

PROPRIEDADES MICROBIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DO SOLO PARA VALIDAR ALTERNATIVAS DE MANEJO DO SOLO

Anna Cristina Lanna¹, Laila Rossi Mohamad El Azanki²

Resumo.

É crescente a preocupação com as condições ambientais, principalmente, no que diz respeito ao ambiente solo. O crescimento de áreas agricultáveis e o uso intensivo dos solos levaram a uma degradação acelerada dos mesmos, tanto em áreas tropicais como sub-tropicais. O solo, por ser um corpo natural, dinâmico e vivo, torna-se evidente que sua qualidade seja também determinada por indicadores capazes de avaliar seu *status* biológico, sendo que estes estão intimamente ligados aos processos de ciclagem de nutrientes e de funcionamento global do ecossistema. Diante desta realidade, a comunidade científica mundial iniciou a busca de formas objetivas de avaliar a qualidade do solo, a qual tem sido verificada, até o momento, por meio de indicadores químicos e físicos, visto que a mensuração dos atributos microbiológicos e bioquímicos ainda precisa de adequação e padronização de técnicas de análise. Nesse sentido, estabelecer um consenso sobre quais atributos biológicos devem ser quantificados e priorizar pesquisas nessa área é muito importante para que eles possam ser utilizados no monitoramento da qualidade do solo. Assim, esse trabalho objetiva descrever os principais atributos microbiológicos e bioquímicos e retratar, por meio de resultados científicos, como esse tema está sendo abordado pelo meio científico.

Palavras-chave: qualidade biológica do solo, biomassa microbiana; atividade enzimática; quociente microbiano; quociente metabólico

BIOCHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL PROPERTIES OF SOIL FOR VALIDATING ALTERNATIVES OF SOIL MANAGEMENT

Abstract

It is increasing concern with environmental conditions, mainly with regards to soil environment. The expansion of agriculture and the intensive use of the soil resulted in its accelerated degradation, in tropical and subtropical areas. The soil as a dynamic and alive natural substratum requires that its quality must be determined with indicators, able to evaluate its biological status linked to the process of nutrient cycling and to the global functioning of the ecosystem. To face this reality, the world scientific community started to survey ways of evaluating the quality of soil, which have been verified by chemical and physical indicators, because the measurement of the microbiological and biochemical attributes still need adequate and standard techniques of analysis. In this means it is necessary to establish a consensus on which biological attributes should be

¹Química, Doutora em Fisiologia Vegetal. Pesquisadora da Embrapa Arroz e Feijão. Rodovia GO 462, Km 12 Zona Rural, Santo Antônio de Goiás. aclanna@cpnaf.embrapa.br

²Aluna do Curso de Especialização em Biologia Vegetal pela Universidade Estadual de Goiás

quantified and on prioritizing researches in that area so that those biological indicators can be used to monitor soil quality. This article aims to describe the main soil microbiological and biochemical attributes and to describe, with scientific results, how this theme is being approached by scientific community.

Key words: biological soil quality, microbial biomass; enzymatic activity; microbial index; metabolic index.

Introdução

Os Cerrados Brasileiros representam a maior área contínua com potencial para a produção agrícola de grãos e para a produção de carne e leite, em razão de diversos fatores favoráveis como localização privilegiada, recursos hídricos abundantes, topografia e clima. No entanto, este bioma apresenta solos ácidos e de baixa fertilidade e desde que as atividades agropecuárias foram implantadas, nesta região, sempre houve a necessidade da correção da acidez, de incrementos de nutrientes, além de um manejo adequado que proteja o solo da erosão e da carência de matéria orgânica (GOEDERT et al., 1980). Atualmente, verifica-se que por causa do uso inadequado dos solos ocorreu um considerável aumento nos níveis de degradação, sendo estimado que 34 milhões de hectares, dos 42 milhões ocupados por pastagem, apresentam-se em algum estágio de degradação e, adicionalmente, dos 10 milhões de hectares destinados à produção de grãos, 50% apresentam o mesmo problema (KLUTHCOUSKI et al., 1999).

Diante deste contexto, a disponibilidade de terras destinadas à produção de alimentos *per capita* no Cerrado e, de um modo geral, na região tropical é decrescente face à pressão demográfica e à degradação do solo. A degradação é em decorrência do imediatismo e da ineficiência que, de maneira geral, fazem parte do quadro sócio-econômico, cultural e do uso e manejo dos recursos naturais. Esses fatores associados à alta erosividade hídrica e à drástica mineralização da matéria orgânica tornam os solos vulneráveis à erosão hídrica em intensidade muito alta quando comparados àqueles da região temperada (HENKLAIN e MEDEIROS, 1995).

A ocupação do solo, utilizando-se isoladamente extensas áreas com monocultivos ou pastagens não apresenta uma relação custo/benefício satisfatória. Assim, a adoção de novos conhecimentos e tecnologias na agricultura exige mudanças de comportamento do agricultor, avanços na gerência, implantação de sistemas de qualidade e conseqüentes modificações dos sistemas de produção em busca da sustentabilidade (HENKLAIN e MEDEIROS, 1995). Conseqüentemente, este cenário impulsiona a pesquisa para obtenção de índices de qualidade do solo, dentre outros fatores relevantes.

A qualidade do solo pode ser vista de duas maneiras distintas: (a) como característica intrínseca do solo, a qual é governada pelos processos formadores do mesmo ou (b) como condição de “saúde” do solo (qualidade dinâmica do solo) (KARLEN et al. 1997). Quanto ao componente intrínseco, entende-se que pode ser medido por parâmetros que reflitam o potencial pleno ou ideal de determinado solo de realizar determinada função. Quanto à qualidade dinâmica, assume que, se um solo está funcionando em um potencial máximo para determinado uso, ele apresenta excelente qualidade. Segundo BROOKES (1989), um solo de alta qualidade deveria apresentar as seguintes funções: (a) auxiliar na redução do nível de contaminantes na água superficial e subsuperficial; (b) permitir a produção de alimentos saudáveis e nutritivos e (c) mostrar características de um ecossistema em equilíbrio, sendo estas características representadas por atributos físicos, químicos e biológicos.

Dentre os atributos físicos de qualidade que podem ser usados para avaliar um determinado solo destaca-se como ele recebe, retém e transmite água para as culturas, incluindo-se medidas de estrutura, tamanho e distribuição dos poros, estabilidade de agregados, condutividade hidráulica saturada, agregados e ou mecanismos de retenção. Dentre os atributos químicos, os mais importantes incluem a capacidade de troca catiônica (CTC), pH, conteúdo de carbono orgânico total e ou teor de matéria orgânica, capacidade de absorção iônica e disponibilidade de nutrientes. E, em relação aos atributos biológicos, pode-se citar carbono (C) e nitrogênio (N) da biomassa microbiana; atividade da população microbiana (atividade metabólica) como taxa de respiração, atividade

enzimática total e específica, taxa de mineralização de N, fósforo (P) e enxofre (S), dinâmica da matéria orgânica e do húmus; bem como diversidade microbiana como associações micorrízicas, comunidades de nematóides, microrganismos solubilizadores de fosfato, dentre outros (KARLEN et al., 1997). Estes indicadores, que são a parte viva e mais dinâmica do solo, apresentam grande potencial na avaliação dos impactos causados pelos diferentes sistemas de uso do solo. Apesar disso, a descoberta da importância dos microrganismos dos solos e, conseqüentemente, o interesse pela microbiologia e bioquímica do solo, teve início no século passado, intensificando cada vez mais, o interesse nas propriedades biológicas de isolamento, identificação, enumeração e avaliação da atividade desses importantes agentes de transformação da matéria orgânica do solo (GRISI, 1984).

Mais recentemente, diversos estudos no Brasil (CATTELAN e VIDOR 1990; BALOTA et al., 1998; SAMINÉZ, 1999 e CARNEIRO, 1999) e em várias partes do mundo (PRASAD et al., 1994; DENG e TABATABAI, 1997; ANANYEVA et al., 1999 e KANDELER et al., 1999) têm avaliado os impactos causados por diversos usos do solo nas suas propriedades microbiológicas e bioquímicas. Porém, em solos da região do Cerrado, a maior parte dos estudos biológicos do solo está concentrada nas áreas de rizobiologia e micorrizas. Pouco se sabe sobre as propriedades microbiológicas e bioquímicas em solos agricultáveis e sob vegetação nativa, bem como sobre os impactos dos diferentes sistemas de produção, principalmente, em sistemas inovadores como os sistemas integrados de culturas anuais e pastagem, rotação de culturas, plantio direto, agricultura orgânica, entre outros.

O solo é um habitat de natureza heterogênea, complexa e dinâmica, onde características químicas, físicas e comunidades biológicas são altamente interdependentes, de modo que não se pode modificar nenhuma delas sem modificar as demais. O rápido declínio verificado na agregação dos solos virgens, quando são cultivados, é por causa da redução da matéria orgânica (atributo químico) e da ruptura das hifas e raízes (atributo biológico) que atuam ativamente na estabilidade dos agregados dos solos, principalmente macroagregados (atributo

físico). O impacto de práticas agrícolas sobre a qualidade do solo apresenta forte relação com a produção e decomposição dos restos culturais. A manutenção dos restos culturais no solo, com ou sem incorporação, e as práticas de conservação do solo enriquecem-no com matéria orgânica e reduzem impactos negativos que possam surgir pelo cultivo intensivo e sucessivo das áreas agricultáveis. Existe uma correlação positiva entre a matéria orgânica do solo, os microrganismos e a sua estruturação; enquanto a matéria orgânica e os microrganismos do solo estabilizam a estrutura, uma boa estrutura protege fisicamente a matéria orgânica e os microrganismos do solo, formando um circuito complexo e intimamente ligado entre agregação, microbiota e matéria orgânica (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002).

Pelo fato da matéria orgânica do solo estar diretamente associada com processos químicos, físicos e biológicos do solo, ela é considerada um dos melhores indicadores de qualidade do mesmo. Ela é definida como o produto da acumulação de resíduos de plantas e animais parcialmente decompostos e parcialmente ressintetizados, sendo composta, principalmente de carbono (C), oxigênio (O), hidrogênio (H) e outros elementos, em menor proporção, como o nitrogênio (N), enxofre (S), fósforo (P), entre outros.

A matéria orgânica do solo pode ser dividida em matéria orgânica viva e matéria orgânica morta. O componente morto pode chegar a 98% do carbono orgânico total e o componente vivo raramente atinge 4%, sendo subdividido em três compartimentos: raízes de plantas (5 a 10 %), macrorganismos ou fauna (5 a 30 %) e microrganismos (60 a 80 %) (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002). Além de estimular o desenvolvimento e a atividade dos microrganismos e ser, ao mesmo tempo, fonte de energia e nutrientes, a matéria orgânica atua, também, protegendo e mantendo as enzimas do solo em suas formas ativas, pela formação de complexos enzima-compostos húmicos (DENG e TABATABAI, 1997). Além disso, durante a transformação da matéria orgânica, ocorre a formação de uma série de compostos orgânicos complexos que retêm os nutrientes por maior período de tempo, que vão sendo liberados à medida

que estes compostos vão sendo hidrolisados e colocados à disposição das plantas.

A produção de matéria orgânica em solos tropicais é alta em face das condições ambientais favoráveis que, em contra posição, também levam a uma elevada taxa de decomposição microbiana (EIRA, 1995). Dados sobre a produção ou taxas anuais de adição de *litter* (cobertura morta natural de florestas) é de 0,7 ton.ha⁻¹ para a fitofisionomia Campo sujo; 3.0 ton.ha⁻¹ para Cerrado Ralo e 6.9 ton.ha⁻¹ para Cerrado *sensu stricto* (OTTMAR et al. (2001); 7.8 ton.ha⁻¹ para Cerradão (PERES et al. 1983) e entre 6.1 e 7.2 ton.ha⁻¹ para Mata de Galeria (PARRON, 2004).

As espécies cultivadas representam importante papel na dinâmica do carbono do solo porque a quantidade e qualidade de seus resíduos afetam as taxas de reciclagem (*turnover*) de nutrientes. Por exemplo, resíduos vegetais constituídos de grande quantidade de compostos solúveis de baixo peso molecular, tais como açúcares (mono e oligossacarídeos), aminoácidos e outros ácidos orgânicos são prontamente disponíveis e muito ricos em energia. Já as vitaminas, fatores de crescimento, antibióticos e toxinas, contidos nos resíduos, podem interferir e modificar a qualidade da microbiota do solo. Os compostos de elevado peso molecular, tais como os polissacarídeos, embora muito energéticos, não se difundem no solo extra-rizosférico e constituem as fontes de energia de média biodegradação (um a dois dias) e têm efeito mais localizado. Os compostos mais estáveis, com menor conteúdo energético e de difícil biodegradação: resíduos de paredes celulares, como por exemplos, lignina, compostos fenólicos, celulose e hemicelulose, entre outros, são recalcitrantes e pouco se conhece sobre a transferência do carbono da planta para o solo (MARTENS, 2000).

A biologia do solo compreende um vastíssimo rol de organismos que coabitam dinamicamente e desenvolvem parcial ou integralmente seus ciclos vitais no solo. Nesta dinâmica, seres vivos e ambiente solo afetam-se mutuamente e as condições são continuamente modificadas. Os principais grupos ecológicos do solo são a fauna, a flora e a microbiota, sendo que esta última representa a maior diversidade biológica e fisiológica do solo, bem como maior poder de

decomposição (acima de 95%) e reciclagem dos nutrientes. A fauna, por outro lado, toma parte no rearranjo dos detritos e na sua desintegração. As elevadas taxas metabólicas microbianas devem-se à relação superfície/volume, crescimento exponencial e tempo de geração muito curto, permitindo que esses organismos modifiquem as características do ambiente em apenas algumas horas. Essa ilimitada sucessão de ciclos biológicos constitui o solo vivo, que é a chave da fertilidade, pois fornece, escalonadamente, os nutrientes necessários à nutrição das plantas e evita perdas por lixiviação e erosão. Promove, dessa forma, a potencialização dos nutrientes que passam para a forma orgânica (imobilização) e, à morte dos organismos, esses nutrientes retornam ao solo por mineralização (EIRA, 1995).

O conjunto de bactérias, actinomicetos, fungos, algas e toda a microfauna existente no solo, perfazendo um volume menor que $5 \times 10^3 \text{ mm}^3$, denomina-se biomassa microbiana do solo e significa literalmente “massa de matéria viva”, que representa um importante compartimento de armazenamento de carbono e nutrientes no solo de agroecossistemas (WARDLE, 1992). A biomassa microbiana do solo perfaz, em média, 2 a 5% do C orgânico (JENKINSON e LADD, 1981) e 1 a 5% do N total do solo (SMITH e PAUL, 1990).

As comunidades microbianas são os componentes lábeis da fração orgânica do solo (WARDLE, 1998), tendo como principais funções a regulação da taxa de decomposição da matéria orgânica do solo e a ciclagem de nutrientes por meio dos processos concomitantes de imobilização e mineralização (GRISI, 1984). Portanto, estimativas da biomassa microbiana são usadas em estudos do fluxo de carbono e nitrogênio, disponibilidade de nutrientes e produtividade das plantas em diferentes ecossistemas terrestres. A biomassa microbiana está associada também com a quantidade de nutrientes imobilizados e, conseqüentemente, com a fertilidade e o potencial de produtividade do solo e serve de base para estudos de formação e ciclagem da matéria orgânica. Segundo Santos e Camargo (1999), como a biomassa microbiana constitui a maior parte da fração ativa da matéria orgânica, esta é mais sensível que o resultado quantitativo do carbono orgânico e do nitrogênio total para aferir alterações na

matéria orgânica causada pelo manejo do solo e pelas práticas de cultivo. Adicionalmente, de acordo com Sparling (1994) e Wylie (1994), a biomassa microbiana do solo pode funcionar como um indicador para determinar a sustentabilidade da área agricultável e, atualmente, vários trabalhos na literatura demonstram que a biomassa microbiana do solo é um indicador sensível às mudanças ocorridas no solo em função do estabelecimento de diferentes sistemas de produção: uso de fertilizantes, persistência e degradabilidade de agrotóxicos, manejo do solo, biofertilizantes, irrigação, mecanização e outros (ALVAREZ et al., 1995).

Valores obtidos para biomassa variam muito com o tipo de solo, vegetação e clima indo de 90 a 2.300 mg C.kg⁻¹ de solo (VAN DE WERF e VERSTRAETE, 1987), o que equivale a algo próximo a 5.000 kg.ha⁻¹. Em solos da Amazônia, foram encontrados valores de 765 a 1.287 mg C kg⁻¹ de solo (FEIGL et al., 1995), o que representa entre 3 a 4% do carbono orgânico desses solos. Para solos do cerrado, sob diferentes sistemas agrícolas, valores de carbono da biomassa microbiana raramente excederam 400 mg C.kg⁻¹ de solo (MATSUOKA et al., 2003; MENDES et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2001).

De acordo com Campos (1998), a vegetação influencia diretamente o tamanho da comunidade microbiana e sua atividade, que, por conseqüência, determinam a intensidade com que os processos bioquímicos acontecem. Em decorrência, a eliminação da vegetação ocasiona uma drástica queda na “vida do solo”, como revelam estudos envolvendo desmatamentos. Esta redução está relacionada às modificações da estrutura do solo, bem como à quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo, que sofre modificação com a substituição da mata nativa por outros sistemas. Assim, em florestas naturais as taxas de decomposição da cobertura morta são aproximadamente iguais à de incorporação; entretanto, quando essas florestas são eliminadas e os solos passam a ser cultivados, as taxas de decomposição da matéria orgânica excedem as de produção. Este balanço deficitário torna-se mais crítico em regiões de clima quente e úmido. Em climas tropicais, a decomposição chega a ser quatro vezes mais rápida que em regiões temperadas, de tal forma que para manutenção do

teor de matéria orgânica é necessário incorporar grande quantidade de resíduos de culturas ou adubações orgânicas, que são incorporadas por revolvimento do solo ou deixadas à superfície.

Quando se avalia tanto o carbono da biomassa microbiana quanto o carbono orgânico total, pode-se obter o quociente microbiano (*qmic*), que é a relação entre C microbiano e o C orgânico total ($(CM/CO)*100$). Segundo Wardle (1992), em circunstância em que a biomassa encontra-se sob algum fator de estresse (deficiência de um nutriente, acidez, etc), a capacidade de utilização do C é diminuída; nesse caso, a relação CM:CO diminui ($<qmic$). Ao contrário, com a adição de matéria orgânica de boa qualidade ou com a mudança do fator limitante para uma condição favorável, a biomassa microbiana pode aumentar rapidamente ($>qmic$), mesmo se os teores de CO permanecerem inalterados (POWLSON et al., 1987). Se este valor for conhecido, a determinação dessa relação pode fornecer uma indicação sobre o quanto um solo está distante de seu “estado de equilíbrio” e também pode fornecer uma medida da qualidade da matéria orgânica.

Sparling (1994) assumiram que um incremento no carbono microbiano após mudanças no sistema de uso do solo indica aumento subsequente no carbono orgânico e vice-versa. O conteúdo de carbono microbiano e o *qmic* são índices úteis para monitorar as transformações da matéria orgânica do solo.

Determinações da biomassa microbiana não fornecem indicações sobre os níveis de atividade das populações microbianas do solo, ou seja, podem ocorrer situações em que os solos apresentam elevadas quantidades de biomassa inativa e vice-versa. Daí a importância dos atributos que mensuram a atividade microbiana para avaliar o estado metabólico das comunidades de microrganismos do solo. Dentre esses se destacam as determinações da taxa de respiração microbiana e da atividade enzimática dos solos; visto que, os solos por ser um sistema vivo, parte da ciclagem de nutrientes e da manutenção do carbono ocorre por meio de processos bioquímicos. A atividade e a biomassa microbiana, por sua vez, são influenciadas, entre outros fatores, por temperatura, umidade, aeração e disponibilidade de substratos no solo (CATTELAN e VIDOR, 1990).

A respiração basal é definida como a respiração sem adição de substratos orgânicos do solo, portanto reflete a atividade biológica ou a atividade metabólica de microrganismos do solo (ALEF, 1995). Ela representa a oxidação da matéria orgânica por microrganismos aeróbios do solo que, portanto, utilizam O₂ como acceptor final de elétrons até CO₂.

A interpretação dos resultados da atividade biológica deve ser feita com critério, uma vez que elevados valores de respiração nem sempre indicam condições desejáveis: uma alta taxa de respiração pode significar, em curto prazo, liberação de nutrientes para as plantas e, em longo prazo, perda de carbono orgânico do solo para a atmosfera (PARKIN et al., 1996). Uma alta atividade respiratória pode resultar tanto de um grande *pool* de substratos de C lábeis, onde a decomposição da matéria orgânica é intensa (uma floresta tropical, por exemplo), como da rápida oxidação de um pequeno *pool* decorrente da quebra de agregados do solo.

Anderson e Domsch (1993) propuseram a determinação do quociente metabólico (qCO_2) como componente relevante na avaliação dos efeitos ambientais e antropogênicos sobre a atividade microbiana do solo. O quociente metabólico é a relação entre a quantidade de CO₂ produzida (taxa respiratória) por unidade de C da biomassa microbiana e por unidade de tempo. Essa interpretação, aparentemente mais adequada, prediz que à medida que determinada biomassa microbiana se torna mais eficiente na utilização de recursos do ecossistema menos carbono é perdido como CO₂ pela respiração e maior proporção de carbono é incorporada aos tecidos microbianos.

Com relação às atividades enzimáticas, pode-se dizer que elas são o resultado do somatório da atividade enzimática de microrganismos como também de macrorganismos (fauna, plantas e animais). Elas podem se dividir basicamente em intracelulares e extracelulares, sendo que estas últimas encontram-se na forma livre na solução do solo, adsorvidas nos colóides do solo ou imobilizadas em forma de complexos (TABATABAI, 1994).

As enzimas desempenham papel fundamental atuando como catalisadoras de várias reações que resultam na decomposição de resíduos orgânicos, na

ciclagem de nutriente, na formação da matéria orgânica e na estruturação do solo, além de participarem das reações metabólicas intracelulares, responsáveis pelo funcionamento e pela manutenção dos seres vivos no solo. Assim, todas as condições que favorecem a atividade microbiana como adubação orgânica, presença de vegetação (rizosfera), rotação de culturas e plantio direto estimulam também a atividade enzimática (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002).

Entre as várias enzimas do solo, as oxirredutases, transferases e hidrolases são as mais estudadas em razão do envolvimento com processos de degradação da matéria orgânica e liberação de nutrientes. Portanto, a avaliação se faz por intermédio, principalmente, das atividades enzimática total e específica do solo como a β -glicosidase (EC 3.2.1.21), urease (EC 3.5.1.5) e fosfomonoesterases (EC 3.1.3), as quais estão envolvidas na catálise das reações associadas nas transformações biogeoquímicas do carbono, nitrogênio e fósforo, respectivamente.

A atividade enzimática total é indicadora da atividade hidrolítica geral, incluindo proteases, lipases e esterases, que também são capazes de clivar compostos fluorogênicos (TAYLOR et al., 2002) e, por esta razão, possui potencial para representar a atividade enzimática global do solo (DICK et al. 1996).

A atividade das enzimas específicas, em razão do fato de elas apresentarem participação essencial nos ciclos dos elementos que possuem importância agrícola, econômica e ecológica no sistema solo-planta, bem como interação entre as atividades de organismos autotróficos e heterotróficos do solo (CAMARGO et al., 1986), merecem ser mencionadas com detalhamento.

As glicosidases (glicosídeos hidrolases - EC 3.2.1) são enzimas que catalisam a hidrólise de diferentes glicosídeos, como a celobiose e outros oligossacarídeos, tendo como produtos monossacarídeos que servem como fonte de energia. As enzimas que apresentam esta catálise são as celulases, amilases e algumas importantes glicosidases (α -glicosidase - EC 3.2.1.20 e β -glicosidase - EC 3.2.1.21, que também já foram denominadas maltase e gentiobiase, respectivamente). Para solos agricultáveis no cerrado brasileiro, os valores

encontrados variaram de 24 a 78 mg *p*-nitrofenol. g⁻¹de solo.h⁻¹ (MENDES et al., 2003).

Diversas amidohidrolases ou hidrolases amídicas estão envolvidas na hidrólise do N orgânico adicionado ou nativo dos solos. Entre essas, as mais importantes são L-asparaginase, L-glutaminase, amidase e urease.

A urease (uréia aminohidrolase, EC 3.5.1.5) é a enzima que catalisa a hidrólise de uréia a CO₂ e NH₃, a qual é amplamente distribuída na natureza. Sua atividade é aparentemente ótima em pH 8,5 a 9,0; enquanto os valores de Km aparente, para uréia, apresentam-se dentro de uma faixa de 1.1 a 3.4 mM (TABATABAI e BREMNER, 1972). A velocidade da hidrólise da uréia é influenciada pelo tipo de vegetação, bem como a quantidade aplicada. Em outras palavras, a intensidade do efeito da matéria orgânica na atividade da urease dependerá da sua disponibilidade como fonte energética para os microrganismos e também da facilidade de decomposição microbiológica da matéria orgânica (SANTOS e CAMARGO, 1999).

Fosfatases são usadas para descrever um grupo amplo de enzimas que catalisam tanto ésteres de fosfato quanto anidridos de fosfato (compostos orgânicos) (SCHMIDT e LASKOWSKI, 1961). Os principais compostos orgânicos contendo P nos solos e suas proporções aproximadas incluem inositol fosfato (2 – 50%), fosfolipídeos (1 – 5%), ácidos nucleicos (0,2 – 2,5%), quantidades traços de proteínas contendo fósforo e fosfatos metabólicos (STEVENSON, 1994).

As fosfomonoesterases: fosfatase ácida (monéster ortofosfórico hidrolase, EC 1.1.3.2) e fosfatases alcalinas (monéster ortofosfórico hidrolase, EC 1.1.3.1) são estudadas extensivamente por atuarem na mineralização do fósforo orgânico, disponibilizando-o na forma do íon fosfato (PO₄⁻³), ideal para a absorção vegetal. No ciclo do fósforo, as fosfatases ácidas estão presentes predominantemente em solos ácidos e as fosfatases alcalinas em solos básicos. Os microrganismos e as plantas são os principais responsáveis pela produção das fosfatases ácidas, enquanto as alcalinas são produzidas somente por microrganismos (TABATABAI, 1994). Para solos agricultáveis no Cerrado Brasileiro, sob manejo convencional

e uso de fertilizante sintético, para garantir alta produtividade das culturas, os valores encontrados variaram de 577 e 539 mg p-nitrofenol.g⁻¹ de solo.h⁻¹, na profundidade de 0 - 5cm e de 5 – 20 cm, respectivamente (CARNEIRO et al., 2004).

Segundo Schmitz (2003), a utilização de atividade enzimática como indicador biológico de qualidade do solo, embora estejam sujeitas as variações pelas mudanças sazonais, consórcios microbianos, disponibilidade de substratos, presença de plantas e animais, inibições em *feedback* e características físicas e químicas do solo, quando as amostragens de solo são realizadas em época adequada, e os resultados são avaliados em conjunto e comparados aos de um solo nativo não alterado antropicamente, são capazes de identificar com grande precisão as diferenças de qualidade relativas à vida e ao funcionamento metabólico do solo, em função dos diferentes manejos sobre ele adotados.

Em resumo, a qualidade do solo é estimada pela mensuração 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 (DORAN e PARKIN, 1994). Dessa forma, vários autores adotam como critério de referência as condições prevalentes em solos que suportam uma vegetação nativa e que tenham sofrido mínimos distúrbios antropogênicos (TRASAR-CEPEDA et al., 1998; LEIRÓS et al., 2000; PASCUAL et al., 2000). Segundo DORAN et al. (1994), o uso desse critério garante larga aplicabilidade das avaliações de qualidade do solo com respeito à sustentabilidade, pois as propriedades físicas, químicas e biológicas que suportam uma vegetação nativa evoluíram para um estado de equilíbrio que assegura uma viabilidade de longo prazo do ecossistema.

Conclusão

O uso de atributos microbiológicos e bioquímicos na avaliação do solo é recente, como também as informações disponíveis sobre esse tema, principalmente, na região do Cerrado. Portanto, a identificação e o conhecimento

mais aprofundado destes atributos são fundamentais, principalmente, para validar novas alternativas de manejo do solo. Como os microrganismos constituem a fração mais dinâmica da matéria orgânica, que por sua vez constitui-se no principal componente de fertilidade, estrutura e biodiversidade dos solos, a demanda por pesquisas está em nível ascendente, visando principalmente a avaliação do impacto de sistemas agrícolas sobre as propriedades biológicas/bioquímicas do solo. Assim, a inserção de avaliações de atributos biológicos nos laudos físico-químicos de análise de solo pode ser essencial para um diagnóstico mais preciso de sua “saúde”, como também para servir de ferramenta para orientar o planejamento e a avaliação das práticas de manejo.

Referências Bibliográficas

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995.

ALVAREZ, R.; DÍAZ, R. A.; BARBERO, N.; SANTANATOGLIA, O. J.; BLOTTA, L. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems. **Soil and Tillage Research**, v. 33, p. 17-28, 1995.

ANANYEVA, N. D.; DEMKINA, T. S.; JONES, W. J.; CABRERA, M. L.; STEEN, W. C. Microbial biomass in soils of Russia under long-term management practices. **Biology and Fertility of Soils**, v. 29, p. 291-299, 1999.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. **The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the affects of environmental conditions, such pH, on the microbial biomass of forest soils. Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, p. 393-195, 1993.

BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo

e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 641-649, 1998.

BROOKES, P. C. The functioning of soil as an ecosystem. In: DE HAAN, F. A. M.; BOURG, A. C. M.; BROOKES, P. C.; VERSTRAETE, W.; van RIEMSDIJK, W. H.; van der ZEE, S. E. A. T. M.; GIRALDEZ, J. V. **Soil quality assessment. State of the art report on soil quality**. Wageningen: Final report to the Commission of the EC. 1st ed. Agricultural University Wageningen, 1989. p. 1-41.

BURNS, R. G. **Soil enzymes**. New York: Academic Press, 1978.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, microbiológica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. 1986. 94p. Boletim Técnico, 106. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas.

CAMPOS, D. C. **Influência da mudança do uso da terra sobre a matéria orgânica no município de São Pedro-SP**. 1998. 83p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

CARNEIRO, R. G. **Dinâmica de parâmetros biológicos associados ao ciclo do fósforo em solo de cerrado sob diferentes sistemas de manejo**. 1999. 86p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.

CARNEIRO, R. G.; MENDES, I. C.; LOVATO, P. E.; CARVALHO, A. M. Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 661-669, 2004.

CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 133-142, 1990.

DENG, S. P.; TABATABAI, M. A. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils: III. phosphatases and arylsulfatase. **Biology and Fertility of Soils**, v. 24, p. 141-146, 1997.

DICK, R. P.; BREAKWELL, D. P.; TURCO, R. F. Soil enzyme activities and biodiversity as integrative microbiological indicators. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. Methods for assessing soil quality. **Soil Science Society of America**, Madison, p. 247-272, 1996.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Soil Science Society of America, Madison, p. 3-21, 1994.

EIRA, A. F. Influência da cobertura morta na biologia do solo. In: **I Seminário sobre Cultivo Mínimo do Solo em Florestas**, 1995, Curitiba: I Seminário sobre Cultivo Mínimo do Solo em Florestas, 1995. p.16-33.

FEIGL, B. J.; SPARLING, G. P.; ROSS, D. J.; CERRI, C. C. Soil microbial biomass in Amazonian soils: evaluation of methods and estimates of pool sizes. **Soil Biology Biochemistry**, v. 27, p. 1467-1472, 1995.

GOEDERT, W.; LOBATO, E.; WAGNER, E. O potencial agrícola da região dos Cerrados Brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 15, p. 1-17, 1980.

GRISI, B. M. Metodologia da determinação de biomassa microbiana de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 8, p. 167-172, 1984.

HENKLAIN, J. C.; MEDEIROS, G. B. Evolução e estado da arte do plantio direto na agricultura. In: I Seminário sobre Cultivo Mínimo do Solo em Florestas, 1995, Curitiba: I Seminário sobre Cultivo Mínimo do Solo em Florestas, 1995. p. 1-7.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soils: measurement and turnover. In: PAUL, E. A.; LADD, J. N. **Soil Biochemistry**, New York, v. 5, p. 415-471, 1981.

KANDELER, E.; TSCHERKO, D.; SPIEGEL, H. Long-term monitoring of microbial biomass, N mineralization and enzyme activities of a Chernozem under different tillage management. **Biology and Fertility of Soils**, v. 28, p. 343-351, 1999.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, p. 4-10, 1997.

KLUTHCOUSKI, J.; OLIVEIRA, I. P.; YOKOYAMA, L. P.; DUTRA, L. G.; PORTES, T. A.; SILVA, A. E.; PINHEIRO, B. S.; FERREIRA, E.; CASTRO, E. M.; GUIMARÇES, C. M.; GOMIDE, J. C. L.; BALBINO, L. C. Sistema Barreirão: Recuperação/renovación de pasturas degradadas utilizando cultivos anuais. In: GUIMARÃES, E. P.; SANZ, J. I.; RAO, I. M.; AMEZQUITA, M. C.; AMEZQUITA, E. **Sistemas Agropastoriles em Sabanas Tropicales de América Latina**. Brasília: Centro Internacional de Agricultura Tropical e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1999. p. 195-231.

LEIRÓS, M. C.; TRASAR-CEPEDA, C.; SEOANE, S.; GIL-SOTRES, F. Biochemical properties of acid soils under climax vegetation (Atlantic Oakwood) in area of the European temperate-humic zone (Galicia, NW Spain): general parameters. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 32, n. 7, p.733-745, 2000.

MARTENS D. A. Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 32, p. 361-369, 2000.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste/MT. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 425-433, 2003.

MENDES, I. C.; SOUZA, L. V.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Propriedades biológicas em agregados de um LE sob plantio convencional e direto no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 435-443, 2003.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras. UFLA, 2002.

OLIVEIRA, J. R. A.; MENDES, I. C.; VIVALDI, L. J. Biomassa microbiana de carbono em solos de cerrado sob vegetação nativa e sob cultivo: avaliação dos métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 863-871, 2001.

OTTMAR, R. D.; VIHMANEK, R. E.; MIRANDA, H. S.; SATO, M.; ANDRADE, S. M. A. **Stereo photo series for quantifying cerrado fuels in central Brazil**. v.1. Brasília: USDA-USAID-UNB, 2001.

PARKIN, T. B.; DORAN, J. W.; FRANCO-VIZCAÍNO, E. Field and laboratory tests of soil respiration. In: DORAN, J. W.; JONES, A. **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of América, 1996. p.231-245.

PARRON, L. M. **Aspectos da ciclagem de nutrientes em função do gradiente topográfico, em uma Mata de Galeria no Distrito Federal. 2004**. 180p. Dissertação (Doutorado em Ecologia) – Universidade de Brasília, Brasília.

PASCUAL, J. A.; GARCIA, C.; HERNANDEZ, T.; MORENO, J. L.; ROS, M. Soil microbial activity as a biomarker of degradation and remediation process. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 32, p. 1877-1883, 2000.

PERES, J. R. R.; SUHET, A. R.; VARGAS, M. A. T.; DROZDOWICZ, A. Litter production in areas of Brazilian “Cerrados”. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 18, p. 1037-1043, 1983.

POWLSON, D. S.; BROOKES, P. C.; CHRISTENSEN, B. T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology and Biochemistry**, New York, v. 19, p. 159-164, 1987.

PRASAD, P.; BASU, S.; BEHERA, N. A comparative account of the microbiological characteristics of soils under natural forest, grassland and cropfield from Eastern India. **Plant and Soil**, v. 175, p. 85-91, 1994.

SAMINÊZ, T. C. O. **Efeito do sistema de cultivo, tensão da água, biomassa microbiana e temperatura do solo nos fluxos de CH₄ e N₂O em solos de Cerrados**. 1999. 99p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília.

SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. 491p.

SCHMIDT, J. A. K. **Indicadores biológicos de qualidade do solo**. Tese de Doutorado em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

SCHMIDT, G.; LASKOWSKI, M. Phosphate ester cleavage (Survey). In: BOYER, P. D.; LARDY, H.; MYRBACK, K. **The enzymes**. 2 ed, v.5. New York: Academic Press, 1961. p. 3-35.

SMITH, J. L.; PAUL, E. A. The Significance of soil biomass estimates. In: BOLLAG, J. M.; STOTTZKY, G. **Soil Biochemistry**, New York: Marcel Decker, v. 6, p. 357-396, 1990.

SPARLING, P. G. Low-input agriculture: matching of organic resources, soil microbial activity and plant nutrient demand. In: PANKHURST, C.E.; DOUBE, B.M.; GUPTA, V.V.S.R.; GRACE, P.R. **Soil biota: management in sustainable farming**. CSRIRO, Mellbourne, Austrália 1994. p. 209-216.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2 ed. New York: John Wiley and Sons, 1994. 486p.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Assay of urease activity in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 4, p. 479-487, 1972.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W.; ANGLE, J. S.; BOTTOMLEY, P. S.; BEZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATABAI, A. e WOLLUM, A. **Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological and biochemical**

.

properties. **Soil Science Society of America, Madison**, v. 5, p. 775-833, 1994.

TAYLOR, J. P.; WILSON, B.; MILLS, M. S.; BURNS, R. G. Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface soils and sub soils using various techniques. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 34, p. 387-401, 2002.

TRASAR-CEPEDA, C.; LEIRÓS, C.; GIL-SOTRES, F.; SEOANE, S. Towards a biochemical quality index for soils: an expression relating several biological and biochemical properties. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 26, n.2, p. 100-106, 1998.

VAN DE WERF, H.; VERSTRAETE, W. Estimation of active soil microbial biomass by mathematical analysis of respiration curves: development and verification of the model. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, p. 253-260, 1987.

WARDLE, D. A. A comparative assessment of factors with influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biology Review**, v. 67, p. 321-358, 1992.

WARDLE, D. A. Controls of temporal variability of the soil microbial biomass: A Global-scale synthesis. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 30, p. 1627-1637, 1998.

WYLIE, P. Indicators of Sustainable Cropping Systems. In: PANKHURST, C.E.; DOUBE, B.M.; GUPTA, V.V.S.R.; GRACE, P.R. **Soil biota: biological indicators of soil quality and crop production**. Austrália: C.E. Oankhurst, 1994. p. 224-229.