



Indicadores de qualidade do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária

Soil quality Indicators in crop-pasture integration systems

Júlio Cesar Salton (Embrapa Agropecuária Oeste)

São vários os conceitos utilizados para expressar “qualidade do solo” dependendo do ponto de vista e da função que o solo estaria cumprindo. Em uma visão mais abrangente que apenas a produção agrícola, Doran & Parkin (1994), apresentam como definição de “qualidade do solo” a capacidade do solo funcionar, dentro dos limites de um ecossistema natural, sustentando a produtividade biológica, mantendo ou melhorando a qualidade ambiental e promovendo a saúde das plantas e dos animais. Estes, e outros autores como Mielniczuk (2008), apontam aspectos relacionados com o acúmulo e armazenamento da matéria orgânica do solo (MOS) como um dos atributos do solo mais fortemente relacionado à sua qualidade, podendo ser utilizado como indicador, especialmente por ser altamente sensível ao sistema de manejo adotado e correlacionar-se com a maioria dos atributos ligados à qualidade do solo. Com o acúmulo de MOS e ativação de diversos processos no solo, manifestam-se diversas “propriedades emergentes” como a maior resistência à erosão, maior taxa de infiltração e retenção de água no solo, aumentos na capacidade de retenção de cátions, no estoque de nutrientes, na adsorção e complexação de compostos, na ciclagem de elementos químicos, no sequestro de carbono atmosférico, na atividade e diversidade biológica do solo e na resistência a perturbações (Vezzani, 2001; Mielniczuk et al., 2003).

A melhoria ou perda de qualidade do solo estão estreitamente relacionadas com seus principais atributos, os quais são afetados direta ou indiretamente pela forma de uso do mesmo. Quando estes atributos atingem determinados valores, podem expressar ganhos ou perdas de qualidade e da capacidade produtiva do solo. Como a obtenção destas informações nem sempre são exequíveis com facilidade e agilidade, são propostos índices utilizando o carbono do solo como principal elemento, visando informar, de forma simples, sobre a qualidade do sistema de manejo que está sendo utilizado.

A eficiência de um indicador da qualidade do solo está associada à escala de tempo que registrará a melhoria ou declínio de determinado sistema de manejo, além de ser relativamente fácil sua compreensão e determinação. São apresentados a seguir, alguns índices para avaliar a qualidade de sistemas de manejo contendo apenas lavouras em Plantio Direto (L-PD), rotação lavoura-pastagem (ILP) e pastagem permanente (PP), utilizados em experimentos de longa duração em Mato Grosso do Sul. Em todos estes locais foi utilizada área com vegetação natural (VN) como condição de referência.

Índice de estratificação do carbono (IE)

Franzluebbers (2002) propôs avaliar a qualidade do solo através de uma razão entre os teores de matéria orgânica entre camadas do perfil do solo. Este índice de estratificação, tem como fundamento o fato de que as alterações em atributos do solo, decorrentes dos sistemas de manejo, ocorrem predominantemente na camada superficial e pelo fato de que esta interface desempenha importante papel no funcionamento dos sistemas de produção. A superfície do solo recebe os insumos, dejetos e restos culturais, o impacto da chuva, do pisoteio de animais e das máquinas e implementos, atua na partição e controle dos fluxos de água, gases para o interior do solo e deste para a atmosfera. Desta forma, é nesta região do

solo que as primeiras variações irão ocorrer, com aumento ou redução na concentração de COT, entre outras. O IE pode ser obtido pela divisão do teor de COT da camada superficial pelo teor obtido na camada inferior. Para o caso dos experimentos utilizados como exemplo da aplicação destes índices, foram empregados valores da camada 0 a 2,5 cm e da camada 10 a 20 cm. Valores superiores à unidade indicam acúmulo de COT na superfície, sendo maior quanto mais distante da unidade e indicando melhor qualidade do solo. A existência de valores inferiores a 1 indicaria que o sistema está perdendo qualidade.

Para os experimentos de MS, os resultados (Tabela 1) apresentaram valores semelhantes aos encontrados por Tormena et al. (2004) para um Latossolo do Paraná, que observaram IE de 1,73 e 1,28 respectivamente, para plantio direto e para preparo com escarificador. Com exceção para o PP de Campo Grande, que apresentou valor do IE inferior a 1,0 os demais sistemas nos três locais, apresentaram valores superiores a 1,3 com a sequência L-PD<SP<PP<VN. A utilização deste indicador possui como vantagem a facilidade de sua obtenção, dependendo apenas de valores para COT em duas camadas do solo, não sendo necessária a área de referência. Evidentemente sua utilização deve ser validada, com a definição de limites de valores adequados para as condições tropicais, através de avaliações comparativas em maior número de experimentos e sistemas de manejos.

Índice de manejo do carbono

Blair et al. (1995), propuseram um índice de manejo do carbono do solo (IMC) capaz de sintetizar o efeito das formas de manejo do solo sobre a quantidade e qualidade da MOS. Este indicador é composto por dois subíndices, de estoque de carbono (IEC) e de labilidade da MOS (ILab), sendo ambos calculados em relação a uma condição que é adotada como referência, geralmente uma área de vegetação natural. Diekow et al. (2005), propuseram a obtenção do ILab utilizando-se o fracionamento físico da MOS, em alternativa ao método original que utiliza KMnO_4 para oxidação da MOS e quantificação da fração lábil. O IEC é obtido pela relação entre o conteúdo de COT do tratamento e o da referência. A labilidade da MOS de cada tratamento é obtida pela razão entre os teores de carbono no material grosseiro e no associado aos minerais do solo. O ILab é obtido pela relação entre a labilidade da MOS do tratamento e a da MOS do sistema de referência. O IMC é então estimado pelo produto entre o ILab e o IEC x 100. Estes autores compararam sistemas de culturas em plantio direto ao campo nativo num experimento de longa duração do Rio Grande do Sul, obtendo valores para o IMC de 56 para a sequência de culturas aveia/milho sem adubação nitrogenada e de 201 para a sucessão quando/milho sem adubação nitrogenada, tendo o valor 100 para o campo nativo. O fato de um determinado sistema apresentar valor do IMC superior à referência (100) indica que o mesmo superou a condição original.

A utilização do índice de manejo de carbono (IMC) é adequada, uma vez que sintetiza a situação que o solo se encontra em um determinado momento, em relação a uma situação utilizada como referência, a vegetação natural, na maioria dos casos. O subíndice de estoque (IEC) fornece a indicação dos fluxos de C ocorridos até o momento da análise, refletindo o efeito do tempo. O subíndice labilidade (ILab) oferece informações quanto ao manejo e situação do momento da análise, pois ao utilizar informações provenientes da fração lábil da MOS, reflete a tendência do sistema no momento e para o futuro, indicando a possibilidade de aumento ou redução do estoque de MOS. Desta forma, o IMC, ao conjugar estes subíndices informa sobre a qualidade do sistema, pois estará retratando a situação anterior (IEC) e a tendência atual (ILab). Este último subíndice foi extremamente sensível para detectar alterações nos fluxos de carbono, como foi possível observar no experimento de Campo Grande, onde a ocorrência de acentuado déficit hídrico no período anterior a coleta das amostras foi claramente acusado pelo ILab. Em relação ao IMC, a amplitude dos valores de IE apresentada foi superior, variando de 0,98 para o PPd de Campo Grande a 3,07 para o VN de Maracaju. Para os manejos, os valores tiveram proporcionalmente maior variação que a verificada para o IMC.

Na avaliação geral dos sistemas de manejo comum aos três experimentos, verificou-se uma grande amplitude de valores para o IMC (Tabela 1), variando de 35 para o L-PD em Maracaju, a 136 para o PP em Dourados. Para os valores médios, houve correspondência com os demais resultados, apresentando a sequência dos manejos L-PD<SP<PP<VN. Para o emprego deste indicador, é necessário que se disponha de informações relativas à labilidade

da MOS, além dos estoques de COT no solo para o sistema a ser avaliado e de uma condição que seja utilizada como referência.

Nível de Ordem (NOrd)

Outra forma de representar a qualidade do sistema de manejo foi apresentada por Vezzani (2001), no qual, além dos estoques de C, considera o nível de organização do solo. Este indicador está baseado no fluxo de energia e matéria para o solo, cujo acúmulo resulta na formação de macroagregados estáveis. Assim, o índice resultante do produto entre os valores de COT e da massa de agregados maiores que 2 mm, é denominado Nível de Ordem (NOrd), e expressa em última análise a qualidade do solo. Este índice foi utilizado em experimentos de longa duração nas condições do Rio Grande do Sul, avaliando sistemas de manejo em comparação a condição de campo nativo (Vezzani, 2001). Foram verificados valores crescentes, com a redução do revolvimento do solo e maior aporte de material vegetal, sendo que o NOrd variou entre 19,4 e 69,4, respectivamente para os sistemas aveia/milho em preparo convencional e aveia/vica-milho/caupí em plantio direto. Em todos os casos nenhum sistema de manejo superou o valor dos sistemas de referência (campo nativo). A metodologia original foi alterada, com a substituição da % de massa de agregados > 2 mm, pelo DMP dos agregados, sendo calculados os NOrd para os sistemas de manejo dos três experimentos, cujos resultados estão apresentados na Tabela 1. Dentre os índices de manejo, este foi o que apresentou proporcionalmente, menor amplitude de valores, entre 68 para L-PD em Maracaju e 148 para PP em Campo Grande. Não se observou a presença de valores discrepantes para L-PD e PP de Campo Grande como ocorreu anteriormente, devido à inclusão de valores de agregação do solo além daquelas relativas ao C do solo. Desta forma há maior estabilidade dos valores que não são alterados pelas ocorrências de variações de ordem climática, cujos efeitos são imediatos na fração particulada da MOS. Os valores para os manejos foram consistentes, apresentando a mesma sequência (L-PD<SP<VN<PP) nos três locais.

Dentre os indicadores testados, o NOrd é o de obtenção mais trabalhosa, porém foi o que apresentou melhor coerência dos resultados, com valores equilibrados e capazes de sintetizar as variáveis estudadas, dentro da concepção do modelo conceitual apresentado anteriormente para sistemas agropecuários de produção.

Tabela 1 – Atributos qualitativos de sistemas de manejo do solo utilizados em experimentos de longa duração em Mato Grosso do Sul.

Sistema de manejo	IE				IMC				NOrd			
	experimento			Média	experimento			Média	experimento			Média
	CGR	MJU	DOS		CGR	MJU	DOS		CGR	MJU	DOS	
L-PD	1,39	1,38	1,33	1,37	102	35	82	73	76	68	85	76
ILP	1,40	1,53	1,64	1,52	99	49	104	84	126	95	124	115
PP d	0,98	1,87	2,00	1,62	72	64	136	91	148	125	135	136
VN	2,32	3,07	1,70	2,36	100	100	100	100	100	100	100	100
Média	1,52	1,96	1,67		93	62	106		112	97	111	

IE = Índice de estratificação, IMC = Índice de manejo do carbono, NOrd = Nível de ordem, L-PD: lavouras em plantio direto, ILP: rotação soja-pastagem, PPd: pastagem permanente de *B. decumbens*, VN: vegetação natural, CGR: Campo Grande, MJU: Maracaju, DOS: Dourados.

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, 1995.

DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D. P.; KOGEL-KNABNER, I. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilisation. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 268, p. 319-328, 2005.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. et al. (Ed.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21. (Special Publication, 35).

FRANZLUEBBERS, A. J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil and Tillage Research**, v. 66, p. 95, 2002.



MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de Sistemas Agrícolas. In. SANTOS, G. A et al. (Ed.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: Ecossistemas Tropicais e Subtropicais. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 01-05.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F. F.; DEBARBA, L. Manejo de solos e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURTI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ V., V. H. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3. p. 209-248.

TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 1023, 2004.

VEZZANI, F. M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. 184 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.