

Histórico

“Revolução verde” permitiu resgatar solos da erosão

José Laércio Favarin e Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida*

Nos primórdios da agricultura, o preparo do solo, independentemente dos instrumentos utilizados, tinha a finalidade de retirar o mato da área a ser plantada, para facilitar a semeadura. A rugosidade da superfície lavrada, grosseira no princípio, aumentava a captação de água e melhorava o crescimento radicular; a germinação e a emergência das plantas eram rápidas, em razão do aquecimento da solução do solo e de seu contato com as sementes. No Brasil, o sistema agrícola implantado na região subtropical pelos primeiros imigrantes europeus baseou-se nos conhecimentos que os agricultores traziam de seus países de origem – tipicamente frios. Por falta de conhecimentos acumulados e de experiências locais, não consideraram os mecanismos naturais que atenuam os fenômenos abióticos – precipitação pluvial e temperatura. Isso ocorreu porque não havia, ainda, base científica suficiente para que o modelo introduzido fosse questionado.

Desconsiderou-se, assim, a elevada erosividade das chuvas e a erodibilidade



RODRIGO ESTEVAM MUNHOZ DE ALMEIDA

Área erodida mesmo com plantio em nível e presença de terraço, Rio Verde, GO

dos solos, que, associadas à lavração excessiva, causaram grandes perdas de solo por erosão, da ordem de $29 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Dedecek et al., 1986). Esse fato se deu em razão da retirada da vegetação nativa, que atuava como “tampão” contra esse fenômeno, que passou a ser sentido por várias gerações. A erosão foi amplificada com a euforia da lavração, propiciada pela evolução tecnológica na área de máquinas e implementos de preparo do solo, que levou à desagregação e à exposição dos solos aos fatores do ambiente. Em consequência, seus atributos físicos, químicos e biológicos degradaram-se; o que é atestado pelos sulcos de erosão e pelo assoreamento de estradas rurais, terraços e mananciais, que acarretam altos custos para recomposição da fertilidade (Figura 1).

Dessa forma, a transformação do modelo convencional, reducionista, com predomínio da monocultura, cuja estabilidade depende grandemente do uso de matéria e energia, tinha de ser repensada, pois menos de meio século de agricultura convencional, intensificada por volta de 1950, foi suficiente para causar sérios danos ambientais e aos produtores rurais, que viram o seu patrimônio destruído pela erosão.

Essa transformação, no Brasil, partiu dos próprios agricultores, em especial dos pioneiros do Sistema de Plantio Direto (SPD) do Sul do Brasil, que passaram a substituir o plantio convencional pelo novo sistema. Acompanhando a mudança, ocorreram avanços tecnológicos nas áreas de máquinas e de implementos para uso no SPD, bem como a descoberta de moléculas de herbicidas, que possibilitou a implantação da agricultura sem lavração do solo.

Atualmente, o SPD pode ser considerado uma “revolução verde brasileira” e, com pouco mais de 30 anos, se destaca como um diferencial em relação à agricultura convencional pelo relevante papel na preservação ambiental, em ganhos de produtividade e na redução

FIGURA 1 | ALAGAMENTO E EROSIÃO CAUSADO PELA REDUÇÃO DA INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO DEVIDO A REMOÇÃO DA VEGETAÇÃO NATURAL E USO DO SISTEMA CONVENCIONAL DE CULTIVO



J. L. FAVARIN E RODRIGO ALMEIDA

do consumo de fertilizantes, o que tem servido de modelo para muitos países (Figura 2). A gravidade da erosão se deve à seletividade do processo, em que os materiais carreados são da classe da fração argila, como minerais de argila e, principalmente, matéria orgânica, responsável por 80 a 90% da capacidade de troca de cátions dos solos tropicais (Raij, 1981; Souza; Lobato, 2002). Além das perdas desses materiais, são também carreados os nutrientes em solução e aqueles que se encontram adsorvidos nos coloides, bem como as moléculas de defensivos aplicados diretamente no solo ou que caem durante a operação, proporcionando risco de contaminação ambiental.

PALHADA

A biomassa vegetal do dossel nos trópicos é, aproximadamente, 92% da biomas-

sa da região temperada, já a serrapilheira é 30% superior (Tabela 1), refletindo a dificuldade de acumular resíduos nos trópicos – mesmo na superfície do solo, onde a atividade microbiana é dificultada pela não incorporação. A quantidade de resíduos que se acumula na superfície do solo, em SPD, depende do material genético, das condições climáticas e do índice de colheita (IC), obtido pela relação entre a quantidade de matéria seca de grãos (MSG) e a matéria seca total (MST, grãos e resíduos), conforme a expressão a seguir:

$$IC = \text{MSG}/\text{MST}$$

Em uma vegetação nativa, como a floresta tropical, estima-se que sejam adicionados ao solo, anualmente, $27.300 \text{ kg ha}^{-1}$ de resíduos (Waring; Schlesinger, 1985), enquanto a quantidade de palhada nas áreas agrícolas é muito inferior, da ordem de 15 a 30% do total produzido pela

vegetação nativa, exceto em sistema de pastagem. Os fatores econômicos e culturais influenciam, substancialmente, nas decisões dos agricultores com relação ao uso de culturas para o plantio em rotação à cultura principal, o que nem sempre é o mais indicado para o SPD. Essa é uma das grandes dificuldades, tanto para implantação da rotação quanto para o acúmulo de palha no sistema.

Em muitas regiões tropicais, há limitação hídrica, como no cerrado brasileiro, onde os solos são classificados como ústicos quanto ao regime de umidade, pois permanecem entre 90 e 180 dias consecutivos com deficiência de água (Sánchez, 1981). Esse fato é um grande complicador para a formação e o acúmulo de resíduos, cuja dificuldade é muito superior à enfrentada em ambiente subtropical, como no Sul do Brasil. Por isso, a formação de resíduos não pode depender da semeadura destinada à formação de palha, feita no final da estação chuvosa e/ou no início das chuvas. Nessas condições, o crescimento e a quantidade de resíduos são da ordem de 1.000 a 3.000 kg ha⁻¹, insuficiente para o SPD, que tem, ainda, sua decomposição acelerada devido à dessecação das plantas ainda pouco desenvolvidas, com baixa relação carbono/nitrogênio (C/N) e temperatura elevada, favorável à atividade microbiana.

Uma alternativa viável para os trópicos é a adoção do consórcio de plantas, uma técnica milenar. Esse sistema permite a semeadura da cultura para fins de palhada na época das chuvas, junto com a cultura econômica ou com aquela implantada para fins de rotação (Figura 3 A). O sucesso do consórcio depende de espécies que continuem vegetando na entressafra, ainda que, praticamente, não haja crescimento visível da parte aérea, mas que, certamente, continue o aprofundamento do sistema radicular. O uso de tais espécies traz benefícios ao SPD graças ao aumento da aeração do solo e à incorporação de matéria orgânica em profundidade, por meio do sistema radicular. Assim, com o

TABELA 1 | RELAÇÃO PORCENTUAL DA DECOMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS PRODUZIDOS POR FLORESTA TROPICAL E TEMPERADA

| FLORESTA | TROPICAL | TEMPERADA | RELAÇÃO |
|----------|--------------------|--------------------|---------|
| | t ha ⁻¹ | t ha ⁻¹ | % |
| DOSEL | 292,0 | 151,9 | 92 |
| RESÍDUOS | 27,3 | 21,6 | 30 |

Fonte: Waring; Schlesinger, 1985

início da estação chuvosa na primavera, essas plantas estão preparadas para um crescimento vegetativo vigoroso e, conseqüentemente, para o acúmulo de grande quantidade de palhada (Figura 4 A).

Entre as espécies para essa finalidade, merecem destaque as plantas do gênero *Brachiaria*, em particular, a espécie *Brachiaria ruziziensis*, em razão da facilidade de semeadura, que pode ser feita a lanço, sem incorporação ao solo, e por apresentar menor agressividade e não formar touceiras, fato importante, pois não prejudica a semeadura posterior da cultura econômica. Em regiões com período chuvoso restrito e em solos com baixa capacidade de retenção de água (média de 50 litros por metro quadrado, em 100 cm de profundidade, como no oeste baiano), o consórcio milho-braquiária possibilitou a formação de 10.000 kg ha⁻¹ de palhada estimada em novembro, no dia da semeadura do algodoeiro (Figura 3 B). Nesse sistema, a produção de 8.000 kg ha⁻¹ de milho em

sistema rotação produziu o equivalente a 8.000 kg ha⁻¹ de matéria seca de resíduos, dos quais havia antes da implantação da safra seguinte 5.000 kg ha⁻¹ e aos quais foram acrescentados mais 5.000 kg ha⁻¹ de palha de braquiária (Figura 4 A).

A instalação da braquiária, em consórcio, contribui de maneira eficiente para a formação de palhada nos trópicos, pois, além do crescimento no período chuvoso, junto com a cultura de rotação (milho), retoma o seu crescimento no reinício das chuvas do próximo ciclo (Figura 4 A). Com isso, apresenta duas fases de crescimento: a primeira na estação das águas, em consórcio com milho ou com qualquer outra cultura, e depois solteira (braquiária), após a colheita da cultura até a dessecação, para a semeadura da cultura principal. Para a adoção do consórcio, tem sido utilizado o milho, o sorgo e até mesmo a cultura da soja. No caso da soja, o cuidado deve ser redobrado para evitar a competição da braquiária, pois,

FIGURA 2 | SISTEMA DE PRODUÇÃO EM SEMEADURA DIRETA



RODRIGO ESTEVAN MUNHOZ DE ALMEIDA

FIGURA 3 | CONSÓRCIO MILHO-BRAQUIÁRIA



Colheita do consórcio milho-braquiária, São Desidério, BA; 2008

Semeadura do algodoeiro em palhada de milho e braquiária, São Desidério, BA; 2008

essa cultura, é menos agressiva do que as gramíneas (poáceas).

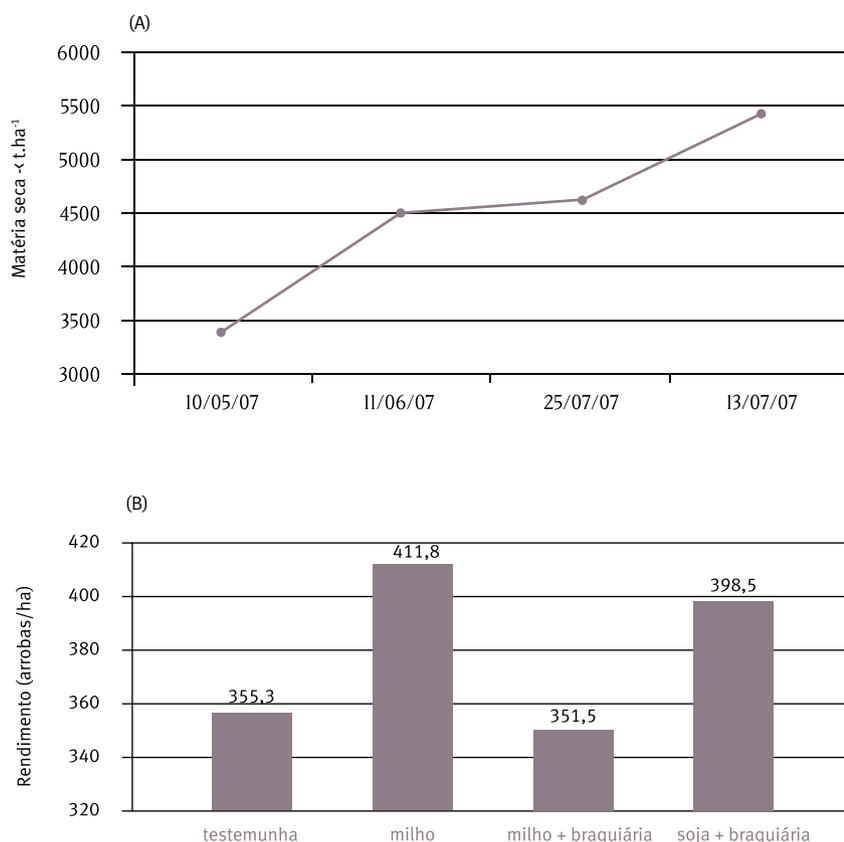
Esse consórcio produz uma quantidade menor de resíduos. Entretanto, em função da baixa relação C/N dos resíduos (soja-braquiária), não provocará, por parte dos microrganismos, a competição por nitrogênio durante a decomposição da palhada, além de deixar nitrogênio no solo, como resultado da fixação biológica. Assim, será maior a eficiência do nutriente e haverá aumento da produtividade da cultura subsequente (Figura 4 B). Quando se utiliza o consórcio milho-braquiária, é preciso compensar o sistema com aumento de nitrogênio, o que pode ser feito na semeadura ou na cobertura antecipada, para evitar a perda de produtividade (Figura 4 B).

O sistema de consórcio para formação e acúmulo de palhada é superior àquele em que a semeadura é feita nos períodos marginais de umidade, no início e no final das chuvas, por meio da semeadura a lanço como, por exemplo, de milho e até mesmo da braquiária.

DURAÇÃO

A duração dos resíduos na superfície do solo constitui um fator importante. Entretanto, para avaliar esse parâmetro, é preciso conhecer a relação C/N do material, pois a quantidade de carbono em relação ao nitrogênio é um indicador do grau de resistência à decomposição pelos microrganismos, que é maior quanto mais elevada for a C/N (Fassbender, 1982). Os microrganismos do solo, frequentemente, estão submetidos a estresse alimentar, devido à limitação de energia (carbono-resíduo) e de nitrogênio. Durante a decomposição, em média, cerca de 70% do carbono é perdido na forma de gás carbônico (CO₂) e 30% do carbono-resíduo é transformado em carbono na matéria orgânica (C-MO). A perda de CO₂ durante o processo provoca a queda da relação C/N, que vai se acentuando com o tempo. Uma alternativa para reduzir a demanda de nitrogênio pelo sistema de produção

FIGURA 4 | PRODUÇÃO DE RESÍDUOS DE BRAQUIÁRIA (A) E PRODUTIVIDADE DO ALGODOEIRO EM DIFERENTES TIPOS DE PALHADA (B)



Fonte: Almeida, 2008

pode ser conseguida com o fornecimento de nitrogênio ou evitando que a planta complete o ciclo, diminui, com isso, a lignificação dos tecidos.

Em substratos com relação C/N superior a 30, os microrganismos dispõem de substrato energético na forma de carbono-resíduo, mas falta nitrogênio na composição da palha. Por isso, a taxa de decomposição é baixa e, por estarem depositados na superfície do solo, a duração dos resíduos é prolongada. Em palhas de vegetais com C/N inferior a 30, os microrganismos dispõem tanto de substrato energético quanto de nitrogênio para sua decomposição, o que acelera o processo graças à abundância desse nutriente. Dessa forma, não é necessária a assimilação do N do solo pelos organismos. Portanto, a taxa de decomposição é intensificada, mesmo na superfície do solo, o que explica a curta duração na área agrícola, como acontece no plantio de leguminosas. Entretanto, em razão do elevado custo dos fertilizantes, cada vez mais será conveniente a implantação de leguminosas no sistema em rotação ou para formação de palhada, como a soja, o guandu e as crotalárias.

A taxa de decomposição de resíduos do solo varia com a textura, com o revolvimento do solo (maior aeração) e com as condições climáticas, como a duração do período chuvoso e a temperatura. A rotação e o consórcio são tecnicamente adequados, pois evitam a seleção de organismos decompositores especializados na decomposição de determinados resíduos. Os resíduos são também fontes importantes de nutrientes recicláveis, papel que realizam de forma gradual, por estarem localizados na superfície do solo, onde a decomposição ocorre, lentamente, na interface solo-resíduo. Com a decomposição gradual não há, praticamente, perdas por lixiviação, ainda que o solo tenha uma capacidade restrita de troca de cátions.

Isso se deve à eficiente absorção pelas raízes na fase inicial de crescimento, quando elas representam os maiores

drenos, mesmo com pequena superfície alimentadora. Essa observação é válida somente para o volume de solo explorado pelas raízes e não pode ser extrapolada para toda a área agrícola. Os resíduos com relação C/N superiores a 30 são excelentes fontes de alimentos às bactérias celulósicas (carbono-resíduo), que são ativas em pH entre 5,0 e 5,5 medido em água. Nessas condições, as bactérias produzem gel que agrega eficientemente as partículas do solo (Primavesi, 2002), o que explica, em parte, a recuperação da taxa de infiltração de água e, obviamente, a aeração indispensável às raízes.

A discussão sobre o uso de gramíneas e/ou leguminosas é feita com base na necessidade de gasto com fontes de nitrogênio, que deve ser intensificada em tempos de fertilizantes com preços cada vez mais elevados. Um aspecto relevante a ser considerado no programa de rotação é a manutenção dos resíduos na superfície do solo, fundamental para a conservação deste e da água. Assim, o desafio é saber a capacidade de estabelecer um sistema que possibilite o acúmulo de resíduos, que sirva também como fonte de nitrogênio para as plantas e contribua para o aumento da matéria orgânica do solo. Para o aporte de nitrogênio, conforme as condições de clima e solo, como na região subtropical no Sul do Brasil, a formação e o acúmulo não representam problemas. Por isso, as leguminosas devem ser utilizadas com maior frequência do que as gramíneas nessas regiões. O maior desafio da introdução de leguminosas em SPD está nas regiões tropicais, como no cerrado do Brasil (oeste da Bahia, Tocantins, Maranhão, Goiás e Mato Grosso).

No SPD, a decomposição da palha é mais lenta porque é mantida na superfície do solo, com ação microbiana restrita à interface solo-resíduo. A aplicação de nitrogênio a lanço deve ser criteriosa em ambientes difíceis de acumular resíduos, pois seu fornecimento reduzirá a relação C/N e intensificará a decomposição, além de provocar possíveis perdas por volati-

lização. Em relação à lixiviação, a perda deve ser ainda menor em SPD, pois, com o aumento da atividade microbiana, aumentará a imobilização. Entretanto, o aumento da microporosidade, associada à maior umidade do solo, será condição propícia às perdas de nitrogênio por desnitrificação, assunto ainda pouco estudado em SPD. Em áreas irrigadas, sob SPD, os riscos de perda de nitrogênio gasoso são, potencialmente, elevados. Entretanto, enquanto estiver na forma orgânica ($R-COONH_2$) não ocorre desnitrificação, sendo desejável a reserva de N-resíduos. 

* **José Laércio Favarin** é docente do Departamento de Produção Vegetal da USP/ESALQ (jlffavari@esalq.usp.br) e **Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida** é engenheiro agrônomo, mestre em Fitotecnia pelo Departamento de Produção Vegetal da USP/ESALQ (rodrigotxarli@yahoo.com.br).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, R. E. M. *Balanço de ^{15}N em sistemas de produção de milho para adoção do plantio direto no oeste baiano*. 2008. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
- DEDECEK, R. A. et al. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em Latossolo Vermelho-escuro dos Cerrados em diferentes cultivos sob chuva natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas. v. 10, p. 265-272, 1986.
- FASSBENDER, H. W. *Química de suelos – con énfasis en suelos de América Latina*. San José: IICA, 1982.
- PRIMAVESI, A. *Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais*. São Paulo: Nobel, 2002.
- RAIJ, B. van. *Avaliação da fertilidade do solo*. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fósforo, 1981.
- SÁNCHEZ, P. A. *Suelos del tropico: características y manejo*. San José: IICA, 1981.
- SOUZA, D. M. G. S.; LOBATO, E. *Cerrado: correção do solo e adubação*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002.
- WARING, R. H.; SCHLESINGER, W. H. *Forest ecosystems concept and management*. Milbrae: Academic Press, 1985.