

## Capítulo 5

---

### **Construção da Fertilidade do Solo e Manutenção de Ambientes de Elevado Potencial Produtivo**

*Álvaro Vilela de Resende*

*Eduardo de Paula Simão*

*Miguel Marques Gontijo Neto*

*Emerson Borghi*

*Flávia Cristina dos Santos*

### **Introdução**

A exploração de culturas anuais, especialmente de soja e milho, tem tido participação crescente em proporções da área, da produção e do mercado no segmento agrícola, com reflexos positivos e muito significativos no PIB do Brasil. Esse notável desempenho se deve aos avanços tecnológicos envolvendo melhoramento genético e tratamentos culturais diversos, que possibilitaram intensificar o uso da terra, obtendo-se mais de uma colheita por ano em condições de sequeiro. Um dos pilares de sustentação dos sistemas de produção atuais é a melhoria da fertilidade dos ambientes de cultivo, pelo uso de corretivos e fertilizantes, que, adequadamente realizado, permite superar as condições químicas originalmente restritivas ao desenvolvimento de lavouras em solos tropicais.

O condicionamento inicial do perfil do solo para viabilizar sua utilização agrícola, por meio da incorporação de calcário e de adubações corretivas, é comumente referido como a etapa de “construção da fertilidade”. Contudo, para o efetivo

estabelecimento e manutenção de ambientes de alto potencial produtivo são requeridos procedimentos encadeados de diagnóstico e de manejo do solo e das culturas ao longo do tempo, visando prover qualidade química, física e biológica ao substrato de crescimento (Kappes & Zancanaro, 2014), para que as plantas possam utilizar eficientemente os recursos disponíveis (água, nutrientes, luz) e o produtor tire máximo proveito do potencial genético das cultivares utilizadas.

Sob essa ótica, os solos de fertilidade construída são resultado não apenas dos aportes de corretivos e fertilizantes, mas também da implementação de práticas mecânicas, edáficas e vegetativas que favorecem a conservação do solo, a infiltração da água das chuvas, a preservação da matéria orgânica (MOS) e a retenção de umidade no perfil. Deve-se frisar que todos esses benefícios estão associados à aplicação das premissas do sistema plantio direto (SPD), quais sejam, o não revolvimento do solo, a manutenção de palhada cobrindo sua superfície e a adoção da rotação de culturas. Esse processo de melhoria só se consolida após algum tempo, geralmente mais de três anos, requerendo fundamentos técnico-científicos e esmero do produtor, de modo que a busca constante por aprimoramentos no sistema de produção passe a fazer parte da rotina da fazenda.

Infelizmente, nem todos têm acesso aos meios ou reconhecem a importância dos cuidados com o solo para garantia de boas produtividades e, principalmente, para a estabilidade de produção frente à inconstância do clima e de outros fatores que interferem nas lavouras. Conseqüentemente, é comum encontrar, mesmo numa região com oferta ambiental homogênea (tipo de solo, precipitação pluviométrica,

luminosidade, etc.), lavouras com condições muito distintas de vigor e potencial produtivo.

Ao longo da última década, o cultivo do “milho safrinha” após a colheita da soja no verão consolidou-se como a principal modalidade de produção do cereal no País, superando o milho safra em área plantada e quantidade de grãos colhida (CONAB, 2017). Nesse contexto, atualmente a sucessão soja/milho safrinha constitui o padrão modal de sistemas de produção de grãos em extensas áreas, sobretudo na região Centro-Sul e marcadamente no bioma Cerrado. Embora sem dúvida seja um avanço em relação às monoculturas, a simples repetição da sequência soja/milho safrinha, de forma continuada ao longo dos anos, não é a situação ideal. Isso porque, além de não cumprir o requisito de rotação de culturas do SPD, acaba por representar uma condição de cultivo muito simplificada, favorecendo o surgimento de problemas de solo e fitossanitários. Cabe, portanto, envidar esforços para se aumentar a diversidade vegetal nas áreas dedicadas ao sistema soja/milho safrinha, seja pela alternância com outras culturas de valor comercial seja pela inserção de espécies de plantas de cobertura.

Um agravante é que, muitas vezes, o milho safrinha vem sendo cultivado sem maiores cuidados com a adubação do sistema, fiando-se no suposto residual da adubação realizada para a soja. Apesar da menor responsividade do milho safrinha à adubação, comparativamente ao milho safra, o potencial genético das sementes utilizadas é elevado e, sob condições climáticas e fitossanitárias favoráveis, a produtividade na safrinha pode surpreender. Os altos níveis de produtividade atualmente alcançados, tanto na soja quanto no milho

safrinha em algumas lavouras, podem implicar significativa remoção de nutrientes nas colheitas. Numa visão de mais longo prazo, é preciso entender que, sem manejo coerente, mesmo os solos de fertilidade construída estão sujeitos a desequilíbrios e carências de determinados nutrientes, que acabam por comprometer o desempenho do sistema como um todo. É preciso ficar claro que, se não for dada atenção aos requerimentos nutricionais do milho safrinha, a produtividade poderá se dar à custa do esgotamento das reservas existentes no solo, impactando inclusive o teor de matéria orgânica, componente imprescindível à sustentabilidade do sistema.

Nesta publicação são abordados aspectos relacionados à construção da fertilidade no perfil de solo e a estratégias para manutenção de ambientes de elevado potencial produtivo, para sistemas envolvendo a cultura do milho safrinha. Também são discutidas implicações para a estabilidade do sistema de produção, decorrentes de eventuais omissões ou negligências no manejo nutricional do milho safrinha.

### **Estabelecimento e Manutenção de Ambientes de Fertilidade Construída**

Embora normalmente técnicos e produtores associem as estratégias para construção da fertilidade do solo à fase de abertura de novos talhões para a agricultura, frequentemente se detectam problemas em áreas de cultivo supostamente consolidadas, cuja solução adequada depende da aplicação de alguma prática de construção da fertilidade. Um exemplo comum é a identificação de lavouras em SPD com elevada acidez logo abaixo dos primeiros centímetros do perfil, levando

à necessidade de se efetuar o revolvimento do solo para suficiente incorporação de calcário. Neste caso, geralmente o manejo da acidez foi falho no estabelecimento inicial e na manutenção do SPD. Portanto, a qualquer tempo, um correto diagnóstico do solo é imprescindível para se alcançar e manter a condição de fertilidade construída.

A análise do solo é o instrumento balizador da definição de quanto de cada insumo precisa ser aplicado numa dada condição. Tendo como referências os níveis críticos de atributos de fertilidade sugeridos para uma determinada região (**Tabelas 1, 2, 3 e 4**) é possível confrontar os resultados da análise e, prosseguindo com consultas a tabelas ou fórmulas indicadas nos manuais, chega-se às quantidades de corretivos, condicionadores de solo e fertilizantes mais apropriadas a cada situação (Resende et al., 2016a).

Nas **Tabelas 1, 2 e 3** são apresentados indicadores de condições mínimas a serem estabelecidas para construção da fertilidade, respectivamente, para solos da região do Cerrado e para os estados de São Paulo, do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Um exemplo de particularização e ajuste desses indicadores consta na **Tabela 4**, em que os valores propostos foram estabelecidos considerando as condições edafoclimáticas e os sistemas de cultivo característicos da área de atuação da Cooperativa Agrária, sediada em Guarapuava-PR. O uso de critérios regionalizados mais específicos, de preferência validados localmente, é um requisito importante quando se busca aprimorar a gestão de solos de fertilidade construída em âmbito local, pois, para esse objetivo, a adoção de indicadores desenvolvidos de forma genérica para um estado ou bioma constitui uma simplificação precária.

**Tabela 1.** Valores de referência (níveis críticos) para atributos da fertilidade do solo, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, considerando subdivisões relacionadas à textura/CTC, para o estabelecimento de ambientes de produção intensiva no Cerrado. Fonte: adaptado de Sousa e Lobato (2004) e Benites et al. (2010).

Teor de argila	Atributos associados à fertilidade do solo											
	Mat. orgânica	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn	V	
g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	... mg dm <sup>-3</sup> ...	...	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ...	.....	mg dm <sup>-3</sup> .....	.....	.....	.....	.....	.....	%
≤ 150	10	25	40									
160 a 350	20	20										
360 a 600	30	12	80	2,4	1,0	9	0,5	0,8	5,0	1,6	50	
> 600	35	6										

\*Teores de P e K determinados com o extrator Mehlich 1. Teor de S determinado por extração com  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  e interpretação considerando a média dos valores obtidos em amostras coletadas nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm. Teor de B determinado por extração com água quente e teores de Cu, Mn e Zn determinados usando o extrator Mehlich 1, com interpretação considerando o pH (água) do solo próximo de 6,0. Para o K, os teores críticos de 40 e 80 mg dm<sup>-3</sup> referem-se a solos com  $\text{CTC}_{\text{pH } 7,0} < 4,0$  e  $> 4,0$  cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente.

**Tabela 2.** Valores de referência (níveis críticos) para atributos da fertilidade do solo, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, considerando subdivisões relacionadas à textura, para o estabelecimento de ambientes de produção intensiva no estado de São Paulo. Fonte: adaptado de Raij et al. (1996).

Teor de argila	Atributos associados à fertilidade do solo										
	Mat. orgânica	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn	V
g kg <sup>-1</sup>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>		... mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ...			..... mg dm <sup>-3</sup> .....				%
≤ 150	15										
160 a 350	16 a 30	20	1,6	7	5	10	0,6	0,8	5	1,2	70
360 a 600	31 a 60										

Teores de P e K determinados com o extrator Resina de Troca Iônica. Teor de S determinado por extração com  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  e interpretação considerando amostra coletada na profundidade de 0 a 20 cm. Teor de B determinado por extração com água quente e teores de Cu, Mn e Zn determinados usando o extrator DTPA.

**Tabela 3.** Valores de referência (níveis críticos) para atributos da fertilidade do solo, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, considerando subdivisões relacionadas à textura/CTC, para o estabelecimento de ambientes de produção intensiva nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Fonte: adaptado de Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004).

Teor de argila	Atributos associados à fertilidade do solo										
	Mat. orgânica	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn	V
g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	.. mg dm <sup>-3</sup> ...	.. mg dm <sup>-3</sup> ...	.. cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ...	..... mg dm <sup>-3</sup> .....						%
≤ 200	25	21	45								45
210 a 400	50	12									64
410 a 600	> 50	9	60	4,0	1,0	5	0,3	0,4	5,0	0,5	80
> 600	□	6	90								80

A profundidade de 0-20 cm corresponde à camada diagnóstica na fase de estabelecimento do sistema plantio direto. No sistema consolidado, o monitoramento deve, preferencialmente, basear-se em amostras estratificadas de 0-10 e 10-20 cm. Teores de P e K determinados com o extrator Mehlich 1. Teor de S determinado por extração com  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ . Teor de B determinado por extração com água quente e teores de Cu, Mn e Zn determinados usando o extrator Mehlich 1. Para o K, os teores críticos de 45, 60 e 90 mg dm<sup>-3</sup> referem-se a solos com  $\text{CTC}_{\text{pH } 7,0} < 5,0$ ; entre 5,1 e 15,0; e > 15,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente.

**Tabela 4.** Valores de referência (níveis críticos) para atributos da fertilidade do solo, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, para o estabelecimento de ambientes de produção intensiva na região Centro-Sul do Paraná. Fonte: adaptado de Fontoura et al. (2015) e Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004).

Teor de argila	Atributos associados à fertilidade do solo										
	Mat. orgânica	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn	V
g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	. mg dm <sup>-3</sup>	..	. cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		.....mg dm <sup>-3</sup>	.....				%
350 a 600	60	8	90	4,0	1,0	5,0	0,3	0,4	5,0	0,5	70

Teores de P e K determinados com o extrator Mehlich 1. Teor de S determinado por extração com Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>. Teor de B determinado por extração com água quente e teores de Cu, Mn e Zn determinados usando o extrator Mehlich 1.

A seguir, apresenta-se uma síntese dos passos a serem observados e principais práticas para construir e manter a fertilidade do solo em sistemas de produção de culturas anuais. Maior detalhamento pode ser encontrado em publicação de Resende et al. (2016a) sobre essa temática.

Antes do estabelecimento do plantio direto, é preciso incorporar calcário na quantidade necessária para corrigir a acidez e ainda criar um efeito residual que faça perdurar condições favoráveis ao desenvolvimento radicular das culturas na camada até 20 ou 30 cm de profundidade. A partir de então, aplicações superficiais periódicas possibilitarão manter um fluxo de reabastecimento do perfil com as bases cálcio (Ca) e magnésio (Mg), e de compensação dos processos de reacidificação do solo que ocorrem com o tempo.

Mesmo em áreas que já tenham recebido incorporação de calcário, é comum que baixos teores de Ca e presença de alumínio (Al) em saturação acima de 20% na CTC efetiva sejam fatores limitantes em profundidade. Nesse caso, a gessagem permite condicionar porções inferiores do perfil onde o efeito da calagem não chega, favorecendo o acesso de raízes e aproveitamento de água e nutrientes em zonas mais profundas, fato relevante ao desempenho dos cultivos sujeitos a déficit hídrico (veranicos), limitação que afeta muitas áreas de safrinha. O aprofundamento radicular também resulta em incorporação de carbono no perfil, com melhorias em atributos químicos, físicos e biológicos associadas à maior presença de MOS.

Além do controle da acidez, os solos devem receber adubações corretivas com fósforo (P), potássio (K) e micronutrientes quando necessário. As alternativas e os procedimentos para essas operações se encontram bem descritos nos manuais de fertilidade do solo e adubação. Um perfil de fertilidade construída em toda a camada de 0 a 20 cm é a premissa principal a ser observada quando se pretende estabelecer um SPD de qualidade para alto potencial produtivo.

O P precisa ser suprido de forma a assegurar disponibilidade satisfatória nessa camada, o que não se consegue somente com aplicações em superfície sem incorporação, em razão da mobilidade muito baixa desse nutriente no solo. A concentração de P somente na superfície aumenta o risco em lavouras sob influência de veranicos, além de prejudicar a expressão do potencial genético das cultivares, sobretudo quando se trata de um SPD pobre em palhada e diversificação de culturas (Zancanaro et al., 2015; Prochnow et al., 2017).

Em sequência às adubações corretivas, trabalha-se com as adubações de manutenção a cada cultivo. Em última instância, as produtividades resultantes de muitos condicionantes e suas interações é que vão delimitar as reais exigências de adubação de manutenção ao longo do tempo. O efeito residual das sucessivas aplicações de fertilizantes nessas adubações irá compor os estoques de nutrientes no ambiente de cultivo, constituindo créditos de suprimento às culturas subsequentes.

Verifica-se que nutrientes como P, Ca, Mg e zinco (Zn) apresentam tempo de residência mais prolongado e tendem a se acumular no sistema, com elevação dos teores disponíveis na análise de solo. Comportamento intermediário se observa no caso do K, enxofre (S) e cobre (Cu), cuja disponibilidade pode oscilar mais abruptamente. Já para nitrogênio (N) e boro (B), a permanência em condições de aproveitamento pelas plantas tende a ser mais efêmera, com baixo efeito residual, razão pela qual as adubações com esses nutrientes devem ser mais frequentes.

A adoção do SPD é um requisito fundamental para a estabilidade dos solos de fertilidade construída e incremento do seu potencial produtivo. A condução do SPD com diversificação de espécies e elevado aporte de palhada deve constituir a etapa mais avançada a integrar o conjunto de técnicas preconizado para a construção da fertilidade. Nesse aspecto, a adoção exclusiva da sucessão soja/milho safrinha é questionável, pois não garantiria a sustentabilidade desejável ao sistema. Um desafio que se impõe à pesquisa e aos produtores é a necessidade premente de intensificação ecológica nessas áreas, conforme o perfil de cada região. Mesmo quando variar as espécies de culturas comerciais não se mostra viável por

razões climáticas ou de mercado, é preciso entender que algum sacrifício no curto prazo pode ser compensado mais adiante, gerando maior estabilidade e retorno em longo prazo.

Na região do Cerrado, exemplos têm demonstrado que alguma modalidade de inclusão de plantas de cobertura, como braquiária, milheto, guandu e crotalária, traz benefícios importantes para a qualidade do sistema soja/milho safrinha, inclusive com reflexos na rentabilidade ao produtor. Conforme a situação, esses benefícios envolvem desde uma melhor retenção e aproveitamento de água das chuvas até o controle de problemas fitossanitários, como os prejuízos por nematoides, além de melhorar a ciclagem/disponibilidade de nutrientes, aumentar a MOS e a atividade biológica, e promover a qualidade física do solo.

### **Matéria Orgânica como Alicerce do Potencial Produtivo do Sistema**

No meio técnico-científico e entre os produtores, muita ênfase é dada à discussão e aplicação de tecnologias de condicionamento da fertilidade química do solo, o que se justifica por esse processo envolver a utilização de insumos que oneram significativamente o custo de produção. Embora se reconheça a importância da fração orgânica do solo para os ambientes de cultivo, na maioria das vezes, a única iniciativa de manejo empreendida nas fazendas é minimizar o revolvimento da terra como forma de conservar o teor de MOS. Essa medida é necessária, porém, não suficiente para garantir um SPD de qualidade, devendo ser acompanhada de estratégias para promover a diversificação/rotação de culturas e uma elevada

produção de palhada para cobrir o solo e impulsionar a formação de matéria orgânica.

Ainda são poucos os produtores que têm metas bem definidas de aumentar os teores de matéria orgânica em suas áreas de cultivo e mais raros ainda os que têm pleno domínio dos meios para tal. Essa conjuntura é compreensível, até certo ponto, quando se considera a complexidade que é lidar com a fração orgânica do solo, a qual deriva essencialmente da quantidade e qualidade dos restos culturais, sendo, portanto, dependente de decisões sobre a combinação e o manejo de espécies vegetais para compor o sistema de produção na fazenda. Todavia, em todas as regiões agrícolas podem ser encontrados casos bem-sucedidos, em que alguns produtores se destacam em melhorar a condição de suas lavouras pela aplicação de técnicas que convergem para privilegiar o conteúdo de MOS, com reflexos positivos no desempenho em produtividade e rentabilidade.

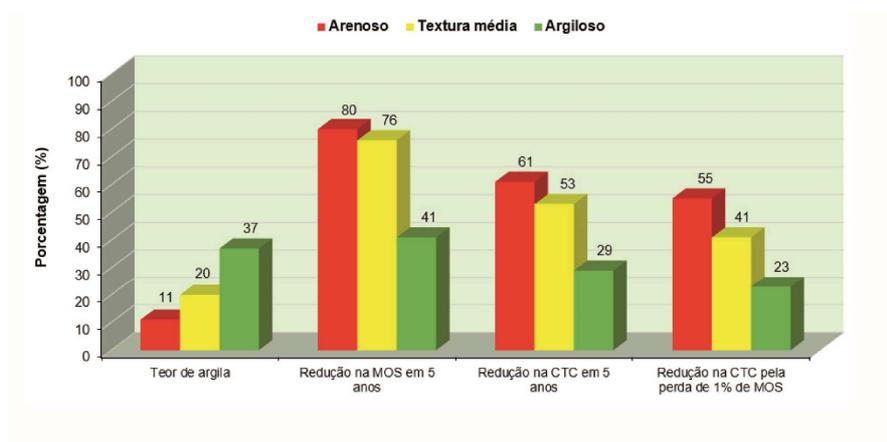
A capacidade de troca de cátions (CTC) pode ser entendida como a expressão do tamponamento do solo, que nas regiões tropicais é majoritariamente derivado da presença de colóides orgânicos, sendo, portanto, a MOS o principal constituinte edáfico a proporcionar resiliência ao sistema de produção. Além de apresentar maior estoque de nutrientes que podem ser liberados às culturas pela mineralização/ciclagem, um solo com maior conteúdo de matéria orgânica propicia diversas vantagens pelo seu efeito tamponante do ambiente de cultivo, amenizando os extremos de condições químicas (situações de carência de nutrientes ou excesso de elementos nocivos) e de temperatura, desequilíbrios biológicos, ressecamento ou encharcamento.

Os efeitos da matéria orgânica nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo favorecem atributos físicos importantes, como a agregação e a porosidade, condicionando uma estrutura que facilita a penetração de raízes e a infiltração da água da chuva, retendo umidade e prevenindo a compactação. A presença de MOS estimula a atividade e diversidade biológica, minimizando riscos de desequilíbrios que podem ocasionar problemas fitossanitários. Por tudo isso, um solo enriquecido em matéria orgânica oferece maior resiliência ao sistema, ao possibilitar o desenvolvimento de lavouras mais vigorosas e ajudar as culturas a suportarem e se recuperarem mais rapidamente de estresses abióticos e bióticos que ocorrem ao longo do ciclo.

Aumentar o teor de MOS em áreas agrícolas dedicadas à produção de grãos não é objetivo facilmente alcançado em larga escala e, em geral, há um limite para a acumulação de MOS que é imposto pelas características ambientais locais, que condicionam certo equilíbrio entre aportes e perdas de carbono no sistema. Num exemplo simplificado, considerando uma mesma quantidade de palhada adicionada anualmente no sistema soja/milho safrinha, é mais difícil manter o teor de MOS em lavoura do Mato Grosso do que no Paraná. Isso porque as temperaturas mais elevadas ao longo do ano fazem com que a decomposição dos restos culturais seja mais intensa no primeiro caso, predispondo à maior degradação da MOS. Esse contraste é mais nítido quando se comparam determinadas regiões de clima tropical chuvoso com outras de clima subtropical tendendo a temperado (por exemplo, Cerrado vs Sul do Brasil).

Se por um lado é difícil aumentar, por outro é muito fácil perder conteúdo de MOS pela exploração agrícola (**Figura 1**), o que impõe a necessidade de esforços para ao menos manter o seu teor na lavoura num patamar semelhante ao encontrado em áreas de vegetação nativa das proximidades. O valor de CTC do solo é um dos principais indicadores do potencial produtivo da agricultura num dado ambiente e do seu grau de tamponamento, sendo diretamente proporcional à quantidade de matéria orgânica presente no perfil (Silva et al., 1994; Canellas et al., 2008; Sá et al., 2010). O papel da matéria orgânica é ainda mais proeminente no caso dos ambientes muito intemperizados das zonas tropicais, em que as argilas são de baixa atividade, e torna-se crucial para a sustentabilidade da atividade agrícola em solos arenosos (**Figura 1**).

Quando bem manejados, os solos sob SPD podem manter ou até incrementar os teores originais de matéria orgânica, dependendo do tempo de adoção do sistema e da região do País. Em geral, eventuais acréscimos nos teores de MOS são de pequena magnitude, mas é preciso entender que mesmo aumentos equivalentes a 1% ou menos têm enorme significado para o potencial agrícola daquele ambiente de produção. A **Figura 1** ilustra bem esse fato. Pode-se observar que quanto mais arenoso é o solo maiores são os prejuízos decorrentes da perda de matéria orgânica. A redução de 1% no teor de matéria orgânica é proporcionalmente muito mais impactante na retenção de nutrientes e água nos solos mais arenosos, para os quais se torna mandatório empregar sistemas de cultivo conservacionistas e com grande aporte de resíduos orgânicos, a fim de evitar a perda da capacidade produtiva.



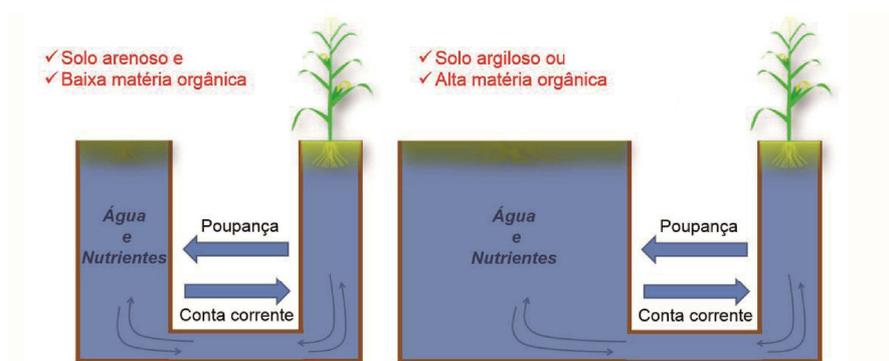
**Figura 1.** Teores de argila em áreas agrícolas da região Oeste da Bahia e respectivas perdas de matéria orgânica do solo (MOS) e da capacidade de troca de cátions (CTC), após cinco anos de preparo da terra com aração/gradagem e monocultivo de soja. Fonte: adaptado de Silva et al. (1994).

A matéria orgânica apresenta capacidade de retenção de água e nutrientes muito mais elevada do que as argilas dos solos tropicais, sendo seu teor muito influenciado pelo tipo de manejo que o produtor adota. Ou seja, se o produtor utiliza práticas agrícolas que preservam ou mesmo aumentam a presença de MOS, automaticamente ele está mantendo ou ampliando a capacidade produtiva daquele ambiente de cultivo. Assim, a matéria orgânica funciona como um curinga da agricultura tropical e seu valor é inestimável, sendo tão mais importante quanto mais arenoso for o solo.

Esquemáticamente, a **Figura 2** ilustra como solos diferentes têm capacidade distinta de armazenamento e fornecimento de água e nutrientes para o desenvolvimento das culturas.

Por trás de uma mesma condição inicial de disponibilidade às plantas, um solo com maiores conteúdos de argila e/ou matéria orgânica (maior tamponamento) dispõe de uma reserva capaz de garantir o suprimento de água e nutrientes por muito mais tempo que um solo arenoso e desprovido de matéria orgânica (menor tamponamento). O fato de a proporção de argila não ser passível de alteração pelo produtor realça a necessidade de se adotar práticas de manejo de solo e das culturas que assegurem maiores teores de matéria orgânica ao longo do tempo, principal caminho para manter ambientes de alto potencial produtivo. Se o produtor conseguir aumentar o teor de matéria orgânica, estará expandindo a capacidade de reserva do seu solo, e poderá até incrementar seu investimento em adubação para elevar os estoques de nutrientes, sustentando a conquista de novos tetos produtivos ou a demanda dos cultivos por mais safras, ao mesmo tempo em que reduz o risco de perdas de nutrientes e água do sistema.

O SPD de longa duração, com combinação mais diversificada de culturas e plantas de cobertura, caracterizando a intensificação ecológica do sistema de produção, favorece maior produção de biomassa (palhada), requisito básico base para se “construir” MOS, fortalecendo as qualidades de tamponamento, resiliência e estabilidade nos solos de fertilidade construída. Do contrário, a simples repetição de cultivos em sucessão (soja/milho safrinha, soja/trigo), assim como o monocultivo, provoca a degradação física, química e biológica do solo, além de acentuar a vulnerabilidade da propriedade agrícola às instabilidades econômicas e climáticas (Resende et al., 2016a).



**Figura 2.** Os solos funcionam como “contas bancárias”, que guardam a capacidade de suprimento de nutrientes e água às plantas. Para um mesmo saldo na “conta corrente”, que atende às necessidades imediatas (consumo das plantas), solos diferentes apresentam reserva menor (solo da esquerda) ou maior (solo da direita), variando o tamanho da “poupança” existente por trás do saldo disponível. A matéria orgânica é o componente dessa poupança que pode ser manejado pelo produtor.

A diversidade de combinações de sistemas em rotação, sucessão e consórcio amplia as opções de uso múltiplo de certas espécies vegetais. No sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) na região do Cerrado, por exemplo, o consórcio de culturas produtoras de grãos com forrageiras tropicais fornece alimento para a pecuária a partir do final do verão até o início da primavera e forma palhada para o cultivo de grãos em SPD na safra seguinte (Borghetti et al., 2013). Forrageiras dos gêneros *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) e *Megathirsus* (Syn. *Panicum*) são apropriadas para regiões com restrição de chuvas, pois possuem sistema radicular profundo e maior tolerância à deficiência hídrica, desenvolvendo-se em situações

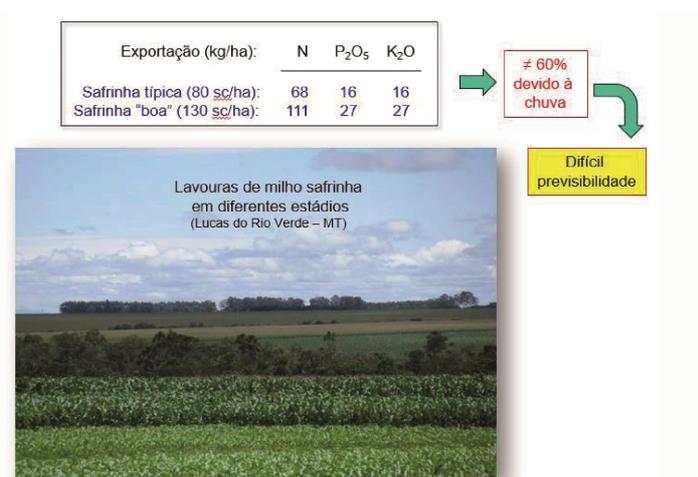
nas quais a maioria das espécies de safrinha não resistiria. Em muitas áreas, a inclusão dessas gramíneas em consórcios com culturas de grãos (milho e soja) visa a produção de palhada para o SPD e, em alguns casos, também auxilia no controle de determinados patógenos de solo (por exemplo, mofo branco) e plantas daninhas (por exemplo, buva). Qualquer das modalidades citadas representa uma alternativa para o produtor do Cerrado que busca incrementar a formação de MOS em suas áreas de cultivo.

### **Reposição de Nutrientes em Solos de Fertilidade Construída**

Teores mais altos de MOS em áreas sob SPD são associados a maiores aportes anuais de resíduos fontes de carbono (Sá et al., 2015), preferencialmente acima de 10 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca ao ano. Entretanto, a conversão desses resíduos em MOS depende também da existência de perfis enriquecidos com Ca e P (Briedis et al., 2016; Inagaki et al., 2016), e em especial com N oriundo da inserção de espécies leguminosas como plantas de cobertura (Zotarelli et al., 2012; Urquiaga et al., 2014). Assim sendo, a reposição de todos esses nutrientes de acordo com a sua exportação pelas colheitas no decorrer das safras, além de necessária ao equilíbrio nutricional das lavouras, também é muito importante para preservar a dinâmica de recomposição dos estoques de MOS. Eventuais carências de disponibilidade desses nutrientes acabam predispondo à degradação da fração orgânica do solo.

Considerando esse contexto, depreende-se que o cultivo do milho safrinha pode afetar o equilíbrio de nutrientes nos ambientes de produção e, por consequência, a sustentabilidade

do sistema, tanto no que diz respeito ao balanço nutricional quanto à conservação da MOS. Se por um lado o milho apresenta excelente capacidade de adição de carbono via palhada, por outro, pode extrair e exportar grandes quantidades de nutrientes, sobretudo de N (**Figura 3**).



**Figura 3.** Lavouras de milho safrinha com diferentes potenciais produtivos, determinados principalmente pela época de semeadura, implicam níveis distintos de exportação de nutrientes, os quais precisam ser proporcionalmente repostos para preservar a produtividade do sistema de culturas como um todo.

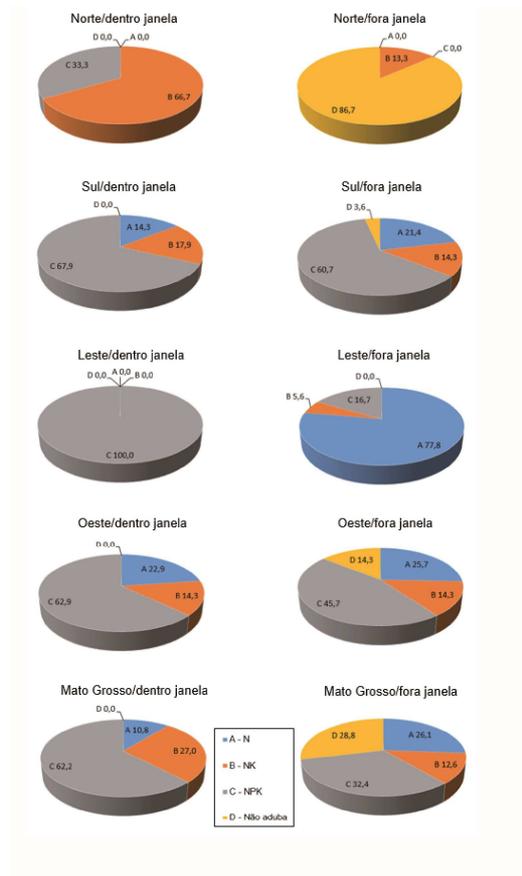
O fato de o cultivo na safrinha se caracterizar por incertezas em relação à expectativa de produtividade, às respostas à adubação e aos valores de comercialização dos grãos frequentemente faz com que o suprimento de nutrientes ao milho seja relegado pelos produtores, principalmente quando a semeadura é realizada fora do período (“janela”) ideal (**Figura 4**). Essa conduta pode se tornar um complicador

porque, nos anos em que os fatores climáticos e fitossanitários são favoráveis, o milho safrinha, mesmo mal adubado, pode produzir muito nos solos de fertilidade construída e exportar nutrientes com intensidade (**Figura 3**). Se o produtor não atentar para a necessidade de restituir tudo o que foi exportado, o sistema será penalizado com uma baixa nas reservas de nutrientes, que dependendo da magnitude, pode inclusive comprometer os próprios cultivos subsequentes de soja.

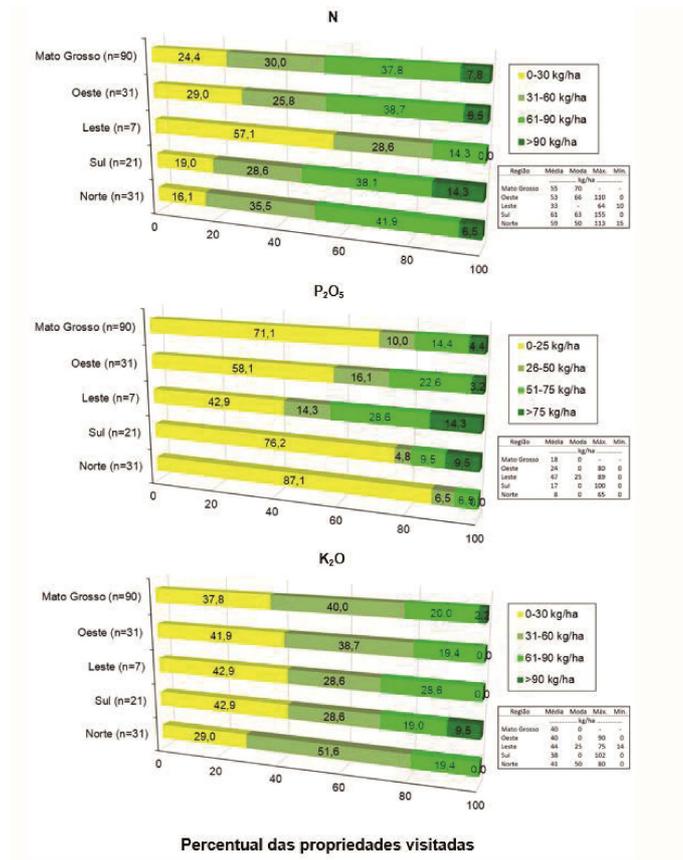
Na **Figura 3** são mostradas estimativas de exportação equivalente de N,  $P_2O_5$  e  $K_2O$ , calculadas a partir de dados médios do milho safrinha em Rio Verde-GO (Simão, 2016), dando ideia de como a remoção de nutrientes do sistema com as colheitas pode variar largamente em função do nível de produtividade alcançado. Numa mesma localidade, as produtividades na safrinha podem oscilar muito de um talhão para outro, à medida que se retarda a época de semeadura, por exemplo. Percebe-se que a exportação de N pode ser elevada, em quantidades bem superiores às que têm sido fornecidas na adubação de muitas lavouras, como evidenciado na **Figura 5**.

As **Figuras 4 e 5** permitem constatar a inexistência de padrões mais definidos de fornecimento de nutrientes para o milho safrinha em propriedades visitadas no Mato Grosso durante o Circuito Tecnológico – Etapa Milho 2015, realizado numa parceria Aprosoja/Embrapa/Imea. Em diversas situações, a gestão da fertilidade do solo parece incongruente com a visão de sustentabilidade do sistema de produção soja/milho safrinha pelo baixo nível de reposição dos nutrientes exportados pelo milho. Esse cenário provavelmente se repete em outras regiões produtoras de safrinha no País.

Mesmo sem consequências negativas perceptíveis num primeiro momento, reiterar um manejo nutricional precário no milho safrinha pode trazer prejuízos futuros ao produtor. A falta de equilíbrio entre entradas (adubação) e saídas (exportação) de nutrientes no sistema de culturas pode levar ao esgotamento das reservas existentes, revertendo a condição de fertilidade construída, inclusive por forçar a degradação da MOS (Urquiaga et al., 2014). A ausência ou o uso de doses subdimensionadas de N na adubação do milho safrinha pode levar à depleção dos estoques do nutriente no sistema, o que certamente modifica a atividade microbiana e a dinâmica da MOS. Nesse aspecto, embora nem sempre haja resposta econômica do milho safrinha à adubação nitrogenada, aportes de N são necessários para manter a funcionalidade do sistema envolvendo os componentes solo, matéria orgânica, microrganismos e plantas.



**Figura 4.** Distribuições de frequência (%) de níveis de investimento em adubação do milho safrinha, conforme a semeadura dentro ou fora da janela ideal, em regiões produtoras do Mato Grosso. Fonte: Resende et al. (2016b).



**Figura 5.** Distribuição de frequência (%) das doses de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O utilizadas na adubação do milho safrinha em regiões produtoras do Mato Grosso. Valores nas barras indicam o percentual de propriedades em cada intervalo de doses da adubação. Abaixo das legendas, são informados os valores médios, modais, máximos e mínimos obtidos no levantamento. Fonte: Resende et al. (2016b).

## Considerações Finais

As condições químicas, físicas e biológicas alcançadas nos solos de fertilidade construída bem conduzidos dão suporte para os cultivos e o manejo nutricional visando alta produtividade, contribuindo para a estabilidade de produção do sistema de culturas ao amenizar problemas decorrentes de estresses climáticos e fitossanitários, bem como de eventuais falhas no manejo da adubação.

Os solos de fertilidade construída proporcionam flexibilidade quanto à época e modo de fornecimento de nutrientes, segundo a filosofia de adubação de sistema, tornando possível otimizar questões operacionais convenientes para a fazenda. Também podem ser parte da estratégia do produtor para lidar com momentos de cotações desfavoráveis para a compra de fertilizantes ou para a venda dos grãos, ao permitirem reduções temporárias nas taxas de adubação do sistema sem que isso incorra em perda de produtividade (Resende et al., 2016a).

Usufruir da poupança de nutrientes dos solos de fertilidade construída requer algum esforço para monitorar a evolução da fertilidade de forma frequente e aplicar conhecimento técnico para tomada de decisões. Como recompensa, tem-se a identificação de oportunidades para ganhos de eficiência no uso de fertilizantes e dos demais insumos, com melhor aproveitamento da oferta ambiental e maior retorno de todas as tecnologias investidas na lavoura.

## Referências

BENITES, V. M.; CARVALHO, M. C. S.; RESENDE, A. V.; POLIDORO, J. C.; BERNARDI, A. C. C.; OLIVEIRA, F. A. Potássio, cálcio e magnésio. In: SIMPÓSIO SOBRE BOAS PRÁTICAS PARA USO EFICIENTE DE FERTILIZANTES, 2009, Piracicaba. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: anais**. Piracicaba: IPNI, 2010. v. 2, p. 133-204.

BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C.; MATEUS, G. P.; NASCENTE, A. S.; MARTINS, P. O. Intercropping time of corn and palisadegrass or guineagrass affecting grain yield and forage production. **Crop Science**, Madison, v. 53, p. 629-636, 2013.

BRIEDIS, C.; SÁ, J. C. M.; LAL, R.; TIVET, F.; FERREIRA, A. O.; FRANCHINI, J. C.; SCHIMIGUEL, R.; HARTMAN, D. C.; SANTOS, J. Z. Can highly weathered soils under conservation agriculture be C saturated? **Catena**, Amsterdam, v. 147, p. 638-649, 2016.

CANELLAS, L. P.; MENDONÇA, E. S.; DOBBSS, L. B.; BALDOTTO, M. A.; VELLOSO, A. C. X.; SANTOS, G. A.; AMARAL, N. M. B. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 45-63.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: SBCS: UFRGS, 2004. 400 p.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Safras: séries históricas**. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <<http://>

[www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina\\_objcmsconteudos=3#A\\_objcmsconteudos](http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina_objcmsconteudos=3#A_objcmsconteudos). Acesso em: 17 set. 2017.

FONTOURA, S. M. V.; VIEIRA, R. C. B.; BAYER, C.; VIERO, F.; ANGHINONI, I.; MORAES, R. P. **Fertilidade do solo e seu manejo em plantio direto no Centro-Sul do Paraná**. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2015. 146 p.

INAGAKI, T. M.; SÁ, J. C. M.; CAIRES, E. F.; GONÇALVES, D. R. P. Lime and gypsum application increases biological activity, carbon pools, and agronomic productivity in highly weathered soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 231, p. 156-165, 2016.

KAPPES, C.; ZANCANARO, L. Manejo da fertilidade do solo em sistemas de produção no Mato Grosso. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 30., 2014, Salvador. Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global. **Palestras...** Sete Lagoas: ABMS, 2014. p. 358-381.

PROCHNOW, L. I.; RESENDE, A. V.; OLIVEIRA JÚNIOR, A.; FRANCISCO, E. A. B.; CASARIN, V.; PAVINATO, P. S. Localização do fósforo em culturas anuais na agricultura nacional: situação importante, complexa e polêmica. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 158, p. 1-5, 2017.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1996. 285 p.

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**, Piracicaba, v. 156, p. 1-17, 2016a.

RESENDE, A. V.; SILVA, A. F.; BORGHI, E.; GONTIJO NETO, M. M.; SHIRATSUCHI, L. S.; PITTA, R. F.; FERREIRA, A. **Tomada de decisão quanto a adubação e manejo de nutrientes por agricultores do Mato Grosso: dados do Circuito Tecnológico 2015**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016b. 30 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 203).

SÁ, J. C. M.; SEGUY, L.; SÁ, M. F. M.; FERREIRA, A. O.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J. B.; CANALLI, L. Gestão da matéria orgânica e da fertilidade do solo visando sistemas sustentáveis de produção. In: SIMPÓSIO SOBRE BOAS PRÁTICAS PARA USO EFICIENTE DE FERTILIZANTES, 2009, Piracicaba. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: anais**. Piracicaba: IPNI, 2010. v. 1, p. 383-420.

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**, Chichester, v. 26, p. 531-543, 2015.

SILVA, J. E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, 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**, Viçosa, MG, v. 18, p. 541-547, 1994.

SIMÃO, E. P. **Características agronômicas e nutrição do milho safrinha em função de épocas de semeadura e adubação**. 2016. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal de São João del-Rei, Sete Lagoas, 2016.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; JANTALIA, C. P.; MARTINS, M. R.; BODDEY, R. M. A cultura de milho e seu impacto nas emissões de GEE no Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 30.; SIMPÓSIO SOBRE LEPTÓPTEROS COMUNS A MILHO, SOJA E ALGODÃO, 1., 2014, Salvador. **Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global: resumos expandidos**. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2014. p. 61-71.

ZANCANARO, L.; KAPPES, C.; ONO, F. B.; VALENDORFF, J. D. P.; CORADINI, D.; DAVID, M. A.; SEMLER, T. D. Adubação fosfatada no sulco de semeadura e em superfície. In: GALHARDI JÚNIOR, A.; POZZER, D. (Ed.). **Boletim de pesquisa 2015/2016: soja, algodão, milho**. Rondonópolis: Fundação MT, 2015. p. 96-113.

ZOTARELLI, L.; ZATORREA, N. P.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. S.; JANTALIA, C. P.; FRANCHINI, J. C.; ALVES, B. J. R. Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 132, p. 185-195, 2012.