

## INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO

Derli Prudente Santana e Antônio F.C. Bahia Filho. Embrapa Milho e Sorgo. Caixa Postal 151,  
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG. [derli@cnpms.embrapa.br](mailto:derli@cnpms.embrapa.br)

### Introdução

Ao longo da história da humanidade, o solo tem sido um elemento bastante familiar ao homem, que dele sempre dependeu para satisfazer as suas necessidades básicas de locomoção, abrigo e alimentação. Essa intrínseca e indissolúvel ligação com o solo é manifesta na designação do primeiro ser humano, *Adão*, nome derivado de *adama*, uma palavra hebraica do gênero feminino, que significa *terra* ou *solo*. O originalmente formado Adão foi depois diferenciado em homem e mulher, respectivamente Adão e Eva, que significa "ser vivo" ou "o que dá vida". Assim, Adão e Eva, considerados os progenitores de toda a humanidade, significam, quase que literalmente, a mútua dependência de solo e vida (Hillel, 1998). Essa estreita relação entre solo e vida, levam os cientistas a vê-lo como "um corpo natural da superfície terrestre, alterada e biologicamente modelada, e sustentando ou sendo capaz de sustentar plantas". É composto de partículas minerais de diferentes tamanhos (areia, silte, argila), poros (ocupados por água e ar), matéria orgânica e numerosas espécies de organismos vivos. A natureza e proporção de cada uma dessas partes pode variar bastante e há uma grande interdependência entre todos os componentes. O fator tempo, condicionando outros fatores, traz a importante consequência de que as propriedades biológicas, químicas e físicas estão em constantes mudanças. O solo faz a ligação entre litosfera, atmosfera e biosfera, apresentando uma interdependência muita grande entre todos esses componentes. Nesse contexto, exerce várias funções básicas, como, por exemplo:

- provê o suporte mecânico para os organismos vivos e suas estruturas; pessoas e a vida selvagem dependem dessa função;
  - armazena carbono e regula as trocas energéticas.
- A posição peculiar da pedosfera a torna uma das peças cruciais na estrutura dos ecossistemas terrestres.
- Qualidade do Solo**
- É cada vez mais difícil conceber a idéia de competitividade dissociada de garantia de qualidade. A idéia de qualidade de um produto (carro, eletrodoméstico, etc.), do ar ou da água, que tem padrões definidos, não é difícil de ser visualizada. Contudo, definir e, principalmente, qualificar e quantificar a qualidade do solo não é uma tarefa fácil. A dificuldade advém do fato de que qualidade do solo depende de suas características intrínsecas, de interações do ecossistema, do uso e manejo, e de prioridades sócio-econômicas e políticas. Além disso, a percepção do que é um solo de boa qualidade varia de acordo com as prioridades individuais. Contudo, para manejá-lo adequadamente e manter nosso solo em condições aceitáveis para futuras gerações, qualidade do solo tem que ser definida de maneira a incluir todas essas facetas. Larson e Pierce (1991) sugerem que a qualidade de um solo deve ser considerada como composta de suas propriedades físicas, químicas e biológicas, de maneira que : 1) provê meio para o crescimento das plantas; 2) regula a distribuição da água no meio ambiente; 3) serve como um tampão ambiental na formação, atenuação e degradação de produtos danosos ao ambiente. Doran e Parkin (1994) definem qualidade do solo (QS) como a capacidade ou especificidade do solo em exercer várias funções em uma maneira sustentável. Como funções básicas do solo (FS) citam:
1. FS<sub>1</sub> – Produtividade
  2. FS<sub>2</sub> – Ambiental
  3. FS<sub>3</sub> – Saúde
- $QS = f(FS_1, FS_2, FS_3, \dots, FS_n)$
- Neste enfoque, o qual endossamos, o conceito de qualidade do solo seria:
- Qualidade do solo é capacidade ou especificidade do solo de exercer várias funções, dentro dos limites do uso da terra e do ecossistema, para sustentar a produtividade biológica, manter ou melhorar a qualidade ambiental e contribuir para a saúde das plantas, dos animais e humana.*

3149

Encontro Brasileiro de Ciências  
do Solo, 2º

## Como Avaliar a Qualidade do Solo

A avaliação da qualidade do solo pode ser vista da mesma maneira que um exame médico de uma pessoa, no qual certas medições são feitas como indicadores de funções básicas do organismo (Larson e Pierce, 1991). Inicialmente, o médico vai observar sinais externos do estado de saúde do paciente. A seguir, são feitas medições de temperatura, pressão sanguínea, batimento cardíaco e, dependendo da situação, certos exames químicos de sangue e urina. Se os indicadores básicos estão fora de uma faixa de referência, mais testes para diagnóstico podem ser conduzidos para auxiliar na identificação do problema e encontrar uma solução. Por exemplo, pressão alta pode indicar o risco de falha no sistema circulatório, devido a um enfarte. Como pressão alta pode ser devida a dieta imprópria, falta de exercícios, ou alto nível de estresse, o médico pode exigir um exame secundário para colesterol. Identificado o problema, será feita uma recomendação de medicamentos e, principalmente, de mudanças no hábito de vida. Os efeitos dessa mudança serão monitorados periodicamente, pelos níveis de colesterol no sangue, para verificar a adequação do tratamento. Este é um bom exemplo de aplicação de um indicador básico para identificar um problema e monitorar o efeito do manejo na saúde ou qualidade do sistema. A qualidade ou saúde do solo também pode ser avaliada pelo monitoramento de vários indicadores. O tipo de indicador escolhido depende da função a ser avaliada e da escala do estudo (isto é, lavoura, fazenda, bacia ou região). Por exemplo, o indicador para perda de solo pela erosão pode ser a diminuição da camada superficial (horizonte A) ou evidência visual ou física de voçorocas, pequenos sulcos, deposição de sedimentos, etc. Indicadores para as condições físicas, químicas e biológicas podem ser simples testes de campo ou análises sofisticadas de laboratório. Indicadores de qualidade do solo devem ser considerados ferramentas para orientar o planejamento e a avaliação das práticas de manejo utilizadas. As informações obtidas do monitoramento podem ser usadas na melhoria das recomendações conservacionistas.

### Indicadores de Qualidade do Solo

São propriedades, processos e características físicas, químicas e biológicas que podem ser medidas para monitorar mudanças na qualidade do solo. Podem ser divididos em quatro grupos gerais: visuais, físicos, químicos e biológicos. **Indicadores visuais** podem ser obtidos de observações ou de interpretação de fotografias. Exposição do subsolo, mudança de cor do solo, sulcos ocasionais, acúmulo de água, enxurrada, resposta da planta, espécies de ervas daninhas, poeira e deposição são somente alguns poucos exemplos de indicadores potenciais determinados localmente. Evidências visuais podem

ser uma indicação clara de que a qualidade do solo está sendo melhorada ou piorada.

**Indicadores físicos** são relacionados ao arranjo das partículas sólidas e dos poros. Exemplos incluem densidade global, porosidade, estabilidade de agregados, textura, encrustamento e compactação. Indicadores físicos refletem primariamente limitações para o desenvolvimento radicular, emergência de plântulas, infiltração ou movimento de água no perfil.

**Indicadores químicos** incluem medições de pH, salinidade, matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes, capacidade de troca de cátions, ciclagem de nutrientes e concentração de elementos que podem se potencialmente contaminantes (metais pesados, compostos radioativos, etc.) ou aqueles que são essenciais para o crescimento e o desenvolvimento das plantas. As condições químicas do solo afetam a relação solo-planta, qualidade da água, capacidade tamponante, disponibilidade de nutrientes e de água para as plantas e outros organismos, mobilidade de contaminantes, entre outros.

**Indicadores biológicos** incluem medições de micro e macrorganismos, suas atividades e subprodutos. Taxa de respiração pode ser usada para medir a atividade microbiológica, especialmente decomposição de matéria orgânica no solo. Ergosterol, um subproduto fúngico, tem sido usado para medir a atividade de organismos que têm um papel importante na estabilidade de agregados do solo. Medições de taxas de decomposição de resíduos de plantas podem também servir como indicadores biológicos da qualidade do solo.

### Seleção de Indicadores

A qualidade do solo é estimada pela observação ou medição de diferentes propriedades ou processos. Nenhuma propriedade pode ser usada isoladamente como um índice de qualidade do solo. Os tipos de indicadores que são mais úteis dependem da função do solo para a qual está sendo avaliado. A seleção de indicadores deve ser baseada em:

- uso da terra;
- relacionamento entre o indicador e a função para a qual está sendo avaliado;
- facilidade e segurança na medição;
- variação entre tempo e local de amostragem;
- sensibilidade de medição para mostrar mudanças no manejo do solo;
- compatibilidade com amostragem e monitoramento de rotina;
- habilidade requerida para uso e interpretação.

Por outro lado, Gomez et al. (1996) sugerem que um indicador deve ser:

1. fácil de medir;
2. responder facilmente a mudanças;
3. ter um limite claro separando as condições de sustentabilidade daquelas de não

4. ser diretamente relacionado com os requerimentos de qualidade do solo.

Existem pelo menos dois enfoques de como definir e medir a sustentabilidade de um sistema agrícola. Um deles baseia-se na premissa de que indicadores importantes são local específico e mudanças ocorrem de acordo com as condições prevalecentes em uma unidade produtiva. Por exemplo, em áreas acidentadas, erosão do solo é um importante componente de sustentabilidade, mas, em áreas planas, as perdas de solo por erosão são insignificantes e podem não ser um bom indicador. Baseado nesse princípio um protocolo para medir a sustentabilidade começa com uma lista de indicadores potenciais, da qual o planejador seleciona um subgrupo mais apropriados para aquela situação específica que está sendo avaliada. Esse enfoque elimina a dificuldade de selecionar e chegar a um consenso sob um grupo comum de indicadores de aplicação genérica. Ele deixa ao usuário a liberdade de selecionar seus próprios indicadores, o que é sempre atrativo. Por outro lado, esse enfoque de especificidade local dificulta a comparação de resultados de áreas onde foram escolhidos diferentes indicadores. O outro enfoque baseia-se no princípio de que a definição e, consequentemente, a maneira de medir a sustentabilidade são as mesmas, independente da variabilidade de situações prevalecentes nas diferentes fazendas. Sob esse princípio, sustentabilidade é definida por um conjunto de requerimentos que devem ser atendidos por qualquer fazenda, independente da gama de variações existentes. Por exemplo, nas áreas acidentadas ou nas áreas planas, mencionadas antes, erosão é um importante indicador e deve ser preenchido em qualquer situação. Aqui os indicadores são constantes para todos os locais. Todas as medições são baseadas nos mesmos indicadores e os resultados são comparáveis entre fazendas e são fáceis de serem analisados no que se refere à repetibilidade e replicabilidade. O que varia é a intensidade da variação em determinados indicadores. Larson e Pierce (1991) propuseram um conjunto mínimo de indicadores para serem usados na avaliação da sustentabilidade. Doran e Parkin (1996), enfatizando o aspecto biológico, introduziram algumas modificações. Nossa opinião é de que deve ser usado um conjunto mínimo de indicadores, com metodologia padronizada, para facilitar a comparação, mas deve-se, também, selecionar indicadores locais que melhor atendam às especificidades da área em estudo. Para ser prático e usado por agricultores, extensionistas, planejadores, cientistas e políticos, um conjunto mínimo de indicadores deve ser útil para uma ampla gama de situações ecológicas e sócio-econômicas. Um indicador deve:

- correlacionar bem com processos ecológicos;

- integrar processos e propriedades físicas, químicas e biológicas, e servir como base para estimar propriedades e funções mais difíceis de serem diretamente medidas;
- ser relativamente fácil de usar em condições de campo, tanto para o especialista quanto para o agricultor;
- ser sensível a variações em manejo e clima; o indicador deve ser sensível o bastante para refletir a influência de manejo e clima em variações de longo prazo na qualidade do solo, mas não tão sensível a ponto de ser influenciado por pequenas alterações no clima;
- ser componente de dados de solo já disponíveis, quando possível.
- Os indicadores de qualidade do solo são importantes para:
  - focar os esforços de conservação em melhoria das condições do solo;
  - avaliar práticas e técnicas de manejo de solo;
  - relacionar qualidade do solo com outros recursos;
  - coletar as informações necessárias para determinar tendências de mudanças na qualidade do solo;
  - orientar as decisões de manejo.

#### **Limite de Sustentabilidade**

É usado para separar a condição sustentável da não sustentável. A menos que esse limite seja estabelecido para cada indicador, não será possível identificar uma situação de sustentabilidade de uma que não é. Dois diferentes enfoques têm sido propostos para se estabelecerem critérios de referência: 1) condição de solo nativo; 2) condições que maximizem a produção e conservem o meio ambiente. Gomez et al.(1996) usaram como princípio básico para se estabelecer o limite de sustentabilidade a média da região, em vez de um valor absoluto para todas as situações. Isso parece ser razoável, uma vez que os fazendeiros normalmente julgam sua posição em relação à de seus vizinhos. Com esse princípio, espera-se que limites de indicadores para regiões de grande variabilidade ambiental e sócio-econômica sejam bastante diferentes. Santana e Bahia Filho (1998), utilizando resultados de pesquisa, observações e conhecimento local, sugeriram um conjunto mínimo de indicadores e seus limites de sustentabilidade, para ser usado como um guia na avaliação da qualidade de solos da região do cerrado (Tabela 1). Notem que nem sempre mais significa melhor.

#### **Quando e Onde Medir**

O local e o tempo ótimos para observar ou amostrar o indicador de qualidade do solo dependem da função para a qual a avaliação está sendo feita. A freqüência da medição também varia de acordo com o clima e o uso da terra. Variações do solo em uma lavoura, pastagem ou floresta podem afetar bastante

fatores como unidade de paisagem, unidade de mapeamento, ou estádio de desenvolvimento da planta podem ser críticos. Caminhos de passagem de roda podem afetar dramaticamente muitas propriedades medidas para produtividade das plantas. Histórico de uso e manejo atual devem ser registrados para assegurar uma interpretação mais válida da informação. O monitoramento da qualidade do solo deve ser orientado primariamente para detectar tendências de mudanças que são mensuráveis num período de um a dez anos. As mudanças detectadas devem ser reais, mas, ao mesmo tempo, devem mudar rápido o suficiente para que o administrador possa corrigir os problemas antes que perdas indesejáveis ou irreversíveis na qualidade do solo ocorram.

### **Significado das Medição**

Interpretar as medições dos indicadores para separar tendências da qualidade do solo de variações periódicas ou ao acaso é atualmente o grande desafio para pesquisadores e administradores. Solos e os valores de seus indicadores podem variar devido a mudanças no material de origem, condições climáticas, posição na paisagem, organismos do solo e tipos de vegetação. Por exemplo, capacidade de troca de cátions pode estar relacionada à matéria orgânica, mas pode também estar relacionada com o tipo e quantidade de argila. Estabelecer faixas aceitáveis, examinar tendências de variações com o tempo e incluir estimativas ou variações associadas as medições são importantes na interpretação de indicadores. As mudanças têm que ser avaliadas como um grupo, sendo a variação de um indicador avaliada em relação à variação dos outros. O objetivo geral deve ser manter ou melhorar a qualidade do solo, sem afetar negativamente outros recursos.

### **Qualidade do Solo e Sustentabilidade Agrícola**

A qualidade de nossos solos agrícolas é o mais importante elo entre as práticas agrícolas e a agricultura sustentável. Se os solos ficam degradados, mais recursos em termos de tempo, dinheiro, energia e agroquímicos vão ser necessários para produzir menor quantidade de alimentos de pior qualidade, e os objetivos de uma agricultura sustentável não vão ser alcançados. Por outro lado, se a degradação do solo é revertida e a qualidade do solo é mantida ou melhorada utilizando-se métodos de manejo adequados, a sustentabilidade da agricultura pode ser uma realidade (Acton e Gregorich, 1995). Portanto, a qualidade do solo é um componente crítico da agricultura sustentável. E, sem dúvida, um sistema agrícola somente será sustentável quando a qualidade do solo for mantida ou melhorada.

### **Variabilidade da Qualidade do Solo**

A qualidade do solo pode apresentar uma grande variabilidade espacial e temporal. Isto pode ser facilmente visualizado com a ajuda de um gráfico radial. Em um gráfico radial, o que se busca é o hexágono sem distorções. Assim, utilizando-se o gráfico para avaliar a sustentabilidade, assume-se que todos os indicadores tem

componente que está ocasionando a não sustentabilidade (Figuras 1 e 2). Ele ajuda a entender diferenças na lavoura, entre lavouras, ou ao longo do tempo. Por outro lado, ajuda bastante a entender que a sustentabilidade não é apenas uma questão de usar dados derivados de uma perspectiva comum, mas que pode ser uma ferramenta útil para o planejamento de ações futuras. Variações no limite de sustentabilidade, ao longo do tempo, são um importante indicador de sustentabilidade numa fazenda ou numa região. A região que melhora suas práticas de manejo pode consistentemente melhorar sua produtividade e a preservação dos recursos naturais, os quais devem se refletir nos limites de sustentabilidade. Assim, elevando-se o nível de sustentabilidade, ao longo do tempo é um indicativo de sustentabilidade da área avaliada; inversamente, um decréscimo dos níveis é uma tendência de decréscimo na sustentabilidade.

### **Indicadores de Qualidade do Solo em Sistemas de Plantio Direto**

O sistema de plantio direto mantendo uma cobertura permanente na superfície do solo e um contínuo aporte de resíduos orgânicos cria um ambiente bastante específico. Como esse ambiente vai sendo criado ao longo dos anos, é possível que, no início o que se observe é uma redução de custos. Assim, a renda que é um componente forte da sustentabilidade deve ser considerada associada à qualidade do solo. No solo, as mudanças constituem uma poupança que vai render ao longo dos anos. Em geral o que se observa com a implantação de um sistema de plantio direto é diminuição de perdas de solo, maior infiltração, melhor disponibilidade de água, melhor reabastecimento do lençol freático e menores enxurradas e enchentes. Assumindo que um sistema de manejo é sustentável somente quando a qualidade do solo é mantida ou melhorada, o enfoque metodológico aqui apresentado pode ser utilizado para medir e monitorar a sustentabilidade de um sistema de manejo utilizando indicadores de qualidade do solo para sistemas de plantio direto. Surge então, a pergunta, quais indicadores serão mais adequados para monitorar o desenvolvimento de um sistema de plantio direto? Estabilidade de produção? Espessura da camada de resíduos? Matéria orgânica? Evolução de CO<sub>2</sub>? Infiltreação? Tipo de erva-daninha? Minhoca? Microfauna do solo? CTC? Balanço de nutrientes? Disponibilidade de P? Disponibilidade de N?

### **Considerações Finais**

A análise das limitações do solo possibilita uma seleção inicial de indicadores de qualidade do solo que sejam significativos e passíveis de quantificação, para ajudar a fazer uma identificação do que está ocorrendo no sistema de manejo. O uso apropriado dos indicadores de qualidade do solo depende muito de como esses indicadores são entendidos em relação ao ecossistema do qual fazem parte. A interpretação da relevância ecológica dos indicadores biológicos, separados dos atributos físicos e químicos, é de pequeno valor e, o respeito

enganosa. Assim, um enfoque para avaliar a qualidade do solo tem que ser holístico e útil na identificação de sistemas de manejo agrícola que conservem os recursos naturais e continue a satisfazer as necessidades do agricultor (competitividade). Utilizando os indicadores de qualidade do solo, é possível identificar se o manejo atual está contribuindo para melhor ou para pior em termos de manejo sustentável e fazer uma identificação inicial do problema. Se variações espaciais e temporais da qualidade do solo mostram

que as estratégias atuais de manejo levam a um manejo sustentável, não é necessário mudar para outra alternativa de manejo. Contudo, se degradação da qualidade do solo é indicada, é aconselhável passar por um processo de planejamento para implementar práticas alternativas de manejo que possam melhorar a qualidade do solo, sejam benéficas ao meio ambiente e sejam lucrativas. Qualidade do solo é inseparável de sustentabilidade agrícola.

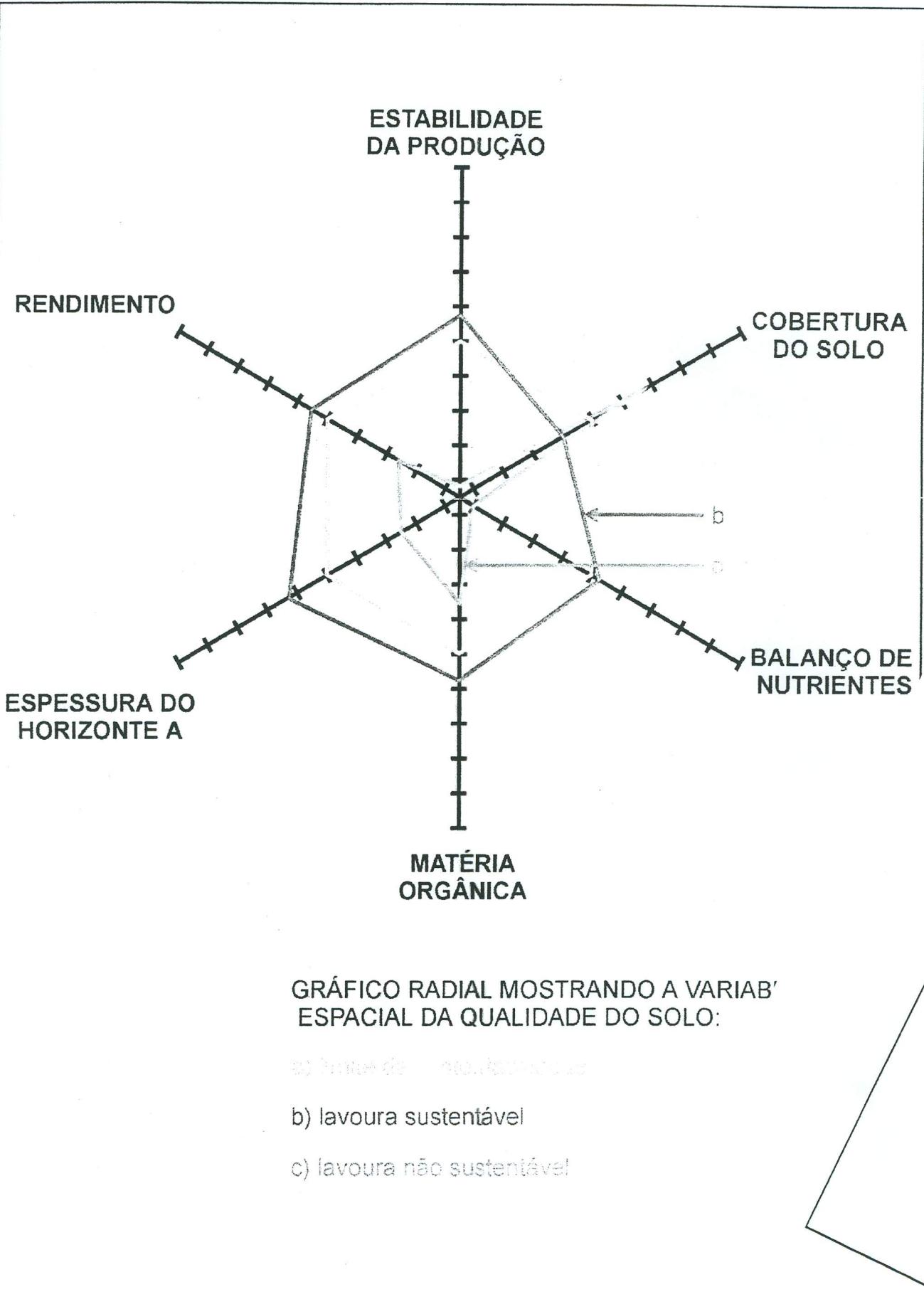
### Referência Bibliográfica

- ACTON, D.F. & GREGORICH, L.J. *The health of our soils: toward sustainable agriculture in Canada*. Ottawa: Canadá Center for Land and Biological Resources, 1995. 138p.
- DORAN, J. W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A. eds. *Defining soil quality for sustainable environment*. Madison: SSSA, 1994. P. 3-21 (SSSA Special Publication, 35)
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Quantitative indications of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J. eds. *Methods for assessing soil quality*. Madison: SSSA, 1996. P. 25-37. (SSSA Special Publication, 49).
- GOMEZ, A.A.; KELLY, D.E.S.; SYERS, J. K.; COUGHLAND, K.J. Measuring sustainability of agriculture systems at the farm level. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J. eds. *Methods for assessing soil quality*. Madison: SSSA, 1996. P. 401-409. (SSSA Special Publication, 49)
- HILLEL, D. *Environmental soil physics*. New York: Academia Press, 1998. 771 p.
- LARSON, W.E. & PIERCE, F.J. Conservation and enhancement of soil quality. In: INTERNATIONAL BOARD FOR SOIL RESEARCH AND MANAGEMENT (Bangkok, Thailand) Evaluation for sustainable land management in the developing world. Bangkok, 1991. v.2 (IBSRAM – Proceedings, 12)
- SANTANA, D.F. & BAHIA FILHO, A.F.C. Soil quality and agricultural sustainability in the Brazilian Cerrado. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 16., 1998. Montpellier, França. Proceedings, Montpellier: ISSS, 1998. CD ROM

Tabela 1 – Conjunto mínimo de indicadores biológicos, físicos, e químicos para avaliar a qualidade e as condições dos solos. (Santana & Bahia Filho, 1998).

Qualidade ou condição	Indicador	Descrição e valores
Atividade biológica	Evolução de CO <sub>2</sub> Biodiversidade Atividade enzimática	> média solos representativos > média solos representativos > média solos representativos
Mat. Orgânica	Cor da camada superficial Carbono orgânico ( C% )	preta, ou marrom escura > 1 %
Acidez	pH	5.6 a 6.5
Toxidez de alumínio	Sistema radicular Saturação de Al	raízes rasas, ângulos acentuados, desenvolvimento limitado <20 %
Fósforo	P extraído (mg/kg – Mehlich 1)	>10 solo argiloso >20 solo de textura média >30 solo de textura arenosa
Balanço de nutrientes	Aspecto da cultura (cor, vigor)	verde escura, saudável

	Saturação de bases(V %-pH 7)  Equilíbrio de bases (% CEC) : saturação de Ca saturação de Mg saturação de K	40 to 60 %  60 % 15 % 5 %
Compactação	enxurrada  Sistema radicular  teste de infiltração  densidade global  teste de penetração com um pedaço de cobre	água penetra lentamente, enxurrada ou água empoçada após chuva forte raízes rasas, ângulos acentuados, desenvolvimento limitado > média solos representativos <média solos representativos não penetra, camada adensada (pan) ou pé de grade
Erosão	perda de solo espessura do horizonte A medição local de perda de solo	sinais de erosão laminar ou sulcos >média solos representativos <média solos representativos
Cobertura permanente da superficie	% cobertura permanente na superficie do solo no inicio da estação das chuvas	>70 %



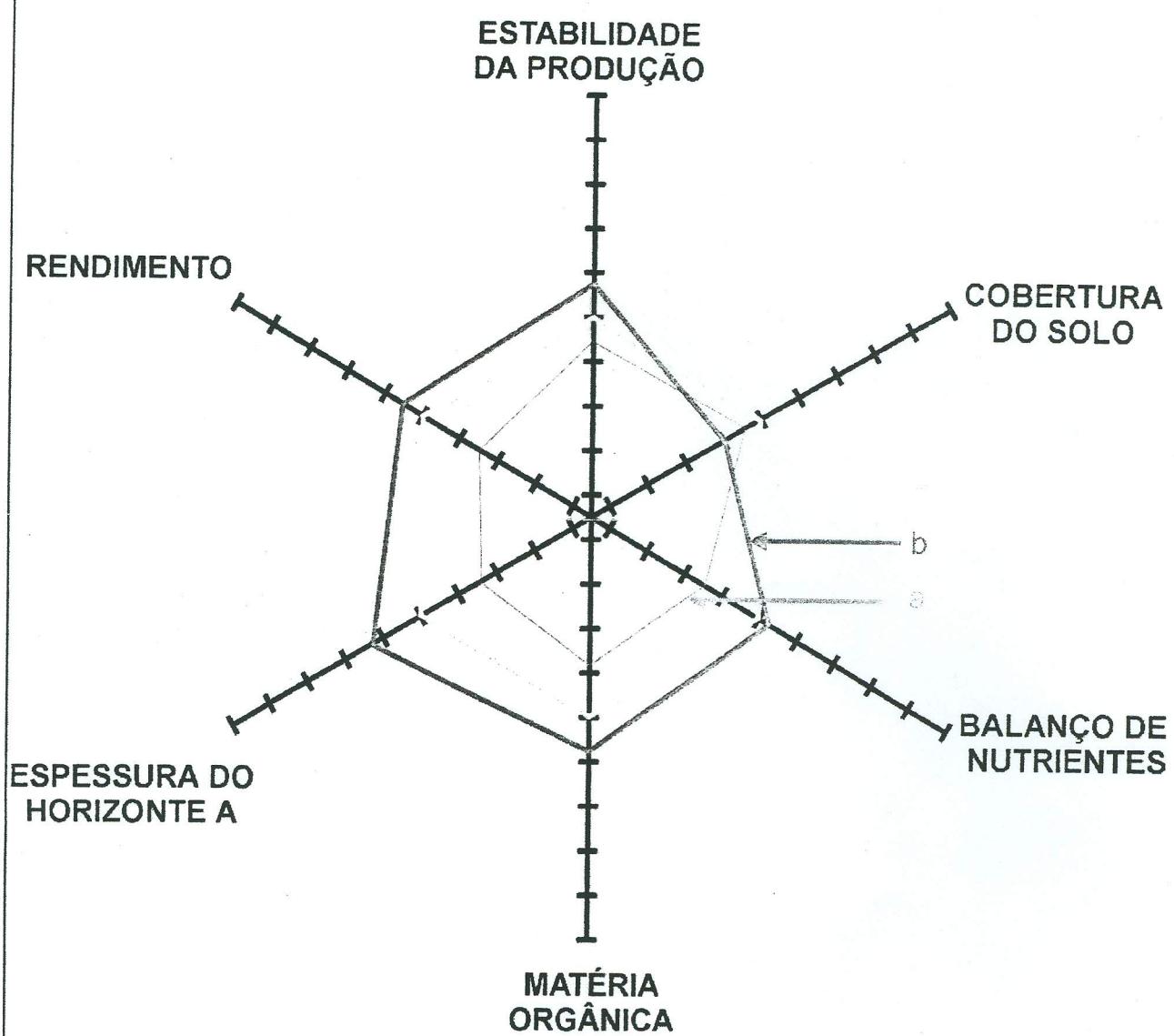


GRÁFICO RADIAL MOSTRANDO A VARIABILIDADE TEMPORAL DA QUALIDADE DO SOLO:

- a) 1997 (lavoura não sustentável)
- b) 1998 (lavoura sustentável)
- c) 1999 (Fase de recuperação)
- d) 2000? (depende do manejo...)