

INDICADORES MICROBIOLÓGICOS DA ÁGUA E SOLO*

Isama Godoi¹, Danielle Camargo², Luciane Sene³

RESUMO: Bioindicadores são organismos ou comunidades que respondem à poluição ambiental, alterando suas funções vitais ou acumulando toxinas. Esta definição pode ser ampliada ao se considerar que bioindicadores são organismos ou comunidades que reagem a alterações ambientais modificando suas funções vitais e/ou sua composição química e com isso fornecem informações sobre a situação ambiental. Sistemas de monitoramento, juntamente com a avaliação de variáveis microbiológicas (coliformes totais e fecais), constituem-se como ferramenta fundamental na classificação e enquadramento de rios e córregos em classes de qualidade de água e padrões de potabilidade e balneabilidade humanas. As comunidades biológicas refletem a integridade ecológica total dos ecossistemas (p. ex., integridade física, química e biológica), integrando os efeitos dos diferentes agentes impactantes e fornecendo uma medida agregada dos impactos, sendo assim este trabalho objetiva realizar uma breve revisão bibliográfica sobre os indicadores microbiológicos do solo e da água.

PALAVRAS CHAVE: BIONDICADORES, POLUIÇÃO, MICRO-ORGANISMOS

MICROBIOLOGICAL INDICATORS OF WATER AND SOIL

Isamara Godoi¹, Danielle Camargo², Luciane Sene³

SUMMARY: Bioindicators are organisms or communities that respond to environmental pollution by changing their vital functions or accumulated toxins. This definition can be extended by considering that bioindicators are organisms or communities that respond to environmental changes by modifying its vital functions and / or its chemical composition and thereby provide information about the environmental situation. Monitoring systems, together with the assessment of the microbial variables (total and fecal coliforms), is as essential tool in the classification and framing of rivers and streams in classes of water quality and potability standards of human and bathing. The biological communities reflect overall ecological integrity of ecosystems (Physical, chemical and biological), incorporating the effects of different agents and the impact of providing an aggregate measure of the impacts, so this paper aims to briefly review the literature on microbiological indicators of soil and water.

KEYWORDS: BIONDICATORS, POLLUTION, MICRORGANISMS

INTRODUÇÃO:

Poluição das águas é qualquer alteração de suas características físicas, químicas ou biológicas capaz de por em risco a saúde, a segurança e o bem estar das populações ou que

* Trabalho inédito, não submetido a outro evento ou revista para publicação e não anteriormente publicado.

¹ Mestranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, UNIOESTE, Campus de Cascavel, PR, isgodoi@gmail.com.

² Mestranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, UNIOESTE, Cascavel-PR.

³ Doutora, Professora, Departamento de Enzimologia, UNIOESTE, Cascavel-PR.

possa comprometer a fauna ictiológica e a utilização das águas para fins agrícolas, comerciais, industriais e recreativos. Existem duas formas em que a fonte de poluentes pode atingir o corpo d água por poluição pontual e poluição difusa. O escoamento das águas da chuva carrega materiais orgânicos e inorgânicos em suspensão ou solúveis aos mananciais, aumentando significativamente sua carga de poluentes. A contaminação das águas naturais representa um dos principais riscos à saúde pública. É amplamente conhecida a estreita relação entre a qualidade da água e inúmeras enfermidades que acometem as populações, especialmente aquelas não atendidas por serviços de saneamento. Um fator importante que contribui para a poluição e contaminação dos corpos d água, conferindo risco a saúde humana pela água, refere-se à ocupação dos espaços rurais e urbanos que são realizados sem um adequado planejamento. Como consequência da ocupação desordenada tem-se a supressão de vegetação compactando e impermeabilizando o solo, o que impede a filtração e recarga os cursos d água. Tem-se também a produção e o carreamento de resíduos para os rios, comprometendo a conservação da água em termos de quantidade e qualidade (CARNELOSI, 2007). Devido ao crescimento populacional e a crise de alimentos no mundo, o manejo intensivo do solo, a monocultura e o uso de pesticidas e fertilizantes tornaram-se práticas comuns para o aumento da produção agrícola. A utilização destas práticas tem ocasionado perda de matéria orgânica do solo, erosão e contaminação das águas subterrâneas, além de prejuízos a microbiota e seus processos bioquímicos. A qualidade do solo é mensurada através do uso de indicadores. Que são atributos que medem ou refletem o status ambiental ou a condição de sustentabilidade do ecossistema. Os indicadores de qualidade do solo podem ser classificados como físicos, químicos e biológicos. A atividade biológica é altamente concentrada nas primeiras camadas do solo, na profundidade entre 1 a 30 cm. Nestas camadas, o componente biológico ocupa uma fração de menos que 0,5 % do volume total do solo e representa menos que 10 % da matéria orgânica. Este componente biológico consiste principalmente de microrganismos que realizam diversas funções essenciais para o funcionamento do solo. Os microrganismos decompõem a matéria orgânica, liberam nutrientes em formas disponíveis às plantas e degradam substâncias tóxicas. Além disso, formam associações simbióticas com as raízes das plantas, atuam no controle biológico de patógenos, influenciam na solubilização de minerais e contribuem para a estruturação e agregação do solo. A função dos microrganismos é mediar processos no solo relacionados com o manejo. Desta forma, podem ser sensíveis indicadores de mudanças na qualidade do solo. Os microrganismos possuem a capacidade de dar respostas rápidas a mudanças na qualidade do solo, característica que não é observada nos indicadores químicos ou físicos. Em alguns casos, alterações na população e na atividade microbiana podem preceder mudanças nas propriedades químicas e físicas, refletindo um claro sinal na melhoria ou na degradação do solo (ARAÚJO, 2007). Critérios para seleção e utilização dos indicadores biológicos no monitoramento da qualidade do solo propostos por BROOKES (1995) são descritos abaixo: a) Os atributos microbiológicos devem ser exatos e precisamente avaliados para se obter respostas em uma ampla escala de tipos e condições de solo; b) Devido ao alto número de amostras analisadas normalmente, os atributos microbiológicos devem ser fáceis e econômicos de serem avaliados; c) Os atributos microbiológicos devem ser sensíveis a estresses, mas suficientemente robustos para não fornecer alarmes falsos; d) Devem ter validação científica, com base na realidade e conhecimento atual; e) Dois ou mais atributos, independentes, devem ser utilizados. De acordo com BASTOS (2005) bioindicadores são espécies escolhidas por sua sensibilidade ou tolerância a vários parâmetros, como poluição orgânica, derramamento de óleo, alterações de pH da água, lançamento de pesticidas, entre outros, eles podem ser definidos como organismos ou comunidades que respondem à poluição ambiental, alterando suas funções vitais ou acumulando toxinas. Esta definição pode ser ampliada ao se considerar que bioindicadores são organismos ou comunidades que reagem a alterações ambientais modificando suas funções vitais e/ou sua composição química e com isso fornecem informações sobre a situação ambiental. Bioindicadores são organismos ou comunidades, cujas funções vitais se correlacionam tão estreitamente com determinados fatores ambientais,

que podem ser empregados como indicadores na avaliação de uma dada área. Esta definição inclui conscientemente a indicação de comportamentos naturais, como por exemplo, na agricultura, onde podemos inferir sobre características de uma região apenas pela presença ou ausência de determinadas espécies vegetais. A bioindicação se fundamenta no princípio de que os sistemas biológicos possuem um estado de estabilidade elevada e um equilíbrio dinâmico. Todo sistema biológico, independentemente de ser organismo, população ou comunidade, se adaptou a um complexo de fatores ambientais ao longo da sua evolução. Na biosfera, ele conquistou um espaço e um nicho ecológico, onde ele encontra as condições necessárias e favoráveis à sua manutenção e reprodução. Entretanto, alterações dos fatores ambientais sob influência de estressores antrópicos levam a outros estados de estabilidade. Os organismos reagem, alguns se adaptam, porém, quando ultrapassam sua capacidade de adaptação, eles podem apresentar sintomas visíveis. Neste caso, o reconhecimento da reação do indicador, como um todo, ocorre somente após o aparecimento de certos danos visíveis, como necrose e clorose. Os indicadores neste contexto são reações bioquímicas, morfológicas e fisiológicas. Estruturas menores, como organelas isoladas (cloroplastos e mitocôndrias) ou reações bioquímicas e fisiológicas, são mais sensíveis à instabilidade ambiental. Seus limites são mais estreitos, elas reagem mais sensivelmente às perturbações. Alterações na concentração de ácido ascórbico, proteínas, amido, enzimas, produção de O₂ de protoplastos isolados de plantas superiores, fluorescência de clorofila de algas, são alguns exemplos de parâmetros que podem ser mensurados no biomonitoramento, fornecendo informações sobre alterações da qualidade ambiental. As comunidades biológicas refletem a integridade ecológica total dos ecossistemas (p. ex., integridade física, química e biológica), integrando os efeitos dos diferentes agentes impactantes e fornecendo uma medida agregada dos impactos, sendo assim este trabalho objetiva realizar uma breve revisão bibliográfica sobre os indicadores microbiológicos do solo e da água.

MICROORGANISMOS COMO INDICADORES NA QUALIDADE DA ÁGUA

Nas últimas décadas, os ecossistemas aquáticos têm sido alterados de maneira significativa em função de múltiplos impactos ambientais advindos de atividades antrópicas, tais como mineração; construção de barragens e represas; retificação e desvio do curso natural de rios; lançamento de efluentes domésticos e industriais não tratados; desmatamento e uso inadequado do solo em regiões ripárias e planícies de inundação; superexploração de recursos pesqueiros; introdução de espécies exóticas, entre outros. Como consequência destas atividades, tem-se observado uma expressiva queda da qualidade da água e perda de biodiversidade aquática, em função da desestruturação do ambiente físico, químico e alteração da dinâmica natural das comunidades biológicas. Tradicionalmente, a avaliação de impactos ambientais em ecossistemas aquáticos tem sido realizada através da medição de alterações nas concentrações de variáveis físicas, químicas. Este sistema de monitoramento, juntamente com a avaliação de variáveis microbiológicas (coliformes totais e fecais), constitui-se como ferramenta fundamental na classificação e enquadramento de rios e córregos em classes de qualidade de água e padrões de potabilidade e balneabilidade humanas. O monitoramento de variáveis físicas e químicas traz algumas vantagens na avaliação de impactos ambientais em ecossistemas aquáticos, tais como: identificação imediata de modificações nas propriedades físicas e químicas da água; detecção precisa da variável modificada, e determinação destas concentrações alteradas. A detecção de agentes patogênicos na água é extremamente difícil em razão de suas baixas concentrações e para verificar essa possível contaminação, considera-se a presença de organismos indicadores como as bactérias do grupo coliformes. O grupo coliforme é constituído por vários gêneros da família Enterobacteriaceae (*Enterobacter*, *Klebsiella*, *Citrobacter* e *Escherichia*) e são definidos como bastonetes gram-negativos, não formadores de esporos, com metabolismo anaeróbico facultativo e que fermentam a lactose em 24-48 horas com produção de ácido e gás (APHA, 1998). Este grupo reúne vários

microrganismos indicadores que habitam não só o solo e água, mas também o trato intestinal de humanos e animais de sangue quente. O critério para que as bactérias sejam consideradas ideais indicadoras de poluição de origem fecal, é que estejam presentes em grande número nas fezes humanas e de animais; devem estar presentes em efluentes residuais e ausentes em águas limpas; serem exclusivamente de origem fecal e devem ser detectáveis por métodos simples (PELCZAR JR et al., 1997). A *Escherichia coli* é um membro do grupo dos coliformes e satisfaz a maior parte destes critérios sendo que sua presença em amostras de água pode indicar a contaminação por outros patógenos intestinais. A *E. coli* é o único biótipo da família Enterobacteriaceae que pode ser considerado exclusivamente de origem fecal (VASCONCELLOS et al., 2006). A Resolução do CONAMA, N° 274 de 29 de novembro de 2000, prescreve a avaliação da condição de balneabilidade das praias, através da medição das concentrações de um ou mais organismos indicadores presentes nos dejetos humanos ou de animais de sangue quente, sendo estes números empregados na classificação do meio como próprio ou impróprio para balneabilidade. Esta norma ainda prescreve que os microorganismos indicadores de poluição fecal que devem ser pesquisados para a avaliação de balneabilidade de águas marinhas são: os coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* e enterococos. Quando forem utilizados mais de um indicador microbiológico, as águas terão suas condições avaliadas de acordo com o critério mais restritivo. Os coliformes termotolerantes são bactérias pertencentes ao grupo dos coliformes totais, caracterizados pela presença da enzima β -galactosidase e pela capacidade de fermentar a lactose, com produção de gás no prazo de 24 horas a $\pm 44 - 45^{\circ}\text{C}$ em meios contendo sais biliares ou outros agentes tenso-ativos com propriedades inibidoras semelhantes. RIBEIRO (2002), afirma que muitos autores questionam a utilização destes organismos como indicadores, (DUFOUR,1987) devido ao seu tempo de sobrevivência ser muito menor do que o de alguns patógenos, e também por estarem presentes em fezes de animais de sangue quente, em solos, plantas ou quaisquer corpos d'água contendo matéria orgânica (CONAMA N°274, 2000). Devido a este fato, outras bactérias têm sido sugeridas para indicar a qualidade de águas recreacionais, entre elas, *Escherichia coli* e enterococos. A *Escherichia coli*, bactéria pertencente ao grupo dos coliformes termotolerantes, é atualmente utilizada pelas estações de tratamento de água como indicador de maior representabilidade da contaminação fecal. Segundo CERQUEIRA (1999), *E. coli* representa percentuais em torno de 96 a 99% nas fezes humanas e de animais homeotérmicos. A tecnologia de substrato definido (TSD) detecta, identifica especificamente e confirma simultaneamente coliforme total e *E. coli*. Por dispensar o uso de temperatura elevada que exige controle rígido de sua variação o teste para *E. coli* utiliza meios aos quais são incorporados substratos que possam ser hidrolizados por enzimas específicas da espécie. A *Escherichia coli* é abundante em fezes humanas e de animais de sangue quente, tendo somente sido encontrada em esgotos, efluentes, águas naturais e solos que tenham recebido contaminação fecal recente (CONAMA N°274, 2000). Outro grupo que sendo utilizado como indicadores de contaminação são os enterococos. Essas bactérias do grupo dos estreptococos fecais pertencentes ao gênero *Enterococcus* e se caracterizam pela alta tolerância às condições adversas de crescimento, como a capacidade de crescer na presença de 6,5% de cloreto de sódio, a pH 9,6, nas temperaturas de 10°C a 45°C . A maioria das espécies de enterococos são de origem fecal humana, embora possam ser isolados de fezes de animais (CONAMA N° 274, 2000). Ribeiro (2002), avaliando indicadores microbianos de balneabilidade, encontrou uma maior sensibilidade de detecção de contaminação fecal para o enterococos, quando comparado a *E. coli* e coliformes termotolerantes. A pesquisa de vírus na água iniciou-se após a ocorrência de um surto de hepatite em Nova Délhi (Índia), na década de 1950, como consequência da contaminação do sistema de tratamento da água por patógenos virais provenientes do esgoto. Depois desse episódio, tiveram início os estudos na área da virologia aquática, atualmente denominada virologia ambiental, com cientistas tentando detectar poliovírus em amostras de água. Sabe-se que vírus entéricos como poliovírus, rotavírus, calicivírus, alguns adenovírus e vírus da hepatite A, presentes no trato gastrointestinal de indivíduos infectados, são eliminados através das fezes em grandes quantidades (105-1011/

g de fezes) e são capazes de contaminar direta ou indiretamente águas destinadas ao consumo humano. A presença destes patógenos em águas ou alimentos contaminados por resíduos fecais, provenientes de descargas de esgotos, tem contribuído para a ocorrência de doenças em indivíduos susceptíveis. A dose infectante destes agentes é extremamente baixa, podendo variar de uma a dez unidades infecciosas. Os vírus entéricos podem permanecer viáveis (potencialmente infectantes) durante vários meses na água, resistindo a condições ambientais adversas, embora não se multipliquem por serem parasitas intracelulares obrigatórios. Eles podem ser identificados durante todas as estações do ano e alguns vírus podem resistir a processos de tratamento de água e esgoto aplicados no controle bacteriano, inclusive cloração. Além disso, não apresentam nenhuma correlação em termos qualitativos e quantitativos com os atuais indicadores bacterianos de contaminação de águas. O termo "vírus entérico" compreende todos os grupos de vírus que estão presentes no trato gastrointestinal humano e que, após transmissão por via fecal-oral, podem causar infecções ou enfermidades em indivíduos susceptíveis. As doenças virais veiculadas por meio da água podem ser adquiridas principalmente após o consumo de água de beber ou de alimentos contaminados, incluindo os peixes e moluscos bivalves comestíveis de ambientes marinhos e os frutos e vegetais cultivados em solos irrigados com águas de esgoto. Os patógenos virais também podem ser transmitidos através de águas de recreação poluídas, após contato direto por meio da pele ou por inalação. Mais de 100 espécies de vírus presentes em águas contaminadas por descargas de esgoto podem causar uma ampla variedade de doenças no homem. Os vírus entéricos produzem freqüentemente infecções assintomáticas, entretanto podem estar associados a quadros mais severos como paralisias, anomalias cardíacas, meningite asséptica, encefalites, hepatites, diarreias e outras enfermidades. Os vírus entéricos podem ser divididos em dois grupos de acordo com o crescimento em culturas celulares. O primeiro grupo inclui os enterovírus como poliovírus, coxsackievírus e echovírus, que têm bom crescimento e caracterização em culturas de células de primatas e que, normalmente, não causam doenças gastrointestinais. O segundo grupo inclui rotavírus, astrovírus, adenovírus 40/41, calicivírus (norovírus e saporovírus) e vírus das hepatites A e E, os quais são agentes causais de gastroenterites ou hepatites e dificilmente crescem em culturas celulares (TAVARES, 2005).

MICROORGANISMO COMO INDICADORES NA QUALIDADE DO SOLO

O interesse pelo tema qualidade do solo é relativamente recente, apesar da crescente conscientização sobre a conservação e uso racional dos solos, existe carência de indicadores que possam quantificar o conceito de qualidade de solo. A multiplicidade de fatores químicos, físicos e biológicos que controlam os processos biogeoquímicos e suas variações em função do tempo e do espaço, aliado a complexidade do solo, estão entre os fatores que dificultam a capacidade de avaliar sua qualidade e identificar parâmetros-chave que possam servir como indicadores do seu funcionamento. Vários estudos mostram que os indicadores biológicos são mais sensíveis que os indicadores químicos ou físicos, para detectar, com mais antecedência alterações que ocorrem no solo em função do seu uso e manejo. (EMBRAPA, 1999). Dentre os parâmetros utilizados para caracterizar os componentes biológicos dos solos, destacam-se as medidas de biomassa, atividade e diversidade microbiana. A biomassa microbiana do solo é constituída por fungos, bactérias e actinomicetos. (EMBRAPA, 1999). No Brasil, FRIGHETTO E VALARINI (2000) sugeriram, através de um manual técnico, vários indicadores biológicos e bioquímicos que podem ser utilizados para a avaliação da qualidade do solo. Biomassa microbiana do solo: A biomassa microbiana é definida como o componente vivo da matéria orgânica do solo excluindo-se a macrofauna e as raízes das plantas.

- Fixação biológica do N₂: A fixação biológica do nitrogênio (FBN) é um processo de quebra da tripla ligação do N₂ através de um complexo enzimático, denominado nitrogenase. O processo ocorre no interior de estruturas específicas, denominadas de nódulos, *Bradyrhizobium* e *Azorhizobium* convertem o N₂ atmosférico em NH₃, que é incorporada em diversas formas de

N orgânico para a utilização por plantas da família das leguminosas. A simbiose *Rhizobium*leguminosas é caracterizada pela alta especificidade hospedeira e a nodulação pelo *Rhizobium* e a FBN tem sido proposta como um indicador de qualidade do solo.

Enzimas do solo: As enzimas são mediadoras do catabolismo biológico dos componentes orgânico e mineral do solo. A atividade enzimática do solo possui as características de: a) ser relacionada com a matéria orgânica, com as propriedades físicas e com a atividade e biomassa microbiana; b) ser um claro indicador de mudanças na qualidade do solo; c) envolver metodologias simplificadas.

- Principais enzimas indicadoras da qualidade do solo: Desidrogenase, B-glucosidase, Celulase, Uréase, Amidase, Fosfatase, Arissulfatase, FDA. (ARAÚJO, 2007).

Os microrganismos são sensíveis às modificações do solo, o que os tornam adequados como indicadores biológicos da qualidade ambiental. Estimativas relativas à biomassa microbiana possibilitam associar a quantidade de nutrientes imobilizados com a fertilidade e potencial produtivo. O monitoramento das comunidades microbianas, por meio destes parâmetros, tem sido utilizado como indicadores da qualidade do solo em função dos diferentes sistemas de manejo, podendo ajudar na detecção de alterações nas populações microbianas resultantes de mudanças ambientais. Conhecer os fatores que controlam as taxas de ciclagem de N no solo é importante, em razão dos efeitos desses processos na estrutura e função do ecossistema, como também na qualidade ambiental (TÔTOLA e CHAER, 2002). Em pastagens, os efeitos benéficos das excreções dos bovinos foram observados por (MUELLER et al., 2003), que constataram aumento de 20 vezes na atividade nitrificante em relação ao controle. Além desses fatores, o clima também interfere na disponibilidade de N nas pastagens e tal efeito tem sido relatado por alguns autores. A transformação inicial do nitrogênio orgânico é catalisada pela população microbiana heterotrófica do solo e as bactérias nitrificantes catalisam a oxidação do NH_4^+ para nitrogênio mineral nas formas de nitrito (NO_2^-) e de nitrato (NO_3^-), que serve para suprir as necessidades das plantas. Como o N é frequentemente o nutriente mais limitante para as plantas, juntamente com o P, qualquer diferença nas taxas de mineralização, de imobilização e de nitrificação pode ter profundo efeito sobre a produtividade e qualidade do solo. A redução da atividade enzimática pode refletir um efeito deletério para o crescimento da pastagem. O fósforo (P) é um elemento importante a todas as formas de vida, pois faz parte de biomoléculas como ácidos nucléicos e ATP. É um recurso natural finito, com isso, para o aproveitamento mais racional deste é preciso conhecer suas formas e o comportamento no solo. No Brasil, para a maioria dos solos agrícolas, o P, juntamente com o N, representam os nutrientes que mais limitam a produção. A presença de P pode ser inferida no solo pelas variáveis do fósforo da biomassa microbiana (PBM), pela atividade enzimática da fosfatase ácida, pela atividade solubilizadora de fosfato e pela presença de fósforo orgânico (P org.). A aplicação de adubo fosfatado aumentou de 15 a 31% o PBM, mostrando um efeito sobre o crescimento dos microrganismos do solo. A atividade microbiana é bastante estimulada pela adição de excreções animais por meio de modificações das características físicas do solo, do aumento da quantidade de matéria orgânica e de nutrientes prontamente disponíveis. A atividade microbiana, quantificada pelas enzimas protease, urease e fosfatase ácida, foi maior nos solos de pastos, na presença de animais, em relação ao controle. Num ecossistema auto-sustentável como das pastagens, o retorno do fósforo solúvel para as plantas pode ser decorrente da presença de microrganismos produtores de fosfatases no solo e de solubilizadores. A presença destes Microrganismos é substancial no solo e pode propiciar fósforo solúvel para as plantas. A atividade da protease e da fosfatase aumentou com a adição de matéria orgânica no solo, podendo ser considerado como resultado do processo de mineralização catalisado pelos microrganismos. Na degradação da celulose, os microrganismos produtores das celulases seriam a primeira população a se desenvolver produzindo uma fonte de C e energia numa forma disponível para os microrganismos heterotróficos (GARCIA, 2007). Assim, é de se esperar uma expressiva atividade desta comunidade específica, propiciando condições para a mineralização e solubilização de compostos do solo e produzindo nutrientes prontamente disponíveis para a produção das

plantas. A melhor compreensão do processo de degradação da celulose tem incentivado estudos desses microrganismos e sua atividade celulolítica (ULRICH e WIRTH, 1999). Bactérias e fungos participam da decomposição de matéria orgânica, liberando nutrientes para as plantas. O crescimento da população microbiana e sua ação no solo dependem da interação entre planta e solo. A população microbiana é grandemente influenciada pelo manejo e pela cobertura vegetal do solo, sendo cada grupo afetado de forma seletiva. Os microrganismos são estimulados por exsudatos e tecidos radiculares mortos, sendo esse efeito pronunciado para as bactérias. Já os fungos, são influenciados pela disponibilidade de matéria orgânica em geral (CATTELAN e VIDOR, 1990).

AS PRÁTICAS AGRÍCOLAS E OS INDICADORES BIOLÓGICOS

De modo geral os herbicidas pouco afetam os organismos do solo, porém existem relatos que esses produtos podem desequilibrar os ecossistemas edáficos e aquáticos e, ainda exercer efeitos diretos ou indiretos no crescimento e desenvolvimento das plantas cultivadas. Para investigação dos efeitos adversos dos agrotóxicos nos ecossistemas são utilizados indicadores, os quais podem ser de natureza química física e biológica. Indicadores biológicos relacionados ao ciclo biogeoquímico dos elementos (C, N, P e S), são priorizados na avaliação de impactos ambientais, devido à resposta rápida dos microrganismos aos distúrbios provocados no solo. Os principais grupos que executam solubilização de fosfato inorgânico e ainda promovem o crescimento de plantas pela exsudação de fitormônios, vitaminas e antibióticos, sendo denominados PGPR (Rizobactéria promotora de crescimento de plantas) são: *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Burkholderia*, *Achromobacter*, *micrococcus*, *Aerobacter*, *Flavobacterium*. Alguns gêneros de fungos e actinomicetos também apresentam capacidade de solubilizar fosfato inorgânico. A população e a atividade de microrganismos solubilizadores de fosfato estão intimamente relacionados com o manejo e tipo do solo, sendo considerados indicadores microbiológicos associados ao ciclo do fósforo no solo. (REIS, 2007) As mudanças no uso do solo associadas ao sistema de manejo, à utilização excessiva de pesticidas e fertilizantes e, recentemente, à aplicação de resíduos urbanos e industriais, tem proporcionado alterações nas propriedades biológicas do solo. Neste sentido, vários trabalhos utilizando indicadores biológicos já foram realizados para verificar o efeito dessas práticas agrícolas sobre a qualidade do solo (CARDOSO e FORTES NETO, 2000; ARAÚJO; MONTEIRO; ABARKELI, 2003; D'ANDREA et al, 2002; MOREIRA e MALAVOLTA, 2004; SANTOS; CASTILHOS; CASTILHOS, 2004; ARAÚJO; MONTEIRO, 2006; TEIXEIRA et al., 2006; ARAÚJO et al., 2006; MELERO et al., 2005; ARAÚJO et al., 2007). As alterações em alguns indicadores biológicos do solo pela adoção de diferentes sistemas de manejo foram verificadas por D'ANDREA et al (2002) na região do cerrado do estado de Goiás, e por SANTOS; CASTILHOS; CASTILHOS (2004) no Rio Grande do Sul. D'ANDREA et al. (2002) observaram redução nos teores de carbono microbiano com a adoção de pastagem e plantio convencional, comparado com o sistema plantio direto e a mata nativa. O mesmo comportamento foi observado por SANTOS; CASTILHOS; CASTILHOS (2004) que verificaram que o sistema plantio direto, comparado ao plantio convencional, proporcionou aumentos na atividade e biomassa microbiana do solo. Recentemente, MELERO et al. (2005) avaliaram a resposta dos microrganismos do solo a adoção do sistema convencional e orgânico e observaram que o sistema orgânico aumentou o conteúdo de matéria orgânica, a biomassa e a atividade microbiana, melhorando a qualidade e produtividade do solo. Em relação ao efeito da aplicação de pesticidas e resíduos urbanos e industriais sobre a microbiota do solo, ARAÚJO; MONTEIRO; ABARKELI (2003) estudaram o comportamento do herbicida glifosato sobre alguns indicadores biológicos e observaram aumento na respiração e atividade enzimática do solo com a aplicação do herbicida. ARAÚJO E MONTEIRO (2006) estudaram o efeito do uso de lodo têxtil compostado e não compostado sobre os microrganismos e observaram que o não compostado causou efeitos negativos na biomassa microbiana do solo. Já o lodo compostado

teve efeitos positivos na biomassa, atividade microbiana e no número de bactérias, melhorando a capacidade de reciclagem do carbono do solo. Recentemente, ARAÚJO et al. (2007) avaliaram o lodo têxtil compostado sobre a nodulação e a fixação biológica do N₂ em soja e feijão-caupi e observaram que, em negativos sobre a simbiose *Bradyrhizobium* leguminosas. CARDOSO E FORTES NETO (2000) avaliaram a efeito da aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto (0, 10, 20, 40, 80 e 160 t ha⁻¹) sobre a microbiota do solo e observaram que houve aumentos na respiração basal (liberação de CO₂) e no quociente metabólico do solo enquanto que a biomassa microbiana não aumentou com a adição do biossólido. Os autores sugerem que a aplicação do biossólido ocasionou mudanças importantes no ambiente, na comunidade microbiana e na atividade dos microrganismos do solo. Recentemente, ARAÚJO et al. (2006) e Teixeira et al. (2006) avaliaram o efeito do lodo de curtume sobre a nodulação por *Rhizobium* em leguminosas arbóreas (leucena e algaroba) e granífera (feijão-caupi) e observaram que a aplicação do resíduo, em baixas doses, não provocou efeitos deletérios sobre a nodulação, além de melhorar a fertilidade do solo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES:

A avaliação preliminar de riscos ecológicos é realizada através do monitoramento ambiental preventivo dos ecossistemas em risco. Em função da grande diversidade de impactos ambientais sobre os ecossistemas aquáticos, o controle ambiental de riscos ecológicos deve envolver uma abordagem integrada, através do monitoramento da qualidade física, química e biológica da água, bem como a avaliação da qualidade estrutural de habitats. A única maneira efetiva de se garantir a sustentabilidade dos recursos naturais utilizados pelo homem é através da preservação das características naturais dos ecossistemas aquáticos. Neste sentido, o monitoramento ambiental funciona como uma ferramenta fundamental da sociedade, através do qual pode-se avaliar o estado de preservação e/ou grau de degradação dos ecossistemas, fornecendo subsídios para a proposição de estratégias de conservação de áreas naturais e planos de recuperação dos ecossistemas degradados.

CONCLUSÃO:

Os estudos sobre bioindicadores mostram que os microrganismos do solo e da água, por suas características tais como a abundância e atividade bioquímica e metabólica, além de proporcionar respostas mais rápidas a mudanças no ambiente, apresentam um alto potencial de uso na avaliação da qualidade do solo e da água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA (American Public Health Association). 1998. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, Washington: 1569p.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R.; ABARKELI, R. B. Effect of glyphosate on the microbial activity of two Brazilian soils. **Chemosphere**, Oxford, v. 52, p. 799-804, 2003.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Microbial biomass and activity in a Brazilian soil plus untreated and composted textile sludge. **Chemosphere**, Oxford, v. 64, p. 1043-1046, 2006.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R.T.R. **Indicadores biológicos de qualidade do solo**. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, July./Sept. 2007. Disponível no site: <http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp047030.pdf>

BASTOS, Ivan César de Oliveira et al . Utilização de bioindicadores em diferentes hidrossistemas de uma indústria de papeis reciclados em Governador Valadares - MG. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 3, set. 2006 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522006000300003&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 12 nov. 2009. doi: 10.1590/S1413-41522006000300003.

BROOKES, D. C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 19, p. 269-279, 1995.

CONAMA, 274, de 29 de CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº novembro de 2000. Dispõe sobre qualidade das águas de balneabilidade e altera o disposto na Resolução nº20, de 18 de junho de 1986. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 08 de Jan. 2001.

CARDOSO, E. J. B. N.; FORTES NETO, P. Aplicabilidade do biossólido em plantações florestais: alterações microbianas no solo. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Org.) **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 197-202.

CARNELLOSI, C. F. (2007). Aporte de sedimentos, nutrientes e microrganismos no rio portuguesa. **Dissertação** apresentada para programa engenharia agrícola Unioeste – Cascavel Pr.

CATTELAN, A.J.; VIDOR, C. Sistemas de culturas e a população microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 125-132, 1990.

CERQUEIRA, D.A., BRITO, L.L.A., GALINARI, P.C., AMARAL, G.C.M. Perfis de ocorrência de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* em diferentes amostras de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABESA, 1999, p.1251-1257

D'ANDREA, A. F. D.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 913-923, 2002.

DUFOUR, A. P. *Escherichia coli*: The faecal coliforms. In *Bacterial Indicators/Health Hazards Associated With Water* (Edited by Holadley A. W. AND Dutka B. J.) ASTM STP 635, p. 48-58. Am. Soc. for Testing and Materials, Philadelphia, 1987 *apud* Bordalo, A. A. Faecal coliform recovery in two standard media along an estuarine gradient. **Water Science Technology**, v.28, p.2331-2334, 1994

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação do solo**. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS, 1999. 412p.

FRIGHETTO, R. T. S.; VALARINI, P. J. **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo**. Jaguariúna: Embrapa, 2000. 198p.

GARCIA, M.R.L. **Indicadores microbiológicos e químicos do solo sob diferentes sistemas de manejo agropecuário**. Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP. 2007

MELERO, S.; PORRAS, J. C. R.; HERENCIA, J. F.; MADEJON, E. 2005. Chemical and biochemical properties in a silty loam soil under conventional and organic management. **Soil and Tillage Research**, Londres, v. 90, p. 162-170, 2005.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazônia Ocidental. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 1103-1110, 2004.

MUELLER, C.; STEVENS, R.J. & LAUGHLIN, R.J. Evidence of carbon stimulated N transformations in grassland soil after slurry application. **Soil Biology and Biochemistry**, v.35, p. 285-293, 2003.

PELCZAR Jr MJ, Chan ECS, Krieg NR. **Microbiologia – conceitos e aplicações**. Pearson Education do Brasil, 2 ed, São Paulo, Brasil: 1997. 517p.

REIS, M. R. (2007). **Indicadores microbiológicos da qualidade do solo e nutrição mineral de plantas de cana-de-açúcar após aplicação de herbicidas**. Viçosa MG, 60p.

RIBEIRO, E. N.; **Avaliação de Indicadores Microbianos de Balneabilidade em Ambientes Costeiros de Vitória/ES**. Tese de mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória/ES, março de 2002.

SANTOS, V. B.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V. et al. Biomassa, atividade microbiana e teores de carbono e nitrogênio totais de um planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 10, p. 333-338, 2004.

TAVARES, T. M.; CARDOSO, D. D.P.; BRITO, W. M.D.B. (2005). **Vírus entéricos veiculados por água: aspectos microbiológicos e de controle de qualidade da água**. Vol. 34 (2): 85-104. maio-ago. 2005

TEIXEIRA, K. R. G.; GONÇALVES FILHO, L. A. R.; CARVALHO, E. M. S.; ARAÚJO, A. S. F.; SANTOS, V. B. Efeito da adição de lodo de curtume na fertilidade do solo, nodulação e rendimento de matéria seca do caupi. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, p. 1071-1076, 2006.

VASCONCELLOS FCS, IGANCI JRV & RIBEIRO GA. **Qualidade microbiológica da água do rio São Lourenço**, São Lourenço do Sul, Rio Grande do Sul. *Arquivos do Instituto Biológico*, 73: 177-181. 2006.

TÔTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: Alvarez, V.H. et al. (eds.). **Tópicos em Ciências do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2002 – v. 2. p. 196-276.

ULRICH, A.; WIRTH, S. Phylogenetic diversity and population densities of culturable cellulolytic soil bacteria across an agricultural encatchment. **Microbial Ecology**, v. 37, p. 238-247, 1999.