

CIRCULAR TÉCNICA

277

Sete Lagoas, MG
Novembro, 2021

Créditos de nutrientes e matéria orgânica no solo pela inserção do capim-braquiária em sistemas de culturas anuais

Álvaro Vilela de Resende
Jeferson Giehl
Eduardo de Paula Simão
Samuel Campos de Abreu
Alexandre Cunha de Barcellos Ferreira
Ana Luiza Dias Coelho Borin
Ivanildo Evódio Marriel
Izabelle Gonçalves Melo
Lilian de Souza Marques
Miguel Marques Gontijo Neto



OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

2 FOME ZERO
E AGRICULTURA
SUSTENTÁVEL



Créditos de nutrientes e matéria orgânica no solo pela inserção do capim-braquiária em sistemas de culturas anuais¹

Introdução

A utilização de fertilizantes é um dos pilares de sustentação de altas produtividades, mas também representa um dos itens de maior peso nos custos de produção e tem implicações ambientais, pois os nutrientes perdidos do sistema solo-planta tornam-se potenciais contaminantes da água ou da atmosfera. Sistemas intensivos de produção com sucessão de culturas em crescimento durante a maior parte do tempo, e que contemplem a presença de espécies com raízes profundas, são mais aptos a captar os nutrientes derivados das adubações e mantê-los em circulação, minimizando as perdas ou a indisponibilização (Resende et al., 2016).

O tamponamento, a resiliência e a estabilidade dos ambientes de produção de culturas anuais são intrinsecamente relacionados ao sistema plantio direto bem implantado e conduzido, por causa do seu papel na conservação da matéria orgânica do solo. Práticas agrícolas que favoreçam o aumento da matéria orgânica assumem alta relevância e, para isso, o plantio direto precisa estar associado à diversificação de espécies e ao elevado aporte de resíduos (palhada). Além dos benefícios relacionados aos aspectos agrônômicos, essa estratégia vem sendo apontada como uma das principais medidas para contrabalançar as emissões de carbono e mitigar o aquecimento global,

¹ Álvaro Vilela de Resende, Engenheiro-Agrônomo, Doutor em em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo; Jeferson Giehl, Engenheiro-Agrônomo, estudante de doutorado na Universidade Federal de Viçosa; Eduardo de Paula Simão, Engenheiro-Agrônomo, Doutor em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa; Samuel Campos de Abreu, Engenheiro-Agrônomo, Especialista em Proteção de Plantas, Analista da Embrapa Milho e Sorgo; Alexandre Cunha de Barcellos Ferreira, Engenheiro-Agrônomo, Doutor em Fitotecnia, Pesquisador da Embrapa Algodão; Ana Luiza Dias Coelho Borin, Engenheira-Agrônoma, Doutora em Ciência do Solo, Pesquisadora da Embrapa Algodão; Ivanildo Evódio Marriel, Engenheiro-Agrônomo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo; Izabelle Gonçalves Melo, Engenheira-Ambiental, estudante de doutorado na Universidade Federal de São João del Rei; Lilian de Souza Marques, Bióloga, estudante de doutorado na Universidade Federal de São João del Rei; Miguel Marques Gontijo Neto, Engenheiro-Agrônomo, Doutor em Zootecnia, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo.

ao propiciar a restauração dos estoques de carbono em solos agrícolas (Lal et al., 2015; Mathew et al., 2020).

A possibilidade de qualquer acréscimo ou pelo menos a manutenção dos teores de matéria orgânica nos solos brasileiros representa substancial ampliação da sua capacidade de reserva e suprimento de nutrientes. Esses efeitos se devem à contribuição majoritária da matéria orgânica para a capacidade de troca de cátions dos solos tropicais (Silva et al., 1994), e à disponibilização de nutrientes por processos de ciclagem dos compartimentos orgânicos. Contudo, o aumento no conteúdo de matéria orgânica por meio de práticas de manejo não ocorre de forma rápida e simples (Sá et al., 2015; Corbeels et al., 2016).

A introdução de gramíneas forrageiras visando à diversificação e intensificação de sistemas de culturas anuais tem se mostrado como uma prática promissora para ganhos econômicos e de sustentabilidade. Além de aportar carbono e agregar os benefícios da matéria orgânica em camadas mais profundas do perfil, plantas de sistema radicular robusto, como as braquiárias, contribuem para a mobilização ascendente e descendente de nutrientes, recuperando aqueles que se deslocam para zonas inferiores, como K, S e B, e auxiliando na incorporação de outros menos móveis, como P e Ca (Braz et al., 2004; Crusciol; Soratto, 2010; Salton; Tomazi, 2014; Crusciol et al., 2015). Adicionalmente, essas plantas auxiliam na preservação de atributos físicos desejáveis, refletidos na macroporosidade do solo (Crusciol et al., 2015; Pereira et al., 2016). Como resultado, têm sido reportados ganhos de produtividade de grãos no sistema, especialmente envolvendo a soja.

A presença da braquiária modifica os fluxos de nutrientes em compartimentos do sistema solo-palhada, incrementando o conteúdo nos restos culturais que servirão como fonte para os cultivos subsequentes, ao passo em que contribui para prevenir perdas no sistema. Todavia, ainda são escassas as informações a respeito desses processos sobre os estoques de nutrientes no perfil do solo, notadamente nas camadas subsuperficiais, na eficiência de uso de fertilizantes e no balanço de nutrientes do sistema.

Esta publicação disponibiliza informações sobre a influência da braquiária na recuperação, ciclagem e créditos de nutrientes (com ênfase no potássio), bem como nos teores de matéria orgânica do solo. São apresentados resultados de estudos envolvendo avaliações do acúmulo de nutrientes pelas plantas e análises de solo no perfil até um metro de profundidade. São também discutidas as vantagens para a fertilidade do solo, a eficiência no uso de fertilizantes e a sustentabilidade dos sistemas de produção. Dessa forma, o conteúdo está relacionado ao alcance de Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos pela Organização das Nações Unidas - ONU, especificamente o ODS 2, voltado à segurança alimentar e promoção da agricultura sustentável, buscando a implementação de práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas e que melhorem progressivamente a qualidade do solo.

Base experimental

Ensaio sobre capacidade relativa de recuperação de nutrientes do solo

Um ensaio foi conduzido em casa de vegetação da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas-MG, para avaliação comparativa da capacidade de recuperação de nutrientes do solo por braquiária (*Urochloa ruziziensis*), milho (*Zea mays*, cv. Pionner 30F53 YHR), milheto (*Pennisetum glaucum*, cv. CMS 01), sorgo biomassa (*Sorghum bicolor*, cv. BRS 716), sorgo granífero (*S. bicolor*, cv. BRS 330), feijão carioca (*Phaseolus vulgaris*, cv. Pérola), soja (*Glycine max*, cv. BRS 7380 RR) e crotalária (*Crotalaria spectabilis*).

Foram utilizados vasos contendo 5,5 kg de material da camada de 0-20 cm de um Latossolo Vermelho distroférrico muito argiloso, de baixa fertilidade, coletado em área sob vegetação de Cerrado, submetido a correção da acidez e adubação com macro e micronutrientes, utilizando-se fontes solúveis na forma de reagentes (p.a.). Na adubação NPK, foram fornecidos 250 e 200 mg kg⁻¹ de fósforo (P) e potássio (K), respectivamente, enquanto a quantidade de nitrogênio (N) nas adubações de base e cobertura variou conforme as espécies, totalizando cerca de 335 e 235 mg kg⁻¹ para as gramíneas e o feijoeiro,

respectivamente. As sementes de soja foram inoculadas com rizóbio, e as de crotalária não foram inoculadas. Ambas as espécies receberam N-fertilizante (140 mg kg^{-1}) proveniente das fontes de P e enxofre utilizadas.

A semeadura das espécies foi realizada após 82 dias de incubação do solo com os tratamentos de correção e adubação de base, estabelecendo-se quatro plantas por vaso, em quatro repetições. Aos 36 dias após a semeadura, a parte aérea das plantas foi colhida e colocada em estufa a $65 \text{ }^\circ\text{C}$ para a determinação da massa seca. As plantas de cada unidade experimental foram moídas para análises químicas de determinação dos teores de N, P e K nos tecidos, segundo metodologias descritas em Silva (2009), e posterior cálculo do acúmulo desses nutrientes. A recuperação aparente de nutrientes foi calculada pela relação percentual entre as quantidades acumuladas pelas espécies e o que havia sido fornecido por vaso na adubação:

$$\text{Recuperação aparente (\%)} = \frac{\text{Nutriente acumulado na parte aérea (mg vaso}^{-1}\text{)}}{\text{Nutriente fornecido na adubação (mg vaso}^{-1}\text{)}} \times 100$$

Experimento de um ciclo em área de produção

Foram quantificados os impactos de curto prazo nos fluxos de nutrientes no sistema solo-planta, em resposta a um ciclo de braquiária *ruziziensis* introduzida em consórcio com o sorgo segunda safra, em 2019. As avaliações foram realizadas a partir de experimentos em ambiente de lavoura na Fazenda Decisão, município de Unaí-MG. O talhão utilizado é de um Latossolo Vermelho-Amarelo muito argiloso, com alta fertilidade construída (Tabela 1), que vem sendo cultivado em plantio direto há cerca de vinte anos, em condições de sequeiro.

Tabela 1. Caracterização química e textural do solo, antes da implantação dos experimentos. Fazenda Decisão, Unai-MG. Maio de 2018.

Atributo	Profundidade	
	0-10 cm*	10-20 cm*
pH _{água}	6,6	6,1
P _{Mehlich} (mg dm ⁻³)	38	23
K _{Mehlich} (mg dm ⁻³)	183	157
Ca (cmol _c dm ⁻³)	5,2	3,3
Mg (cmol _c dm ⁻³)	1,8	1,1
CTC (cmol _c dm ⁻³)	9,7	8,3
Saturação por bases (%)	77	57
B (mg dm ⁻³)	0,5	0,4
Cu (mg dm ⁻³)	0,9	0,9
Fe (mg dm ⁻³)	25	31
Mn (mg dm ⁻³)	35	26
Zn (mg dm ⁻³)	9	9
Mat. Orgânica – MOS (g kg ⁻¹)	41	34
S (mg dm ⁻³)**	5	22
Argila (g kg ⁻¹)***	470, 650 e 690	

* Média de 30 amostras compostas. ** Enxofre: teores nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, respectivamente.*** Profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, respectivamente. Média de 5 amostras compostas.

Os experimentos consistiram em dois ambientes adjacentes, com ou sem a inserção da braquiária em consórcio com o sorgo segunda safra (“safrinha”), onde foram aplicados tratamentos com níveis de adubação de manutenção: 1 - Controle sem fertilizantes NPK na base ou em cobertura; 2 - Adubação de Restituição dos nutrientes (N, P e K) exportados nos grãos; e 3 - Adubação Padrão da Fazenda (Tabela 2). Em cada experimento, o delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições, utilizando parcelas de grandes dimensões (30 m x 150 m) no sistema soja/sorgo segunda safra, ambos com espaçamento de 50 cm entre linhas.

Os tratamentos de adubação foram aplicados desde a semeadura da soja em 2018/2019 (cultivar Monsoy 6210 IPRO, semeada em 27/10/2018). Na segunda safra 2019, foi utilizado o sorgo granífero (cultivar Enforcer, semeado em 22/02/2019). Nessa ocasião, a braquiária ruziziensis foi incluída pela primeira vez em cultivo de consórcio naquele talhão, para formação de palhada num dos experimentos, sendo semeada a lanço a uma taxa correspondente

a 450-500 pontos de Valor Cultural por hectare, por meio de dispositivo acoplado ao trator que puxava a semeadora de sorgo.

Tabela 2. Fontes de variação consideradas no estudo na Fazenda Decisão, Unai-MG.

Fontes de Variação	Descrição
Sistemas de cultivo de sorgo	1) Com braquiária - consórcio (experimento 1) 2) Sem braquiária - sorgo solteiro (experimento 2)
Níveis de adubação NPK	1) Controle sem fertilizante NPK nas adubações de base ou de cobertura 2) Adubação de Restituição (reposição da exportação de N, P e K) 3) Adubação Padrão da Fazenda (de acordo com critérios próprios do produtor)
Profundidades de amostragem de solo	1) 0-5 cm 2) 5-10 cm 3) 10-20 cm 4) 20-40 cm 5) 40-60 cm 6) 60-80 cm 7) 80-100 cm

De acordo com os tratamentos, o adubo fosfatado de base foi distribuído no sulco de semeadura, variando as doses nas parcelas por mecanismos de aplicação à taxa variável da semeadora. As adubações potássicas foram realizadas distribuindo-se o cloreto de potássio a lanço em pré-semeadura da soja e pós-semeadura inicial do sorgo, utilizando equipamento com distribuidor centrífugo de aplicação à taxa variável. De forma análoga, a adubação nitrogenada em cobertura para o sorgo (nitrato de amônio) foi realizada a lanço logo após a emergência (Tabela 3).

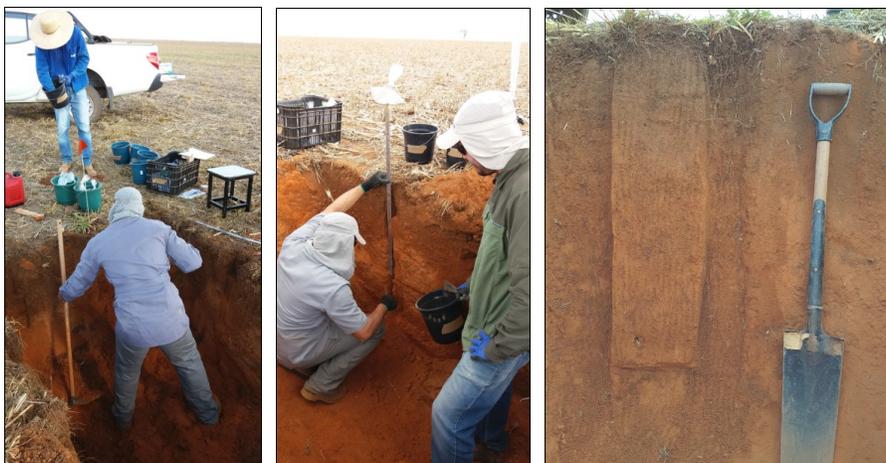
Tabela 3. Quantidades equivalentes de N, P₂O₅ e K₂O (kg ha⁻¹) fornecidas na safra (soja) e segunda safra (sorgo), de acordo com os tratamentos de adubação. Fazenda Decisão, Unaí-MG.

Tratamento de adubação	Soja 2018/2019			Sorgo 2019		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Controle	0	0	0	0	0	0
2. Adubação de Restituição	12	56	107	83	41	98
3. Padrão da Fazenda	20	94	54	49	78	60

As avaliações foram realizadas na porção mais central das parcelas, evitando-se assim as zonas de transição associadas à mudança automática de aplicação dos tratamentos pelo maquinário utilizado. Amostragens de solo e planta/palhada foram efetuadas em pontos georreferenciados, previamente definidos dentro da área central de cada parcela e localizados com utilização de GPS portátil.

Na colheita do sorgo, em agosto de 2019, foram determinadas a biomassa de caule, folhas e grãos do sorgo e da parte aérea da braquiária, separando-se amostras para análises de nutrientes. Após a colheita mecanizada, foi passado picador para triturar a biomassa nas áreas dos experimentos. Em outubro/novembro de 2019, foi feita a quantificação de palhada (matéria seca dos resíduos vegetais) existente em cada unidade experimental mediante amostragens utilizando um quadro de área de um metro quadrado, além da determinação da percentagem de cobertura do solo de acordo com metodologia descrita em Bataglia et al. (2009).

Em novembro de 2019, foram realizadas amostragens de solo em trincheiras (Figura 1), nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm e 80-100 cm no perfil. Cada amostra encaminhada ao laboratório foi composta pela homogeneização de amostras simples obtidas em três faces da trincheira. Evitou-se que as coletas coincidisse com as linhas de adubação, visando minimizar a influência de aplicações recentes de fertilizantes de forma localizada no sulco de semeadura. Também foram quantificadas as raízes em monólitos de 25 cm de largura por 10 cm de espessura, coletados a partir da linha de plantio em direção ao centro da entrelinha, nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-100 cm no perfil.



Fotos: Álvaro Resende.

Figura 1. Imagens de trincheiras abertas para amostragens de solo no perfil e de raízes em monólitos (foto da direita), em novembro de 2019, após o cultivo de sorgo segunda safra consorciado ou não com braquiária. Fazenda Decisão, Unai-MG.

Nas amostras de solo foram determinados os teores de K trocável (extrator Mehlich 1), P Mehlich 1, matéria orgânica e carbono lábil. As determinações laboratoriais seguiram metodologias descritas em publicações de referência (Blair et al., 1995; Silva, 2009; Teixeira et al., 2017). Posteriormente, foi feito o cálculo dos estoques de K, considerando a densidade do solo nas diversas camadas amostradas nas trincheiras, conforme indicado por Ellert e Bettany (1995).

As raízes contidas em cada monólito foram separadas do material de solo e lavadas, sendo em seguida avaliadas quanto a comprimento total, diâmetro médio, volume e área superficial com utilização do sistema de análise de imagens WinRhizo. Posteriormente, as raízes foram secas, pesadas, moídas e submetidas a análises para determinação da concentração de nutrientes, da mesma forma que as amostras de plantas de sorgo e de braquiária coletadas em agosto, seguindo metodologias descritas em Malavolta et al. (1997). A partir dos dados de biomassa seca e composição química, determinaram-se os conteúdos de nutrientes nos respectivos compartimentos das plantas.

Foram realizadas análises estatísticas conjuntas dos experimentos com e sem inserção da braquiária. No caso de efeito significativo de fontes de variação, as médias dos tratamentos foram comparadas entre si por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$), aplicando-se rotinas de análise estatística do programa SISVAR (Ferreira, 2011). Quando pertinente, as variáveis foram avaliadas por camada amostrada no perfil de solo.

Experimento de longa duração em sistemas de produção com culturas anuais

Um experimento de longo prazo, em condições de sequeiro, foi conduzido entre 2005 e 2014, no município de Santa Helena de Goiás-GO, em Latossolo Vermelho distrófico argiloso, cujas condições de fertilidade antes da instalação do experimento são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Caracterização química e textural do solo, na camada de 0-20 cm, antes da implantação dos experimentos em Santa Helena de Goiás-GO. Agosto de 2005.

pH CaCl ₂	P Mehlich	K Mehlich	Ca	Mg	CTC	Sat. bases	Mat. orgânica	Argila
mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³			%	g kg ⁻¹	
5,4	6,1	90	2,07	0,42	6,33	58,7	24,2	495

Os tratamentos foram compostos por quatro sistemas de produção envolvendo a cultura do algodão, conduzidos por nove anos: 1) preparo convencional (PC) do solo com monocultivo de algodão (PCMA); 2) PC com rotação anual algodão-soja-algodão (PCASA); 3) PC com rotação anual algodão-soja-milho (PCASM); e 4) algodão em sistema plantio direto rotacionado - SPD [soja (primavera-verão) + braquiária *ruziziensis* (outono-inverno) / milho consorciado com braquiária (primavera-verão) / algodão (primavera-verão)]. Os tratamentos com PC ficaram em pousio no outono-inverno. No tratamento SPD, a braquiária permaneceu ocupando as parcelas como planta de cobertura, sendo dessecada com glifosato 30 dias antes da semeadura da safra seguinte de milho ou de algodão. Um tratamento controle com vegetação nativa (Cerrado) sem intervenções de manejo, em área adjacente ao experimento,

foi utilizado como referência para avaliação dos teores de matéria orgânica e K no solo. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Cada parcela experimental dos sistemas de culturas foi dimensionada em 14,4 m x 40 m.

As adubações médias anuais, em kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, foram 111, 126 e 130 para o algodão; 6, 54 e 46 para a soja; e 97, 119 e 137 para o milho, respectivamente. Detalhes sobre o manejo das adubações, condução e tratos culturais no experimento estão reportados em Ferreira et al. (2022).

Em outubro de 2014 foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30- 60 cm e 60-100 cm para determinação dos teores de matéria orgânica e de K trocável (extrator Mehlich 1). Em cada parcela experimental e profundidade foram coletadas 10 amostras, que foram homogeneizadas, sendo retirada uma amostra composta para as análises laboratoriais, conforme metodologias descritas em Silva (2009).

Para cada camada de amostragem, os dados foram submetidos à análise de variância com auxílio do programa SISVAR (Ferreira, 2011), e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Resultados

Potencial de recuperação de nutrientes do solo pelo cultivo de braquiária

Os resultados obtidos em ambiente controlado (vasos em casa de vegetação), expressos na Figura 2, dão ideia da elevada capacidade da braquiária *ruiziensis* absorver os nutrientes presentes no solo. De modo geral, a recuperação aparente de N, P e K pela forrageira é equiparável à de culturas gramíneas geneticamente melhoradas e superior à de leguminosas. Vale notar que o período de desenvolvimento das plantas foi curto, com corte aos 36 dias após a semeadura, compreendendo a fase inicial do ciclo (Figura 3), quando a braquiária apresenta crescimento mais lento (Freitas et al., 2013). Portanto, mesmo quando o tempo de crescimento é limitado, como em determinados sistemas de produção a campo, a braquiária apresenta expressiva captação de nutrientes do solo.

Considerando que no caso da braquiária utilizada como planta de cobertura não há remoção de nutrientes pela colheita, como ocorre nas culturas comerciais, pode-se ter dimensão do seu grande potencial como espécie armazenadora e recicladora de nutrientes (Figura 2), conservando-os em formas passíveis de ser disponibilizadas e contribuir para a nutrição dos cultivos posteriores. Essa capacidade da braquiária é notória no caso do K, que é acumulado em grande quantidade e que retorna ao solo rapidamente após a ceifa ou dessecação das plantas (Mendonça et al., 2015).

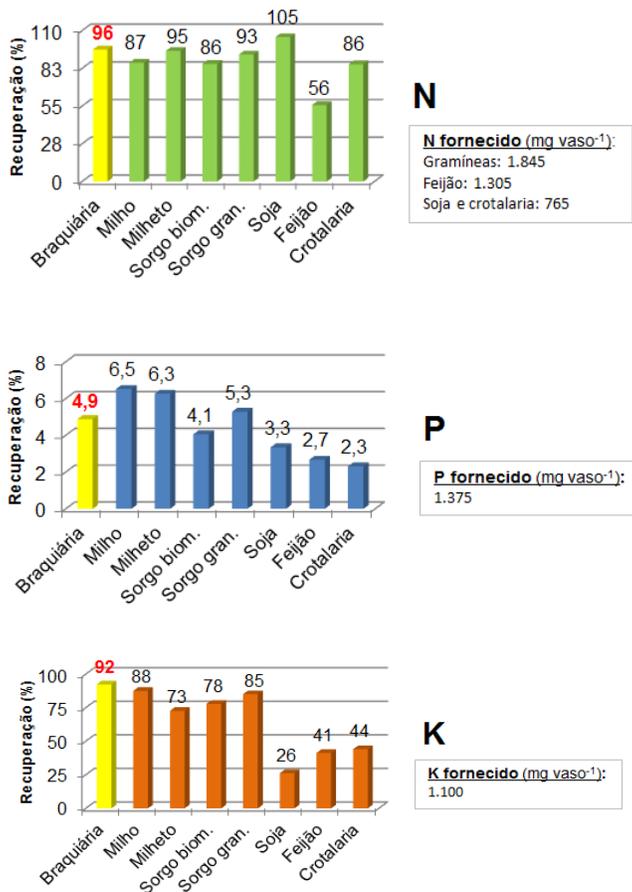


Figura 2. Recuperação aparente de N, P e K fornecidos na adubação, com base no acúmulo dos nutrientes na parte aérea da braquiária e de outras culturas, após 36 dias de cultivo em vasos. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas-MG.



Foto: Alvaro Vilela de Resende

Figura 3. Visão comparativa do porte de plantas aos 36 dias após a semeadura. Da esquerda para a direita: milho, milheto, sorgo granífero, sorgo biomassa, soja, feijão, crotalária e braquiária. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas-MG.

Em condições de campo, a braquiária desenvolve sistema radicular robusto, que pode alcançar vários metros de profundidade no solo, o que a faz especialmente apta a recuperar nutrientes que lixiviam no perfil para abaixo da zona de exploração radicular das culturas comerciais. De acordo com Salton e Tomazi (2014), a produção de raízes é ainda maior quando a braquiária é pastejada e emite novos perfilhos, como no caso dos sistemas de Integração Lavoura-Pecuária (ILP).

Impactos de curto prazo da presença de braquiária no aporte de restos culturais, na recuperação e ciclagem de N, P e K, e no teor de matéria orgânica no solo

Nos experimentos em ambiente de lavoura em Unaí-MG, a introdução da braquiária impactou negativamente a produtividade de grãos do sorgo, independentemente dos níveis de adubação, indicando a necessidade de ajustes para o controle cultural no consórcio dessas espécies. Todavia, o sistema consorciado promoveu incremento na quantidade de resíduos para formação de palhada e cobertura do solo, resultando em significativo ganho de

produtividade da soja no cultivo subsequente (dados não apresentados). A mudança mais imediata observada na dinâmica/fluxo de nutrientes, por causa da braquiária, foi com relação à maior ciclagem e correspondente aumento da disponibilidade de K nas camadas mais superficiais do solo (até 10 cm de profundidade). A presença da braquiária também fez com que maior proporção de N e P permanecesse armazenada na palhada, incrementando a participação do compartimento orgânico na reserva desses nutrientes no sistema.

Na média dos tratamentos de adubação, descontada a biomassa seca de grãos, a quantidade de restos culturais no consórcio foi 44% maior do que no cultivo de sorgo solteiro, em avaliação realizada à época da colheita, sendo essa diferença devida essencialmente à produção de massa seca de parte aérea pela braquiária. Atrelando as informações da amostragem de raízes em trincheiras, realizada cerca de 90 dias depois da colheita, e ponderadas as limitações desse tipo de avaliação, é válido atentar para o incremento de 198% na biomassa radicular coletada até um metro no sistema consorciado, comparativamente ao cultivo solteiro. Em subsuperfície, entre 40 cm e 100 cm de profundidade, a braquiária proporcionou um incremento de 190% na massa seca de raízes (Figura 4).

As diferenças nas características de raízes coletadas no mês de novembro de 2019, por volta de 90 dias depois da colheita do sorgo, refletem a grande capacidade de enraizamento da braquiária e sua sobrevivência mesmo durante a estação seca. Em média, comprimento, volume e área superficial de raízes coletadas nos tratamentos que tiveram braquiária foram muito superiores aos valores mensurados naqueles apenas com sorgo solteiro, até camadas mais profundas no perfil (Tabela 5).

A decomposição dessas raízes leva à produção de matéria orgânica, inclusive em camadas subsuperficiais, onde o tempo de residência é maior, sendo tais condições especialmente desejáveis quando se visa aumentar o estoque de carbono no solo. Verifica-se, portanto, que a contribuição da braquiária para a recarbonização de solos agrícolas representa um grande potencial a ser explorado na composição de sistemas de produção mais sustentáveis sob o ponto de vista de qualidade ambiental, servindo também como fator de compensação no balanço de carbono das atividades agropecuárias.

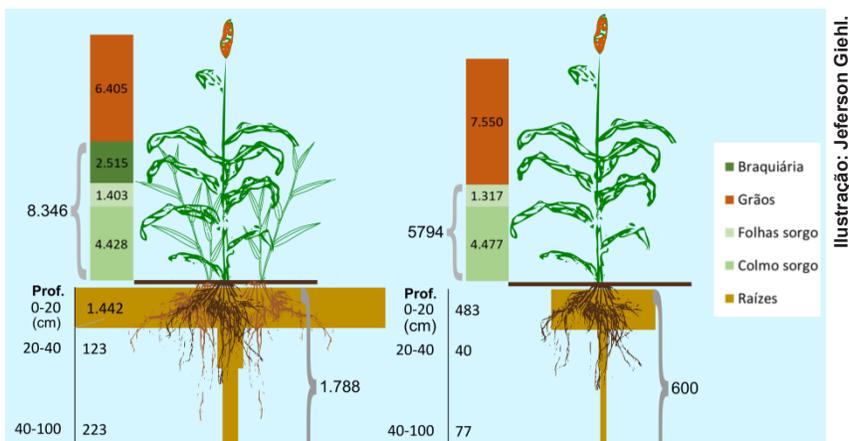


Figura 4. Produção de biomassa seca (kg ha^{-1}) de componentes da parte aérea e de raízes em sistemas de sorgo consorciado com braquiária *ruziensis* e solteiro, na segunda safra 2019. Média de três níveis de adubação. Fazenda Decisão, Unai-MG.

Tabela 5. Características quantitativas de amostras de raízes coletadas oito meses após o cultivo de sorgo com (C/braq) ou sem braquiária (S/braq) em consórcio, na segunda safra 2019. Amostragem em novembro de 2019. Média de três níveis de adubação. Fazenda Decisão, Unai-MG.

Profundidade (cm)	Comprimento (cm cm^{-3})		Diâmetro (mm)		Volume ($\text{mm}^3 \text{cm}^{-3}$)		Área superficial ($\text{mm}^2 \text{cm}^{-3}$)	
	C/braq	S/braq	C/braq	S/braq	C/braq	S/braq	C/braq	S/braq
0-20	1,14 a	0,58 b	0,50 a	0,35 b	2,27 a	0,50 b	17,95 a	5,96 b
20-40	0,26 a	0,07 b	0,32 a	0,33 a	0,20 a	0,06 b	2,58 a	0,70 b
40-100	0,26 a	0,09 b	0,26 a	0,25 a	0,13 a	0,04 b	2,09 a	0,70 b

Médias seguidas de letras iguais, na linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Os incrementos de biomassa vegetal acima e abaixo da superfície do solo, ligados à presença da braquiária, resultaram em modificações nos fluxos e estoques de nutrientes nos compartimentos solo-planta/palhada. A análise dos tecidos e o cálculo do conteúdo de nutrientes permitiram quantificar os impactos de um primeiro cultivo consorciado sobre a alocação de N e de equivalentes de P_2O_5 e de K_2O na biomassa de raízes e das estruturas da parte aérea que formam os restos culturais. O consórcio com braquiária propiciou que maiores quantidades fossem acumuladas e temporariamente estocadas nos tecidos vegetais (Figuras 5, 6 e 7), podendo assim ser considerado um sistema mais conservativo dos nutrientes fornecidos na adubação.

Em que pese a reconhecida capacidade do sorgo de desenvolver sistema radicular robusto e com elevada capacidade de absorção de nutrientes (Borges et al., 2016), a braquiária potencializa os processos de extração e, consequentemente, de posterior reciclagem. Somados os conteúdos presentes na parte aérea e nas raízes (Figuras 5, 6 e 7), o sistema consorciado armazenou, a mais nos restos culturais, o equivalente a cerca de 34 kg ha⁻¹ de N (acréscimo de 65%), 9 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (acréscimo de 100%), e 87 kg ha⁻¹ de K₂O (acréscimo de 54%). Trata-se de um diferencial da maior relevância, considerando o desafio de manter os nutrientes derivados da adubação em circulação no sistema e acessíveis às culturas que virão na sequência, ao mesmo tempo em que se previnem processos de perda ou fenômenos de indisponibilização.

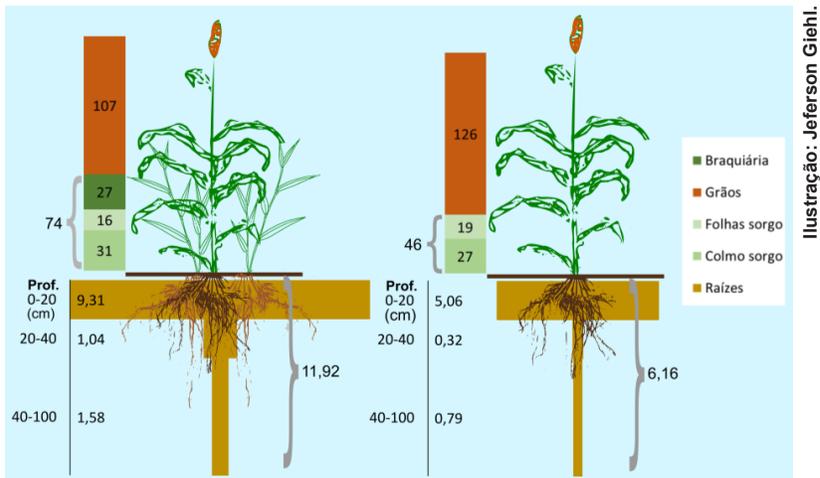


Figura 5. Alocação de nitrogênio (N, em kg ha⁻¹) na biomassa de componentes da parte aérea e de raízes, em sistemas de sorgo consorciado com braquiária *ruziensis* e solteiro, na segunda safra 2019. Média de três níveis de adubação. Fazenda Decisão, Unaí-MG.

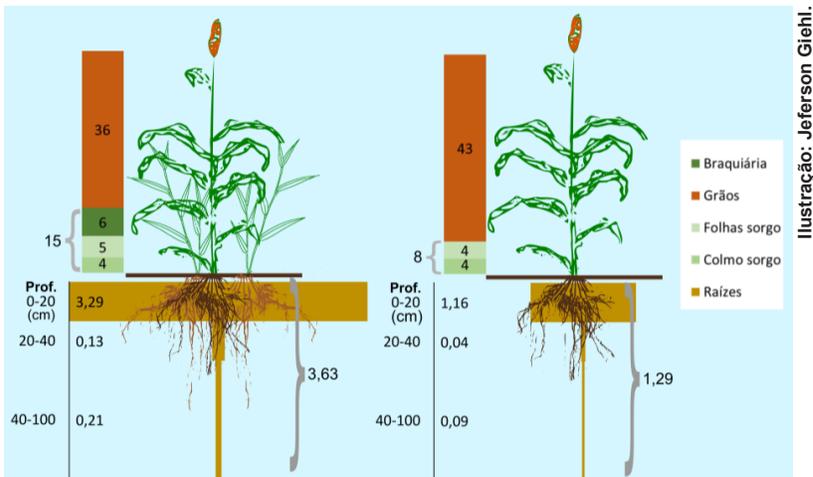


Figura 6. Alocação de fósforo (equivalente P_2O_5 , em $kg\ ha^{-1}$) na biomassa de componentes da parte aérea e de raízes, em sistemas de sorgo consorciado com braquiária ruziziensis e solteiro, na segunda safra 2019. Média de três níveis de adubação. Fazenda Decisão, Unai-MG.

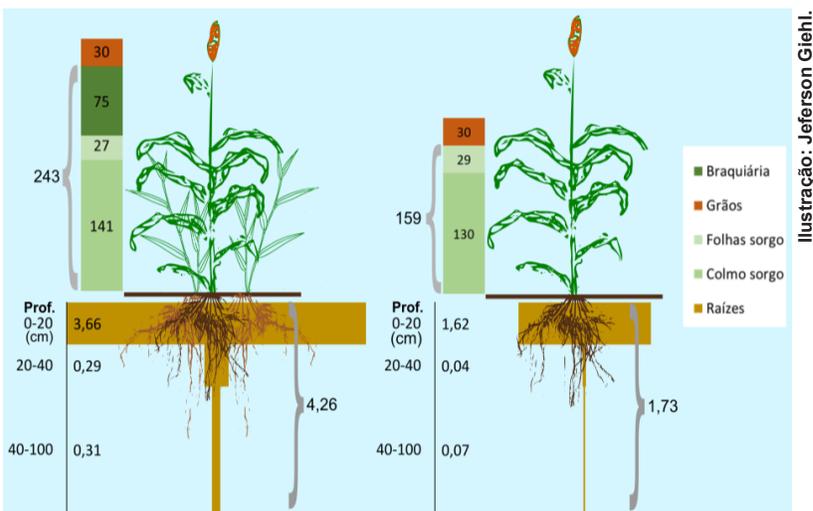


Figura 7. Alocação de potássio (equivalente K_2O , em $kg\ ha^{-1}$) na biomassa de componentes da parte aérea e de raízes, em sistemas de sorgo consorciado com braquiária ruziziensis e solteiro, na segunda safra 2019. Média de três níveis de adubação. Fazenda Decisão, Unai-MG.

Esses resultados alinham-se com as informações disponíveis na literatura. No caso do nitrogênio, Almeida et al. (2018) determinaram, por balanço de ^{15}N , que o consórcio milho-braquiária proporcionou índice de recuperação de 86,9% do fertilizante, frente a 82,4% no cultivo solteiro, sem que tenha havido interferência na nutrição e produtividade do milho. O sistema radicular da braquiária *ruziensis* alcança maiores profundidades no solo do que as culturas anuais em geral, com raízes finas e muitos pelos absorventes, apresentando elevado potencial de extração de K (Rosolem et al., 2012), inclusive da forma não-trocável (Volf et al., 2018), além de outros nutrientes (Bogiani; Ferreira, 2017). O K foi o nutriente absorvido em maior quantidade (até 150 kg ha^{-1}) por essa espécie de braquiária e por outras gramíneas forrageiras estudadas em consórcio com o milho, seguido do N (Mendonça et al., 2015). Na avaliação da ciclagem durante o cultivo da soja sobre as palhadas, esses autores observaram que 100% do K foi liberado em até 90 dias, enquanto para N, P, Ca e Mg o processo se prolongou por mais tempo, embora, em geral, expressiva proporção de todos os nutrientes tenha sido disponibilizada nos primeiros 30 dias.

De fato, na lavoura de Unai-MG, o K foi o nutriente cuja disponibilidade e dinâmica no perfil do solo foram mais sensivelmente alteradas em resposta aos tratamentos de adubação e à presença da braquiária. As diferenças se refletiram nos teores disponíveis no solo, determinados a partir da amostragem em trincheiras antecedendo o cultivo seguinte de soja (novembro de 2019). Os contrastes envolvendo as profundidades onde o K se encontrava mais ou menos concentrado podem ser atribuídos ao papel das duas gramíneas. Assim, a ação do sorgo, amplificada pela da braquiária, promoveu a remobilização do K de regiões mais profundas do perfil e posterior ciclagem com deposição nas camadas superficiais (Figura 8).

A disponibilidade de K na camada mais superficial (0-5 cm) foi significativamente maior no experimento com braquiária e tratamento com “Adubação de restituição” (Figura 8). Tal resultado está coerente com o maior aporte cumulativo de K nesse nível de adubação nos cultivos de soja e de sorgo (Tabela 3). Embora sem significância estatística, a braquiária parece ter acentuado a absorção do K em maiores profundidades no perfil, remobilizando o nutriente e disponibilizando-o novamente em superfície (Figura 8). Em média, esses processos foram responsáveis pelo estoque de cerca de 40 kg ha^{-1} a mais,

em equivalente K_2O , na camada de 0-5 cm do experimento com braquiária (Figura 9).

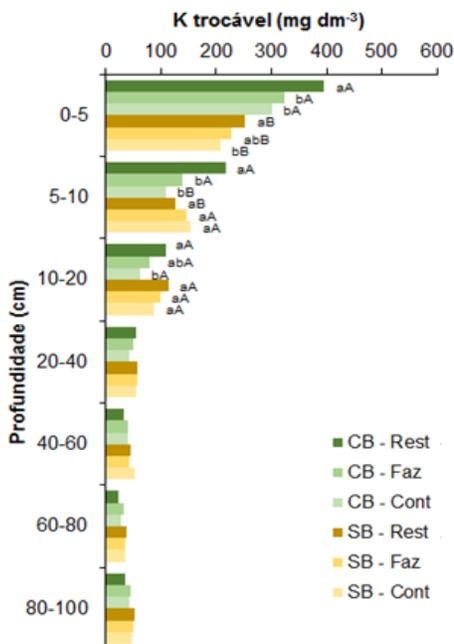


Figura 8. Teores de K trocável (Mehlich 1) no perfil do solo, após cultivo de sorgo com braquiária (CB) ou sem (SB), nos tratamentos com Adubação de Restituição (Rest), Adubação da Fazenda (Faz) e Controle sem NPK (Cont). Amostragem em novembro de 2019. Fazenda Decisão, Unai-MG. Para cada camada de amostragem, letras minúsculas comparam os tratamentos de adubação em cada experimento (com ou sem braquiária) e letras maiúsculas comparam a presença e ausência de braquiária em cada tratamento de adubação. Letras iguais indicam que as médias não diferem pelo teste de Tukey a 5%. A ausência de letras indica efeitos não significativos.

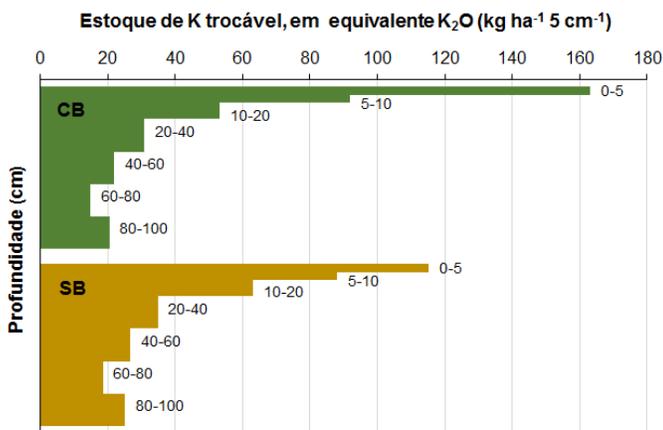


Figura 9. Estoques disponíveis de potássio, em equivalente K_2O , a cada 5 cm nas respectivas camadas de amostragem no perfil, nos experimentos com (CB) e sem (SB) braquiária no sistema. Média de três níveis de adubação. Amostragem em novembro de 2019. Fazenda Decisão, Unaí-MG.

No outro extremo, a combinação do tratamento “Controle” sem adubação NPK, na ausência da braquiária, expressou certo esgotamento da reserva disponível no sistema, apresentando teor significativamente mais baixo de K na camada de 0-5 cm (Figura 8), onde há maior atividade radicular das culturas em geral.

Os resultados das Figuras 8 e 9 comprovam que a braquiária promove a manutenção de maiores quantidades de K disponível superficialmente no solo já a partir de um primeiro ciclo de inserção como planta de cobertura no sistema de produção de grãos, e de forma proporcional aos níveis de adubação. A pronta liberação na superfície do solo se dá com as primeiras chuvas na palhada, por simples “lavagem”, uma vez que este nutriente não é estruturalmente ligado aos constituintes mais recalcitrantes dos tecidos vegetais (Mendonça et al., 2015). Portanto, confirmou-se a aptidão dessa espécie forrageira em captar “excedentes da adubação” não absorvidos pelas culturas principais e conservar fluxos de K circulando no sistema solo-palhada, de modo a favorecer seu aproveitamento pelos cultivos subsequentes e prevenindo perdas para fora da zona de desenvolvimento radicular das espécies de interesse comercial.

Outros nutrientes monitorados no solo não foram tão marcadamente influenciados quanto o K pelos níveis de adubação e pela braquiária. Em princípio, o comportamento de nutrientes como o N e o P tem maior variabilidade intrínseca, com resultados mais afetados pelos próprios procedimentos de amostragem, além de possíveis limitações analíticas. Por essa razão, talvez a dinâmica de N e P nos sistemas com braquiária possa ser mais bem compreendida ao se avaliarem efeitos de longo prazo.

A matéria orgânica no solo não se alterou em curto prazo pela presença da braquiária no sistema ou pelos níveis de adubação. Mesmo o teor de carbono lábil, uma fração mais sensível às intervenções de manejo, apresentou respostas inconclusivas em princípio, apesar de se detectarem diferenças estatisticamente significativas entre tratamentos para as camadas de 0-5 cm e 5-10 cm do perfil (Figura 10). Considerando que houve aporte extra de biomassa de raízes (Figura 4), embora relativo a apenas um ciclo de braquiária com duração ao redor de oito meses, incluindo a estação seca, é provável que o tempo decorrido tenha sido insuficiente para a atuação do processo de decomposição que leva à formação de matéria orgânica.

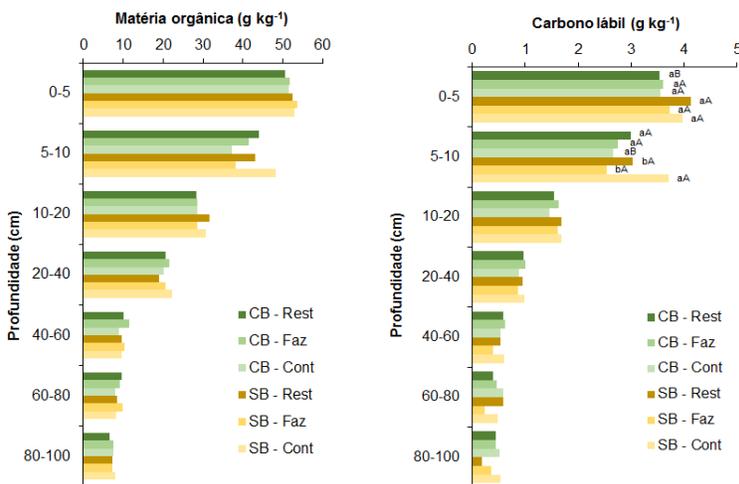


Figura 10. Teores de matéria orgânica e de carbono lábil no perfil do solo, após cultivo de sorgo com braquiária (CB) ou sem (SB), nos tratamentos com Adubação de Restituição (Rest), Adubação da Fazenda (Faz) e Controle sem NPK (Cont). Amostragem em novembro de 2019. Fazenda Decisão, Unaí-MG. Para cada camada de amostragem, letras minúsculas comparam os tratamentos de adubação em cada experimento (com ou sem braquiária) e letras maiúsculas comparam a presença e ausência de braquiária em cada tratamento de adubação. Letras iguais indicam que as médias não diferem pelo teste de Tukey a 5%. A ausência de letras indica efeitos não significativos.

Impactos de longo prazo do plantio direto com inserção da braquiária: recarbonização do solo e estocagem de K

O experimento de longo prazo, conduzido em Santa Helena de Goiás-GO, evidenciou que o plantio direto com rotação soja, milho e algodão, incluindo-se a braquiária como planta de cobertura, promove incremento de matéria orgânica no solo em relação a modalidades de sistemas com preparo convencional, sobretudo na camada de 0-5 cm no perfil (Figura 11).

Na maior profundidade amostrada (60-100 cm) também houve diferença, possivelmente atribuída à contribuição da braquiária, que é capaz de desenvolver raízes abundantes abaixo da zona normalmente explorada pelas culturas comerciais (Figura 4). Desse modo, constata-se que a adoção do plantio direto com inserção da braquiária é uma estratégia efetiva de recarbonização do solo em sistemas de produção agrícola e esse processo também resulta na geração de cargas negativas para a retenção de cátions pela matéria orgânica.

No que diz respeito à disponibilidade de K, a braquiária favoreceu a recirculação e ciclagem, conservando o nutriente na camada de 0-5 cm em longo prazo (Figura 11), similarmente aos resultados observados em curto prazo (Figura 8). Considerando-se a correlação positiva existente entre matéria orgânica e capacidade de troca de cátions (CTC) do solo (Silva et al., 1994; Ramos et al., 2018), é de se esperar que, concomitantemente ao aumento dos níveis de matéria orgânica, tenha havido incremento na CTC, contribuindo para ampliar a capacidade de retenção e acúmulo de K mais superficialmente no tratamento envolvendo plantio direto com braquiária. Prova disso é o contraste observado na distribuição do K no perfil entre este tratamento e a monocultura de algodão em preparo convencional (Figura 11). Conforme reportado em Ferreira et al. (2022), esses dois tratamentos foram os que apresentaram maiores estoques de K no perfil após nove anos, porém, o sistema de monocultura em preparo convencional refletiu em maior proporção de K presente nas camadas mais profundas, com 48% do total disponível estocado abaixo de 30 cm de profundidade, enquanto, no plantio direto com braquiária, 68% do total permaneceu nas camadas acima de 30 cm.

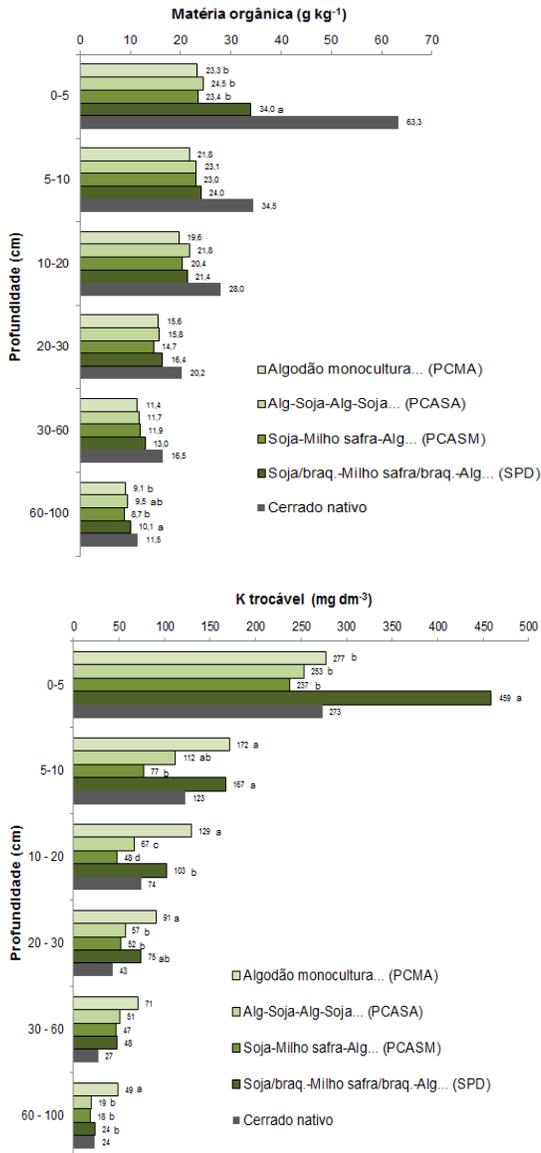


Figura 11. Teores de matéria orgânica e de K trocável (Mehlich 1) no perfil do solo, após nove anos de cultivo em diferentes sistemas de produção de algodão, em preparo convencional (PC) e plantio direto com inserção de braquiária ruziziensis (SPD). Santa Helena de Goiás-GO. Fonte: Adaptado de Ferreira et al. (2022). Para cada camada de amostragem, médias seguidas de mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey a 5%. A ausência de letras indica efeitos não significativos.

Assim, a braquiária exerce papel ativo em aspectos relevantes para a fertilidade do solo, ao contribuir para maior incremento de matéria orgânica (Salton e Tomazi, 2014) e ao promover a recuperação do K em profundidade no perfil e sua posterior disponibilização na camada superficial (Figura 11). Combinados esses processos, o K é recirculado, retido no solo e mantido ao alcance das raízes das culturas de interesse comercial, graças à CTC decorrente do maior conteúdo de matéria orgânica, com reflexo direto na capacidade tampão de K do solo, sustentando um nível de disponibilidade mais elevado ao longo do tempo, mas com menor propensão a perdas por lixiviação.

Considerações finais

As informações apresentadas nesta publicação ilustram apenas uma parte dos benefícios que a braquiária proporciona quando posicionada na composição de sistemas de produção de culturas anuais.

O estudo em condições controladas (vasos) permitiu destacar a grande capacidade de absorção de nutrientes do solo pela braquiária, equiparável à de culturas gramíneas e superior à de leguminosas produtoras de grãos. Uma vez que na utilização da braquiária como planta de cobertura não há remoção pela colheita, os nutrientes acumulados permanecem no sistema, sendo novamente disponibilizados pela decomposição dos resíduos durante os cultivos subsequentes. Nestas condições, pode-se considerar que a planta de braquiária funciona como uma verdadeira “fonte protegida e de liberação gradual” de nutrientes.

O estudo de curto prazo (avaliação de um ciclo) em ambiente de lavoura confirmou que a introdução da braquiária contribui para melhor recuperação e conservação dos nutrientes derivados das adubações no sistema de produção. No caso do K, a braquiária promove incremento expressivo no estoque disponível no solo para o cultivo imediatamente posterior, equivalente a até 40 kg ha⁻¹ de K₂O, considerando somente a camada de 0-5 cm do perfil. Isso se deve à absorção/remobilização do nutriente em camadas mais profundas e à sua rápida liberação na superfície com as primeiras chuvas após a dessecação ou ceifa das plantas. Contudo, ao final de um primeiro ciclo no sistema, a contribuição da braquiária aportando mais biomassa de raízes não chega a modificar os níveis de matéria orgânica no solo.

Esse efeito pôde ser constatado no estudo de longa duração (avaliação após nove anos), onde o plantio direto com inserção da braquiária em sistema de rotação com soja, milho e algodão, resultou em aumento do teor de matéria orgânica na camada superficial do solo, o que favorece a manutenção de níveis mais elevados de disponibilidade de K. Dessa forma, comprovou-se que, além de ser uma estratégia efetiva de recarbonização do solo, o plantio direto com braquiária promove a captação de “nutrientes excedentes das adubações”, retendo e estocando-os ao alcance das raízes das culturas comerciais, ao mesmo tempo em que reduz o risco de perdas por lixiviação.

As evidências ora apresentadas devem estimular iniciativas para ampla utilização da braquiária e espécies afins como componente dos sistemas de produção de culturas anuais. Um cuidado inicial refere-se aos ajustes no manejo da forrageira, para que sejam nulas ou mínimas as interferências negativas no desempenho produtivo das culturas principais, especialmente no caso dos consórcios. Dominado esse aspecto, as vantagens podem se traduzir numa combinação de ganhos econômicos, uso mais eficiente de fertilizantes, maior estabilidade de produção, melhor qualidade do solo e agregação de serviços ambientais na propriedade rural.

Agradecimentos

À Fundação Agrisus (Processo 2484/18), à Yara Brasil (Processo 20700.19/0050-5), à Embrapa (Projeto 20.18.03.026.00.00) e ao Fundo de Incentivo à Cultura do Algodão de Goiás (Fialgo), pelo suporte financeiro. À Fazenda Decisão e à Fundação Goiás, pela cessão de áreas, maquinário e apoio operacional para a instalação e condução de experimentos.

Referências

ALMEIDA, R. E. M.; FAVARIN, J. L.; OTTO, R.; FRANCO, H.; REIS, A. F. B.; MOREIRA, L. A.; TRIVELIN, P. Nitrogen recovery efficiency for corn intercropped with palisade grass. **Bragantia**, v. 77, n. 4, p. 557-566, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2017242>.

BATAGLIA, O. C.; FERRAREZI, R. S.; FURLANI, P. R.; MEDINA, C. L. **Projeto fósforo no sistema de plantio direto - Projeto Agrisus PA-541-09**: relatório final. São Paulo: Fundação Agrisus, 2009. 30 p. Disponível em: http://www.agrisus.org.br/arquivos/PA541_Fosforo.pdf Acesso em: 1 set. 2021.

BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 46, p. 1459-1466, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1071/AR9951459>.

BOGIANI, J. C.; FERREIRA, A. C. B. Plantas de cobertura no sistema soja-milho-algodão no cerrado. **Informações Agrônômicas**, n. 160, p. 1-15, 2017.

BORGES, I. D.; FRANCO, A. A. N.; KONDO, M. K.; MARTINS, D. C.; TEIXEIRA, E. C.; MOREIRA, S. G. Acúmulo de macronutrientes na cultura do sorgo granífero na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 2, p. 294-304, 2016. DOI: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v15n2p294-304>.

BRAZ, A. J. B. P.; SILVEIRA, P. M.; KLIEMANN, H. J.; ZIMMERMANN, F. J. P. Acumulação de nutrientes em folhas de milheto e dos capins braquiária e mombaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 34, n. 2, p. 83-87, 2004.

CORBEELS, M.; MARCHÃO, R. L.; SIQUEIRA NETO, M.; FERREIRA, E. G.; MADARI, B. E.; SCOPEL, E.; BRITO, O. R. Evidence of limited carbon sequestration in soils under no-tillage systems in the Cerrado of Brazil. **Scientific Reports**, v. 6, 21450, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep21450>.

CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S.; BORGHI, E.; SORATTO, R. P.; MARTINS, P. O. Improving soil fertility and crop yield in a tropical region with palisadegrass cover crops. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 6, p. 2271-2280, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.2134/agronj14.0603>.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P. Sistemas de produção e eficiência agrônômica de fertilizantes. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (ed.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**: contexto atual e práticas de suporte. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2010. v. 1, p. 228-275.

ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 75, n. 4, p. 529-538, 1995. DOI: <https://doi.org/10.4141/cjss95-075>.

FERREIRA, A. C. B.; BORIN, A. L. D. C.; LAMAS, F. M.; FERREIRA, G. B.; RESENDE, A. V. Exchangeable potassium reserve in a Brazilian savanna Oxisol after nine years under different cotton production systems. **Scientia Agricola**, v. 79, n. 4, e20200339, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2020-0339>.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>.

FREITAS, R. J.; NASCENTE, A. S.; SANTOS, F. L. S. População de plantas de milho consorciado com *Urochloa ruziziensis*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 1, p. 79-87, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1983-40632013000100011>.

LAL, R.; NEGASSA, W.; LORENZ, K. Carbon sequestration in soil. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 15, p. 79-86, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.09.002>.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MATHEW, I.; SHIMELIS, H.; MUTEMA, M.; MINASNY, B.; CHAPLOT, V. Crops for increasing soil organic carbon stocks: a global meta analysis. **Geoderma**, v. 367, e114230, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114230>.

MENDONÇA, V. Z.; MELLO, L. M. M.; ANDREOTTI, M.; PARIZ, C. M.; YANO, E. H.; PEREIRA, F. C. B. L. Liberação de nutrientes da palhada de forrageiras consorciadas com milho e sucessão com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 183-193, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbcS20150666>.

PEREIRA, F. C. B. L.; MELLO, L. M. M.; PARIZ, C. M.; MENDONÇA, V. Z.; YANO, E. H.; MIRANDA, E. E. V.; CRUSCIOL, C. A. C. Autumn maize intercropped with tropical forages: crop residues, nutrient cycling, subsequent soybean and soil quality. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, e0150003, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20150003>.

RAMOS, F. T.; DORES, E. F. G. C.; WEBER, O. L. S.; BEBER, D. C.; CAMPELO JÚNIOR, J. H.; MAIA, J. C. S. Soil organic matter doubles the cation exchange capacity of tropical soil under no-till farming in Brazil. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 9, p. 3595-3602, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.8881>.

RESENDE, A. V.; FONTOURA, S. M. V.; BORGHI, E.; SANTOS, F. C.; KAPPES, C.; MOREIRA, S. G.; OLIVEIRA JÚNIOR, A.; BORIN, A. L. D. C. Solos de fertilidade construída: características, funcionamento e manejo. **Informações Agronômicas**, v. 156, p. 1-17, 2016.

ROSOLEM, C. A.; VICENTINI, J. P. T. M. M.; STEINER, F. Suprimento de potássio em função da adubação potássica residual em um Latossolo Vermelho do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1507-1515, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000500015>.

SÁ, J. C. M.; SÉGUY, L.; TIVET, F.; LAL, R.; BOUZINAC, S.; BORSZOWSKI, P. R.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J. B.; HARTMAN, D. C.; BERTOLONI, C. G.; ROSA, J.; FRIEDRICH, T. Carbon depletion by plowing and its restoration by no-till cropping systems in Oxisols of subtropical and tropical agro-ecoregions in Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 26, n. 6, p. 531-543, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.2218>.

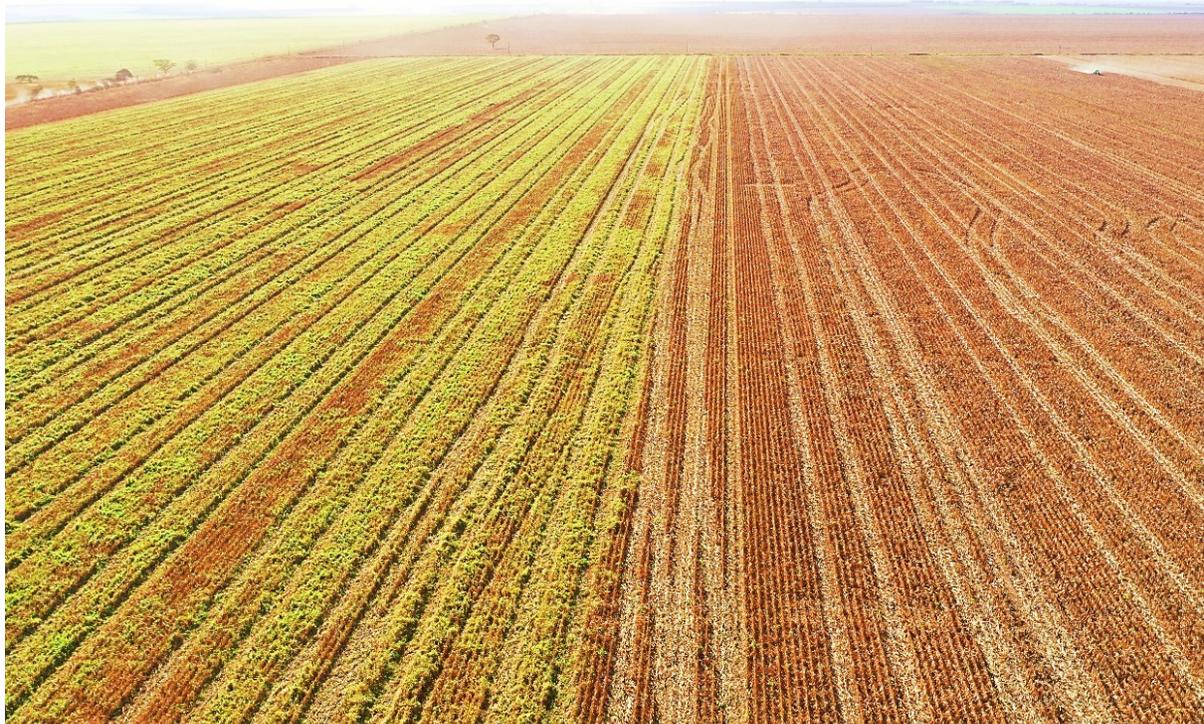
SALTON, J. C.; TOMAZI, M. **Sistema radicular de plantas e qualidade do solo**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2014. 5 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado Técnico, 198).

SILVA, F. C. (ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

SILVA, J. E.; LEMAINSKI, J.; RESK, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de Cerrados do Oeste Baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, n. 3, p. 541-547, 1994.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.

VOLF, M. R.; GUIMARÃES, T. M.; SCUDELETTI, D.; CRUZ, I. V.; ROSOLEM, C. A. Potassium dynamics in ruzigrass rhizosphere. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, e0170370, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20170370>.



Esta publicação está disponível no endereço:
<https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo/publicacoes>

Embrapa Milho e Sorgo
Rod. MG 424 Km 45
Caixa Postal 151
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG
Fone: (31) 3027-1100
Fax: (31) 3027-1188
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

1ª edição
Publicação digital (2021)

Embrapa

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

Comitê Local de Publicações
da Unidade Responsável

Presidente
Maria Marta Pastina

Secretário-Executivo
Elena Charlotte Landau

Membros
Cláudia Teixeira Guimarães, Mônica Matoso
Campanha, Roberto dos Santos Trindade e
Mária Cristina Dias Paes

Revisão de texto
Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica
Rosângela Lacerda de Castro (CRB 6/2749)

Tratamento das ilustrações
Mônica Aparecida de Castro

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Mônica Aparecida de Castro

Foto da capa
Samuel Abreu

*Vista dos experimentos com (esquerda) e sem
braquiária (direita) após colheita de
sorgo segunda safra 2019.
Fazenda Decisão, Unai-MG.*

CGPE 017085