual em sistemas de semeadura direta, e a mineralização de nutrientes dos restos vegetais deixados na superfície do solo pode ser intensificada pela ação da água da chuva ao longo da senescência das plantas submetidas ao herbicida. Avaliou-se a lixiviação de K da palha de seis espécies vegetais com potencial de uso como plantas de cobertura do solo, utilizando chuvas simulada em diferentes estádios após a dessecação química. Milheto (*Pennisetum glaucum*), sorgo de guiné (*Sorghum vulgare*), aveia preta (*Avena strigosa*), triticale (*Triticum secale*), crotalária juncea (*Crotalaria juncea*) e braquiária (*Brachiaria decumbens*) foram cultivados em vasos, em casa de vegetação, em Botucatu (SP). Aos 50 dias da emergência, as plantas foram manejadas com herbicida pós-emergente não-seletivo e submetidas à chuva simulada de 30 mm, aos 2, 4, 8 e 16 dias da dessecação, considerando uma quantidade de palha equivalente a 8,0 t ha⁻¹ de matéria seca. As quantidades de K lixiviado das palhas aumentaram, à medida que o estado de senescência das plantas evoluiu após o manejo químico. No que diz respeito à nutrição potássica da cultura subsequente, a palha do triticale apresentou-se como a melhor alternativa, uma vez que disponibilizou um montante de mais de 9 kg ha⁻¹ de K até 16 dias após a dessecação química das plantas.

Termos para indexação: reciclagem de nutrientes, cobertura morta, precipitação, semeadura direta.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em novembro de 2003 e aprovado em dezembro de 2004.

⁽²⁾ Doutorando do Curso de Pós-Graduação em Agricultura, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista – UNESP. Caixa Postal 237, CEP 18603-970 Botucatu (SP). Bolsista da FAPESP. E-mail: jcalonego@fca.unesp.br

⁽³⁾ Doutorando do Curso de Pós-Graduação em Agricultura, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP. Bolsista da FAPESP. E-mail: sfoloni@fca.unesp.br

⁽⁴⁾ Professor Titular do Departamento de Produção Vegetal, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP. Bolsista do CNPq. E-mail: rosolem@fca.unesp.br

SUMMARY: *POTASSIUM LEACHING FROM PLANT COVER STRAW AT DIFFERENT SENESCENCE STAGES AFTER CHEMICAL DESICCATION*

*Chemical control of green cover crops is common in no-till systems and nutrient mineralization of the residues left on the soil surface can be intensified by rainfall over time after the plant desiccation. Potassium leaching from six green cover crops was evaluated as affected by rainfall simulated at different stages after the herbicide application. Pearl millet (*Pennisetum glaucum*), guinea sorghum (*Sorghum vulgare*), black oat (*Avena strigosa*), triticale (*Triticum secale*), Indian hemp (*Crotalaria juncea*), and brachiaria (*Brachiaria decumbens*) were grown under greenhouse conditions in pots with soil in Botucatu, São Paulo, Brazil. The plants were sprayed with non-selective post-emergence herbicide fifty days after emergence. After the desiccation (2, 4, 8, and 16 days) the plants were cut and subjected to 30 mm of simulated rainfall, simulating an amount of 8 t ha⁻¹ of straw. The amount of K leached from the straw increased as plants died off after herbicide application. Regarding the K supply to the subsequent crop, triticale straw was the best alternative, as it made over 9 kg ha⁻¹ of K until 16 days after herbicide application available.*

Index terms: nutrient cycling, cover crops, rainfall, no-till.

INTRODUÇÃO

A dinâmica da mineralização de nutrientes em sistemas de produção agrícola depende, dentre outros fatores, da composição química dos restos vegetais e do grau de contato da fitomassa com os colóides do solo (Silgram & Shepherd, 1999). O uso de manejo mecânico que promova o esfacelamento dos resíduos vegetais os tornam mais susceptíveis à decomposição biológica, por aumentar o contato solo-palha (Derpsch & Calegari, 1985). Bortoluzzi & Eltz (2000) verificaram que o manejo mecânico que tritura a palha reduz a persistência da cobertura do solo em comparação ao manejo que mantém as plantas em pé.

O manejo químico de espécies de cobertura do solo com herbicida não-seletivo de ação sistêmica, como o glyphosate, provoca morte relativamente lenta das plantas, o que atrasa o processo de decomposição da palha (Ahrens, 1994). Dessa forma, a oferta de nutrientes dos restos vegetais de plantas mortas por herbicidas e mantidas em pé tende a ser menos intensa, mediante taxa de decomposição biológica menor.

Por outro lado, a ação da água das chuvas, independentemente da mineralização da matéria orgânica, pode constituir fator importante na lixiviação de nutrientes de restos vegetais, como ocorre com o K. Nos trabalhos de Silva & Ritchey (1982) e Klepker & Anghinoni (1995), constatou-se aumento dos teores de K do solo próximo à base dos caules das plantas de milho em razão da lavagem do nutriente da parte aérea senescente no final do ciclo da cultura. Rosolem et al. (2003) submeteram restos vegetais de seis espécies de plantas de

cobertura a diferentes quantidades de chuva aplicada e observaram lixiviação considerável de K, com valores que variaram de 7 a 24 kg ha⁻¹, sem que houvesse decomposição da palha.

O K é o segundo nutriente mineral requerido em maior quantidade pelas espécies vegetais, depois do N. Tem alta mobilidade na planta em qualquer concentração, seja dentro da célula, seja no tecido vegetal, no xilema ou no floema. O K não é metabolizado na planta e forma ligações com moléculas orgânicas de fácil reversibilidade. Além disso, é o íon mais abundante nas células vegetais (Marschner, 1995).

A extração relativamente fácil de K do tecido vegetal foi descrita por Moraes & Arens (1969), que constataram que o nutriente sofreu lixiviação considerável das folhas de plantas cultivadas, quando estas foram imersas em água destilada, mostrando que este fenômeno pode ocorrer em condições de campo graças à ação da água do orvalho ou das chuvas. Dessa forma, as palhas das plantas de cobertura podem constituir uma fonte considerável de K, que, por meio da ação da água das chuvas, pode proporcionar aumento dos teores do nutriente no solo. Contudo, o estágio de senescência das plantas, após serem submetidas ao herbicida, pode comprometer o sincronismo entre a fonte do nutriente (palha da superfície do solo) e a demanda da cultura subsequente em sistemas com semeadura direta.

Um dos entraves no manejo da fertilidade do solo em sistemas de produção com semeadura direta é que praticamente todo o desenvolvimento de programas de adubação no Brasil foi feito, visando

ao cultivo em áreas em que se utiliza o preparo convencional do solo (Rosolem, 1997). Sá (1998) também argumenta que a expansão do sistema de semeadura direta em todo o território brasileiro tem gerado intenso questionamento entre os pesquisadores da área de solos, principalmente quanto aos processos básicos de transformação da matéria orgânica e de seus efeitos nas propriedades do solo e na reciclagem de nutrientes.

O cultivo de espécies vegetais conhecidas como plantas de cobertura intensifica a oferta de nutrientes nas camadas superficiais do solo (Fiorin, 1999). Contudo, o tipo ideal de cobertura do solo em cultivos com semeadura direta é aquele cuja taxa de decomposição dos resíduos vegetais é compatível com a manutenção do solo protegido contra agentes erosivos por maior período de tempo e com o fornecimento de nutrientes sincronizado com a demanda pela cultura subsequente (Oliveira et al., 2002).

Sendo assim, objetivou-se com este trabalho quantificar a lixiviação de K dos restos vegetais de seis espécies usadas como plantas de cobertura do solo, em diferentes estádios de senescência após a aplicação do herbicida glyphosate.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação da Faculdade de Ciências Agrônomicas-UNESP, em Botucatu (SP). Utilizou-se uma porção de solo classificado como Latossolo Vermelho distroférrico (Embrapa, 1999) de textura média (630 g kg^{-1} de areia, 40 g kg^{-1} de silte e 330 g kg^{-1} de argila). O solo foi seco ao ar e passado em peneira com malha de 2 mm. A análise química (Raij & Quaggio, 1983) revelou os seguintes valores: pH (CaCl_2) 4,1; $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$ de P_{resina} ; $18,0 \text{ g dm}^{-3}$ de M.O.; $75,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de H + Al; $0,1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K; $4,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca^{2+} ; $1,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg^{2+} ; $5,1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de SB; $81,1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de CTC e 6,3 % de saturação por bases (V). O teor de água do solo na capacidade de campo (tensão de 0,01 MPa no aparelho extrator de Richards), determinado conforme Embrapa (1997), foi de 160 g kg^{-1} .

Posteriormente, aplicou-se calcário dolomítico (CaO: 28 %, MgO: 20 % e PRNT: 95 %) para elevar a saturação por bases a 70 % (Raij et al., 1996). O solo foi umedecido à capacidade de campo e acondicionado em sacos plásticos por 30 dias. Em seguida, foi seco ao ar e adubado com 100 mg dm^{-3} de N (uréia), 200 mg dm^{-3} de P (superfosfato simples) e 150 mg dm^{-3} de K (cloreto de potássio).

Foram cultivados milheto (*Pennisetum glaucum*), sorgo de guiné (*Sorghum vulgare*), aveia preta (*Avena strigosa*), triticale (*Triticum secale*), crotalária juncea (*Crotalaria juncea*) e braquiária

(*Brachiaria decumbens*). As sementes foram pré-germinadas em laboratório, para minimizar as variações de tempo de emergência existentes entre as espécies. Após a emergência, fez-se um desbaste, deixando-se 25 plantas por vaso. A temperatura da casa de vegetação foi mantida entre 20 e 25 °C, e a umidade relativa do ar entre 70 e 90 % durante o período experimental.

Os vasos continham $12,5 \text{ dm}^3$ de solo. O teor de água foi monitorado diariamente e corrigido sempre que necessário para que permanecesse próximo à capacidade de campo. Do 20º ao 25º dia após a emergência das plântulas, fizeram-se adubações suplementares nos vasos por meio da água de irrigação, com macro e micronutrientes, totalizando $100, 50, 50, 25, 25$ e $53,3 \text{ mg dm}^{-3}$ de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente, com os sais NH_4NO_3 , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, KNO_3 , CaSO_4 e MgSO_4 . Os micronutrientes adicionados foram B, Zn, Mo, Mn e Cu na dose de 1 mg dm^{-3} , por meio das fontes: H_3BO_3 , ZnCl_2 , H_2MoO_4 , MnCl_2 e CuCl_2 , respectivamente.

No 50º dia de cultivo, os vasos foram retirados da casa de vegetação e posicionados a 0,50 m uns dos outros em fileiras, e as plantas foram submetidas à aplicação foliar de herbicida não-seletivo de ação sistêmica (Glyphosate), na dose de $2,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de ingrediente ativo. A pulverização foi feita com equipamento manual pressurizado com CO_2 , operando à pressão constante de 150 kPa, munido de barra de aplicação com quatro bicos jato plano, do tipo leque, modelo 110.04, espaçados em 0,40 m, que proporcionaram um volume de calda equivalente a 40 mL m^{-2} . A altura da barra foi mantida em 1,20 m do solo, enquanto a velocidade média de deslocamento durante a pulverização do herbicida foi de $1,0 \text{ m s}^{-1}$.

Como o procedimento do trabalho foi de simular chuvas aos 2, 4, 8 e 16 dias da dessecação química das plantas, os restos vegetais apresentavam-se em diferentes estádios de senescência e, conseqüentemente, com teor de água decrescente ao longo do tempo. Assim, fez-se necessário, um dia antes de cada época de aplicação de chuva, coletar amostras das plantas e desidratá-las em estufa de aeração forçada por 24 h, com temperatura regulada a 60 °C, para aferir a quantidade de palha a ser utilizada no processo de simulação, equivalente a uma cobertura do solo de 8 t ha^{-1} de matéria vegetal, seca a 60 °C. Parte desses materiais vegetais, antes de serem submetidos à simulação de chuva, foi reservada para determinação dos teores de K, segundo método proposto por Malavolta et al. (1997).

O simulador de chuvas utilizado no experimento (Figura 1) foi descrito detalhadamente por Silva (2000). A barra de suporte dos bicos pulverizadores foi fixada a 1,45 m acima das palhas. Utilizaram-se cinco bicos de alta vazão, da marca Spray System, modelo TK-SS-20, sendo o espaço entre bicos de 0,50 m. O tracionamento do sistema de pulverização

foi feito por meio de correias e engrenagens, acionadas por motores elétricos, mantendo-se a velocidade de deslocamento da barra constante, que foi previamente determinada por um modulador de frequência. A quantidade de chuva aplicada a cada deslocamento da barra foi determinada por meio de testes, sendo o equipamento calibrado para aplicar um volume de água equivalente a 2,5 mm. As gotas de chuva produzidas pelo simulador foram geradas, utilizando-se de uma pressão de trabalho de 81 Pa, com velocidade de deslocamento da barra de pulverização de 0,0925 m s⁻¹.

A quantidade de chuva aplicada foi equivalente a 30 mm, sendo necessário executar 12 deslocamentos da barra de pulverização. A cada deslocamento, a barra percorreu uma distância de 3 m, em 5 min. Este procedimento não permite o cálculo da intensidade de chuva em mm h⁻¹, visto que o equipamento aplicou pulsos de água a intervalos regulares (a cada passagem), de modo que a intensidade das chuvas foi alta no momento da aplicação, mas existiu um intervalo de repouso entre as aplicações a cada vaso de, aproximadamente, 6 min, somando-se o tempo de aplicação e o retorno da barra.

As palhas que receberam a água da chuva foram colocadas em anéis de PVC rígido com área superficial de 0,049 m², altura de 0,10 m e telados ao fundo com fios de nylon com malha de 10 mm. Cada anel recebeu o equivalente a 8 t ha⁻¹ de massa de matéria seca vegetal, ou seja, 39,27 g de palha, calculados com base na área, sendo essa quantidade ajustada de acordo com o teor de umidade de cada material em cada época de simulação de chuva. Os anéis foram fixados em funis plásticos, e a água, após passar pelas palhas, foi coletada em recipientes



Figura 1. Simulador de chuva utilizado no experimento. Em detalhe, a disposição dos vasos.

posicionados sob cortina plástica. As estruturas que continham as palhas foram colocadas em pontos equidistantes ao longo do percurso de deslocamento da barra. As palhas de cada espécie avaliada, de acordo com o delineamento experimental adotado, foram colocadas em quatro anéis distribuídos em blocos. Foram colocados também quatro anéis sem palha em todas as aplicações de chuva para determinação do K da água utilizada na simulação. O procedimento adotado foi baseado em método desenvolvido por Maciel (2001), mais testes preliminares.

Ao final de cada aplicação de chuva, a água que passou pelas palhas teve o seu volume determinado, foi filtrada e mantida sob refrigeração (2 °C). Determinou-se também a massa das palhas umedecidas, imediatamente após cada processo de simulação de chuva. Com as massas das palhas secas e úmidas, foi possível calcular a quantidade de água retida, que foi transformada em mm, considerando a área do anel. As concentrações de K da água percolada foram determinadas por meio do equipamento "Inductively Coupled Plasma", e os valores foram convertidos em kg ha⁻¹.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições, em um esquema fatorial (6 x 4), constituído das palhas de seis espécies vegetais submetidas à aplicação de 30 mm de chuva em quatro estádios após a dessecação química das plantas. O estudo estatístico constou de análise de regressão e ajuste de equações matemáticas, para expressar adequadamente o comportamento dos resultados obtidos, sendo escolhidas as significativas de maior coeficiente de determinação (Quadro 1).

Foram utilizadas curvas de decaimento exponencial para ajustar os resultados observados para o teor de água na palha e para o teor de K no tecido vegetal. Já para retenção de água na palha e K lixiviado, utilizaram-se os modelos sigmoidal ou hipérbole, dependendo da espécie. E para a variável percentagem de K lixiviado, utilizou-se o modelo sigmoidal para todas as espécies estudadas. Por meio do cálculo da derivada das equações ajustadas para a quantidade de K lixiviado em diferentes estádios após a dessecação química, foram obtidas as equações que representam a lixiviação diária de K das palhas. Foram feitas análises de correlação entre as variáveis teor de água das palhas e quantidade de K lixiviado junto à água das chuvas em diferentes estádios após a aplicação do herbicida, enquanto os coeficientes foram submetidos ao teste t, de acordo com Gomes (1991).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram constatadas interações significativas entre as espécies vegetais e épocas de simulação de

Quadro 1. Parâmetros e coeficientes das equações utilizadas nas análises dos dados experimentais

Espécie	Parâmetro				R ²	Equação
	a	b	x ₀	y ₀		
Variável y ₁ : Teor de água na palha ⁽¹⁾ , em g kg ⁻¹						
Braquiária	1.071,43	0,20	-	56,35	0,99	$y_1 = y_0 + a \cdot \exp(-b \cdot x)$
Milheto	683,22	0,32	-	463,52	0,99	
Sorgo	778,00	0,13	-	227,62	0,99	
Crotalária	1.057,60	1,13	-	-37,49	0,99	
Triticale	777,12	0,14	-	225,14	0,99	
Aveia preta	749,79	0,11	-	221,79	0,98	
Variável y ₂ : Retenção de água na palha ⁽²⁾ , em mm						
Braquiária	2,39	7,22	-8,07	-	0,93	$y_2 = a / (1 + \exp(-(x - x_0) / b))$
Milheto	2,06	7,10	-1,64	-	0,99	
Sorgo	2,59	5,83	1,42	-	0,99	
Crotalária	1,98	0,72	-	-	0,99	$y_2 = a \cdot x / (b + x)$
Triticale	2,92	7,37	-	1,07	0,99	$y_2 = y_0 + a \cdot x / (b + x)$
Aveia preta	14,25	280,73	-	2,12	0,91	
Variável y ₃ : Teor de potássio no tecido vegetal ⁽³⁾ , em g kg ⁻¹						
Braquiária	13,03	0,68	-	14,02	0,97	$y_3 = y_0 + a \cdot \exp(-b \cdot x)$
Milheto	10,23	0,45	-	14,21	0,97	
Sorgo	19,25	0,44	-	11,75	0,94	
Crotalária	6,30	0,20	-	12,46	0,75	
Triticale	19,62	0,25	-	16,56	0,86	
Aveia preta	18,29	0,28	-	15,77	0,98	
Variável y ₄ : Potássio lixiviado ⁽⁴⁾ , em kg ha ⁻¹						
Braquiária	7,22	1,68	6,03	-	0,99	$y_4 = a / (1 + \exp(-(x - x_0) / b))$
Milheto	4,51	1,73	7,04	-	0,99	
Sorgo	4,82	1,41	7,58	-	0,99	
Crotalária	5,89	2,01	7,98	-	0,99	
Triticale	17,62	3,62	-	-5,30	0,98	$y_4 = y_0 + a \cdot x / (b + x)$
Aveia preta	13,50	2,25	-	-4,61	0,99	
Variável y ₅ : Percentagem de potássio lixiviado ⁽⁵⁾ , em %						
Braquiária	6,25	1,48	5,79	-	0,99	$y_5 = a / (1 + \exp(-(x - x_0) / b))$
Milheto	3,87	1,55	6,94	-	0,99	
Sorgo	4,79	1,11	7,06	-	0,99	
Crotalária	5,92	1,76	8,02	-	0,99	
Triticale	5,97	1,46	5,32	-	0,99	
Aveia preta	5,50	2,18	5,10	-	0,98	
Taxa de lixiviação diária de potássio ⁽⁶⁾ , em kg ha ⁻¹ de K dia ⁻¹						
Braquiária	7,22	1,68	6,03	-	-	$df/dx = a \cdot (\exp(x_0/b - x/b)) \cdot (b^{-1} - 1) \cdot ((\exp(x_0/b - x/b) + 1)^{-1} - 2)$
Milheto	4,51	1,73	7,04	-	-	
Sorgo	4,82	1,41	7,58	-	-	
Crotalária	5,89	2,01	7,98	-	-	
Triticale	17,62	3,62	-	-5,30	-	$df/dx = a \cdot b \cdot ((b + x)^{-2})$
Aveia preta	13,50	2,25	-	-4,61	-	

(¹) Figura 2a. (²) Figura 2b. (³) Figura 3a. (⁴) Figura 3b. (⁵) Figura 3c. (⁶) Figura 3d. x = dias após a dessecação química.

chuva após o manejo químico, para as variáveis conteúdo de água das palhas, retenção de água nas palhas, lixiviação de K em diferentes estádios após a dessecação química, teor de K dos restos vegetais e percentagem de K lixiviado em relação ao acumulado no tecido vegetal (Quadro 1 e Figuras 2 e 3).

O grau de senescência das plantas de cobertura aumentou no decorrer dos dias após a aplicação do herbicida. Conseqüentemente, as palhas das

diferentes espécies apresentaram estados de desidratação cada vez mais severos com o avanço do tempo, com menor ou maior intensidade, dependendo da espécie (Figura 2a), ocasionando aumentos na retenção de água da chuva pelas coberturas (Figura 2b). As palhas da braquiária e da crotalária juncea foram as que mais sofreram desidratação ao longo dos 16 dias após o manejo químico. Em contrapartida, não foram as

coberturas que mais retiveram água da chuva (Figura 2a e b).

Por sua vez, os restos vegetais da aveia preta adsorveram mais água em todas as épocas de simulação de chuva após a dessecação química, e, a partir do oitavo dia após o uso do herbicida, a palha do triticale apresentou adsorção de água equivalente à da aveia. Contudo, em nenhuma situação, a retenção de água nos tecidos vegetais foi acima de 3,0 mm, considerando uma quantidade de cobertura do solo equivalente a 8 t ha⁻¹ de massa de matéria seca.

Tais resultados foram condizentes com os observados por Rosolem et al. (2003), em que a diferença de retenção de água entre as espécies, segundo os autores, são de pequeno significado prático, visto que, se forem consideradas situações de campo, onde chuvas de 5,0 mm são comuns, tal quantidade seria suficiente para saturar de água

todas as palhas estudadas, nos diferentes graus de senescência após a dessecação química.

Ocorreram reduções dos teores de K da parte aérea das espécies de cobertura com o passar dos dias após o manejo químico, à medida que as plantas foram senescendo (Figura 3a). Segundo Castro (1985), o K tem alta mobilidade no interior da planta, e sua redistribuição pelo floema ocorre com facilidade para todos os órgãos, incluindo as raízes. Simultaneamente, a absorção e a translocação de nutrientes pelo xilema diminuem, à medida que a atividade fisiológica das plantas é reduzida. Provavelmente, a redistribuição do K da parte aérea e a redução na absorção do nutriente ocasionaram decréscimos nos teores de K das plantas de cobertura submetidas ao herbicida, nos estádios mais avançados de senescência.

A espécie que disponibilizou a maior quantidade de K da palha foi o triticale, com aproximadamente 9 kg ha⁻¹ (Figura 3b), superando a aveia preta e a braquiária, que apresentaram lixiviações máximas do nutriente da ordem de 7,5 kg ha⁻¹ de K, aos dezesseis dias após a aplicação do herbicida. A máxima liberação de K da palha da crotalária juncea foi em torno de 5 kg ha⁻¹, enquanto a do sorgo de guiné e a do milho foram próximas a 4 kg ha⁻¹ de K, e todas também ocorreram dezesseis dias após a dessecação.

Segundo Malavolta (1980), a remoção de nutrientes minerais das folhas pela água depende de fatores, tais como: cerosidade, molhamento e estado da cutícula. Sendo assim, o aumento na lixiviação de K dos tecidos vegetais, à medida que o estado de senescência das plantas evoluiu, pode ser explicado pela possível desorganização da cutícula que reveste a epiderme das folhas, que constitui uma barreira à penetração de água.

Outra hipótese levantada por Rosolem et al. (2003) é que, quando a palha está seca, há, durante o processo de molhamento, significativa difusão do K dos vacúolos, de modo a intensificar a lavagem do nutriente. Todavia, à medida que o grau de hidratação da palha aumenta, há uma redução no fluxo de saída de líquido dos restos vegetais, ou seja, em decorrência da alta intensidade da chuva durante o processo de simulação, apenas a água que se encontra mais à superfície do tecido vegetal é trocada pela água que está sendo aplicada.

A porcentagem de K lixiviado das palhas, em relação ao K acumulado no tecido vegetal, aumentou para todas as espécies de cobertura com o decorrer dos dias após a dessecação química (Figura 3c). Quando as plantas ainda se encontravam túrgidas, aos dois dias da aplicação do herbicida, a extração do nutriente foi inferior a 1 % do total acumulado nos tecidos da parte aérea vegetal, para todas as espécies estudadas. Aos dezesseis dias, porém, a lixiviação de K atingiu valores acima de 5 %, para

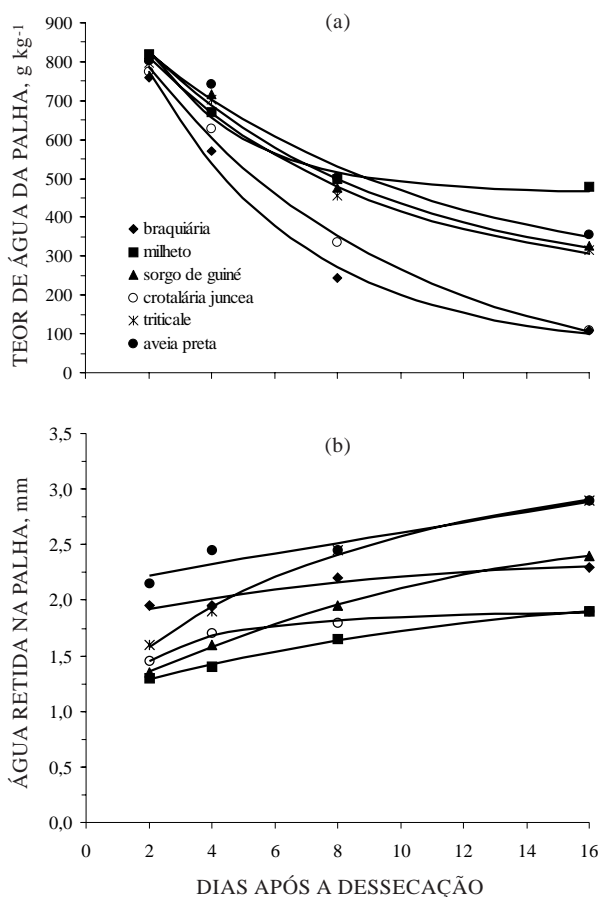


Figura 2. Teor de água das palhas de plantas de cobertura antes de serem submetidas à chuva simulada (a). Retenção de água nas palhas de plantas de cobertura, conforme a simulação de chuva, em diferentes épocas após a dessecação química (b). Valores observados (símbolos) e valores estimados (linhas).

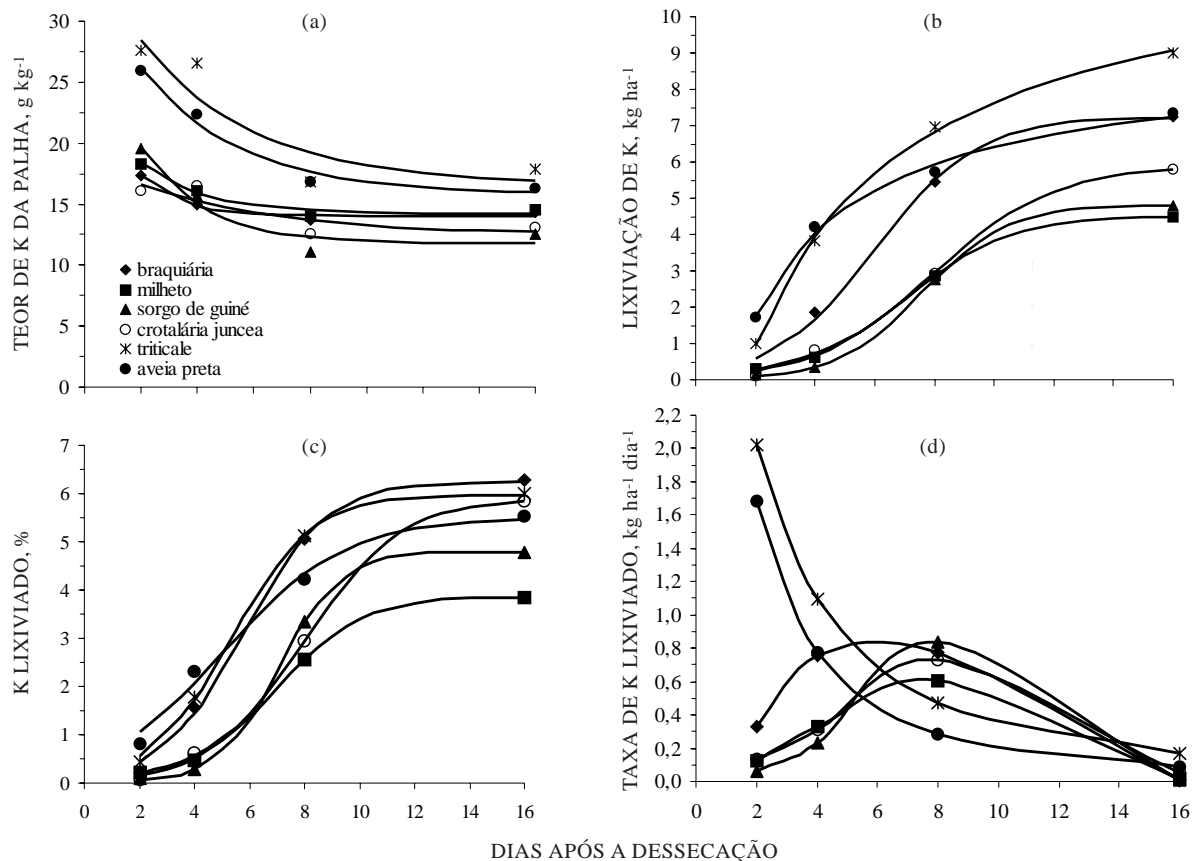


Figura 3. Teores de K das palhas de plantas de cobertura, antes de serem submetidas à simulação de chuva, ao longo do período de senescência após o manejo químico (a). Lixiviação de K das palhas, conforme a época de simulação de chuva após a dessecação (b). Percentagem de K lixiviado, em relação ao total de K acumulado na parte aérea das seis espécies de cobertura (c). Taxa diária de lixiviação de K de palhas de plantas de cobertura, conforme a simulação de chuva (d). Valores observados (símbolos) e valores estimados (linhas).

as palhas da braquiária, triticale, crotalaria juncea e aveia preta, e de 4 e 3 %, para o sorgo de guiné e milho, respectivamente, sem que houvesse decomposição biológica dos restos vegetais. Dois fatores são relevantes para justificar o aumento da percentagem de lixiviação de K das palhas ao passar dos dias após a dessecação química no presente trabalho: o grau de desidratação crescente dos restos vegetais após o manejo químico (Figura 2a), característica que apresentou alta correlação com a lixiviação de K para todas as espécies estudadas (Figura 4), e a redução dos teores de K dos tecidos vegetais das plantas de cobertura, à medida que evoluiu o estágio de senescência das plantas (Figura 3a).

No trabalho de Rosolem et al. (2003), o milho foi a espécie que apresentou a maior percentagem de lixiviação de K da palha, atingindo valores próximos a 7 % do total de K acumulado no tecido vegetal, porém o triticale, que teve 5,5 % do total de K da palha extraídos pelas chuvas, apresentou o melhor resultado em termos de quantidade de K lixiviado por unidade de área.

No presente trabalho, embora a percentagem de lixiviação de K da braquiária tenha sido similar à do triticale, em torno de 6 % do total acumulado na palha (Figura 3c), os restos vegetais do triticale liberaram até 9 kg ha⁻¹ de K com a simulação de chuva aos dezesseis dias da dessecação, contra 6 kg ha⁻¹ de K da braquiária no mesmo estágio de ocorrência de chuva (Figura 3b), mostrando que a disponibilização de K da palha pela ação da água da chuva não dependeu somente dos teores do nutriente nos restos vegetais.

Na figura 3d, estão apresentadas as taxas diárias de lixiviação de K das palhas das plantas de cobertura. Os restos vegetais do triticale e da aveia preta apresentaram as maiores intensidades de lixiviação do nutriente no início do período de senescência, com valores que foram de 2,0 e 1,7 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de K, respectivamente. Por sua vez, as palhas do sorgo de guiné, do milho e da crotalaria juncea, apresentaram picos de lixiviação de K aos oito dias da dessecação, e a palha da braquiária, numa situação intermediária, quatro dias após o manejo químico.

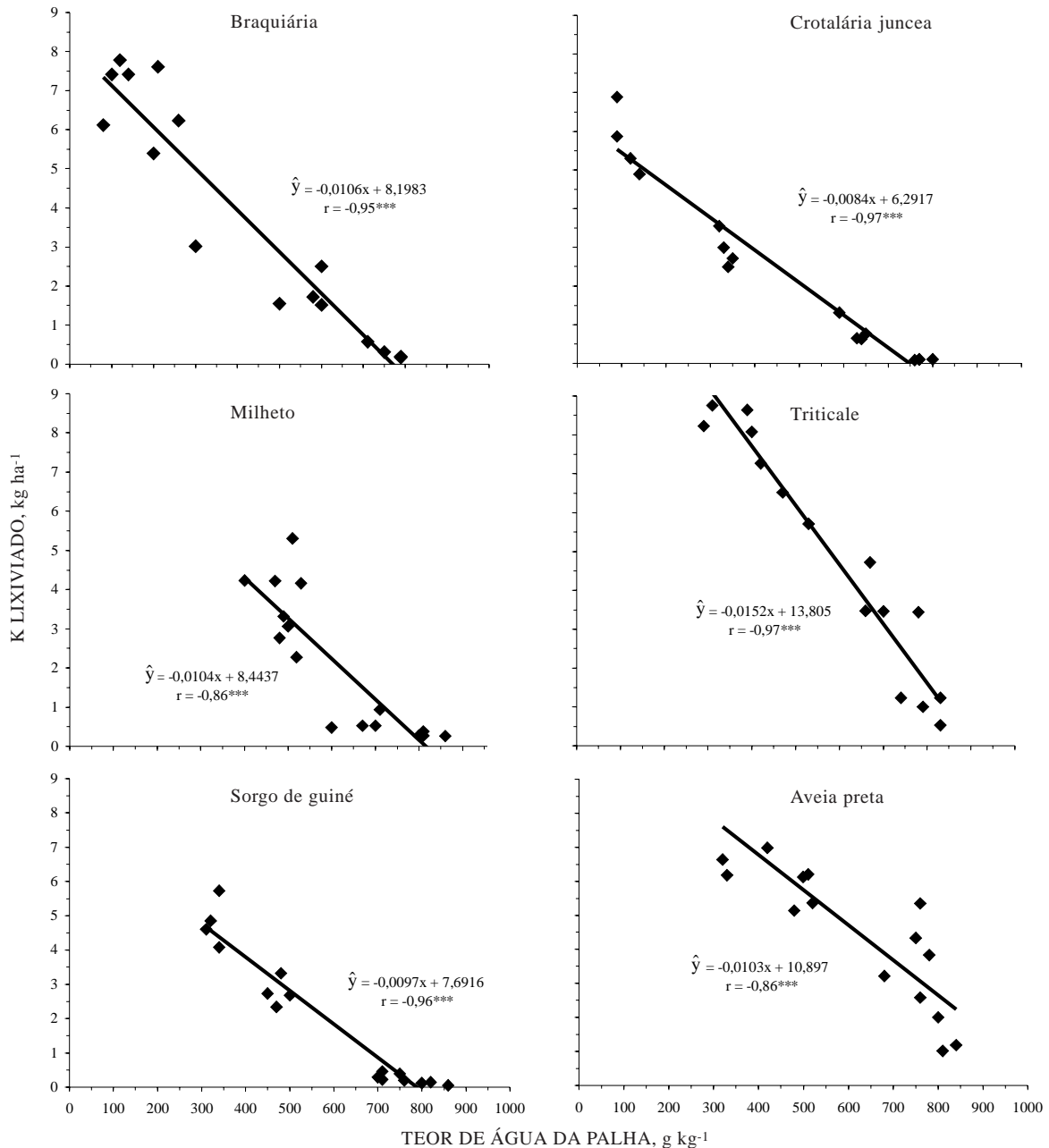


Figura 4. Correlações lineares entre as variáveis teor de água e quantidade de K lixiviada das palhas de plantas de cobertura, conforme a simulação de chuva em diferentes épocas após a dessecação química.* significativo a 0,1% pelo teste t.**

O emprego do herbicida glyphosate, segundo Santos (2001), exerce efetivo controle de grande número de plantas mono e dicotiledôneas, perenes e anuais, sem ser ambientalmente agressivo. Contudo, apesar de o glyphosate ser facilmente absorvido e translocado pelo xilema e floema, a sensibilidade ao herbicida depende da atividade fisiológica das plantas e das características genéticas da espécie (Cobucci & Noldin, 1999). Sendo assim, a maior extração de K dos restos vegetais do triticale

e da aveia preta no início da senescência das plantas, pela ação da água da chuva, ocorreu, provavelmente, não só por serem espécies mais sensíveis ao herbicida, mas também por terem apresentado os maiores teores de K nos tecidos da parte aérea (Figura 3a). Rosolem et al. (2003) argumentam que as diferenças na disponibilização de K das palhas de espécies de cobertura, pela ação da água da chuva, devem estar na dependência da composição do tecido vegetal de cada espécie, que varia de acordo com os

teores de celulose, lignina e outros, considerando também, as diferenças morfológicas dos órgãos aéreos das plantas, como a pilosidade das folhas.

A disponibilização de K dos restos vegetais foi mais intensa, à medida que o conteúdo de água das palhas diminuiu, para todas as espécies estudadas (Figura 4). Considerando um teor máximo de água dos restos vegetais da ordem de 80 % (pois as palhas de todas as espécies passaram a disponibilizar K na faixa de 700 a 900 g kg⁻¹ de água), as quantidades do nutriente lixiviadas foram de 0,07, 0,12, 0,28, 0,43, 1,64 e 2,66 kg ha⁻¹ de K, para o sorgo de guiné, milho, braquiária, crotalária juncea, triticale e aveia preta, respectivamente. Sendo assim, as gramíneas de inverno, aveia preta e triticale, disponibilizaram, em média, mais do que sete vezes as quantidades de K lixiviado dos restos vegetais das gramíneas de verão sorgo de guiné, braquiária e milho, pela ação da água da chuva, num estado de baixo grau de senescência das plantas, quando os tecidos vegetais ainda se encontravam túrgidos após a dessecação química.

No trabalho de Moraes & Arens (1969), a lavagem do K de folhas de plantas cultivadas, imediatamente após serem destacadas, foi expressiva, quando estas foram imersas em água destilada, mostrando que o fenômeno pode ocorrer em condições de campo em decorrência da ação da chuva, com maior ou menor intensidade, dependendo da espécie, das condições fisiológicas da planta e do clima, independentemente da decomposição biológica do tecido vegetal.

As maiores quantidades de K lixiviadas dos restos vegetais da braquiária e da crotalária juncea ocorreram com teores de água na matéria vegetal da ordem de 100 g kg⁻¹ (Figura 4). Por outro lado, as palhas da aveia preta, do triticale, do sorgo de guiné e do milho apresentaram teores de água entre 300 e 400 g kg⁻¹ no estágio mais avançado de senescência após a dessecação química, quando se disponibilizaram as maiores quantidades de K. Portanto, no que se refere à intensidade de desidratação no decorrer dos dias após a dessecação química, as plantas de braquiária e de crotalária juncea foram relativamente mais sensíveis ao herbicida glyphosate; este fato, porém, não refletiu em maior disponibilização de K das palhas pela ação da chuva (Figuras 2a e 4).

CONCLUSÕES

1. Quanto mais avançado o estado de senescência das plantas de cobertura após a dessecação química, mais chuva foi retida na palha. Contudo, a quantidade de água adsorvida nos restos vegetais não ultrapassou 3 mm para uma cobertura equivalente a 8 t ha⁻¹ de massa de matéria seca, para todas as espécies estudadas.

2. Percebeu-se uma redução nos teores de K da parte aérea das plantas de cobertura no decorrer dos oito primeiros dias de senescência após a aplicação de glyphosate, sem que ocorresse lavagem dos restos vegetais pela chuva.

3. As maiores taxas de lixiviação diária de K das palhas pela ação da chuva foram obtidas dois dias após a aplicação do herbicida, quando as plantas ainda se encontravam túrgidas, para as coberturas de triticale e de aveia preta.

4. Não mais do que 6% do total de K acumulado na parte aérea das plantas de cobertura foi lixiviado das palhas com 30 mm de chuva ocorrida no estágio mais avançado de senescência após o manejo químico, sem haver decomposição biológica dos tecidos vegetais.

5. Quanto ao potencial de disponibilização de K das palhas das plantas de cobertura, verificou-se que o triticale atingiu o primeiro lugar, seguido pela braquiária e pela aveia preta em segundo (com aproximadamente 20% a menos de K lixiviado, em média, em relação ao triticale), e, por último a crotalária juncea, o milho e o sorgo de guiné (com cerca de 50% a menos de disponibilização de K das palhas, em média, quando comparados à cobertura de maior lixiviação do nutriente).

LITERATURA CITADA

- AHRENS, W.H. *Herbicide handbook*. 7.ed. Champaign, Weed Science Society of America, 1994. 352p.
- BORTOLUZZI, E.C. & ELTZ, F.L.F. Efeito do manejo mecânico da palhada de aveia preta sobre a cobertura, temperatura, teor de água no solo e emergência da soja em sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:449-457, 2000.
- CASTRO, P.R. de C. Translocação de solutos orgânicos. In: FERRI, M.G., ed. *Fisiologia vegetal*. 2.ed. São Paulo, Pedagógica e Universitária, 1985. p.213-247.
- COBUCCI, T. & NOLDIN, J.A. Plantas daninhas e seu controle. In: VIEIRA, N.R.A.; SANTOS, A.B. & SANT'ANA, E.P., eds. *A cultura do arroz no Brasil*. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 1999. p.375-415.
- DERPSCH, R & CALEGARI, A. *Guia de plantas para adubação verde de inverno*. Londrina, Instituto de Pesquisa Agropecuária do Paraná, 1985. 96p. (Documento, 9)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Centro Nacional de Pesquisa da Soja. Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil (1997/1998)*. Londrina, 1997. 171p. (Embrapa-CNPSO. Documentos, 106)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Rio de Janeiro, 1999. 412p.

- FIORIN, J.E. Plantas recuperadoras de fertilidade do solo. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, 3., Passo Fundo, Aldeia Norte, 1999. Resumos de Palestras. 92p.
- GOMES, F.P. Curso de estatística experimental. 13.ed. Piracicaba, Nobel, 1991. 468p.
- KLEPKER, D. & ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. R. Bras. Ci. Solo, 19:395-401, 1995.
- MACIEL, C.D.G. Simulação do caminhar de herbicidas em diferentes tipos e quantidades de palhas utilizadas no sistema de plantio direto. Botucatu, Universidade Estadual Paulista, 2001. 89p.
- MALAVOLTA, E.A. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E.A.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba, POTAFOS, 1997. 201p.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London, Academic Press, 1995. 889p.
- MORAES, J.A.P. & ARENS, K. Eliminação de potássio pelas folhas em dependência da luz e obscuridade (Nota preliminar). Ci. Cult., 21:728-730, 1969.
- OLIVEIRA, F.H.T.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; CANTARUTTI, R.B. & BARROS, N.F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V. & COSTA, L.M., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2. p.393-486.
- RAIJ, B. van & QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1983. 31p.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2 ed. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1996. 285p.
- ROSOLEM, C.A. Adubação potássica em semeadura direta. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, Dourados, 1997. Resumos e Palestras. Dourados, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997. 12p.
- ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C. & FOLONI, J.S.S. Lixiviação de potássio da palha de coberturas de solo em função da quantidade de chuva recebida. R. Bras. Ci. Solo, 27:355-362, 2003.
- SÁ, J.C.M. Reciclagem de nutrientes dos resíduos culturais, e estratégia de fertilização para produção de grãos no sistema plantio direto. In: SIMPÓSIO SOBRE O SISTEMA PLANTIO DIRETO NA UFV, 1., Viçosa, 1998. Resumos de Palestras. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1998. p.19-61.
- SANTOS, I.C. Eficiência de glyphosate no controle de *Commelina benghalensis* e *Commelina diffusa*. Planta Daninha, 19:135-143, 2001.
- SILGRAM, M. & SHEPHERD, M.A. The effects of cultivation on soil nitrogen mineralization. Adv. Agron., 65:267-311, 1999.
- SILVA, J.E. & RITCHEY, K.D. Acumulação diferencial de potássio em Oxisolos devido à lavagem do nutriente das plantas de milho para o solo. R. Bras. Ci. Solo, 6:183-188, 1982.
- SILVA, M.A.S. Depósitos da calda de pulverização no solo e em plantas de tiririca (*Cyperus rotundus* L.) em diferentes condições de aplicação. Botucatu. Universidade Estadual Paulista, 2000. 57p.