

CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

MATHEUS AUGUSTO DE CARVALHO

**O LODO DE ESGOTO COMO FATOR DE
SUPRESSÃO DE FITOPATÓGENOS**



Rio Claro
2015

MATHEUS AUGUSTO DE CARVALHO

O LODO DE ESGOTO COMO FATOR DE SUPRESSÃO DE
FITOPATÓGENOS

Orientador: Prof. Dr. Victor José Mendes Cardoso

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Biociências da Universidade Estadual
Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Campus de Rio
Claro, para obtenção do grau de Bacharel em
Ciências Biológicas.

Rio Claro
2015

581.2 Carvalho, Matheus Augusto de
C3311 O lodo de esgoto como fator de supressão de
fitopatógenos / Matheus Augusto de Carvalho. - Rio Claro,
2015
48 f. : il., figs., tabs.

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Ciências
Biológicas) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de
Biotecnologia de Rio Claro

Orientador: Victor José Mendes Cardoso

1. Fitopatologia. 2. Patógenos de plantas. 3. Resíduo
sanitário. 4. Solo supressivo. I. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar força e proteção durante todos estes anos. Força para aguentar o ritmo diário de trabalho e estudo, e proteção para que eu viajasse de Pirassununga a Rio Claro durante 5 anos, sem que nada de mau acontecesse.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Victor José Mendes Cardoso, pelo apoio concedido a mim durante o desenvolvimento deste trabalho. Obrigado principalmente pela paciência, compreendendo sempre as peculiaridades que enfrentei durante a vida acadêmica.

À minha noiva Gabriela, companheira ao extremo, a qual dispensou todo apoio e amor necessário, em especial nos momentos mais difíceis, sendo sempre minha melhor ouvinte.

Aos meus amigos de Pirassununga, que me fizeram “desconectar” dos problemas acadêmicos, o que, por vezes é muito importante. Aos companheiros da Academia da Força Aérea que me ajudaram muito, compreendendo quando faltava momentaneamente o melhor profissional em favor do melhor estudante.

À melhor turma de biologia de todos os tempos, obrigado CBN10. Costumo dizer que se pudesse ter escolhido com quais pessoas gostaria de estudar, esta seleção certamente não seria melhor do que nossa turma. Muito diferentes, porém tão unidos.

Às minhas irmãs e principalmente minha mãe Alzira, alicerce de tudo em minha vida.

E por fim, agradeço a todos que de alguma forma participaram dessa fase da minha vida, dos quais poderia passar o dia citando os nomes.

RESUMO

O descarte ideal para um resíduo altamente poluente somado à necessidade de se diminuir o uso do agrotóxico nas plantações, faz com que estudos sejam direcionados para a utilização do lodo de esgoto como fator de supressão de fitopatógenos. Alguns pesquisadores já encontraram resultados bastante animadores, atribuindo aos resíduos das estações de tratamento de esgoto, a diminuição dos sintomas ou até mesmo o total controle dos organismos fitopatogênicos. O trabalho teve como objetivo sintetizar os resultados, com ênfase em artigos científicos e trabalhos acadêmicos dos últimos 15 anos, da aplicação do lodo de esgoto, fornecendo subsídio para estudos posteriores e para o público em geral interessado no assunto. O foco principal foram os mecanismos envolvidos na supressão de micro-organismos causadores de doenças em plantas, mas foram abordados os métodos de obtenção e aplicação, a problemática de substâncias e micro-organismos potencialmente perigosos presentes no lodo de esgoto, bem como os principais pontos relevantes da utilização florestal e agrícola do resíduo.

Palavras-chave: Lodo de esgoto. Solo supressivo. Fitopatógeno.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	6
2 OBJETIVOS.....	9
2.1 Objetivo geral.....	9
2.2 Objetivos específicos.....	9
3 METODOLOGIA.....	10
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
4.1 Métodos de obtenção do lodo de esgoto.....	12
4.2 Características gerais e composição do lodo de esgoto.....	13
4.3 Problemas a serem superados quanto ao uso do lodo de esgoto.....	15
4.3.1 Fitopatógenos.....	15
4.3.2 Metais pesados.....	17
4.3.3 Nitrogênio.....	18
4.3.4 Fósforo.....	19
4.3.5 Condutividade elétrica.....	19
4.3.6 Patógenos humanos e resíduos de fármacos.....	19
4.4 Regulamentação dos parâmetros de utilização do lodo de esgoto.....	20
4.5 Substrato supressivo.....	23
4.5.1 Mecanismos de supressividade.....	23
4.5.2 Mecanismos bióticos envolvidos na supressão de fitopatógenos.....	24
4.5.2.1 Organismos do substrato envolvidos na supressão de fitopatógenos.....	25
4.5.2.2 Fungos.....	25
4.5.2.3 Bactérias.....	26
4.5.2.4 Outros organismos.....	27
4.5.3 Mecanismos abióticos envolvidos na supressão de fitopatógenos.....	27
4.5.4 Indução de supressividade com manipulação do solo.....	29
4.5.5 Lodo de esgoto induzindo a supressividade do substrato.....	30
4.5.5.1 Lodo de esgoto em solo florestal.....	31
4.5.5.2 Lodo de esgoto em solo agrícola.....	32
5 ESTUDOS SOBRE A AÇÃO DO LODO DE ESGOTO COMO SUPRESSOR DE FITOPATÓGENOS.....	35

5.1 Fungos	35
5.2 Bactérias	38
5.3 Nematóides	38
6 SÍNTESE E COMENTÁRIOS.	41
7 CONCLUSÃO	43
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1 INTRODUÇÃO

Dentre os diversos resíduos gerados pela atividade humana, um dos destaques negativos é o lodo de esgoto, despejo muito danoso e um dos mais prejudiciais ao ambiente (BETTIOL; SANTOS, 2001). No Brasil, normalmente o destino do lodo de esgoto é o aterro sanitário, o que ocasiona grande custo, além de agravar ainda mais o problema do manejo do lixo urbano (BARBOZA, 2007). Visando encontrar um destino seguro e sustentável, e também economicamente viável, estudos têm sido realizados abordando a inserção do lodo de esgoto gerado nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), principalmente em solo agrícola. Van Haandel e Sobrinho (2006) ressaltam que o tratamento do lodo das ETEs vem ganhando expressão devido ao aumento das estações e às pressões para atender requisitos ambientais. Com o inevitável crescimento da produção do lodo, são buscados meios de reutilizá-lo visando atenuar o descarte inapropriado.

Muitas são as alternativas para o destino final do lodo de esgoto que é gerado nas ETEs, mas sem dúvida, o uso florestal e agrícola é umas das mais eficazes e eficientes sob variados pontos de vista, pois combina disposição com reciclagem (BETTIOL; CAMARGO, 2000). Santos e Bettiol (2001) afirmam que a utilização agrícola é a alternativa de menor impacto ambiental na disposição final do lodo de esgoto, propiciando economia de energia e de reservas naturais. Poggiani et al. (2006) enfatizam a importância da utilização do lodo de esgoto em plantações florestais para produção exclusiva de madeira, como eucaliptos, já que estudos no Brasil e no exterior tem relatado efeitos positivos do tratamento na produtividade de espécies florestais, tendo em vista que o lodo de esgoto vem assumindo papel importante como adubo orgânico nestes plantios (MORAES NETO; ABREU JUNIOR; MURAOKA, 2007). Áreas degradadas também podem servir como destinos eficazes do lodo de esgoto, o qual pode suprir deficiência de matéria orgânica, nutrientes e atividade biológica característica dessas áreas, as quais comprovadamente apresentam aumento da atividade microbiana e da incorporação de carbono da biomassa com a aplicação do resíduo das ETEs (SKORUPA et al., 2006).

Além dos efeitos benéficos sobre o meio ambiente e economia de recursos, sob o foco agrícola, o lodo de esgoto pode influenciar positivamente a produção, levando-se em conta atributos como forte quantidade de matéria orgânica; presença

maciça de macro e micronutrientes; incremento na capacidade de retenção de água pelo solo e resistência à erosão; redução no uso de fertilizantes; efeito residual utilizável para culturas subsequentes; e, em muitos casos, indução da capacidade do solo em suprimir a ação e/ou reduzir a severidade de micro-organismos patogênicos de plantas (BETTIOL; SANTOS, 2001). Além disso, o lodo de esgoto pode induzir na planta resistência às doenças da parte aérea (ARAÚJO; BETTIOL, 2005).

No Brasil, o uso do lodo de esgoto é controlado de acordo com a resolução nº 375 de agosto de 2006, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que define os critérios e procedimentos que envolvem o uso agrícola do lodo de esgoto e derivados (BRASIL, 2006). Este controle deve-se ao fato de o resíduo das ETEs, além de compostos benéficos, também conter poluentes como metais pesados, compostos orgânicos persistentes e microrganismos patogênicos ao homem (BETTIOL; FERNANDES, 2004). Levando-se em conta esses aspectos, é fundamental que as estações de tratamento de esgoto forneçam um lodo de qualidade, isento de contaminantes (BETTIOL; SANTOS, 2001).

O conhecimento dos mecanismos de supressão de fitopatógenos pelo lodo de esgoto tornou-se matéria de suma importância e tem avançado com o aumento das pesquisas, que crescem desde as primeiras citações de controle de micro-organismos prejudiciais às plantas, por Cook et al. (1964). Entre os mecanismos propostos, podemos destacar a ativação da microbiota do solo (BETTIOL; SANTOS, 2001), indução de resistência ao fitopatógeno na planta (RODRIGUES et al. 2006; HOITINK et al., 1997), ação tóxica sobre os fitopatógenos (LEONI; GHINI, 2003), aumento da disponibilidade de compostos nitrogenados (MCILVEEN; COLE, 1977) e alteração no pH do solo (FORTES et al., 2000).

Apesar dos vários resultados positivos associados à utilização do lodo de esgoto na supressão de fitopatógenos, em alguns casos o lodo foi prejudicial às plantas, não trazendo benefício ou outras vezes colaborando com o agravamento da doença (RODRIGUES et al., 2006; SANTOS; BETTIOL, 2005). Por vezes, a utilização do lodo de esgoto cru, pode inserir fitopatógenos no sistema juntamente com micro-organismos antagonistas a estes (BETTIOL; SANTOS, 2001).

De qualquer forma, o lodo de esgoto pode ser uma alternativa aos pesticidas, já que o excesso de produtos químicos e sintéticos na agricultura têm consequências

nocivas não somente à saúde humana, mas também ao meio ambiente (CRUZ et al., 2005; BETTIOL; MORANDI, 2010). Além disso, por se tratar de um resíduo que cresce com o aumento da população dos centros urbanos, é de suma importância se pensar cada vez mais num destino sustentável, evitando ou reduzindo seu descarte inapropriado e acúmulo no ambiente sem adequado tratamento e reciclagem (NASCIMENTO et al., 2004). Em síntese, fica evidente que o uso controlado do lodo de esgoto em algumas culturas agrícolas e até mesmo em áreas florestais e degradadas é interessante sob a óptica econômica, biológica e ecológica, seja pela diminuição no uso de pesticidas industriais, pela melhora na produção agrícola/florestal ou pelo descarte apropriado de um resíduo prejudicial e de produção crescente.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral do trabalho é sintetizar e atualizar as informações disponíveis na literatura científica e técnica relacionadas à supressão de fitopatógenos pelo lodo de esgoto, com ênfase nos mecanismos envolvidos, além de fornecer subsídio a pesquisadores e público em geral interessados na pesquisa e no uso desse material como alternativa para o tratamento de plantas infectadas por fitopatógenos.

2.2 Objetivos específicos

- Indicar os prós e contras no que diz respeito ao uso do lodo de esgoto como agente de supressão de fitopatógenos;
- Enfatizar a importância do descarte adequado do resíduo produzido nas Estações de Tratamento de Esgoto, no contexto da sustentabilidade;
- Salientar a aplicação do lodo de esgoto em plantações florestais e na agricultura;
- Apontar os mecanismos de ação do lodo de esgoto sobre micro-organismos patogênicos veiculados pelo solo.

3 METODOLOGIA

O trabalho consta de uma revisão bibliográfica, que utiliza como base material previamente elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos. A pesquisa bibliográfica pode ser entendida como um processo que envolve etapas: escolha do tema, levantamento bibliográfico preliminar, formulação do problema, elaboração do plano provisório de assunto, busca de fontes e leitura do material (GIL, 2002). Quanto aos objetivos, trata-se de um estudo exploratório, o qual segundo Gil (2002 p. 41) deve

[...] proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses. Pode-se dizer que estas pesquisas têm como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições.

Os estudos exploratórios são utilizados em investigações preliminares da situação com o mínimo de tempo e custo, auxiliando o pesquisador a conhecer minuciosamente o assunto de interesse (KINEAR & TAYLOR, 1987). Segundo Malhotra (1993 p. 156), este modelo de revisão tem como finalidade promover uma compreensão inicial do conjunto do problema da pesquisa.

Recentemente Revillion (2015), em seu estudo sobre a aplicação da revisão exploratória em pesquisas direcionadas à área de marketing, sintetizou conhecimentos de diferentes autores (MATTAR, 1994; MALHOTRA, 1993; SAMPIERI et al., 1991) e apontou alguns objetivos para os quais podem ser usados esse modelo de revisão:

Familiarizar e elevar a compreensão de um problema de pesquisa em perspectiva; ajudar no desenvolvimento ou criação de hipóteses explicativas de fatos a serem verificados numa pesquisa causal; auxiliar na determinação de variáveis a serem consideradas num problema de pesquisa; verificar se pesquisas semelhantes já foram realizadas, quais os métodos utilizados e quais os resultados obtidos, determinar tendências, identificar relações potenciais entre variáveis e estabelecer rumos para investigações posteriores mais rigorosas; investigar problemas do comportamento humano, identificar conceitos ou variáveis e sugerir hipóteses verificáveis.

No presente estudo, foram utilizadas várias fontes de pesquisa, com enfoque para livros, teses, dissertações e monografias, bem como artigos científicos e técnicos relacionados ao tema “Ação do lodo de esgoto na supressão de fitopatógenos”. Quanto aos artigos, destaca-se aqueles publicados de 2000 a 2015, com consulta em bases de dados, em especial do Web of Science e Google Acadêmico, além dos sítios da EMBRAPA e CETESB, usando como palavras de busca: “lodo de esgoto”, “fitopatógenos”, “controle biológico”, “solo supressivo”, “organic sludge”, “phytopathogens”, “biological control” e “suppressive soil”.

Num primeiro levantamento, foram selecionados os textos de interesse, dos quais foram extraídos os resultados, discussões e principais conclusões. O material, então foi compilado e organizado na forma de uma revisão sobre o uso de lodo de esgoto como fator de supressão de micro-organismos patogênicos de plantas.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Métodos de obtenção do lodo de esgoto

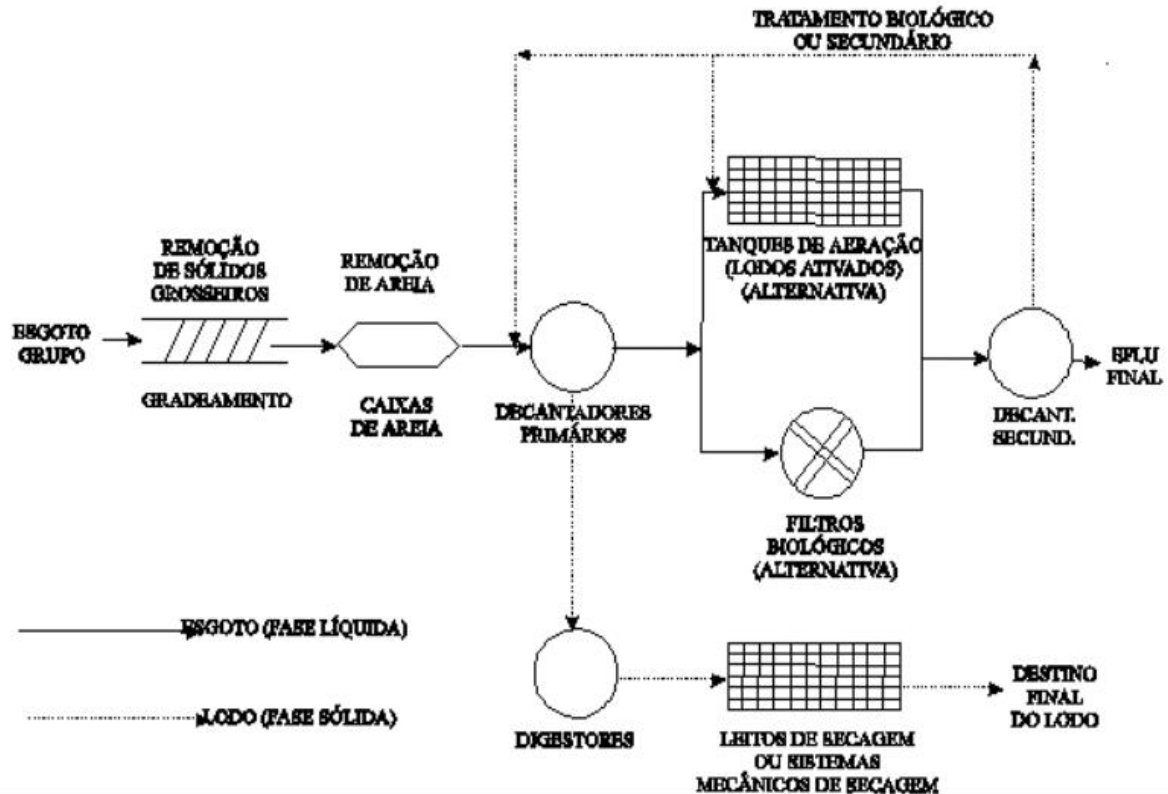
O lodo de esgoto, um dos resíduos mais poluidores e com produção abundante, especialmente nos grandes centros urbanos, é formado ao final do processo de tratamento de sanitário. De acordo com Pedroza et al. (2010), na época de sua pesquisa, a produção de lodo de esgoto no Brasil era estimada entre 150 a 220 mil toneladas por ano, o que torna imprescindível uma aplicação sustentável para esse sólido.

O sistema de tratamento sanitário convencional, como apresentado na Figura 1, é composto de algumas etapas, sendo que a que recebe o esgoto bruto nos decantadores primários gera o lodo primário, composto pelos sólidos sedimentáveis do esgoto bruto, e posteriormente, na fase biológica do tratamento, tem-se a formação do lodo secundário. Dependendo do sistema, o tratamento pode ser composto de lodo primário e secundário juntos, havendo a formação do lodo misto, e ainda algumas estações de tratamento podem incorporar ao processo uma etapa físico-química de remoção de nutrientes, havendo a formação do lodo químico. Contínuo ou não, em todos os casos é necessário que sejam tomadas providências adequadas de descarte do lodo (PEDROZA et al., 2010).

Uma técnica bastante usada no tratamento de esgoto é através da implementação de reatores anaeróbios, como os reatores de manta de lodo e fluxo ascendentes (Upflow Anaerobic Sludge Blanket – UASB), exemplificados na Figura 2. Silva (2009) testou o efeito do lodo tratado através do método UASB para tornar supressivo o substrato, em doenças causadas por nematoides fitopatógenos do milho. Para uso na agricultura, é necessária a remoção da maior parte da matéria orgânica (estabilização), onde o UASB é bastante eficaz, de modo a evitar-se a proliferação de maus odores, vetores de doenças, e de micro-organismos patogênicos. No entanto esse tipo de tratamento, isoladamente, não fornece um lodo de qualidade para ser usado na agricultura, pois nem sempre elimina satisfatoriamente os organismos patogênicos ali presentes. O UASB age através da transformação por fermentação anaeróbia e pós-tratamento por lagoas facultativas ou tratamentos aeróbios, tendo

uma série de benefícios, como baixo custo de implementação e manutenção (SILVA, 2009).

Figura 1 - Esquema de uma estação de esgoto convencional

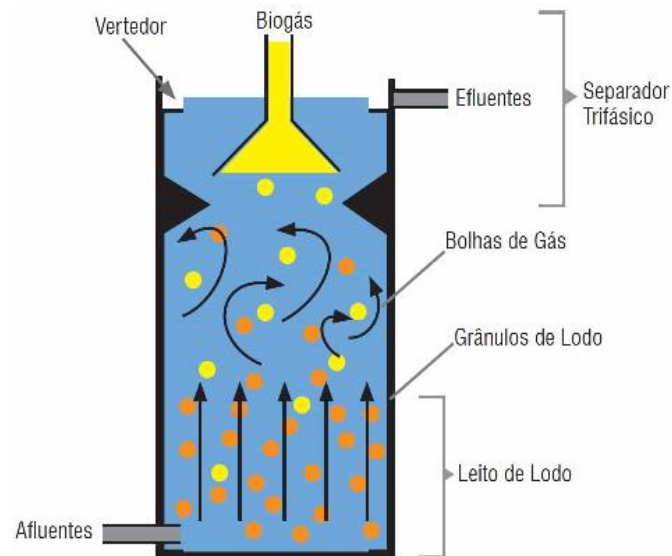


Fonte: Chagas (2000)

4.2 Características gerais e composição do lodo de esgoto

A procura por formas alternativas de utilização do lodo de esgoto apoia-se no potencial de agressão que este resíduo tem sobre o meio ambiente, no qual também está incluso o ser humano. Como já foi citado neste trabalho a utilização na agricultura ou florestal, seja como fonte adicional de matéria orgânica ou como fator de supressão de fitopatógeno, é uma das alternativas mais utilizadas (BETTIOL; CAMARGO, 2000), sempre se tendo o devido cuidado quanto à possível presença de compostos ou micro-organismos prejudiciais, passíveis de serem encontrados no lodo de esgoto, motivo que impossibilita a aplicação direta do resíduo no solo, necessitando preliminarmente de uma série de tratamentos aeróbios e/ou anaeróbios (BARBOZA, 2007).

Figura 2 - Manto de lodo anaeróbico de fluxo ascendente (UASB)



Fonte: Shelby Jr; Mastaw; L'abbate; Fedeli (2012)

A Composição do lodo de esgoto é bastante diversa dependendo do processo de obtenção utilizado (primário, lodo ativado e lodo digerido, sendo eles, respectivamente, produzidos em decantadores primários, reatores biológicos e por processo de estabilização biológica), localização das Estações de Tratamento de Esgoto, descarga de resíduos industriais, época do ano, dentre outros (BARBOZA, 2007), sendo que suas características químicas são o grande foco de estudo em se tratando de análise de impacto ambiental (ARAÚJO; BETTIOL, 2005). Embora a composição do lodo de esgoto varie consideravelmente, um lodo típico tem, em média, 40% de matéria orgânica, 4% de nitrogênio, 2% de fósforo e demais macro e micronutrientes, além de pH na faixa de 6 a 7. A maioria dos lodos parcialmente desidratados apresenta de 60 a 70% de sólidos, a maior parte orgânica (BETTIOL; CAMARGO, 2000; BARBOZA, 2007). Rodrigues et al. (2006) em seu estudo sobre a influência do lodo-de-esgoto na murcha-de-curtobacterium em feijoeiro, faz uma análise química do lodo de esgoto da estação de tratamento de Jundiaí, cuja composição está demonstrada na Tabela 1 conjuntamente com os dados obtidos por Leoni e Ghini (2003), que estudou o Efeito do Lodo de Esgoto da ETE de Franca na indução de supressividade *in vitro* a *Phytophthora nicotianae*, respectivamente representados em Teor 1 (Análise química do esgoto da ETE de Jundiaí) e Teor 2 (Análise química do esgoto da ETE de Franca).

4.3 Problemas a serem superados quanto ao uso do lodo de esgoto

As alternativas sustentáveis para o lodo de esgoto, incluindo a deposição no solo agrícola ou florestal, tendem a minimizar o impacto causado pela crescente quantidade de ETEs e conseqüentemente do resíduo gerado. Em contrapartida, o tratamento deste lodo é de suma importância para que os benefícios não sejam sobrepujados por possíveis substâncias e micro-organismos indesejados. Algumas Estações de Tratamento de Esgoto não apresentam resíduo compatível com a aplicação agrícola, pois pode apresentar quantidades altas de metais pesados, compostos orgânicos persistentes, patógenos humanos, além de fitopatógenos, como *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Verticillium* e *Cephalosporium* (GAMBALE et al., 1987; PINTO, 2008).

Pinto (2008) também verificou no seu trabalho que, em relação à composição química dos substratos, com inserção de diferentes tipos de fontes de matéria orgânica visando a indução de supressividade, a maior concentração de enxofre ocorre quando há lodo de esgoto na composição do substrato, além do que, todos os substratos apresentaram maior quantidade de nitrogênio na forma de nitrato do que na forma amoniacal, e as combinações, no geral, aumentaram os teores de potássio, cálcio, magnésio e manganês do substrato.

4.3.1 Fitopatógenos

De acordo com Bettiol e Santos (2001) a prévia compostagem do resíduo final do tratamento sanitário tem sido apontada como uma boa alternativa para erradicar micro-organismos fitopatogênicos, e o modo pelo qual age a compostagem pode ser: pela inativação térmica; por liberação de compostos tóxicos, como compostos húmicos após a compostagem ou amônia após a estabilização; e, por fim, por microbiostase, condição onde, embora vivo, o micro-organismo não consegue se reproduzir.

Tabela 1 - Análise química do lodo de esgoto das ETE de Jundiá (Teor 1) e Franca (Teor 2)

Atributo	Unidade	Teor 1	Teor 2
Fósforo	g/kg	6,3	21,3
Potássio	g/kg	1,1	0,99
Sódio	g/kg	1,1	0,6
Arsênio	mg/kg	< 0,01	< 1
Cádmio	mg/kg	7,5	2
Chumbo	mg/kg	212,8	118,8
Cobre	mg/kg	889,5	359,2
Cromo total	mg/kg	187,3	1325
Mercúrio	mg/kg	< 0,01	< 1
Molibdênio	mg/kg	< 0,01	< 1
Níquel	mg/kg	43	74,7
Selênio	mg/kg	< 0,01	0
Zinco	mg/kg	1801,8	1590
Boro	mg/kg	10,6	7,1
Carbono Orgânico	g/kg	296,6	374,4
PH		5,3	6,4
Umidade	%	73,9	52,1
Sólidos Voláteis	%	63,2	
Nitrogênio (método Kjeldahl)	g/kg	28	50,8
Nitrogênio-amoniaco	mg/kg	32,6	119,5
Nitrogênio-nitrato-nitrito	mg/kg	187,6	54,8
Enxofre	g/kg	25,5	13,3
Manganês	mg/kg	665,7	267,4
Ferro	g/kg	22,7	31,706
Magnésio	g/kg	1,7	2,5
Alumínio	g/kg	18,5	33,55
Cálcio	g/kg	8,4	16,8

Fontes: Rodrigues; Silva Júnior; Maringoni (2006); Leoni; Ghini (2003)

A compostagem é um processo de fermentação biológica aeróbio e controlado, por isso diferente de outros processos como fermentação e putrefação, tendo como produto gerado o chamado *composto*. Pode-se dividir em três o processo completo da compostagem. Na primeira etapa, com duração de aproximadamente 24 a 48 horas

e temperatura variando de 40 a 50 graus Celsius, os compostos de fácil decomposição, como os açúcares, são mineralizados. A segunda fase, denominada termófila, na qual a temperatura varia de 55 a 70 °C, caracteriza-se pela morte da maioria dos fitopatógenos, o que pode tornar o *composto* de utilização mais segura, além eliminar as plantas daninhas, degradar a celulose e manter vivas as bactérias termotolerantes produtoras de endósporo. A terceira fase é conhecida como cura ou maturação, onde a temperatura diminui abaixo de 40 °C, ocorrendo queda na taxa de mineralização. A relação C:N varia de 14:1 a 20:1 favorecendo a recolonização do composto por microrganismos mesófilos, como actinobactérias e fungos filamentosos, pois, assim como outros seres vivos, eles necessitam de quantidade grande de carbono e relativamente pouco nitrogênio. Estes microrganismos podem ser antagonistas a diversos patógenos de solo, e, caso sejam adicionados ao substrato, podem proteger a planta de doenças veiculadas pelo solo. Dessa forma, a matéria orgânica compostada oferece diretamente uma série de benefícios ao substrato, inserindo nutrientes, hormônios e outros compostos ao sistema, melhorando características físicas (estruturação, drenagem, retenção de água, aeração), químicas (Ph, poder tampão), físico-químicas (troca catiônica), biológicas, e assim, ampliando sua capacidade supressiva (HOINTINK & FAHY, 1986; PINTO, 2008).

4.3.2 Metais pesados

Para a utilização do lodo de esgoto adicionado ao solo como supressor de fitopatógenos, além do cuidado com a já discutida inserção de micro-organismos maléficos para a planta, outra precaução a ser tomada é quanto à possibilidade deste lodo conter metais pesados, substâncias de reconhecido potencial injurioso. Estes elementos absorvidos pelas plantas entrarão na cadeia alimentar de maneira cumulativa, chegando aos consumidores de primeira ordem e, por conseguinte, ao homem. No ser humano, os metais pesados depositam-se no tecido ósseo e gorduroso e deslocam minerais nobres dos ossos e músculos para a circulação, provocando doenças (BARBOZA, 2007).

Como poluentes, os metais pesados são persistentes no ambiente e, conseqüentemente, com influência negativa na cadeia alimentar. No contexto do presente estudo, o principal desafio seria evitar sua absorção pelas plantas, as quais seriam consumidas pelos herbívoros tendo efeito cumulativo na cadeia trófica. Os

metais pesados mais encontrados no lodo de esgoto são Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Fe, Co, Mn, Mo, Hg, Sn e Zn, os quais oferecem grande risco à saúde humana, podendo causar uma série de doenças, dentre elas o câncer devido aos danos causados no DNA. Além disso podem causar problemas nos processos microbiológicos do solo, biomassa microbiana, concentração de ATP no solo, fixação de nitrogênio, entre outros processos (BARBOZA, 2007; MORAES; JORDÃO, 2002).

Embora a quantidade total de metais pesados no solo possa representar perigo, a longo prazo o acúmulo desses metais nem sempre constitui risco imediato, pois esse acúmulo é dependente da fitodisponibilidade, ou seja, pode-se ocorrer alta concentração de metais pesados no solo, sem que os mesmos estejam de uma forma assimilável pelos vegetais (BARBOZA, 2007). Segundo Steffens (1990) a planta possui mecanismos de tolerância à presença dos metais pesados no solo, tais como: restrição ao transporte raiz/planta; manutenção de metais reunidos nos tricomas; liberação de exsudatos que podem complexar esses elementos persistentes; produção de compostos com propriedades quelantes, e/ou bombeamento ativo para os vacúolos.

4.3.3 Nitrogênio

O nitrogênio é elemento essencial para o crescimento e manutenção das plantas, porém alguns problemas são observados quando um excesso do elemento é aplicado ao solo, especialmente da forma encontrada no lodo de esgoto. A aplicação do nitrogênio como parte integrante dos resíduos de estações de tratamento de esgoto pode trazer problemas devido à baixa capacidade do solo em retê-lo. Bettiol e Camargo (2006) afirmam que o nitrogênio sobressalente convertido em amônio pode ser retido por colóides do solo, mas os nitratos não absorvidos pela planta podem ser lixiviados, contaminando águas superficiais e lençóis freáticos. Consoante os mesmos autores, também pode ocorrer mineralização da matéria orgânica adicionada ao solo, liberando nitrogênio na forma amoniacal e nítrica, e, ainda, em condições redutoras pode ocorrer desnitrificação, onde o nitrato é convertido em nitrogênio gasoso.

Na cadeia alimentar, o excesso de nitrogênio pode ocasionar problemas, já que no trato digestivo de animais esse elemento pode ser transformado em nitrito, precursor de nitrosaminas, reconhecidas como substâncias potencialmente carcinogênicas. Além disso, na corrente sanguínea, o nitrito pode competir com o

oxigênio na hemoglobina, provocando riscos à saúde de recém-nascidos (BARBOZA, 2007).

4.3.4 Fósforo

Os solos brasileiros, normalmente tem déficit na quantidade de fósforo, pois o mesmo não é retido com grande energia pelo substrato. Assim sendo, o P não representa um grande perigo, no que diz respeito à inserção de lodo de esgoto ao solo. Mesmo assim, uma quantidade exagerada do nutriente pode não ser retida pelo substrato e lixiviada, sendo levada até os corpos d'água e causando a eutrofização (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

4.3.5 Condutividade elétrica

Especialmente em regiões de baixa pluviosidade, o aumento da condutividade elétrica pode causar danos para as plantas. Segundo Bettiol e Camargo (2006) em regiões de alta pluviosidade, os perigos são momentâneos, até que os sais presentes na solução do solo sejam arrastados para fora da zona radicular, mas, caso isso não ocorra, esses sais surgidos após decomposição do lodo de esgoto podem ocasionar problemas para a planta. O sódio pode substituir o cálcio e o magnésio no complexo de troca, dispersando argila, destruindo os agregados e a estrutura dos solos, e reduzindo a permeabilidade e a infiltração de água.

Em certos trabalhos, como o de Bettiol e Fernandes (2004), o aumento na condutividade elétrica ocasionado pela adição de lodo de esgoto no solo, principalmente nas maiores doses, não chegou a impactar na saúde da cultura do milho, o que de maneira alguma isenta a importância que deve ser dada ao excesso de íons no substrato, que muitas vezes limita a utilização de determinados resíduos.

4.3.6 Patógenos humanos e resíduos de fármacos

A presença de patógenos humanos é fator de suma importância para a seleção do lodo de esgoto passível de ser utilizado nos solos, principalmente na agricultura. Tanto é verdade, que através da resolução nº 375, o CONAMA estabelece classes de lodo de acordo com a presença de patógenos (Tabela 3). Lodos com presença de patógenos humanos, tais como coliformes fecais, salmonela, vírus e helmintos, devem sofrer tratamento adequado, bem como os solos onde foram aplicados devem ser continuamente monitorados (BETTIOL E CAMARGO, 2006).

De acordo com os dados da Tabela 3, há duas classes de lodo de esgoto, A e B. Para ser enquadrado na classe A, o lodo deve apresentar, dentre outros parâmetros, densidade de coliformes fecais inferior a 10^3 NMP/g de sólidos totais, enquanto que na classe B a densidade deve ser inferior a 10^6 NMP/g de sólidos totais.

Outro problema a ser sanado, e que veio à tona recentemente, diz respeito à presença de fármacos no lodo de esgoto. Melo (2009), tendo como foco a poluição de recursos hídricos, cita o lançamento de resíduos de estações de tratamento de esgoto como principal rota de inclusão de fármacos no meio ambiente. Além disso, o mesmo autor cita outras rotas de lançamento de fármacos a serem consideradas, tais quais efluentes de indústrias farmacêuticas, efluentes rurais, a presença de fármacos no esterco animal utilizado para adubação de solos e a disposição inadequada de fármacos após expiração do prazo de validade.

4.4 Regulamentação dos parâmetros de utilização do lodo de esgoto

O atual crescimento do uso do lodo de esgoto como adubo orgânico, tanto na agricultura como em plantações florestais, faz com que regulamentações sejam criadas para que, além de eficaz, a aplicação deste biossólido¹ seja segura para o meio ambiente e ocorra de maneira racional, conceitos a que o próprio termo biossólido remete (LEITÃO, 2007).

Como a busca de métodos de reaproveitamento do lodo de estações de tratamento de esgoto já não é tão recente, no final da década de 90 a Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental, através de Cetesb (1999) homologou uma regulamentação da utilização adequada do resíduo na agricultura. Essa norma, foi baseada no que foi proposto pela Agência de Controle Ambiental dos Estados Unidos da América, sendo que algumas falhas graves foram apontadas por pesquisadores. Por exemplo, a quantidade de lodo a ser aplicado e a tolerância no que concerne à presença de metais pesados foram baseadas em condições de solo e clima diferentes dos encontrados no Brasil, além do que os EUA possuem um maior grau de permissividade no que se refere aos metais pesados, se comparado com outros países desenvolvidos. Ainda quanto aos metais pesados, a norma americana só levava em conta a quantidade total, desconsiderando a biodisponibilidade, a qual pode

¹ Nome dado ao lodo resultante do tratamento de esgoto, com características que permitam sua reciclagem de maneira racional e ambientalmente segura.

causar toxidez às plantas ou mesmo torná-las impróprias para o consumo (MORAES NETO; ABREU JUNIOR; MURAOKA, 2007).

Em consequência dos problemas supracitados envolvendo a regulamentação da CETESB, e de um acidente ambiental ocorrido em Brasília causado pelo uso indevido de lodo gerado pela Companhia de Saneamento de Brasília, onde ocorreu contaminação do solo e corpos d'água, o Conselho Nacional do Meio Ambiente, o CONAMA, reuniu em 2004, um grupo de trabalho para que fosse elaborada uma legislação segura, que atendesse as necessidades do Brasil no que diz respeito ao uso do lodo de esgoto na agricultura (MORAES NETO; ABREU JUNIOR; MURAOKA, 2007).

Posteriormente, o CONAMA publica a Resolução nº 375, a qual busca em seus artigos, regulamentar os critérios e procedimentos de forma benéfica à agricultura e segura para o meio ambiente (Brasil, 2006). Dentre tantos tópicos, a resolução estabelece critérios de análise do lodo de esgoto (química, organismos patogênicos, etc); determina com que frequência deve ser monitorada a área adubada com lodo de esgoto; fixa os requisitos mínimos de qualidade do lodo de esgoto em relação a substâncias inorgânicas e classes do lodo de esgoto conforme presença de agentes patogênicos (Tabelas 2 e 3); e ressalta a necessidade de um projeto agrônômico e as taxas máximas de aplicação do biossólido; bem como o modo como este deve ser estocado e transportado.

Outro tópico importante tratado pela Resolução nº 375 refere-se em quais culturas o solo pode receber o tratamento com lodo de esgoto, e de acordo com o previsto, a utilização desse resíduo em pastagens, cultivos olerícolas, tubérculos e raízes, culturas inundadas ou qualquer cultura em que a parte comestível entre em contato com o solo, é terminantemente proibida. Por outro lado, caso o solo de alguma dessas culturas entre em contato com o lodo, o produto agrícola ali produzido somente poderá ser consumido num prazo mínimo de 48 meses após a última aplicação. Outros locais também são citados como proibidos de sofrerem a aplicação de resíduo de ETE, independentemente de sua classe. Lugares que envolvem balneários e fontes de água, Áreas e Proteção Ambiental (APA), Áreas de Proteção aos Mananciais (APMs), Área de Preservação Permanente (APP), são algumas das regiões vedadas. (BRASIL, 2006).

Tabela 2 - Lodos de esgoto ou produto derivado - substâncias inorgânicas

Substâncias inorgânicas	Concentração máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (mg/kg, base seca)
Arsênio	41
Bário	1300
Cádmio	39
Chumbo	300
Cobre	1500
Cromo	1000
Mercúrio	17
Molibdênio	50
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2800

Fonte: Brasil (2006)

Tabela 3 - Classe de lodo de esgoto ou produto derivado – agentes patogênicos

Tipo de lodo de esgoto ou produto derivado	Concentração de patógenos
A	Coliformes Termotolerantes < 10 ³ NMP / g de ST
	Ovos viáveis de helmintos < 0,25 ovo / g de ST
	<i>Salmonella</i> ausência em 10 g de ST
	Vírus < 0,25 UFP ou UFF / g de ST
B	Coliformes Termotolerantes < 10 ⁶ NMP / g de ST
	Ovos viáveis de helmintos < 10 ovos / g de ST

ST: Sólidos Totais

NMP: Número Mais Provável

UFF: Unidade Formadora de Foco

UFP: Unidade Formadora de Placa

Fonte: Brasil (2006)

4.5 Substrato supressivo

Até aqui, o presente trabalho apresentou de maneira geral a importância do reuso do lodo de esgoto na supressão de micro-organismos fitopatogênicos veiculados pelo solo. No entanto é necessário um aprofundamento no que tange à formação do substrato supressivo e os resultados encontrados por pesquisadores da área.

O termo solo supressivo teve sua primeira ocorrência em 1959 com Menzies, o qual relacionou diferentes tipos de solo com a ocorrência e severidade da sarna da batatinha. No entanto estudos que faziam referência ao controle de doenças de plantas pelo solo, datam de 1889, quando Atkinson estudou a severidade da murcha do algodoeiro (PINTO, 2008).

A supressividade relacionada ao solo refere-se à capacidade do substrato de inibir a instauração de fitopatógenos ou de suas atividades patogênicas, sendo que essa capacidade inibitória recebeu diversas denominações com o passar do tempo, tais como solo resistente, imune, intolerante, competitivo, antagonista, de vida longa, baixo patógeno, fungistático, com poder tampão, entre outros (BETTIOL; GHINI, 2005). Bettiol e Fernandes (2004) apontaram três possíveis alterações do substrato pela adição do lodo de esgoto: ação tóxica sobre o micro-organismo; alteração das condições físicas e químicas do ambiente por meio de distúrbios funcionais, desnaturação de proteínas e destruição da integridade de membranas celulares; e diminuição da disponibilidade de substâncias energéticas a outros micro-organismos.

De acordo com Baker e Cook (1974) a supressividade do substrato pode ocorrer pelo não estabelecimento do patógeno, e também por situações em que, mesmo esse tendo se estabelecido, a doença não é promovida ou é atenuada. Normalmente, um substrato com anos de desenvolvimento até sua estabilidade, apresenta uma comunidade biológica com funções importantes para a supressividade e, conseqüentemente, para o controle biológico. Os estudos apresentam resultados consistentes para o grupo das bactérias e fungos em detrimento de outros como anelídeos e protozoários, por exemplo (BETTIOL; GHINI, 2005).

4.5.1 Mecanismos de supressividade

O não estabelecimento do patógeno normalmente ocorre por alterações físicas e químicas do solo, tais como, tamanho e compactação dos agregados, capacidade de armazenagem de água e qualidade do material formador (argila, areia, etc.), pH, aumento da condutividade elétrica e alteração da concentração de nutrientes (BETTIOL; GHINI, 2005).

Já a razão da não promoção ou atenuação, mesmo tendo o patógeno se estabelecido no substrato, deve-se à microbiota ali presente, associado ou não aos fatores químicos e físicos (PINTO, 2008; HORNBY, 1983; HOPER; ALABOUVETTE, 1986).

4.5.2 Mecanismos bióticos envolvidos na supressão de fitopatógenos

Hoitink e Fahy (1986) indicam a atividade microbiana como componente mais importante na obtenção da supressividade do solo, sendo que este controle de fitopatógenos sofre influência direta de substâncias fungitóxicas liberadas na decomposição de matéria orgânica, como o lodo de esgoto. Em virtude disso, torna-se indispensável a qualidade e quantidade do material adicionado, pois isto vai afetar diretamente o comportamento da população microbiana do solo, o que, evidentemente, tornam indispensáveis os estudos sobre o uso do lodo de esgoto e demais fontes de matéria orgânica, além do conhecimento das alterações por eles provocadas nas comunidades e nas atividades microbianas do solo (BETTIOL; GHINI, 2005; BETTIOL; FERNANDES, 2004). Em complemento, Bettiol e Ghini (2005) afirmam que normalmente os micro-organismos que conferem supressividade ao solo agem através de um conjunto de mecanismos que favorecem aquele(s) indivíduo(s) em seu ambiente, tornando-os antagonistas a outros organismos envolvidos na transmissão de uma gama de doenças de plantas. Por exemplo, dentre uma série de medidas preventivas para evitar-se infecção por *Phytophthora* spp, está o uso de adubos orgânicos que favoreçam uma microbiota antagônica ao patógeno (LEONI; GHINI, 2002). Dessa forma, a ação supressiva pode ser: através da produção de metabólitos com efeito danoso a outro indivíduo, como os antibióticos, sendo denominado antibiose; por meio da competição por recursos indispensáveis a sobrevivência, porém não disponível para todos indivíduos; por intermédio de parasitismo ou predação; e por fim, através da indução de resistência, na qual ocorre

a supressão da doença e não do patógeno, sendo a ação direcionada à planta e não ao micro-organismo patogênico (BETTIOL; GHINI, 2005).

Um exemplo bastante claro da importância do componente biológico na indução de supressividade foi obtido no trabalho de Pinto (2008), onde a supressão pela inclusão do lodo de esgoto em substrato desinfestado foi substancialmente reduzida em relação à supressividade do conjunto formado pelo lodo e o substrato não desinfestado. Observa-se então, que a microbiota do lodo de esgoto não consegue ocupar o vácuo biológico originado pela desinfestação.

4.5.2.1 Organismos do substrato envolvidos na supressão de fitopatógenos

Segundo Bettiol e Ghini (2005), os estudos sobre a supressividade do substrato, quanto à atuação da microbiota ali presente, gira em torno dos grupos das bactérias e dos fungos, mas há outros indivíduos com menor grau de importância, seja pela efetiva ação supressora ou pela escassa quantidade de estudos.

4.5.2.2 Fungos

Sem dúvida o grupo dos fungos é o mais estudado quando o assunto é supressividade do solo, tornando-se hoje uma área de grande interesse comercial com fabricação de produtos à base de fungos visando o controle de patógenos, sendo que o gênero *Trichoderma* é o principal protagonista (BETTIOL; GHINI, 2005).

O gênero *Trichoderma* atua no solo por diversos mecanismos antagonistas, fator essencial para um bom controlador de fitopatógenos veiculados pelo substrato. Há relatos de produção de antibióticos pelo gênero, sem contar seu alto grau de competição com fitopatógenos. Mas o mecanismo antagônico mais conhecido para esse grupo de fungos é o parasitismo, tendo sido documentado o *Trichoderma* controlando muitos outros fungos patogênicos, tais quais *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, *Pythium*, *Fusarium*, dentre outros (BETTIOL; GHINI, 2005).

Ainda de acordo com Bettiol e Ghini (2005), uma série de outros gêneros de fungos contém poder antagonista, mas normalmente este mecanismo não envolve um grupo isolado, mas sim um complexo fúngico que possibilitam vários mecanismos de controle de fitopatógenos. Outro grupo que exemplifica bem a importância dos fungos

na inibição de patógenos presentes no substrato são os fungos micorrízicos². Esse grupo se caracteriza não por coibir a implantação do fitopatógeno no solo, mas sim por reduzir a severidade da doença na planta pela modificação das características morfológicas e fisiológicas da raiz. Dessa forma, seja através da produção de antibióticos, barreira mecânica ou competição por nutrientes e espaço, esses fungos são bastante eficientes contra fitopatógenos habitantes do solo (BETTIOL; GHINI, 2005; RODRÍGUES-KABANA; CALVET, 1994).

4.5.2.3 Bactérias

As bactérias têm sido muito relacionadas em pesquisas que envolvem a supressividade do solo, sendo as *Pseudomonas* e *Bacillus* as mais citadas, tendo sido verificado aumento significativo de suas populações, quando da adição do lodo de esgoto ao substrato (BETTIOL; FERNANDES, 2004). Segundo Bettiol e Ghini (2005) as bactérias podem agir como supressoras de várias formas: antibiose, competição, parasitismo e indução de resistência. Além da ação direta no solo, a exemplo dos fungos micorrízicos, um grupo de bactérias, as rizobactérias, também se associam às raízes das plantas leguminosas, com troca de exsudatos radiculares (carboidratos) e nitrogênio, conferindo proteção contra fitopatógenos encontrados no substrato (BARBOZA, 2007). Com relação às rizobactérias, as promotoras de crescimento de plantas têm papel importante no controle de nematoides fitopatogênicos, pois além dos efeitos diretos sobre o parasita, elas podem mediar a resistência sistêmica induzida (RSI) através da produção de substâncias microbianas, competindo por espaços, nutrientes e sítios ecológicos com fitopatógenos. (ARAÚJO; BETTIOL, 2005; CRUZ; ROCHA; JUNIOR, 2005; CHEN et al. 2000). Bactérias endofíticas também são importantes para as plantas por aumentarem efetivamente a plasticidade fenotípica e longevidade das plantas hospedeiras, sob variáveis ou condições deletérias, como períodos de seca ou privações de nutrientes (CHANWAY, 1998; BARBOZA, 2007).

De acordo com muitos autores, as *Pseudomonas* agem na supressão de fitopatógenos através da produção de sideróforos³, que acaba limitando a disponibilidade de ferro para esses micro-organismos causadores de doenças em plantas, além de ser muito eficaz na capacidade de colonizar a rizosfera. Já o gênero

² Fungos que vivem em associação simbiótica com raízes de plantas.

³ Peptídeos produzidos por micro-organismos que apresentam altíssima afinidade por Ferro.

Bacillus, habitante natural do solo, produz antibióticos que inibem tanto bactérias quanto fungos fitopatogênicos (BETTIOL; GHINI, 2005). Em uma análise do potencial supressivo do lodo de esgoto, Faria et al. (2006) verificaram a presença ampla de bactérias Gram-positivas, as quais podem estar relacionadas ao gênero *Bacillus*, que segundo o autor, têm grande importância como agente de controle de fitopatógenos, incluindo os nematóides.

4.5.2.4 Outros organismos

Além dos fungos e bactérias, micro-organismos mais estudados em pesquisas de supressividade do solo, também há outros comprovadamente eficazes para essa função. Os colêmbolos, microartrópodes de variado hábitat, incluído solos, especialmente com maior quantidade de matéria orgânica, além de alimentar-se de hifas de fungos patogênicos, podem alterar a germinação de propágulos que passam pelo seu trato digestivo. Dessa forma esses organismos são bastante eficazes no controle de fitopatógenos, principalmente em culturas que culminam em alto teor de matéria orgânica (BETTIOL; GHINI, 2005; CURL et al., 1985).

Os protozoários são outros organismos que se alimentam de bactérias e fungos, muitos deles fitopatogênicos, contribuindo para a manutenção da saúde da planta através da supressão do solo (BAKER; COOK, 1974). Várias espécies de fungos já foram encontradas no trato digestivo das minhocas, o que indica um suposto papel desses anelídeos no controle dos micro-organismos. Isso também pode indicar um meio de dispersão para os fungos. Segundo Moody et al. (1996), após passar pelo trato digestivo de *Aporrectodea longa* e *Lumbricus terrestris*, esporos de *Fusarium lateritium* e *Agrocybe temulenta* não germinaram. Já os esporos de *Trichoderma* sp. e *Mucor hiemalis* tiveram a germinação significativamente reduzida, enquanto que os de *Chaetomium globosum* foram estimulados a germinar. O efeito das minhocas na supressão pode ser apontado como uma soma de mecanismos: ingestão e consequente morte de hifas no intestino; competição por nutrientes; disponibilização de certas formas de nutrientes (Zn e N); e antagonismo ou alteração física do solo (BETTIOL; GHINI, 2005).

4.5.3 Mecanismos abióticos envolvidos na supressão de fitopatógenos

Como já citado anteriormente, vários são os mecanismos de natureza abiótica que podem favorecer o controle biológico de fitopatógenos que se propagam pelo substrato. A adição de matéria orgânica talvez seja um dos mecanismos mais comuns, e muitos pesquisadores obtiveram resultados bastante positivos, muito embora existam também pesquisas onde a adição de matéria orgânica ao solo foi insignificante ou prejudicial, no que se refere à veiculação de doenças em plantas. A matéria orgânica, que pode ser proveniente do lodo de esgoto, age de modo a suportar melhor a atividade microbiana, melhorando a estrutura, aeração e retenção de umidade do solo, e também pela inclusão, no substrato, de micronutrientes, hormônios, aminoácidos, entre outros. Como contrapartida dos benefícios, há de se ter um cuidado especial com a adição de matéria orgânica, pois seu uso indiscriminado pode também trazer malefícios por servir de base alimentar para fitopatógenos ou ser tóxico às plantas em virtude de substâncias liberadas em sua decomposição (BETTIOL; GHINI, 2005).

O pH é mais um mecanismo abiótico potencialmente envolvido na supressividade do solo, sendo proposto que em faixas extremas, sejam elas, alcalinas ou ácidas, o solo torna-se supressivo a patógenos. O substrato ácido, de 3,8 a 4,5, pode inibir doenças causadas por *Rhizoctonia Solani* e *Verticillium* spp, enquanto que o alcalino, 7,8 a 8,0, suprime *Sclerotium* spp e *Fusarium oxysporum*, dentre outros (HÖPER; ALABOUVETTE, 1996). Segundo Bettiol e Ghini (2005), o alto nível de alumínio no solo pode inibir fungos patogênicos, tendo sido observados vários exemplos de supressão de fitopatógenos, sem que ocorresse efeito danoso à planta. Há que se salientar também que em solos ácidos aumenta a quantidade de Al disponível para as plantas, o qual pode ser prejudicial por permanecer em sua forma tóxica, o Al livre (NOLLA; SCHLINDWEIN; ANGHINONI, 2007).

Sabe-se que uma planta com déficit nutricional se torna mais propensa a sofrer com a ação de fitopatógenos, de modo que a disponibilidade de macro e micronutrientes tem papel fundamental na saúde da planta. A supressividade aos patógenos pode ser devida à ação direta sobre o patógeno ou hospedeiro, ou indiretamente por modificações nas características físicas e químicas do solo e da rizosfera, liberação de exsudados da planta e estímulo aos antagonistas (BETTIOL; GHINI, 2005; ENGELHARD, 1989).

Consoante Bettiol e Ghini (2005), aspetos físicos como estruturas e texturas dos solos têm íntima relação com a supressividade a patógenos veiculados pelo substrato. O arranjo e tamanho das partículas do solo (argila, silte e areia) afetam sua porosidade e, conseqüentemente, a retenção de umidade e aeração, os quais têm influência direta na comunidade de organismos do solo. A quantidade de argila normalmente é apontada como negativamente relacionada à incidência de doenças em plantas, contrário do que é observado quando o substrato tem maiores quantidades de areia, com solos mais porosos, que favorecem a sobrevivência do patógeno (BETTIOL E GHINI, 2005).

4.5.4 Indução de supressividade com manipulação do solo

Felizmente, quando um solo não é naturalmente supressivo, há meios de induzi-lo através de uma gama de métodos que envolvem os mecanismos bióticos e abióticos já discutidos. O componente biótico do solo tem papel fundamental no controle de fitopatógenos, evidenciado pela indução de supressividade em solos conducentes⁴ através da transferência de porções determinadas de solo supressivo para aquele. Ghini (1997) verificou que quando eram transferidas quantidades entre 5 e 10% de solo supressivo à mistura, havia transferência de supressividade de solos a *R. Solani*, evidenciando a importância do componente biótico sobre os patógenos.

O lodo de esgoto adicionado ao solo pode ser uma forma de manipular o substrato, a fim de que se chegue ao efeito supressivo desejado. Estão envolvidas no mecanismo de supressividade, propriedades físicas, químicas ou biológicas do solo, muitas vezes com interação entre elas (BETTIOL; GHINI, 2005). O desenvolvimento da supressão pode ser condicionado a fatores como: 1) rotação de culturas ou monocultura em determinados patossistemas⁵, tendo este último como exemplo clássico o declínio do mal-do-pé do trigo, causado por *G. graminis* var. *tritici*, onde o patógeno se estabelece e inicialmente apresenta alta severidade, declinando com o tempo se mantida a mesma cultura, e voltando em seguida aos patamares iniciais; 2) acréscimo de matéria orgânica ao substrato, um dos efeitos mais relacionados ao lodo de esgoto; 3) manipulação do pH de forma que seja prejudicial apenas aos patógenos e favorável aos micro-organismos antagônicos; 4) melhora da estrutura e alteração da

⁴ Contrário de solo supressivo, que não inibe a ação de fitopatógenos.

⁵ Subsistema de um ecossistema onde ocorrem fenômenos de parasitismo.

textura, como inclusão de determinados tipos de argila; 5) escolha de épocas do ano favoráveis aos antagonistas e hospedeiro; 6) inclusão massal de antagonistas e favorecimento destes, como através do acréscimo de substratos orgânicos, além do manejo e cultivo a eles favoráveis (BAKER; COOK, 1974; BETTIOL; GHINI, 2005; HORNBY, 1983).

4.5.5 Lodo de esgoto induzindo a supressividade do substrato

O lodo de esgoto, normalmente contém matéria orgânica, nutrientes e uma série de micro-organismos, capazes de alterar a ação supressiva do substrato por meio de mecanismos bióticos e abióticos, como parasitismo, predação, alterações físicas do substrato e do pH, entre vários outros já discutidos. Araújo e Bettiol (2005) estudaram a ação de micro-organismos presentes no lodo de esgoto adicionado ao solo, propondo que é muito possível que a atividade antagonista estimulada pela presença de matéria orgânica do substrato tenha interferido na eclosão e orientação de larvas de nematoides fitopatógenos, e além disso, seus ovos podem ter sido parasitados pelos antagonistas. A ação bacteriana no controle de fitopatógenos veiculados pelo solo tem sido demonstrado em vários outros estudos. No lodo de esgoto são encontradas muitas bactérias com potencial de supressão, principalmente *Bacillus* e *Pseudomonas*. Os *Bacillus* podem produzir substâncias tóxicas tornando-se um exímio agente de controle biológico, enquanto que as *Pseudomonas*, em especial as fluorescentes, apesar da existência de linhagens patogênicas, têm grande potencial antagonista, agindo como rizobactérias promotoras de crescimento em plantas (RPCPs), seja pela produção de reguladores de crescimento vegetal e/ou metabólitos secundários que inibem patógenos em plantas, seja pela indução de resistência sistêmica (Faria et al. 2006). Leoni e Ghini (2002) avaliaram a presença de bactérias, fungos e actinomicetos no lodo de esgoto, como potenciais organismos supressivos ao fungo *P. nicotianae*. Para determinar-se a potencialidade do isolado como antagonista, foram feitas duas escalas de notas que discriminaram níveis de infestação com *P. nicotianae*, sendo 0 = sem zoosporângios; 1 = entre 1 e 5; 2 = entre 6 e 10; 3 = entre 11 e 50; e 4 = mais de 51. Para a presença de micélio as notas foram 0 = sem micélio; 1 = pouco; 2 = médio; 3 = muito. No total, foram testados sete isolados de fungos, três de actinomicetos e dois de bactérias, os quais foram avaliados quanto ao hiperparasitismo (crescimento do antagonista sobre o micélio do patógeno) ou antibiose (inibição do crescimento do patógeno). Dos isolados testados no bioensaio,

só um fungo, do gênero *Aspergillus*, não apresentou nem zoosporângios nem micélio. Sete isolados de fungos, três de actinomicetes e dois de bactérias permitiram o desenvolvimento de micélio, mas não dos zoosporângios, resultados que evidenciam a efetiva ação antagônica de alguns micro-organismos sobre o fungo fitopatogênico.

Em se tratando dos fatores físicos e químicos, a inclusão do lodo de esgoto é responsável pela alteração de vários parâmetros, tais quais pH, condutividade elétrica, textura e estrutura do solo, fatores nutricionais, dentre outros. A presença no solo do íon NH_4^+ , por exemplo, pode ser uma evidência de atividade nematicida. Araújo e Bettiol (2005) apresentaram resultados, onde a inserção do lodo de esgoto contribuiu de forma branda no controle de nematóides veiculados pelo solo e danosos à cultura de soja, atribuindo-se isso ao fato da presença do íon NH_4^+ ser maior nas primeiras semanas e o estudo ter sido feito depois de alguns meses do depósito do resíduo.

4.5.5.1 Lodo de esgoto em solo florestal

O Brasil é um país extremamente dependente do setor florestal, com outros setores estratégicos para a economia da nação a ele intimamente relacionados. Setores como a siderurgia, a indústria de papéis e embalagens e a construção civil transformam o Brasil num dos maiores produtores e no maior consumidor mundial de produtos de origem florestal (BRASIL, 2015).

Em virtude da crescente demanda por produtos florestais e manutenção de áreas verdes homogêneas, o plantio de espécies arbóreas, como Pinus, e a recuperação de áreas degradadas são atividades crescentes. Tudo isso, aliado à baixa fertilidade dos solos, têm induzido a inserção de fertilizantes no setor florestal. Dessa forma, o uso de fertilizantes orgânicos, como o lodo de esgoto, em detrimento de fertilizantes minerais, pode contribuir para a redução de custos, isso sem contar sua imensa contribuição para ao meio ambiente. (MORAES NETO; ABREU JÚNIOR; MURAOKA, 2007).

Uma grande vantagem da aplicação florestal do biossólido em relação aos plantios agrícolas é que geralmente tais culturas não são voltadas para o consumo humano direto. Além disso, busca-se cada vez mais um modo de deposição seguro, eficiente e sustentável para resíduos como o lodo de esgoto que, sem tratamento, teriam alto potencial danoso ao meio ambiente. Guedes et al. (2006) estudaram a

aplicação de lodo de esgoto sobre a fertilidade do solo e estado nutricional de mudas de *Eucalyptus grandis*. O experimento foi realizado 12 meses após o plantio das mudas, em colunas de PVC de 20cm de diâmetro. Foi testada a adubação de biossólido, variando de 10 a 160 t há⁻¹. Sendo o biossólido alcalino, o pesquisador concluiu que ele contribui com a diminuição da acidez e aumento da disponibilidade de nutrientes, enquanto que N, P e S nas folhas e C no solo apresentaram valores significativamente mais elevados nas doses de 80 a 160 t ha⁻¹. Em contrapartida, doses com valores de 10 a 40 t ha⁻¹, provocaram uma diminuição na matéria orgânica no solo.

Na aplicação do lodo de esgoto em solos, especialmente os florestais, deve-se levar em conta além dos vários fatores já comentados neste trabalho, a qualidade do biossólido quanto aos teores de N e P. Uma vez mineralizado, o N pode converter-se em NO⁻³ e ser lixiviado, especialmente pela baixa capacidade do solo em retê-lo, contaminando assim as águas superficiais. Em adição a isso, o consumo excessivo desse íon pode ocasionar problemas de saúde em animais e em seres humanos, principalmente em crianças (MORAES NETO; ABREU JÚNIOR; MURAOKA, 2007). O Fósforo também pode ser prejudicial, pois sua perda por lixiviação provoca eutrofização de cursos-d'água, além de prejudicar a produtividade, por favorecer o crescimento de plantas invasoras, aumentando a competição por água e nutrientes (MORAES NETO; ABREU JÚNIOR; MURAOKA, 2007).

Novas pesquisas, com resultados atuais, visam aprimorar os métodos de aplicação de biossólidos como o lodo de esgoto, principalmente no Brasil, devido à grande diversidade de solos, climas e culturas. O potencial supressivo existe, necessitando de mais estudos da forma, quantidade e locais adequados para sua utilização.

4.5.5.2 Lodo de esgoto em solo agrícola

Muito embora a utilização do lodo de esgoto para a supressão de fitopatógenos em plantações florestais venha crescendo, o uso do biossólido na agricultura domina a maioria dos estudos na área. A aplicação de resíduos orgânicos na agricultura não é recente, remontando há mais de dois mil anos. (PINTO, 2008).

Tendo em vista a diminuição do uso de produtos químicos sintéticos na agricultura, aliado à sustentabilidade e aumento da produção, o manejo dos micro-organismos capazes de tornar o solo supressivo aos fitopatógenos, vem tendo grau crescente de importância. De modo geral, o lodo gerado nas estações de tratamento de esgoto do Brasil está dentro dos níveis tolerados determinados pelo CONAMA, para o uso na agricultura. Dessa forma, muitos estudos recomendam o uso deste resíduo para tal finalidade, seja ele oriundo de estações de tratamento localizadas nas regiões metropolitanas ou estações de tratamento no interior dos estados (BETTIOL; SANTOS, 2001).

De acordo com Cruz et al. (2005) há diversos mecanismos pelos quais os micro-organismos naturalmente presentes nos substratos, ou incluídos através de manejo, agem contrapondo-se aos fitopatógenos, tendo como exemplos a concorrência por sítios de infecção e a competição por fontes nutricionais (carbono, energia, etc). Além disso, a presença de diferentes micro-organismos antagonistas de determinadas doenças no solo faz com que a forma de supressão ocorra pela soma de vários mecanismos.

A deposição de lodo de esgoto ao solo com finalidade agrícola é antiga. Segundo Bettiol e Camargo (2006), em 1560 a prática de irrigação de efluentes era comum na China, sendo que em 1800, visando o combate à cólera, a Inglaterra já apresentava projetos de irrigação de resíduos sanitários. No Brasil, a utilização relativamente baixa desses recursos, de acordo o autor, deve-se à pequena parcela de municípios com tratamento de esgoto adequado.

Há vários benefícios comprovados da utilização da agricultura como destino final para o lodo de esgoto tratado nas ETEs. Normalmente o lodo de esgoto disponibiliza praticamente todos os macro e micronutrientes importantes para a planta, com exceção do potássio, além de melhorar as condições físicas do solo, retenção de água em solos arenosos ou e permeabilidade e infiltração em solos argilosos (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

No entanto, vários estudos convergem para outro potencial do lodo de esgoto residual proveniente das Estações de Tratamento: a supressão de fitopatógenos veiculados pelo solo. Araújo e Bettiol (2005) verificaram a ação do lodo de esgoto na indução de supressividade e conseqüente atenuação do oídio (*Erysiphe diffusa*) da

soja. Além disso os nematoides *Meloydogine javanica* e *Heterodera glycines*, que frequentemente atacam culturas de soja, foram testados pelos mesmos pesquisadores e apresentaram resultados bastante satisfatórios, com redução de ovos por cisto do *H. glycines* e também redução da reprodução de *M. javanica*.

Pinto (2008), por sua vez, estudou uma série de fontes de matéria orgânica, para que fossem apontados quais, potencialmente, induziam a supressão do substrato à base de casca de *Pinus* e/ou turfa, controlando a murcha de *Fusarium*, patógeno de crisântemo. Foram testados lodo de esgoto, torta de mamona, resíduos animais, resíduos industriais da pesca e biofertilizantes, todos com uma série de combinações diferentes, e o resultado apontou a possibilidade de uso, com finalidade supressiva, apenas da cama aviária e do lodo de esgoto, sendo que apenas o lodo de esgoto em substrato a base de casca de *Pinus* promoveu a supressão de fitopatógenos acima de 84%.

5 ESTUDOS SOBRE A AÇÃO DO LODO DE ESGOTO COMO SUPRESSOR DE FITOPATÓGENOS

5.1 Fungos

Inúmeras espécies de plantas são constantemente afetadas por fungos fitopatogênicos veiculados pelo solo. As doenças causadas por esses fungos são bastante diversas, podendo ocasionar lesões nas sementes, frutos, caules, sistema vascular, podem tombar plântulas e em muitos casos levar a planta à morte. Estes organismos, por produzirem estruturas de resistência na ausência de hospedeiros e/ou condições climáticas desfavoráveis, são patógenos de difícil controle (BUENO, 2004).

Em geral, no solo estão presentes uma variedade de fungos, dentre os quais podem ser citados *Fusarium* sp., *Macrophomina phaseolina*, *Sclerotium* sp., *Sclerotinia sclerotiorum*, *Verticillium dahliae*, *Rhizoctonia* sp., *Phytophthora* sp., *Pythium* sp. e *Plasmodiophora brassicae* (BUENO; FISCHER, 2006; BETTIOL; SANTOS, 2001). Prade (2007) determinou a variedade de fungos presentes em uma plantação de *Hovenia dulcis* Thumb, e o autor encontrou uma gama de espécies: *Rhizopus stolonifer*, *Fusarium oxysporum*, *Lecanicillium* sp., *Cladosporium herbarum*, *A. flavus*, *Alternaria alternata*, *Absidia ramosa*, *Pestalotia* sp., *Curvularia robusta*, *F. solani*, *Paecilomyces* sp., *Mortierella rammanniana* e *F. moniliforme*.

A aplicação do lodo de esgoto para inibir ou atenuar doenças de plantas causadas por fungos parece ser uma boa alternativa, combinando nutrição com indução de supressividade no solo, tendo dessa forma, um mecanismo eficiente de controle biológico. Bettiol e Santos (2001) relacionaram estudos, que obtiveram resultados animadores quanto à utilização desse resíduo proveniente das Estações de Tratamento de Esgoto, mesmo há alguns anos, quando ainda se iniciava os estudos nesta área: O lodo de esgoto compostado reduziu de maneira significativa a doença mofo branco da alface causada por *Sclerotinia minor*; Bons resultados também foram conseguidos no controle de doenças em *Agrostis palustris* causadas por *Pythium graminicola*, onde um composto de lodo foi supressivo aos sintomas foliares e à podridão de raiz no campo, sendo que em laboratório, evitou também o tombamento da planta; a ação supressiva do lodo foi efetiva também contra *Rhizoctonia solani*, responsável pelo tombamento em culturas de feijão, algodão e

rabanete e contra *Phytophthora capsici*, causadora de podridão da raiz de pimenteiras (MILLNER et al., 1982; LUMSDEN et al., 1983; CRAFT; NELSON, 1996). Ainda no trabalho de Milner et al. (1982 apud BETTIOL; SANTOS, 2001, p. 11), houve casos onde a incorporação do lodo de esgoto ao substrato não influenciou o fitopatógeno ou potencializou sua ação negativa. De acordo com os pesquisadores, a incorporação do resíduo aumentou as doenças de ervilha, feijão e algodão causadas por *Pythium ultimum* e *Thielaviopsis basicola* e não teve efeito algum sobre as doenças de ervilha e feijão causadas por *Fusarium solani* e *Pythium aphanidermatum*.

Pinto (2008) apresentou em sua tese, um estudo sobre os tipos de substratos supressivos eficientes à murcha do crisântemo causada por *Fusarium oxysporum*. Dentre os materiais testados está o lodo de esgoto, que foi adicionado ao substrato desinfestado e não desinfestado. No trabalho fica claro a eficiência do lodo de esgoto como supressor do *Fusarium oxysporum*, tendo tido controle superior a 84 % da doença quando incorporado ao substrato à base de casca de *Pinus*. Na combinação com o *Pinus*, o lodo de esgoto e composto Lanzi® (composto comercial usado para introduzir matéria orgânica no substrato) foram supressivos à doença em todas as concentrações testadas, sendo que na concentração com 100% de lodo e composto Lanzi®, houve fitotoxicidade, causando morte das plantas. Na concentração com 40% foi verificado a menor área abaixo da curva de progresso da severidade e a maior altura das plantas, altura esta que diminuiu a partir da concentração de 50%. Já o lodo de esgoto compostado, misturado ao substrato à base de turfa Biogrow® induziu a supressividade à murcha de *Fusarium* em todas as concentrações testadas. A inserção do lodo de esgoto aumentou significativamente a quantidade de nutrientes no substrato, sabidamente essencial para que a planta tenha maior resistência a doenças (BETTIOL; GHINI, 2005; HOPER; ALABOUVETTE, 1996; HORNBY, 1983). Como era de se esperar, o efeito supressivo foi mais evidente no substrato não desinfestado, pois na desinfestação há redução do efeito biológico da atividade microbiana no substrato, variável extremamente importante na supressividade do solo (BETTIOL; GHINI, 2005; HOITINK; FAHY, 1986).

Santos e Bettiol (2001) avaliaram o efeito do lodo de esgoto sobre vários fungos patógenos de plantas e encontraram resultados animadores. Foram testados o lodo de esgoto autoclavado e não autoclavado. O lodo autoclavado inibiu o desenvolvimento da maioria dos fungos, especialmente em *Sclerotinia sclerotiorum* e

Sclerotium rolfsii, os quais tiveram seus crescimentos totalmente inibidos em todas as concentrações do resíduo. Inibições significativas também foram obtidas nos testes com *R. solani*, que teve seu crescimento totalmente inibido a partir da concentração de 10% de lodo de esgoto, e *P. aphanidermatum*, que mesmo não tendo obtido inibição total em nenhuma concentração do lodo, chegou a ter o crescimento inibido em 84% na maior concentração do lodo de esgoto. A exceção da atuação positiva do lodo de esgoto autoclavado foi o fungo *F. oxysporum* f.sp. *phaseoli*, que não obteve inibição significativa, induzindo os autores a crerem que o fator químico atuante nos demais fungos não o atingiu. Nesse caso o fator biológico foi eliminado pela autoclavagem, e provavelmente este era o aspecto antagônico responsável pelo controle do *F. oxysporum* f.sp. *phaseoli*, e por isso apresentando resultados insignificantes a exemplo do que ocorreu no experimento de Pinto (2008) no substrato desinfestado. O lodo não autoclavado, ao contrário, obteve resultado eficiente sob o *F. oxysporum* f.sp. *phaseoli*, mas não inibiu, ou inibiu de maneira menos eficiente, os demais fungos em comparação ao lodo autoclavado. A hipótese mais plausível é a de que a inibição obtida pelo lodo autoclavado, deveu-se à formação ou liberação de substâncias fungitóxicas, voláteis ou não, em quantidade expressiva, em consequência da autoclavagem.

A produção de substâncias tóxicas parece também ser a explicação encontrada por Leoni e Ghini (2003), para a inibição causada pelo lodo de esgoto sob o fungo *Phytophthora nicotianae*, experimentado *in vitro*. Em condições de laboratório, a sobrevivência de *P. nicotianae* foi menor quando as doses de lodo de esgoto aumentaram nas diferentes misturas solo – lodo de esgoto avaliadas, para os diferentes níveis de inóculo empregados, indicando um possível efeito supressivo do lodo. Um dos fatores que podem explicar a supressividade a *P. nicotianae*, é a presença de compostos tóxicos devido aos processos de decomposição da matéria orgânica adicionada ao solo. Outro aspecto a ser considerado diz respeito ao aumento da condutividade elétrica quando incluído o lodo de esgoto ao substrato, já observado por diversos autores (BETTIOL; CAMARGO, 2006; BETTIOL; FERNANDES, 2004). Workneh *et al.* (1993), por exemplo já haviam estabelecido correlações negativas entre condutividade elétrica e a presença de *P. parasitica* ou incidência da doença por ele provocada, em plantas de tomateiro, corroborando com os resultados obtidos por Leoni e Ghini (2003). Em terceiro lugar, mas não menos importante, a explicação da

inibição em *Phytophthora nicotianae* pelo lodo de esgoto, pode ser direcionada para o controle biológico determinada pela ação microbiana no solo, o que faz crer que a atividade supressora do substrato com lodo de esgoto ocorra em razão de uma união de fatores.

5.2 Bactérias

Neste trabalho já foi enfatizado a importância de algumas espécies de bactérias no controle biológico, protegendo a planta de micro-organismos fitopatógenos, sendo que as bactérias dos gêneros *Bacillus* e *Pseudomonas* estão entre as mais efetivas na indução de supressividade (FARIA et al. 2006). Shiomi et al. (2008) selecionaram uma série de bactérias endofíticas com ação antagonica a fitopatógenos, obtendo resultados promissores para algumas espécies como *Bacillus subtilis* 0G, *Bacillus lentimorbus*, *Bacillus agaradhaerens* Nielsen, *Streptomyces* sp. e *Escherichia coli*.

No entanto, também há bactérias que causam grandes problemas a determinadas culturas. Em um estudo pioneiro sobre a ação do lodo de esgoto sob bactérias fitopatógenas, McIlveen & Cole (1977) testaram, e não encontraram efeito positivo, a inclusão de lodo de esgoto na incidência da murcha bacteriana de Stewart's⁶. A ineficácia do lodo de esgoto frente às bactérias fitopatógenas também foi encontrada por Rodrigues et al. (2006), os quais concluíram que o lodo de esgoto não contribuiu para a redução na severidade dos sintomas da murcha-de-curtobacterium nas plantas de feijoeiro inoculadas. Além da incapacidade de controlar a doença, a maioria das concentrações de lodo testadas por esses autores (0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10%) causou redução no peso da massa seca da parte aérea das plantas não-inoculadas, indicando seu efeito fitotóxico.

Prior & Béramis (1990), em contrapartida, concluíram que o lodo de esgoto diminuiu consideravelmente a mortalidade de tomateiros em solo infestado por *Ralstonia solanacearum*, sendo que no segundo e terceiro cultivos, dos três realizados, não houve morte alguma. Os estudos relacionando lodo de esgoto e bactérias fitopatógenas ainda são escassos, bem como a comprovação da eficiência do resíduo sobre estes micro-organismos.

5.3 Nematoides

⁶ Doença bacteriana causada por *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii*

Outro grupo de micro-organismos com alta capacidade fitopatogênica são os nemátodos. A capacidade de fontes alternativas de matéria orgânica de suprimir ou atenuar as doenças causadas por esses organismos ainda é escassa, mas promissora.

Uma série de nematóides são apontados como danosos a diferentes culturas. Há relatos de ataque a soja por *Meloidogyne javanica* e *Heterodera glycines*; *Meloidogyne incógnita*, que causa muitos danos em tomateiros; em plantações de café podem ser encontrados diversos gêneros, e uma infinidade espécies, tais quais *Meloidogyne exígua*, *Meloidogyne paranaenses*, *Meloidogyne incógnita*, *Meloidogyne coffeicola*, *Pratylenchus brachyurus*, *Pratylenchus zaeae*, *Pratylenchus coffeae*, *Xiphinema brasiliense*, *Xiphinema brevicolle* e *Xiphinema krugi* (CASTRO et al., 2008; ARAÚJO; BETTIOL, 2005; BETTIOL; SANTOS, 2001, CASTAGNONE-SERENO et al., 1988).

Testando o poder de supressão do lodo de esgoto sobre os nematoides *Meloidogyne javanica* e *Heterodera glycines*, Araújo e Bettiol (2005) concluíram que a inclusão do resíduo não alterou o número de cistos de *H. glycines* nas raízes de soja, avaliadas 2 meses depois após a semeadura, mas nas doses mais altas testadas (4N e 8N) houve redução da quantidade de ovos nos cistos, indicando um provável comportamento supressivo relacionado ao lodo de esgoto. Com relação ao nematoide de galha, *M. javanica*, foram obtidos resultados ainda mais consistentes, com redução pronunciada no fator de reprodução, inclusive nos experimentos que receberam doses menores de lodo. Segundo o autor, o fator biológico talvez tenha sido o principal motivo do sucesso da supressividade causada pela inclusão do lodo de esgoto. No caso do nematoide de galha, a matéria orgânica presente no lodo de esgoto pode ter estimulado os antagonistas presentes no solo, os quais interferiram na eclosão e orientação das larvas, além de possivelmente terem parasitado os ovos dos nematoides.

Resultados semelhantes obtiveram Castro et al. (2008) em plantações de café. A inserção de lodo de esgoto ao substrato reduziu a densidade de ovos e o fator de reprodução de *Meloidogyne incógnita* nas raízes das plantas, além de ter induzido a resistência do cafezal aos sintomas da doença provocada pelo nematoide. Como a supressão, na maioria das vezes, deve ser entendido como um conjunto de fatores,

os autores atribuíram os resultados ao aumento de pH e condutividade elétrica, da capacidade de troca catiônica efetiva e dos teores de Ca^{2+} , Al^{3+} , Mg^{2+} , e também ao aumento de N e Zn no tecido foliar de plantas irrigadas com lodo de esgoto.

6 SÍNTESE E COMENTÁRIOS

Os resíduos produzidos nas estações de tratamento de esgoto, por seu alto grau poluente, devem ter uma destinação final mais adequada do que o aterro sanitário, onde muitas vezes é despejado. Dentre as alternativas, uma das mais adequadas parece ser a inserção do lodo de esgoto na agricultura ou em plantios florestais, pois, se bem utilizado, pode oferecer ao sistema uma série de benefícios.

O lodo de esgoto pode reparar uma possível falta de nutrientes e matéria orgânica no substrato, aumentar a incorporação de carbono, atuar na melhora da atividade microbiana e ainda, proporcionar supressividade ao solo, fazendo com que este atue na inibição ou atenuação de doenças fitopatogênicas veiculadas pelo substrato.

Normalmente o lodo age contra fitopatógenos através de um conjunto de mecanismos bióticos e abióticos. Há trabalhos que relacionam a supressividade do solo pelo lodo de esgoto por ocorrência da produção de metabólitos que vão agir por antibiose contra fitopatogênicos; pela ação competitiva dos micro-organismos do substrato contra outros causadores de doenças; por indução de resistência na planta, que vai agir não no micro-organismo fitopatógeno, mas na atenuação da doença por ele causada; pelo suporte à atividade de micro-organismos benéficos no solo, através da alteração física de sua estrutura, melhora da aeração e retenção de umidade; e/ou por meio da inclusão de nutrientes que tornam a planta mais resistente no combate à doença.

Potencialmente bastante eficaz no controle de fitopatógenos, o lodo de esgoto deve ser usado levando-se em conta as regulamentações disponíveis, sempre de acordo com o tipo de cultura onde vai ser utilizado, já que o resíduo pode conter substâncias nocivas ao meio ambiente, especialmente à saúde dos seres humanos, quando usado em plantações voltadas para a alimentação. O resíduo sanitário pode conter fitopatógenos e exercer efeito exatamente contrário ao proposto, inserindo doenças no sistema planta-substrato, sendo que a compostagem pode ser um possível método de atenuar o problema; a presença de metais pesados no lodo de esgoto é bastante discutida, e como já é sabido, estes metais são acumulados no ambiente tendo efeito negativo na cadeia alimentar, além do fato de ser causadores

de variadas doenças humanas, como o câncer; há o problema do excesso de nitrogênio e fósforo que podem ser lixiviados e atingir os corpos d'água, sendo o segundo, importante em episódios de eutrofização; além disso, o lodo pode alterar a condutividade elétrica do solo; colocar patógenos humanos e resíduos de fármacos no substrato.

De modo geral, os estudos são poucos e não tão aprofundados, possivelmente devido à gama enorme de mecanismos e organismos envolvidos na supressividade de fitopatógenos por lodo de esgoto. Principalmente com relação à microbiota presente no lodo de esgoto e seu potencial de supressão de fitopatógenos, há muito que se evoluir nas pesquisas, especialmente quando os protagonistas não são os fungos, os quais tem uma quantidade maior de estudos relacionados.

A potencialidade do lodo de esgoto é tão clara quanto os cuidados que devem ser tomados no seu uso. Grande parte dos estudos demonstram o efeito positivo do resíduo no controle de fitopatógenos, e as pesquisas devem seguir, para que cada vez mais seja diminuída a utilização de agrotóxicos, e principalmente porque, além de proporcionar ganho para culturas de variadas plantas, esta forma de uso do lodo de esgoto pode proporcionar um destino sustentável para um resíduo de crescente produção.

7 CONCLUSÕES

O lodo de esgoto insere muitos benefícios no sistema planta-substrato. Pode incluir nutrientes e carbono; potencializar a atividade microbiana; e atribuir supressividade ao solo.

Em contrapartida, há alguns aspectos importantes que devem demandar atenção especial para que o lodo de esgoto não cause efeito contrário ao proposto. O resíduo pode conter metais pesados, fitopatógenos, patógenos humanos, resíduos de fármacos, e também pode inserir íons e nutrientes em excesso no substrato.

A inclusão do lodo de esgoto em culturas agrícolas e florestais proporciona uma destinação segura e viável economicamente, tendendo a evoluir com a continuidade das pesquisas.

O lodo de esgoto é uma maneira eficiente de proporcionar ao solo florestal supressividade e nutrientes. Além disso, como estas culturas, normalmente não são usadas para consumo humano direto, os aspectos negativos do uso do resíduo das ETE são mais facilmente contornados.

A grande maioria dos estudos do uso do lodo de esgoto para supressão de fitopatógenos é para inserção em solo agrícola. E os resultados são positivos e bastante promissores, levando-se em conta a necessidade de diminuição do uso de agrotóxicos e otimização da produção agrícola.

A supressão de fitopatógenos proporcionada pelo lodo, normalmente ocorre por uma reunião de fatores bióticos e abióticos. A ação biótica, determinada pelos microorganismos presentes no resíduo, pode ser por antibiose, competição, parasitismo, predação ou indução de resistência na planta. O biossólido vai agir também através da alteração dos fatores físicos do solo, dificultando o estabelecimento do patógeno e suportando a microbiota inserida. O lodo melhora a estrutura, retenção de umidade, aeração; inclui macro e micronutrientes e hormônios no substrato; e ainda, age no pH e na condutividade elétrica do meio.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, F. F.; BETTIOL, W. Supressividade dos nematóides *Meloygogine javanica* e *Heterodera glycines* em soja por adição de lodo de esgoto ao solo. **Ciência Rural**, Santa Maria v. 35, p. 806-812, jul./ago. 2005.

BAKER, K. F.; COOK, R. J. **Biological control of plant pathogens**. San Francisco: Freeman, 1974.

BARBOZA, R. S. L. **Influência do lodo de esgoto na nodulação e no desenvolvimento do Caupi**. 2007. 84 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais) - Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2007.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente; 2000.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. de. A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. de. (Ed.). **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. p. 25-36.

BETTIOL, W.; FERNANDES, S. A. P. **Efeito do lodo de esgoto na comunidade microbiana e atributos químicos do solo**. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, 2004. 5p. (Comunicado Técnico, 24).

BETTIOL, W.; GHINI, R. Solos supressivos. **Ecologia e Manejo de Patógenos Radiculares em Solos Tropicais**. Recife. Imprensa Universitária da Universidade Federal Rural de Pernambuco, p. 125-152, 2005.

BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. **Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2010.

BETTIOL, W.; SANTOS, I. **Efeito do lodo de esgoto sobre fitopatógenos veiculados pelo solo**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006. **Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Programa Nacional de Florestas: **Informações Florestais**. Disponível em: <www2.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteúdo.monta&idEstrutura=5&idMenu=1194>. Acesso em: 22 jun. 2015.

BUENO, C. J. **Produção e preservação de estruturas de resistência de fungos fitopatogênicos habitantes do solo**. 2004. 101 f. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

BUENO, C. J.; FISCHER, I. H. Manejo de fungos fitopatogênicos habitantes do solo. 2006. Disponível em: <<http://www.apta regional.sp.gov.br/acesse-os-artigos-pesquisa-e-tecnologia/edicao-2006/2006-julho-dezembro/459-manejo-de-fungos-fitopatogonicos-habitantes-do-solo/file.html>>. Acesso em: 2 ago. 2015.

CASTAGNONE-SERENO, P.; KERMARREC, A.; CLAIRON, M.; ANAIS, A. Effets de presseurs d'un apport de boue residuaire sur le parasitisme de *Meloidogyne incognita*. **Mededelingen-Faculteit andbouwwetenschappen Rijksuniversiteit Gent**, v. 53, n. 2, p. 879-883, 1988.

CASTRO, J. M. C.; CAMPOS V. P.; POZZA E. A.; NAVES R. L.; ANDRADE JÚNIOR W. C.; DUTRA M. R.; COIMBRA J. L.; MAXIMINIANO C.; SILVA W. C. A. Levantamento de fitonematóides em cafezais do Sul de Minas Gerais. **Nematologia Brasileira**, v. 32, n. 1, p. 56-64, 2008.

CHAGAS, W. F. **Estudos de patógenos e metais em lodo digerido bruto e higienizado para fins agrícolas, das estações de tratamento de esgotos da Ilha do Governador e da Penha no estado do Rio de Janeiro**. 2000. 89 f. Dissertação (Mestrado) – Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <http://portaldesicict.fiocruz.br/transf.php?script=thes_chap&id=00006504&lng=pt>. Acesso em: 08 set. 2015.

CHANWAY C. P. Bacterial endophytes: ecological and practical implications. **Sydowia**, v. 50, p. 149-170, 1998.

CHEN, W. et al. Microbial activity and biomass in container media for predicting suppressiveness to damping-off caused by *Pythium ultimum*. **Phytopathology**, v. 78, p. 1447-1450, 1988.

COOK, R. N. et al. A study of the effect of nitrogen carriers on turfgrass disease. **Plant Disease Reporter**, s.l., v. 48, p. 254–255, 1964.

CRAFT, C. M.; NELSON, E. B. Microbial properties of composts that suppress damping-off and root rot of creeping bentgrass caused by *Pythium graminicola*. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 62, p. 1550-1557, 1996.

CRUZ, J. C. S.; ROCHA, M. M.; JUNIOR, O. C. Saúde ambiental: microrganismos de solo e o controle de fitopatógenos. **O Mundo da Saúde**, São Paulo, v. 29, n. 2, p. 252-257, abr./jun. 2005.

CURL, E. A.; GUDAUSKAS, R. T.; HARPER, J. D.; PETERSON, C. M. Effects of soil insects on populations and germination of fungal propagules. In: PARKER, C. A.; ROVIRA, A. D.; MOORE, K.; WONG, P. T. W.; Kollmorgen, J. F. (Eds.) **Ecology and Management of Soilborne Plant Pathogens**. St. Paul. APS Press. 1985. p. 20-23.

DA SILVA, K. K. B.; SANTOS, M. L. F. **Efeitos da irrigação com esgoto tratado sobre o sistema solo-planta (milho) e indução da supressividade a doenças causadas por nematóides**. 2009. 88 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

ENGELHARD, A. W. (Ed.) **Soilborne Plant Pathogens: Management of Diseases with Macro-and Microelements**. St Paul. APS Press. 1989.

FARIA, C. M. D. R. et al. Isolamento e caracterização de bactérias do lodo de esgoto com potencial antagonismo a nematoides. **Ambiência**, Guarapuava. v. 2, n. 2, p. 247-256, jul./dez. 2006.

FORTES, N. L. P.; FORTES NETO, J. C.; SILVA, J. C. A indução da supressividade à *Rhizoctonia solani* em solos tratados com diferentes fontes de matéria orgânica. **Summa Phytopathologica**, s.l., v. 26, n. 1, p. 140, 2000.

GAMBALE, W.; PAUALA, C. R.; CORREA, B.; PURCHIO, A.; MARTINS, M. T. Avaliação da microbiota fúngica em lodo digerido submetido a tratamento químico e térmico. **Revista de Microbiologia e Biologia**, São Paulo, v. 18, n. 4, p. 363-365, 1987.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GUEDES, M. C.; ANDRADE, C. A.; POGIANNI, F.; MATIAZZO, M. E. Propriedades Químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação do lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 267-280, 2006.

HOITINK, H. A. J. et al. Making compost to suppress plant disease. **Biocycle**, s.l., v. 38, p. 40-42, 1997.

HOITINK, H. A. J.; FAHY, P. C. Basis for the control of soilborne plant pathogens with composts. **Annual review of phytopathology**, v. 24, n. 1, p. 93-114, 1986.

HÖPER, H.; ALABOUVETTE, C. Importance of physical and chemical soil properties in the suppressiveness of soils to plant diseases. **European Journal of Soil Biology**, Oxford, v. 32, p. 41-58, 1996.

HORNBY, D. Suppressive soils. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 21, p. 65-85, 1983.

KINNEAR, T.; TAYLOR, J. **Marketing research: an applied approach**. New York: McGraw-Hill, 1987.

LEONI, C.; GHINI, R. Efeito do lodo de esgoto na indução de supressividade in vitro a *Phytophthora nicotianae*. **Fitopatologia Brasileira**, Jaguariúna, v. 28, n. 1, p. 67-75, jan./fev. 2003.

LUMSDEN, R. D.; LEWIS, J. A.; MILLNER, P. D. Effect of composted sewage sludge on several soilborne pathogens and diseases. **Phytopathology**, v. 73, p. 1543-1548, 1983.

MALHOTRA, N. K. **Marketing research: an applied orientation**. New Jersey: Prentice-Hall, 1993

MATTAR, F. N. **Pesquisa de marketing**. São Paulo: Atlas, 1994.

McILVEEN, W. D.; COLE JR., H. Influence of sewage sludge soil amendment on various biological components of the corn field ecosystem. **Agriculture and Environment**, s.l. v.3, p.349-361, 1977.

MELO, S. A. S. et al. Degradation of residual pharmaceuticals by advanced oxidation processes. **Química Nova**, v. 32, n. 1, p. 188-197, 2009.

MICHEREFF, S. J.; ANDRADE, E. G. T. D.; MENEZES, M. (Org.). **Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2005.

MILLNER, P. D.; LUMSDEN, R. D., LEWIS, J. A. Controlling plant disease with sludge compost. **Biocycle**, v. 23, p. 50-52, 1982.

MORAES D. S. L.; JORDÃO B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Rev Saúde Pública**, v. 36, n. 3, p. 370-4, 2002.

MORAES NETO, S. P.; ABREU JUNIOR, C. H.; MURAOKA, T. **Uso de Biossólidos em Plantios Florestais**. Planaltina-DF. Embrapa Cerrados. 1ª ed. 26 p. 2007.

NASCIMENTO, C. W. A. et al. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, s.l., v. 28, n. 2, p. 385-392, 2004.

NOLLA, A.; SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I. Crescimento, morfologia radicular e liberação de compostos orgânicos por plântulas de soja em função da atividade de alumínio na solução do solo de campo natural. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 1, p. 97-101, fev. 2007.

PEDROZA, M. M. et al. Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. **Revista Liberato**, v. 11, n. 16, 2010.

PINTO, Z. V. **Desenvolvimento de substrato supressivo à murcha do crisântemo causada por Fusarium oxysporum**. 2008. 123f. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agronômicas do Campus de Botucatu. Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

POGGIANI et al.; Uso do lodo de Esgoto em Plantações Florestais. In: ANDREOLI C. V. **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: Ed. ABES, 2006. p. 159-188.

PRADE, C. A. et al. Diversidade de fungos filamentosos e microscópicos do solo em uma plantação de *Hovenia dulcis* Thumb. **Biociências (On-line)**, v. 14, n. 2, 2007.

RÉVILLION, A. S. P. A utilização de pesquisas exploratórias na área de marketing. **Revista Interdisciplinar de Marketing**, v. 2, n. 2, p. 21-37, 2015.

RODRIGUES, R. B.; SILVA JÚNIOR, T. A. F. da; MARINGONI, A. C. Efeito da aplicação de lodo de esgoto na severidade da murcha-de-curtobacterium em feijoeiro. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 32, n. 1, p. 82-84, 2006.

RODRÍGUEZ-KÁBANA, R.; CALVET, C. Capacidad del suelo para controlar enfermedades de origen edafico. **Fitopatologia Brasileira**, v. 19, n. 2, p. 129-138, 1994.

SANTOS, I.; BETTIOL, W. Efeito do lodo de esgoto no crescimento micelial de fitopatógenos habitantes do solo e na podridão do colo de plântulas de feijoeiro, causadas por *Sclerotium rolfsii*, em condições controladas. **Revista Ecosystema**, Espírito Santo do Pinhal, v. 26, n.2, p. 157-161, ago./dez. 2001.

SHELBY JR. S. E.; MASTAW K.; L'ABBATE F.; FEDELI L. Artigo técnico: Tratamento de Efluentes – Técnicos criticam unidades anaeróbicas de fluxo ascendente em esgoto e sugerem alternativas, dez. 2012. Disponível em: <www.quimica.com.br/pquimica/14595/artigo-tecnico-tratamento-de-efluentes-tenicos-criticam-unidades-anaerobicas-de-fluxo-ascendente-em-esgoto-e-sugerem-alternativas/>. Acesso em: 09 set. 2015.

SCHER, F. M.; BAKER R. Mechanism of biological control in a *Fusarium*-suppressive soil. **Phytopathology**, s.l., v. 70, n. 5, p. 412-417, 1980.

SHIOMI, H. F.; DE MELO, I. S.; DE ALMEIDA MINHONI, M. T. Seleção de bactérias endofíticas com ação antagônica a fitopatógenos. **Scientia agraria**, v. 9, n. 4, p. 535-538, 2008.

SILVA K. K. B. da. **Efeitos da irrigação com lodo de esgoto tratado sobre o Sistema solo-planta (milho) e indução da supressividade a doenças causadas por nematóides**. 2009. 88f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 2009.

SKORUPA A. S.; DORNELAS DE SOUZA M.; MORENO A. M.; NICOLELA G.; FILIZOLA H. F.; GOMES M. A. F.; LIGO M. A. V.; GHINI R.; BETTIOL W. Uso do Lodo de Esgoto na Recuperação de Áreas Degradadas. In: ANDREOLI C. V. **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: Ed. ABES, 2006. p. 189-234.

STEFFENS, J. C. The heavy metal-binding peptides of plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 41, p. 553-75, 1990.

VAN HAANDEL A.; SOBRINHO P. A. Produção, Composição e Constituição de Lodo de Esgoto. In: ANDREOLI C. V. **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: Ed. ABES, 2006. p. 7-28.

VISCONTI, A. **Fontes de matéria orgânica para inibição de fitopatógenos habitantes do solo**. 2008. 74f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2008.

WORKNEH, F., VAN BRUGGEN, A. H. C., DRINKWATER, L. E.; SHENNAN, C. Variables associates with corky root and *Phytophthora* root rot of tomatoes in organic and conventional farms. **Phytopathology** v. 83, p. 581-589. 1993.