



# XX Congreso Latinoamericano y XVI Congreso Peruano de la Ciencia del Suelo

“EDUCAR para PRESERVAR el suelo y conservar la vida en La Tierra”

Cusco – Perú, del 9 al 15 de Noviembre del 2014  
Centro de Convenciones de la Municipalidad del Cusco

## COMPARTIMENTALIZAÇÃO E DINÂMICA DE POTÁSSIO EM PLANTAS DE MILHO

Resende, A.V. <sup>1\*</sup>; Mars, G. <sup>2</sup>; Simão, E.P. <sup>2</sup>; Guimarães, P.E.O. <sup>1</sup>; Guimarães, L.J.M. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Milho e Sorgo

<sup>2</sup> Universidade Federal de São João Del Rei

\* Autor de contato: Email: alvaro.resende@embrapa.br Embrapa Milho e Sorgo, Rod. MG 424, km 45, Cx. Postal 285, 35701-970, Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil.

### RESUMO

A extração de potássio (K) pela cultura do milho é elevada e impacta a fertilidade do solo. O conhecimento da dinâmica de acúmulo e remobilização desse nutriente na planta pode ser importante no estabelecimento de estratégias otimizadas de manejo da adubação e de melhor controle da sua ciclagem em sistemas agrícolas. Objetivou-se caracterizar os compartimentos de acúmulo do K absorvido pelo milho e sua dinâmica entre a fase de formação da espiga e o final do ciclo, sob dois níveis de investimento tecnológico. Foram coletadas plantas no início do enchimento de grãos e após a maturação fisiológica, quantificando-se o teor e acúmulo de K nos componentes da parte aérea. A absorção de K até a fase de enchimento de grãos provoca importante redução da disponibilidade do nutriente no solo nessa época. A maior parte do K presente nas folhas é remobilizado para os grãos ou lavado pela chuva/irrigação no final do ciclo. A exportação na colheita dos grãos corresponde de 31 a 39 % do total acumulado na parte aérea. O colmo, sobretudo o seu terço inferior, é o principal compartimento de armazenamento do K no milho.

### PALAVRAS-CHAVES

*Zea mays*; extração de potássio; ciclagem de potássio

### INTRODUÇÃO

Após o nitrogênio, o potássio (K) é o nutriente requerido em maior quantidade em lavouras de milho de alta produtividade, podendo haver consumo de luxo quando o solo apresenta fertilidade elevada. Se por um lado o suprimento deficiente de K pode provocar baixo vigor de plantas, por outro, normalmente, não há resposta pronunciada em produtividade de grãos pela adubação com altas doses de fertilizante potássico (Coelho, 2005). Isso provavelmente está relacionado ao fato de que a maior parte do K absorvido pela cultura do milho se acumula nas partes vegetativas, sendo uma fração relativamente pequena direcionada para os grãos. Todavia, principalmente quando se visa maior produtividade, o manejo do fornecimento desse nutriente deve ser

equilibrado de forma a atender a demanda fisiológica para o bom desenvolvimento das plantas e não apenas repor estritamente a quantidade exportada na colheita dos grãos.

O milho assume importância na composição de sistemas de cultivos rotacionados ou em sucessão. Devido à grande capacidade de extração de K, elevada produção de biomassa e decomposição mais lenta dos restos culturais, influencia a dinâmica de ciclagem do nutriente no plantio direto. Todavia, se for utilizado para silagem ou os restos culturais destinados para fins energéticos, pode haver rápido esgotamento das reservas de K no solo, comprometendo a sustentabilidade dos cultivos subsequentes.

A agricultura brasileira, especialmente no cerrado, tem se caracterizado pela intensificação dos cultivos, com colheita de pelo menos duas safras ao ano. Esse padrão de exploração agrícola exige maior atenção no manejo das adubações, sendo o K um nutriente cujo estoque no solo pode sofrer fortes oscilações em curto prazo. Dessa forma, é preciso conhecer em maiores detalhes sua dinâmica no sistema solo-planta, em ambientes diversos quanto ao potencial produtivo.

O objetivo deste trabalho foi obter uma caracterização dos compartimentos de acúmulo do K absorvido pelo milho e indicativos de sua dinâmica entre a fase de formação da espiga e o final do ciclo da cultura, em diferentes níveis de investimento tecnológico.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi conduzido na Embrapa Milho e Sorgo, localizada a 19°28'30" de latitude S, 44°15'08" de longitude W e 732 m de altitude, em Sete Lagoas, MG, Brasil. A área experimental é constituída de Latossolo Vermelho distroférico muito argiloso. O experimento foi conduzido com irrigação complementar na safra 2013/2014, em plantio direto após um cultivo consorciado de milho e crotalaria como plantas de cobertura.

Foram cultivados quatro genótipos de milho, sendo um convencional (híbrido simples experimental 11873, da Embrapa) e três transgênicos (híbridos simples comerciais AG 8088 PRO2, DKB 390 PRO e P 30F53 H), em duas áreas contíguas representando ambientes de médio e de alto investimento tecnológico na cultura. Em cada ambiente, utilizou-se o delineamento de blocos casualizados com quatro repetições. Cada parcela foi constituída de oito linhas de 6 m de comprimento, espaçadas 0,5 m entre si, sendo o milho semeado a uma taxa de 75.000 sementes ha<sup>-1</sup>, no dia 08/11/2013.

As principais diferenças entre os dois ambientes de investimento tecnológico foram relacionadas às distintas condições de fertilidade do solo antes da semeadura do milho, derivadas do efeito residual de adubações contrastantes realizadas na safra anterior, e às quantidades de nutrientes fornecidas na safra 2013-2014. A adubação de base nessa safra consistiu do formulado NPK 08-28-16 + 0,3% de B, nas quantidades de 220 e 450 kg ha<sup>-1</sup> nos ambientes de médio e alto nível de investimento, respectivamente. Em cobertura, foram aplicados nesses ambientes, respectivamente, 90 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de N, e 0 e 70 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. O ambiente de alto investimento diferenciou-se ainda pelo uso de tratamento de sementes com adição de bioestimulante contendo diversos nutrientes (1,73% de N; 5% de K<sub>2</sub>O; 0,08% de B; 0,49% de Fe; 2,1% de S; 2,45% de Zn; 1,0% de Mn; e 3,5% de Carbono Orgânico Total), o qual foi aplicado também em pulverização foliar no estádio V7.

Foram realizadas coletas de solo para caracterização das condições de fertilidade antes e durante o cultivo de milho, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm. As amostras compostas constituíram-se de 1/3 de amostras simples coletadas nas linhas e 2/3 nas entrelinhas de adubação. As análises laboratoriais seguiram metodologias descritas em Silva (2009).

No estádio R3, correspondente ao início do enchimento de grãos, foram coletadas cinco plantas em cada parcela para quantificação da absorção de K. As plantas foram fragmentadas, separando-se o colmo (mais o pendão), as folhas, a palha da espiga e a espiga (sabugo). Procedimentos semelhantes de coleta e preparo de plantas foram realizados algum tempo após a maturação fisiológica do milho (após o estádio R6), sendo separados o colmo, as folhas, a palha da espiga, o sabugo e os grãos. Cada um desses compartimentos foi seco, pesado e analisado quanto aos teores de K, segundo metodologia descrita em Silva (2009). Realizou-se uma

amostragem adicional de plantas em maio de 2014, visando avaliar especificamente a compartimentalização de K dentro do colmo, dividindo-o em terço superior, médio e inferior.

A partir da massa seca e dos teores de K obtidos nas amostras, foi calculado o acúmulo do nutriente nas diferentes partes da planta, extrapolando-se para uma população de 74.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Foi determinada a participação relativa de cada compartimento no acúmulo total de K na parte aérea. Adicionalmente, foi calculada a variação relativa do K estocado nos compartimentos da planta, do início do enchimento de grãos para o final do ciclo.

Os dados foram organizados considerando-se a média dos valores expressos pelos quatro genótipos, de modo a se obter uma caracterização genérica do K absorvido pelo milho quanto aos padrões de distribuição e remobilização na planta.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 1 são informados os teores de K disponível no solo nas avaliações realizadas antes e durante o cultivo de milho. Verifica-se que, na camada de 0-20 cm, tanto no ambiente de alto quanto no de médio investimento, o solo apresentava inicialmente disponibilidade acima do nível crítico de 80 mg dm<sup>-3</sup>, indicado para solos de cerrado por Sousa & Lobato (2004). A amostragem realizada após a dessecação das plantas de cobertura confirmou a elevada capacidade de absorção de K pelo consórcio milheto e crotalária, que reduziu o estoque disponível naquele momento no solo. A amostragem seguinte refletiu os aportes derivados das adubações de base, acrescidos do K reciclado com a decomposição parcial da palhada das plantas de cobertura. Por fim, a quarta amostragem comprovou que o milho absorve K em grandes quantidades, ao ponto de provocar forte depleção das reservas do solo em curto período de tempo. Esta amostragem à época do enchimento de grãos (estádio R3) coincide com o período em que as plantas de milho acumulam cerca de 80% do total de K que será absorvido durante o ciclo (Bender et al., 2013).

Quadro 1. Teores médios de K disponível no solo (mg dm<sup>-3</sup>) em amostragens realizadas antes e durante o cultivo de milho, nos dois ambientes de investimento tecnológico, profundidades de 0-20 e 20-40 cm.

Época de amostragem	Teor de K no solo (Mehlich 1)			
	Alto investimento		Médio investimento	
	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm
Após colheita anterior (04/2013)	161	81	93	41
Após dessecação (10/2013)	77	44	38	25
Após adubação base (12/2013)	164	43	84	23
Enchimento de grãos (01/2014)	83	63	41	29

\* 1ª amostragem: após colheita da safra 2012-2013; 2ª amostragem: após dessecação do milheto e crotalária, antes da semeadura do milho; 3ª amostragem: aos 28 dias após a adubação de semeadura do milho; 4ª amostragem: estágio R3, início do enchimento de grãos.

No ambiente de médio investimento tecnológico, a demanda pelo milho faz com que os teores disponíveis no solo durante o enchimento de grãos atinjam valores bem abaixo do nível crítico (Quadro 1), o que levanta questão sobre o limite a partir do qual essa aparente carência do nutriente passa a limitar a expressão do potencial genético do milho de alta produtividade. O K não exerce efeito tão pronunciado sobre a produtividade de milho e a exportação com a colheita dos grãos é relativamente pequena, permanecendo nos restos culturais a maior parte do que foi absorvido pelas plantas. Contudo, esse nutriente tem papel preponderante para uma maior resistência de colmo, minimizando o risco de quebramento ou acamamento de plantas (Malavolta et al., 1997; Coelho, 2005).

Nos quadros 2 e 3 são apresentados os teores e o acúmulo de K em diferentes partes da planta de milho no início do enchimento de grãos (R3) e após a maturação fisiológica (R6). Observa-se que em R3 as folhas apresentam teores e conteúdos de K semelhantes entre os ambientes de alto e médio investimento. Mas, com o dreno que se estabelece para a formação dos grãos, associado à senescência das folhas e lavagem pela chuva/irrigação, há substancial redução no K presente nas folhas após o estágio R6, sobretudo no ambiente com menor investimento em adubação. O colmo destaca-se como o mais importante compartimento de residência do K, sendo destino preferencial do nutriente absorvido pelo milho na condição de maior fertilidade do solo do

ambiente de alto investimento tecnológico. Em termos relativos, o armazenamento no colmo variou de 32 a 53% de todo o K acumulado pelo milho, de acordo com o nível de investimento em adubação e a época de amostragem (Quadro 4).

Quadro 2. Teores de K ( $\text{g kg}^{-1}$ ), nos estádios R3 e após R6, em órgãos de plantas de milho sob dois níveis de investimento tecnológico (média de quatro genótipos).

Órgão	Teor de K na planta			
	Alto investimento		Médio investimento	
	Estádio R3	Estádio R6	Estádio R3	Estádio R6
Folha	11,6	4,9	11,7	2,4
Colmo	10,1	7,8	4,9	4,8
Palha	9,5	5,7	8,5	5,1
Sabugo	10,3	4,8	10,1	5,4
Grãos	-	2,9	-	3,1

\* Estádio R3 = início do enchimento de grãos; estágio R6 = após maturação fisiológica.

A estimativa da exportação de K nos grãos foi de 38 e 35  $\text{kg ha}^{-1}$ , correspondendo a proporções de 31 e 39% do total acumulado na parte aérea, para os ambientes de alto e médio investimento tecnológico, respectivamente (Quadros 3 e 4). Esses percentuais estão próximos do índice de exportação de 32% para uma produtividade de 9,2  $\text{t ha}^{-1}$  de grãos, relatado por Coelho (2005). A produtividade de grãos estimada no presente estudo, para uma população de 74.000 plantas  $\text{ha}^{-1}$ , seria de 13,2 e 11,4  $\text{t ha}^{-1}$  naqueles ambientes. A exportação não aumentou proporcionalmente ao incremento da extração quando o milho foi cultivado com maior aporte do nutriente (Quadro 3), caracterizando provável consumo de luxo nessa condição. Mesmo com alta produtividade, a fração de K exportada com a colheita é relativamente pequena frente ao total absorvido pela cultura. Assim, cabe enfatizar a importância da manutenção dos restos culturais do milho nas lavouras, visando à manutenção dos processos de ciclagem e um balanço positivo do nutriente nos sistemas de produção.

Quadro 3. Acúmulo de K ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), nos estádios R3 e após R6, em órgãos de plantas de milho sob dois níveis de investimento tecnológico (média de quatro genótipos).

Órgão	K acumulado pelo milho			
	Alto investimento		Médio investimento	
	Estádio R3	Estádio R6	Estádio R3	Estádio R6
Folha	41,3	14,1	40,1	6,7
Colmo	75,0	51,5	34,0	29,3
Palha	16,7	11,8	15,0	10,5
Sabugo	9,8	9,3	7,9	9,3
Grãos	-	38,4	-	35,1
Total	142,8	125,2	97,0	90,9

\* Estádio R3 = início do enchimento de grãos; estágio R6 = após maturação fisiológica.

Quadro 4. Acúmulo relativo de K (%), nos estádios R3 e após R6, em órgãos de plantas de milho sob dois níveis de investimento tecnológico (média de quatro genótipos).

Órgão	Acúmulo relativo de K nos órgãos do milho			
	Alto investimento		Médio investimento	
	Estádio R3	Estádio R6	Estádio R3	Estádio R6
Folha	28,9	11,3	41,3	7,3
Colmo	52,5	41,1	35,1	32,3
Palha	11,7	9,5	15,4	11,5
Sabugo	6,9	7,4	8,2	10,2
Grãos	-	30,7	-	38,7
Total	100,0	100,0	100,0	100,0

\* Estádio R3 = início do enchimento de grãos; estágio R6 = após maturação fisiológica.

Ao se interpretar a variação relativa do conteúdo total de K nas plantas, medido no início do enchimento de grãos e após a maturação fisiológica (Quadro 5), comprova-se a ocorrência de perdas do nutriente dos tecidos vegetais à medida que a planta passa pelos processos de

senescência e os grãos amadurecem. As folhas parecem ser o compartimento com presença mais transitória do K, perdendo, ao final do ciclo, de 66 a 83% do que havia sido acumulado até o início do enchimento de grãos. Embora a maior parte deva ter sido remobilizada para os grãos, é de se esperar que ocorram perdas de K por lavagem das folhas pela água de chuva ou de irrigação, conforme bem documentado na literatura (Silva & Ritchey, 1982; Costa et al. 2009).

Quadro 5. Variação relativa (%) entre o K acumulado nos estádios R3 e após R6, em órgãos de plantas de milho sob dois níveis de investimento tecnológico (média de quatro genótipos).

Órgão	Variação relativa entre o K acumulado em R3 e R6	
	Alto investimento	Médio investimento
Folha	-65,9	-83,3
Colmo	-31,3	-13,9
Palha	-29,2	-30,0
Sabugo	-4,9	17,1
Planta inteira	-12,4	-6,3

\* Estádio R3 = início do enchimento de grãos; estágio R6 = após maturação fisiológica.

Uma avaliação mais detalhada da compartimentalização no colmo permite constatar que o terço inferior apresenta destacado acúmulo de K, em especial sob condições de maior disponibilidade do nutriente no solo, determinada pelo investimento mais alto em adubação (Quadro 6). A intensa absorção no ambiente de alto investimento tecnológico reflete claramente no incremento do teor e do conteúdo no terço inferior do colmo, o qual pode armazenar mais de 70% do K direcionado a este órgão. Essa informação é relevante para o entendimento da dinâmica de acumulação e armazenamento de K nas plantas de milho, e da ciclagem a partir dos restos culturais. Por se tratar de uma estrutura mais rígida, a base do colmo tende a apresentar decomposição mais lenta, podendo-se esperar que o K ali presente venha a ser liberado de forma gradual, em menor velocidade se comparado a outras partes da planta ou à palhada de outras culturas. Essa particularidade torna o milho uma boa alternativa para a rotação de culturas, principalmente em solos arenosos com baixa CTC, nos quais o K livre tende a ser lixiviado com facilidade.

A compartimentalização preferencial do K na porção basal do colmo deve ser levada em conta também no manejo do milho para silagem, cuja altura de corte pode afetar o saldo de K na lavoura após a colheita, conforme demonstrado por Jaremtchuk et al. (2006). Para essa finalidade, a colheita de plantas a uma maior altura de corte seria prática desejável no tocante à fertilidade do solo, uma vez que, ao preservar a base do colmo, se evita a exportação de quantidade significativa de K, minimizando o risco de empobrecimento do solo.

Quadro 6. Teor ( $\text{g kg}^{-1}$ ), acúmulo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e acúmulo relativo (%) de K nos compartimentos superior, médio e inferior do colmo de plantas de milho, sob dois níveis de investimento tecnológico (média de quatro genótipos).

Compartimento	K no colmo do milho					
	Alto investimento			Médio investimento		
	Teor	Acúmulo	Ac. Relativo	Teor	Acúmulo	Ac. relativo
Superior	3,6	3,0	6,1	1,9	1,3	8,6
Médio	7,3	11,6	22,9	5,2	7,1	43,5
Inferior	18,4	38,3	71,0	4,3	7,6	47,9
Total	-	52,9	-	-	16,0	-

\* Amostragem extra, realizada após a colheita.

Nas condições do presente estudo, constata-se que o milho cultivado em ambiente com alto investimento tecnológico pode extrair o equivalente a cerca de  $171 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , dos quais, ao final do ciclo, 62 kg permanecem nos colmos, sendo 44 kg no seu terço inferior.

## CONCLUSÃO

O milho apresenta elevada absorção de K até a fase de enchimento de grãos, o que provoca sensível redução da disponibilidade do nutriente no solo amostrado nessa época.

Pelo menos 65% do K presente nas folhas nesse período é remobilizado para a formação dos grãos ou lavado pela água de chuva/irrigação até o final do ciclo, podendo esse valor ser superior a 80% sob menor investimento em adubação.

A exportação de K na colheita dos grãos corresponde de 31 a 39 % do total acumulado na parte aérea e não aumenta proporcionalmente ao incremento da extração quando o milho é cultivado com maior aporte do nutriente.

O colmo é o principal compartimento de armazenamento do K no milho. No cultivo com alto investimento em adubação, o terço inferior do colmo concentra grande parte do K acumulado na planta.

## **AGRADECIMENTOS**

À Fapemig, CNPq e Fundação Agrisus, pelo apoio financeiro e concessão de bolsas.

## **BIBLIOGRAFIA**

Bender R.R., J.W. Haegele, M.L. Ruffo, and F.E. Below. 2013. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids. *Agronomy Journal* 105:161-170.

Coelho A.M. 2005. O potássio na cultura do milho. In: Yamada, T. & T.L. Roberts (Eds.). *Potássio na agricultura brasileira*. Piracicaba: Potafos. p.613-658.

Costa S.E.V.G.A., E.D. Souza, I. Anghinoni, J.P.C. Flores & M.H. Andrigueti. 2009. Distribuição de potássio e de raízes no solo e crescimento de milho em sistemas de manejo do solo e da adubação em longo prazo. *Rev. Bras. Ci. Solo* 33:1291-1301.

Jaremtchuk A.R., C. Costa, P.R.L. Meirelles, H.C. Gonçalves, A. Ostrensky, L.A. Koslowski & H.M.F. Madeira. 2006. Produção, composição bromatológica e extração de potássio pela planta de milho para silagem colhida em duas alturas de corte. *Acta Sci. Agron.* 28:351-357.

Malavolta E., G.C. Vitti & S.A. Oliveira. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Potafos. 319p.

Silva F.C. (Ed.). 2009. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 370p.

Silva, J.E. & K.D. Ritchey. 1982. Acumulação diferencial de potássio em oxissolos devido a lavagem do nutriente das plantas de milho para o solo. *Rev. Bras. Ci. Solo* 6:183-188.

Sousa D.M.G. & E. Lobato. 2004. Cerrado: correção do solo e adubação. 2 ed. Brasília: Embrapa Cerrados. 416p.