

II-012 - PESQUISA DE MICRORGANISMOS E HELMINTOS NAS ATIVIDADES DE DISPOSIÇÃO DE ESGOTOS NO SOLO

Wanderley da Silva Paganini⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela UNESP de Bauru/SP, Engenheiro Sanitarista, Mestre e Doutor em Saúde Pública pela Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo - USP, Livre-Docente em Saneamento Básico e Ambiental pela Faculdade de Saúde Pública da USP. Superintendente de Gestão Ambiental da Diretoria de Tecnologia, Empreendimentos e Meio Ambiente da SABESP e Professor Associado do Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da USP.

Miriam Moreira Bocchiglieri

Engenheira Civil pela Faculdade de Engenharia São Paulo. Mestre em Saúde Pública e Doutora em Ciências pela Faculdade de Saúde Pública (FSP/USP). Coordenadora de Comunicação Ambiental da Superintendência de Gestão Ambiental da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp.

Francisca Alzira dos Santos Peternella

Possui graduação em Ciências Biológicas pela Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Guarulhos e especialização em Saúde Ambiental pela Universidade de São Paulo. Atualmente é Biologista da Universidade de São Paulo.

Silvana Audra Cutolo

Graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Presbiteriana Mackenzie, mestrado e doutorado em Saúde Pública pela Universidade de São Paulo, pós-doutorado (2008-2010). É pesquisadora da Universidade de São Paulo.

Maria do Carmo de Oliveira Doria

Técnica em química do Laboratório de Análises Físico-Químicas da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo.

Endereço⁽¹⁾: Rua Costa Carvalho, 300 – CEP- 05429-900 – Pinheiros – São Paulo – SP – Brasil. Tel: 55(XX) 3388.8489, email: wpaganini@sabesp.com.br.

RESUMO

O trabalho apresenta os resultados de estudos para identificar e quantificar os microrganismos presentes nas atividades de disposição de esgotos no solo em uma estação de tratamento por disposição superficial no solo em operação há quase 30 anos. Os resultados obtidos apresentaram um perfil satisfatório, muito próximo do que é esperado para os processos de tratamento similares, sendo que a estação em estudo está operando com elevada sobrecarga há pelo menos quinze anos e mesmo assim o sistema ainda apresenta bons resultados em relação à retenção de organismos pelos módulos de tratamento, com fortes evidências da viabilidade técnica e ambiental do tratamento de esgotos por disposição no solo.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de Esgotos, Reuso Agrícola, Microrganismos, Disposição no Solo, Helmintos, Coliformes.

INTRODUÇÃO

O presente trabalho se destina a pesquisar os microrganismos nas atividades de disposição de esgotos no solo na Estação de Tratamento de Esgotos – ETE de Populina – São Paulo, que emprega o processo de tratamento por disposição superficial no solo, estando em operação há quase 30 anos. Esse sistema já foi objeto de estudos anteriores destinados a conhecer e avaliar as características e propriedades do solo na estação, bem como acompanhar os efeitos da disposição de esgotos no solo durante 25 anos de operação da ETE Populina.

A partir desse conhecimento, foi possível iniciar novas investigações de campo e pesquisas de microrganismos ainda não estudados.

OBJETIVOS

Desenvolver estudos e análises na Estação de Tratamento de Esgotos de Populina a fim de compreender a movimentação de ovos de helmintos e outros microrganismos na disposição de esgotos no solo pelo método de escoamento superficial.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Populina localiza-se a noroeste do Estado de São Paulo, na bacia hidrográfica do Rio Turvo – Grande, distando 625 km da capital do Estado, tendo acesso pela rodovia SP-310 e SP-320, conforme Figura 1. O município possui uma área de 319 km².



Figura 1: Localização do município de Populina - Estado de São Paulo.

Fonte: <http://it.wikipedia.org/wiki/Populina>

Toda a população tem o esgoto tratado por disposição superficial no solo. São 1525 ligações de água e 1447 ligações de esgoto (Sabesp-2010). A temperatura média no município é de 32°C nas estações quentes do ano e 24°C nas estações mais frias (Paganini 2001; Governo do Estado de São Paulo/SMA 2002).

Ressalta-se que a ETE de Populina está operando com sobrecarga há vários anos, entretanto, essa estação de tratamento configura-se num campo de pesquisa ímpar, pois continua recebendo os esgotos brutos do centro urbano ininterruptamente, o que permite avaliar os efeitos da disposição de esgotos ao longo desses anos. O tratamento é constituído por gradeamento, desarenamento, seguidos de quatro módulos de disposição com dimensões individuais de 25 m de largura por 70 m de comprimento e 2% de declividade, configurando-se assim os quatro planos inclinados, nos quais a massa líquida escoar pelo cultivo de gramíneas, onde se efetiva o tratamento propriamente dito. Em seguida, o efluente é recolhido em canaletas de coleta, dispostas a jusante dos referidos planos inclinados, e encaminhado ao corpo receptor. A estação de tratamento dista 1.200 m do centro urbano e lança seus efluentes no córrego Vista Alegre, conforme mostra a Figura 2 (Paganini, 1997; Terada et al., 1985).

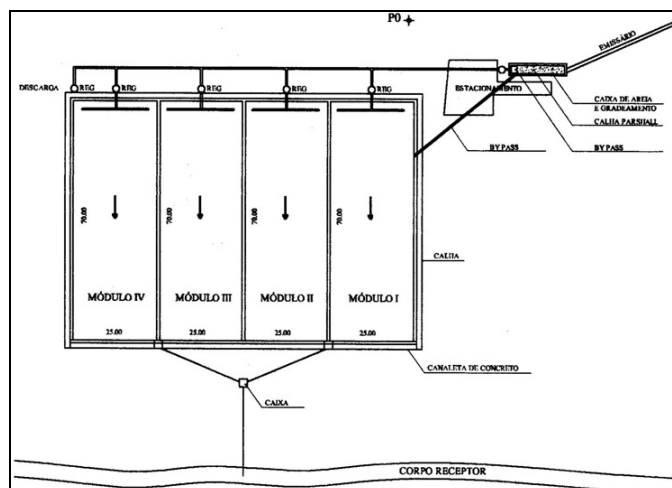


Figura 2. Representação esquemática da Estação de Tratamento de Esgotos de Populina.

Cada módulo recebe esgotos por um dia, permanecendo três dias em secagem. O período em que o solo permanece sem receber esgotos foi definido como tempo de descanso do módulo. A taxa de aplicação, definida como sendo a vazão distribuída por unidade de largura dos módulos, é de 0,7432 m³/hora x m e a taxa de aplicação superficial é de 6,36 cm/dia.

METODOLOGIA

O trabalho de campo compreendeu sete campanhas de amostragem, realizadas ao longo de três anos, nas quais foram coletadas amostras de solo para a pesquisa de helmintos (ovos totais), *Salmonella* spp., Coliformes totais e *E. coli*.

Procedimento de campo

As amostras foram coletadas em campo, no período da manhã, acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados e mantidas sob baixa temperatura até serem levadas ao laboratório para análises, em um prazo de 24 horas. As análises foram executadas no Laboratório de Microbiologia do Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública/USP.

Em todas as oportunidades, as amostras líquidas foram coletadas nos módulos que estavam em operação. Em todas as amostragens foram coletadas amostras do esgoto bruto, antes do tratamento, e amostras do efluente final, antes de ser encaminhado ao corpo receptor.

As amostras de solo foram coletadas dentro dos módulos de tratamento e em um ponto fora deles, que não recebe esgotos, mas apresenta as mesmas características. Este ponto foi designado como ponto controle ou branco (BR).

Todas as coletas foram realizadas na superfície (0 a 5 centímetros de profundidade), e a 30 centímetros de profundidade. As amostras foram coletadas dentro dos módulos de tratamento (Módulo I e Módulo IV), a 20m e 50m de distância do ponto de lançamento, totalizando 10 pontos de amostragem, sendo dois deles fora da planta (branco), conforme a Figura 3.

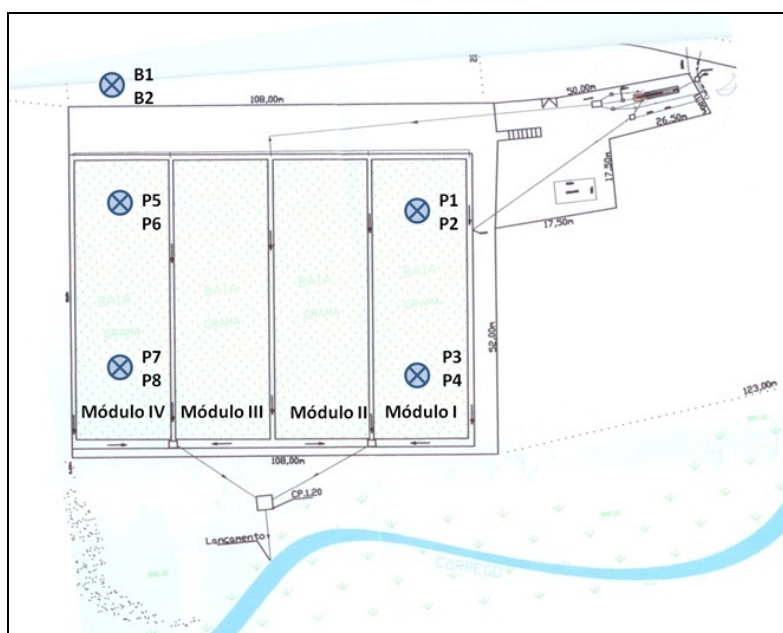


Figura 3: Localização dos pontos de amostragem. Planta da ETE.

O detalhamento dos pontos de coleta está descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição dos pontos de amostragens nas coletas realizadas na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) de Populina (SP).

<i>Ponto</i>	<i>Módulo</i>	<i>Profundidade</i>	<i>Distância do ponto de aplicação</i>
B1	Controle	Superfície	Branco
B2	Controle	30 cm	Branco
P1	I	Superfície	20 m
P2	I	30 cm	20 m
P3	I	Superfície	50 m
P4	I	30 cm	50 m
P5	IV	Superfície	20 m
P6	IV	30 cm	20 m
P7	IV	Superfície	50 m
P8	IV	30 cm	50 m

Coleta de amostras

Amostra líquida: Para a coleta das amostras líquidas foram utilizados frascos de polipropileno estéril e estes conservados sob refrigeração (4 – 10° C) pelo período máximo de 24 horas.

Amostras sólidas: Estas amostras foram obtidas pela escavação do terreno com colheres devidamente esterilizadas. O material sólido recolhido foi transferido para sacos plásticos providos de sistema para fechamento, com capacidade de 1000 g, identificados e acondicionados em caixas de isopor e conservadas sob refrigeração até o momento das análises.

Descrição dos métodos analíticos

- **Peso Úmido - Peso Seco:** A amostra analisada, contendo 100 g de material sólido passou por um processo de secagem em estufa a 100°C, durante 24 horas. A porcentagem da umidade foi estabelecida e utilizada para o cálculo de ovos viáveis de helmintos.
- **Helmintos:** As análises de ovos de helmintos nas amostras líquidas e de solo foram realizadas de acordo com técnicas parasitológicas em amostras ambientais (Ayes e Mara, 1997; OMS, 1992; WHO, 1989; Yanko, 1987), de acordo com os Procedimentos Operacionais Padrões do Sistema da Qualidade SQ/POP/ES – 023 e 024 do Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo.
- **Salmonella:** O isolamento de *Salmonella spp.* foi efetuado utilizando-se a Norma CETESB L5.218 – *Salmonella: Isolamento e Identificação* (1993).

Amostras de solo:

Para as amostras de solo, a preparação inicial consistiu na pesagem de 25 g de solo (colher estéril). As amostras foram transferidas para um frasco contendo 225 mL de água peptonada tamponada (APA) e levadas à incubação a 35°C por 24 horas. Após esta etapa, o procedimento foi o mesmo tanto para as amostras líquidas quanto para as amostras de solo.

Amostras líquidas:

A determinação do número de organismos pertencentes ao gênero *Salmonella* foi realizada pela técnica de tubos múltiplos (NMP/100 mL).

Foram realizadas diluições seriadas decimais utilizando água de diluição sendo de 100 a 104 para as amostras provenientes do afluente e efluente. As amostras foram semeadas, a partir das diluições para o caldo de pré-enriquecimento (APA) e incubadas por 24 horas a 35°C. Em seguida, a partir de cada tubo positivo, foi semeada uma alça do material para tubos contendo os meios de enriquecimento Rappaport e meio selenito novobiocina, e incubados por um período de 24 horas a 35°C (meio Rappaport) e 24/48 horas a 42,5°C para o meio Selenito. Após os respectivos períodos de incubação foram verificados os tubos positivos, e a partir destes foi semeada uma alça do material em placas de Petri contendo Agar Xilose Lisina (XLD) e Agar Verde Brilhante (VB), as quais foram incubadas por 24 horas a 35°C. Ao término da incubação, as colônias que apresentaram características típicas para *Salmonella spp* foram transferidas em tubos do meio IAL (Rugai-Lisina motilidade) e incubadas por mais 24 horas a 35°C. Após este período, as amostras que apresentaram resultados com características positivas de *Salmonella spp*, foram submetidas aos testes sorológicos utilizando os soros anti-*Salmonella* polivalente somático e anti *Salmonella* polivalente flagelar.

Os resultados foram expressos NMP/100 mL para tubos múltiplos (amostra líquida) e PA (Ausência e Presença) para amostra de solo.

• Colifágos:

A determinação de Colifagos foi efetuada utilizando-se a Norma CETESB L5.225 – Determinação de colifagos em amostras de água (1990). A cultura bacteriana hospedeira utilizada foi a *Escherichia coli* C (ATCC 13706). Para as amostras de solo, a preparação inicial consistiu na pesagem de 25 g de solo (colher estéril) e transferência para um frasco contendo 225 mL de água diluição. A partir desta etapa, o procedimento foi o mesmo para as amostras líquidas e para as amostras de solo.

Inoculou-se 5 mL da amostra e 1 mL da bactéria hospedeira *E. coli*, em placas de Petri (devidamente identificados), contendo o meio de cultura específico (TSA), e incubadas por um período de 4 a 6 horas a 35°C. Após o período de incubação efetuou-se a contagem de todas as placas de lise formadas no agar, com auxílio de um contador de colônias Quebec. Os resultados foram expressos em Unidades Formadoras de Placas (UFP/100mL) para amostras líquidas e UFP/g para as amostras de solo.

• Coliforme Total e E. Coli:

Foram realizadas diluições seriadas decimais utilizando água de diluição sendo de 100 a 108 para as amostras provenientes do afluente e efluente. Para a determinação de Coliformes Totais e *Escherichia coli* utilizou-se o ensaio cromogênico empregando o kit Colilert, método aprovado pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater; 20th, 2000.

A enumeração de *E.coli* foi efetuada por meio de ensaio cromogênico empregado o Kit Colilert (IDEXX). Adicionou-se o substrato Colilert (meio de cultura já preparado e fornecido pela IDEXX) em 100 mL de amostra. Após agitação, a amostra foi transferida para a cartela Quanti – Tray para contagem. Selou-se a cartela Quanti – Tray na prancha de selagem e a mesma foi incubada a 35°C por 24 horas. Após o período de incubação, a amostra que apresentou a coloração amarela, devido à quebra de ONPG (o – nitrofenil – B – D - galactopiranosídeo) pela ação da enzima B - galactosidase, foi considerada positiva para a presença de coliformes totais. Consideraram-se positivas para *E. coli* aquelas que, além de amarelas ficaram fluorescentes quando observadas na luz ultravioleta - UV, demonstrando a metabolização do MUG (4 - metilumbelifenil B – D - glicuronídeo) pela ação da enzima B - glucuronidase. Os resultados foram expressos em NMP/100 mL consultando-se a tabela de NMP fornecida pelo fabricante que são dados os limites de confiança de 95% para cada valor de NMP determinado.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 apresenta os resultados qualitativos das análises realizadas nas amostras de esgoto bruto, efluente da estação e solo.

Tabela 2 – Lista dos ovos de helmintos determinados nas amostras de esgoto bruto, efluente e solo do sistema de tratamento de esgoto de Populina (SP)

<i>Grupo</i>	<i>ESGOTO BRUTO</i>	<i>EFLUENTE</i>	<i>SOLO</i>
Cestóides	<i>Hymenolepis</i> sp <i>Taenia</i> sp	<i>Hymenolepis</i> sp <i>Taenia</i> sp	<i>Diphillobothrium</i> sp <i>Hymenolepis</i> sp <i>Taenia</i> sp
Nematóides	<i>Ancylostoma</i> sp <i>Ascaris</i> sp <i>Enterobius</i> sp <i>Strongyloides</i> sp <i>Trichuris</i> sp	<i>Ancylostoma</i> sp <i>Ascaris</i> sp <i>Strongyloides</i> sp	<i>Ancylostoma</i> sp <i>Ascaris</i> sp <i>Capillaria</i> sp <i>Enterobius</i> sp <i>Strongyloides</i> sp <i>Trichuris</i> sp <i>Toxocara</i> sp

Chama a atenção o fato de terem sido detectados no solo cestóides *Diphillobothrium* sp e nematóides *Toxocara* sp, não encontrados no esgoto bruto. Esta ocorrência pode ser atribuída à capacidade de retenção do solo, de tal modo que, em algum momento anterior, esses organismos foram introduzidos ao sistema de tratamento e ficaram retidos pelo solo, podendo sobreviver nesse meio por vários meses, sob condições adequadas de temperatura e umidade.

A Figura 4 apresenta o período de sobrevivência dos microrganismos de acordo com Shuvall, 1990.

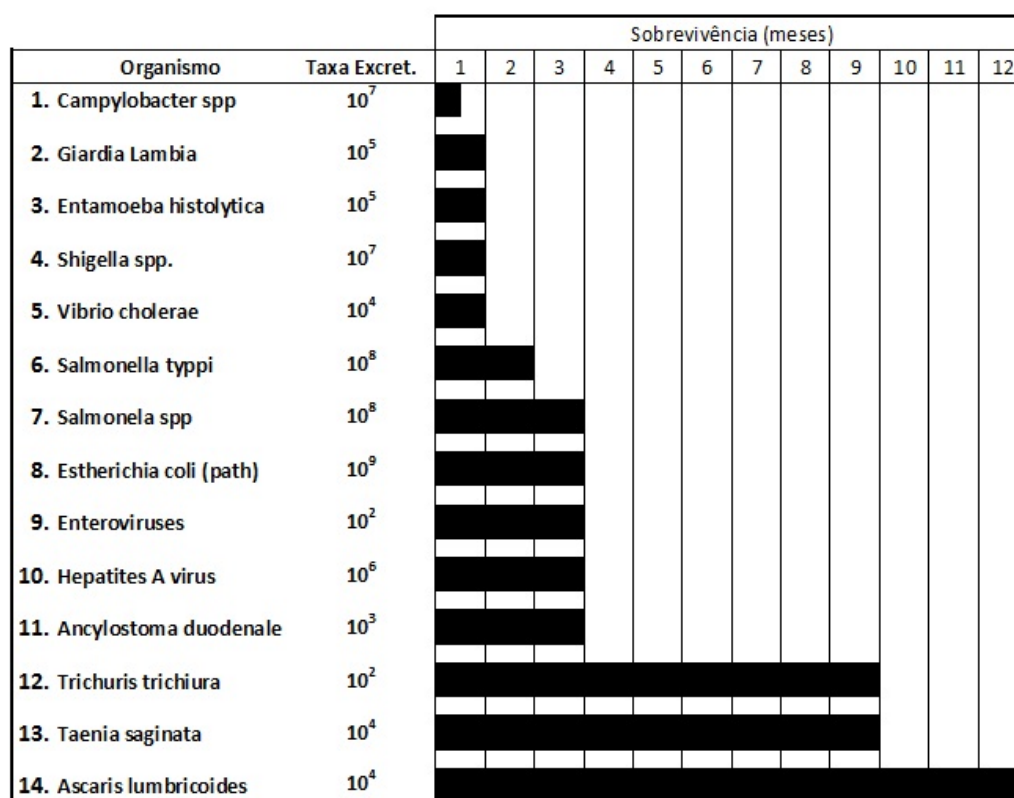


Figura 4 - Períodos de sobrevivência de alguns organismos patogênicos entéricos na água, no esgoto, no solo e em plantações. Fonte: Shuvall

A Tabela 3 também traz informações sobre o período de sobrevivência dos microrganismos sob condições específicas, conforme segue.

Tabela 3. Sobrevivência de microrganismos patogênicos a temperaturas entre 20°C – 30°C.

Microrganismo	Tempo de sobrevivência (dias)	
	Solos	Águas doces e esgotos
Vírus		
Enterovírus	< 100 < 20	<120 normalmente < 50
Bactérias		
Coliformes fecais	< 70 normalmente < 20	< 60 normalmente < 30
<i>Salmonella</i> spp	< 70 normalmente < 20	< 60 normalmente < 30
<i>Shigella</i> spp		< 30 normalmente < 10
<i>Vibrio cholerae</i>	< 20 normalmente < 10	< 30 normalmente < 10
Protozoários		
Cistos de <i>Entamoeba Hystolitica</i>	< 20 normalmente < 10	< 30 normalmente < 15
Helmintos		
Ovos de <i>Ascaris lumbricoides</i>	Muitos meses	Muitos meses

Fonte: USEPA.

Considerando-se esses fatores e a própria dinâmica da planta de tratamento que opera em regime contínuo de alimentação com esgoto, verifica-se que o resultado encontrado não é incoerente, e sim, bastante factível.

A Figura 5 apresenta as quantidades de ovos de helmintos presentes no esgoto bruto, no efluente tratado e no solo. Verifica-se que no esgoto bruto foram isolados 7 ovos de helmintos, sendo 2 (28,6%) cestóides e 5 (71,4%) nematóides; no efluente foram isolados 5 ovos de helmintos, sendo 2 (40%) cestóides e 3 (60%) nematóides; e nas amostras de solo foram isolados 12 ovos, sendo 3 (25%) cestóides e 9 (75%) nematóides.

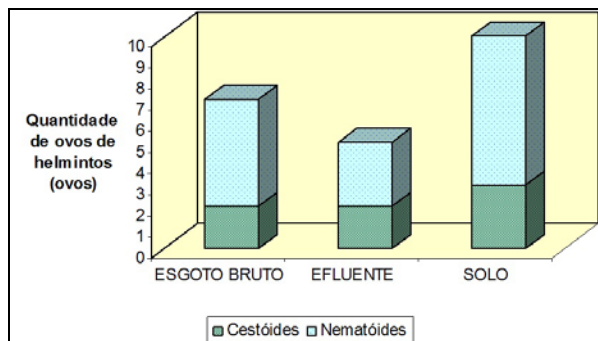


Figura 5 - Quantidade de ovos de helmintos

Os quantitativos de ovos de helmintos encontrados nas amostras líquidas estão na Tabela 4, sendo apresentados como ovos totais (ovos/L), ovos viáveis (ovos/L), frequência de ovos viáveis nas amostras.

Tabela 4 – Densidade de ovos totais, densidade de ovos viáveis, frequência de ovos viáveis e eficiência de remoção no período de amostragem de 2006 a 2008

	AFLUENTE			EFLUENTE			Remoção na ETE
	Ovos Totais	Ovos Viáveis	Ovos Viáveis	Ovos Totais	Ovos Viáveis	Ovos Viáveis	
	ovos/L		%	ovos/L		%	%
1ª Campanha	15	9	60	0	0	0	100
2ª Campanha	4	0	0	0	0	0	100
3ª Campanha	6	2	33,33	0	0	0	100
4ª Campanha	29	18	62,06	126	79	63	-339
5ª Campanha	39	37	94,87	0,21	0	0	100
6ª Campanha	23	7,5	32,6	3	0,6	20	92
7ª Campanha	26	15	57,7	2,8	2,1	75	86

A amostra coletada na 4ª Campanha apresenta um resultado atípico que só poderia ser justificável pela ocorrência de chuvas intensas no período da coleta promovendo o carreamento dos ovos para o efluente final pelo escoamento na superfície da ETE. Como tal ocorrência não se justificou esse dado não deverá ser considerado nesta avaliação, pois pode ter sido ocasionado por um evento pontual de natureza desconhecida, não estando descartada a possibilidade de erro analítico, uma vez que as incertezas envolvidas nas análises biológicas são muito grandes.

A Figura 6 apresenta a eficiência de remoção de ovos viáveis da ETE Populina, ressaltando-se que os valores atípicos mencionados anteriormente, não estão contemplados nesta representação.

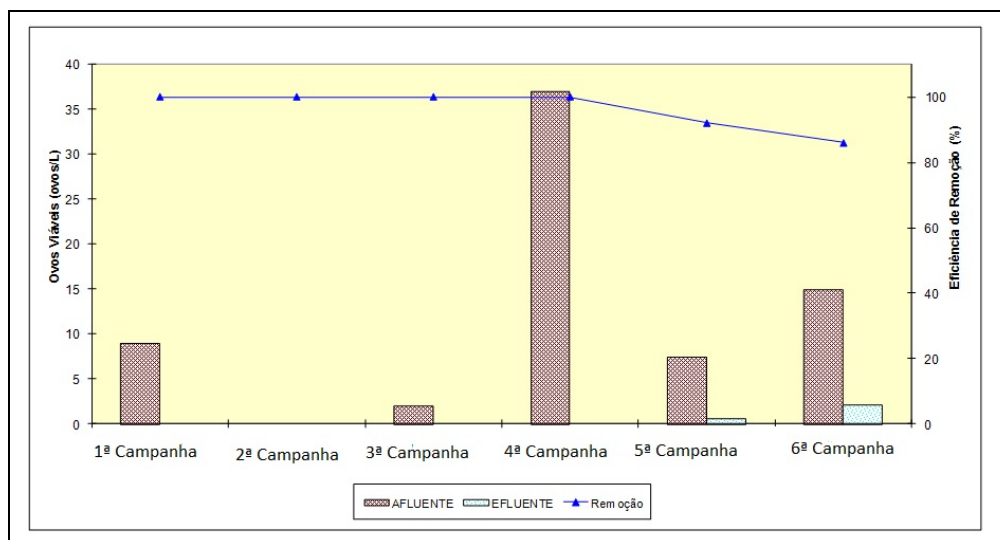


Figura 6 – Eficiência de remoção de ovos viáveis

Analisando-se a Figura 6, verifica-se que a estação ainda consegue reter parcialmente esses organismos, mesmo trabalhando com uma sobrecarga correspondente a quase três vezes a sua capacidade nominal. Estudos anteriormente realizados em Populina (Paganini, 2001), mostraram que o número de ovos de helmintos e de cistos de protozoários encontrado no esgoto bruto pode ser considerado baixo.

Conforme os resultados apresentados na Tabela 5 verifica-se que essa tendência foi mantida, confirmando os resultados apontados em estudos pretéritos.

Tabela 5 - Densidade Total de Ovos (ovos totais/g) na ETE Populina no período de 2006-2008.

Ponto	Controle		Módulo I				Módulo IV			
	B1	B2	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Distância do ponto de aplicação	-		20 m		50 m		20 m		50 m	
Profundidade	Sup.	30cm	Sup.	30cm	Sup.	30cm	Sup.	30cm	Sup.	30cm
1ª Campanha	1,9	0,18	4,9	1,2	1,89	1,19	2,21	1,3	1,3	0,07
2ª Campanha	0,6	0,7	6,1	1,11	1,3	1,3	4	0,39	0,27	0,07
3ª Campanha	1,8	0,27	0,9	1,39	14,7	1,17	0,63	1,46	0,31	0,11
4ª Campanha	3,8	0,48	0,22	0,15	1,5	0,02	0,44	0	0,88	0,17
5ª Campanha	0,85	0,65	12,5	0,68	2,2	0,51	0,8	0,69	1,4	0,14
6ª Campanha	0,16	0,12	1,07	0,37	1,15	0,65	0,22	0,36	0,91	2,89
7ª Campanha	0,32	0,95	0,7	0,09	0,95	0,17	1,3	0,5	0,74	0,16

Os resultados apontam a incidência de ovos de helmintos no ponto de controle, localizado fora da planta de tratamento, o qual nunca recebeu irrigação por esgotos. Essa ocorrência, porém, não interfere nas avaliações e resultados da pesquisa em seu estágio atual, uma vez que nosso objetivo é avaliar a movimentação de ovos de helmintos e outros microrganismos na disposição de esgotos no solo pelo método de escoamento superficial.

Porém, é importante esclarecer que a ocorrência de ovos de helmintos em um ponto situado fora da estação de tratamento pode ser atribuída à presença de animais. Conforme mostra a Figura 7, há vários animais soltos no local, que vêm pastar nas imediações da ETE, especialmente porque a biomassa retirada da estação tem sido depositada no seu entorno, conforme informações da área operacional.



Figura 7 – Imagens da presença de animais no entorno da ETE Populina

A retenção de microrganismos como bactérias, vírus, protozoários e helmintos (ovos), contidos nos esgotos, por meio da disposição no solo, é efetuada através da sedimentação, filtração na camada orgânica superficial do terreno e da vegetação, adsorção às partículas do solo, dessecação durante os períodos secos, radiação, predação e exposição a outras condições adversas. O tamanho relativamente grande das bactérias, dos protozoários e dos helmintos (ovos), maior que 25μ , resulta numa remoção altamente eficiente através da filtração física nos solos.

Nos sistemas de tratamento por escoamento superficial é esperado que os ovos e larvas de helmintos fiquem retidos no solo à medida que o esgoto vai percorrendo o módulo de tratamento, apresentando densidade de ovos totais maior nas camadas superficiais da planta. A Figura 8 mostra a densidade total de ovos de helmintos nos Módulos I e IV, na superfície e a 30 cm de profundidade.

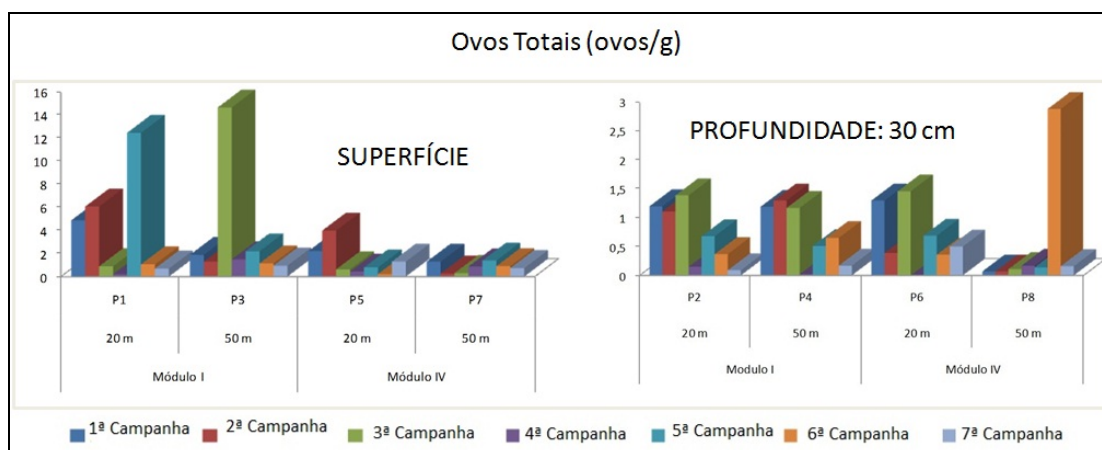


Figura 8 – Densidade de Ovos Totais a 30 cm de profundidade para os Módulos I e IV

Nos resultados apontam que os organismos ficam retidos nas camadas mais superficiais do terreno, mostrando também mostram que o Módulo IV apresenta uma eficiência de retenção maior que o Módulo I em relação à distância do ponto de aplicação. Esta constatação pode ser atribuída ao fato de que o Módulo IV apresenta a melhor distribuição do fluxo de esgoto na estação de tratamento, conforme se verificou em avaliações realizadas anteriormente na ETE Populina.

Os resultados globais para cada campanha de amostragem apresentados nas Tabelas 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12, indicam ausência total de ovos de helmintos no lençol freático e no lençol subterrâneo profundo, indicando que os processos de tratamento por disposição no solo oferecem proteção ao lençol em relação à contaminação por ovos de helmintos, conforme segue.

Tabela 6 – Resultados da 1ª Campanha de amostragem

Esgoto						
Pontos		Coli Total	E. coli	Colifagos	Salmonella SP	Helmintos (ovos totais)
		NMP/100 mL		UFP/100 mL	NMP/100 mL	ovo/L
Afluente		3,3x10 ⁸	7,0x10 ⁷	1,79 x 10 ³	< 1	15
Efluente		4,3x10 ⁵	4,9x10 ⁴	1,5 x 10 ³	< 1	0
Solo						
	Profundidade	Distância	Módulo	Colifagos UFP/g	Salmonella sp P/A	Helmintos (ovos totais) ovo/g
B1	Superfície	-	Externo	2,6 x 10 ⁴	A	1,9
B2	30 cm	-		2,5 x 10 ³	A	0,18
P1	Superfície	20 m	I	6,0 x 10 ³	A	4,9
P2	30 cm	20 m		3,7 x 10 ⁴	A	1,2
P3	Superfície	50 m		4,5 x 10 ³	A	1,89
P4	30cm	50 m		1,2 x 10 ⁵	A	1,19
P5	Superfície	20 m	IV	1,2 x 10 ³	A	2,21
P6	30	20 m		1,5 x 10 ³	A	1,3
P7	Superfície	50 m		3,0 x 10 ³	A	1,3
P8	30	50 m		5,7 x 10 ⁴	A	0,07

Tabela 7 - Resultados da 2ª Campanha de amostragem

Tabela 7 - Resultados da 2ª Campanha de amostragem						
Esgoto						
Pontos		Coli Total	E. coli	Colifagos	Salmonella SP	Helmintos (ovos totais)
		NMP/100 mL		UFP/100 mL	NMP/100 mL	ovo/L
Afluente		2,9x10 ⁸	7,0x10 ⁷	1,7 x 10 ⁵	< 1	4
Efluente		>2,4x10 ⁴	> 2,4x10 ⁴	4,0 x 10 ²	< 1	0
Solo						
	Profundidade	Distância	Módulo	Colifagos UFP/g	Salmonella sp P/A	Helmintos (ovos totais) ovo/g
B1	Superfície	-	Externo	2,0 x 10 ³	A	0,6
B2	30 cm	-		2,0 x 10 ⁵	A	0,7
P1	Superfície	20 m	I	4,0 x 10 ⁴	A	61
P2	30 cm	20 m		1,2 x 10 ⁵	A	1,11
P3	Superfície	50 m		5,0x 10 ²	A	1,3
P4	30cm	50 m		1,5 x 10 ³	A	1,3
P5	Superfície	20 m	IV	5,5 x 10 ³	A	4
P6	30	20 m		4,5 x 10 ⁴	A	0,39
P7	Superfície	50 m		3,0 x 10 ²	A	0,27
P8	30	50 m		1,0 x 10 ⁴	A	0,07

Tabela 8 – Resultados da 3ª Campanha de amostragem

Folha 6 - Resultados da 3ª Campanha de amostragem						
Esgoto						
Pontos		Coli Total	E. coli	Colifagos	Salmonella SP	Helmintos (ovos totais)
		NMP/100 mL		UFP/100 mL	NMP/100 mL	ovo/L
Afluente		6,5x10 ⁷	2,7x10 ⁷	2,4 x 10 ⁵	< 1	6
Efluente		1,8x10 ⁸	4,1x10 ⁷	6,5 x 10 ³	< 1	0
Solo						
	Profundidade	Distância	Módulo	Colifagos UFP/g	Salmonella sp P/A	Helmintos (ovos totais) ovo/g
B1	Superfície	-	Externo	< 1	A	1,8
B2	30 cm	-		3,5 x 10 ⁴	A	0,27
P1	Superfície	20 m	I	9,5 x 10 ⁴	A	0,9
P2	30 cm	20 m		1,3 x 10 ³	A	1,39
P3	Superfície	50 m		3,5 x 10 ⁴	A	14,7
P4	30cm	50 m		1,5 x 10 ⁵	A	1,17
P5	Superfície	20 m	IV	< 1	A	0,63
P6	30	20 m		1,0 x 10 ³	A	1,46
P7	Superfície	50 m		3,6 x 10 ⁴	A	0,31
P8	30	50 m		1,5 x 10 ⁶	A	0,11

Tabela 9 – Resultados da 4ª Campanha de amostragem

Tabela 3 – Resultados da 4ª Campanha de amostragem						
Esgoto						
Pontos		Coli Total	E. coli	Colifagos	Salmonella SP	Helmintos (ovos totais)
		NMP/100 mL		UFP/100 mL	NMP/100 mL	ovo/L
Afluente		3,1X10 ⁸	3,3X10 ⁷	1,7 x 10 ⁵	< 1	29
Efluente		1,6X10 ⁸	2,3X10 ⁷	6,1 x 10 ⁴	< 1	126
Solo						
	Profundidade	Distância	Módulo	Colifagos UFP/g	Salmonella sp P/A	Helmintos (ovos totais) ovo/g
B1	Superfície	-	Externo	3,5 x 10 ³	A	3,8
B2	30 cm	-		1,0 x 10 ⁵	A	0,48
P1	Superfície	20 m	I	5,8 x 10 ⁵	A	0,22
P2	30 cm	20 m		4,5x 10 ⁵	A	0,15
P3	Superfície	50 m		9,5 x 10 ³	A	1,5
P4	30cm	50 m		3,6 x 10 ⁵	A	0,02
P5	Superfície	20 m	IV	2,8 x 10 ⁵	A	0,44
P6	30	20 m		8,0 x 10 ⁴	A	0
P7	Superfície	50 m		7,1 x 10 ⁴	A	0,88
P8	30	50 m		1,5 x 10 ³	A	0,17

Tabela 10 – Resultados da 5ª Campanha de amostragem

Esgoto						
Pontos		Coli Total	E. coli	Colifagos	Salmonella SP	Helmintos (ovos totais)
		NMP/100 mL		UFP/100 mL	NMP/100 mL	ovo/L
Afluente		1,9x 10 ¹¹	1,7 x 10 ⁸	1,79 x 10 ⁴	< 1	39
Efluente		2,4 x 10 ⁸	1,1 x 10 ⁸	9,0 x 10 ⁴	< 1	0,21
Solo						
	Profundidade	Distância	Módulo	Colifagos UFP/g	Salmonella sp P/A	Helmintos (ovos totais) ovo/g
B1	Superfície	-	Externo	3,0 x 10 ²	A	0,85
B2	30 cm	-		6,0 x 10 ²	A	0,65
P1	Superfície	20 m	I	5,0 x 10 ²	A	12,5
P2	30 cm	20 m		1,0 x 10 ²	A	0,68
P3	Superfície	50 m		4,5x 10 ²	A	2,2
P4	30cm	50 m		4,5 x 10 ³	A	0,51
P5	Superfície	20 m	IV	3,5 x 10 ²	A	0,8
P6	30	20 m		6,0 x 10 ²	A	0,69
P7	Superfície	50 m		5,5 x 10 ²	A	1,4
P8	30	50 m		9,5 x 10 ²	A	0,14

Tabela 11 – Resultados da 6ª Campanha de amostragem

Tabela 11 - Resultados da 6ª Campanha de amostragem						
Esgoto						
Pontos		Coli Total	E. coli	Colifagos	Salmonella SP	Helmintos (ovos totais))
		NMP/100 mL		UFP/100 mL	NMP/100 mL	ovo/L
Afluente		1,4 x 10 ⁸	2,1 x 10 ⁷	7,55 x 10 ³	< 1	23
Efluente		1,1 x 10 ⁷	1,8 x 10 ⁷	4,7 x 10 ³	< 1	3
Solo						
	Profundidade	Distância	Módulo	Colifagos UFP/g	Salmonella sp P/A	Helmintos (ovos totais) ovo/g
B1	Superfície	-	Externo	2,0 x 10 ²	A	0,16
B2	30 cm	-		< 1	A	0,12
P1	Superfície	20 m	I	4,5 x 10 ³	A	1,07
P2	30 cm	20 m		5,5 x 10 ³	A	0,37
P3	Superfície	50 m		6,5 x 10 ⁴	A	1,15
P4	30cm	50 m		< 1	A	0,65
P5	Superfície	20 m	IV	< 1	A	0,22
P6	30	20 m		5,0 x 10 ¹	A	0,36
P7	Superfície	50 m		8,0 x 10 ²	A	0,91
P8	30	50 m		2,0 x 10 ²	A	2,89

Tabela 12 – Resultados da 7ª Campanha de amostragem

Tabela 12 - Resultados da 7ª Campanha de amostragem						
Esgoto						
Pontos		Coli Total	E. coli	Colifagos	Salmonella SP	Helmintos (ovos totais)
		NMP/100 mL		UFP/100 mL	NMP/100 mL	ovo/L
Afluente		1,0x10 ¹¹	1,0x10 ⁷	2,9x10 ⁴	< 1	26
Efluente		1,0x10 ¹⁰	1,5x10 ⁸	6,9x10 ⁵	< 1	2,8
Solo						
	Profundidade	Distância	Módulo	Colifagos UFP/g	Salmonella sp P/A	Helmintos (ovos totais) ovo/g
B1	Superfície	-	Externo	9,5x10 ⁴	A	0,32
B2	30 cm	-		1,5x10 ²	A	0,95
P1	Superfície	20 m	I	1,5x10 ²	A	0,7
P2	30 cm	20 m		1,3x10 ³	A	0,09
P3	Superfície	50 m		1,5x10 ²	A	0,95
P4	30cm	50 m		3,0x10 ²	A	0,17
P5	Superfície	20 m	IV	1,5x10 ³	A	1,3
P6	30	20 m		2,0x10 ²	A	0,5
P7	Superfície	50 m		5,0x10 ³	A	0,74
P8	30	50 m		1,7x10 ⁴	A	0,16

A seguir são discutidos os resultados apresentados nas Tabelas 6 a 12

- **Coli Total e E. Coli:**

Conforme já foi anteriormente mencionado o sistema está operando com elevada sobrecarga, apresentando uma redução média de Coli Total de 2 unidades de log quando comparado ao esgoto bruto. A média dos valores encontrados para a concentração de Coliformes Totais no efluente final da ETE foi de $1,5 \times 10^9$ NMP/100mL. Para *E. coli* a redução verificada foi da ordem de 1 unidade de log em relação ao esgoto afluente. A média dos valores obtidos para o efluente final foi de $4,9 \times 10^7$ NMP/100mL.

- **Colifagos:**

Os resultados mostram uma tendência dos colifagos apresentarem uma densidade maior com a profundidade. Essa infiltração é possível, pois esses organismos são muito pequenos e podem permear o solo até atingir camadas mais profundas, onde encontram condições de temperatura e umidade adequadas a sua sobrevivência.

Os colifagos só infectam *E-coli*, mas são organismos indicadores da presença de outros enterovirus patogênicos que podem representar risco de contaminação humana. De acordo com as análises realizadas, a eficiência média de retenção de colifagos pelo sistema foi da ordem de 1 unidade de log, apresentando uma densidade média de colifagos no efluente final de $1,2 \times 10^5$ UFP/100mL. Não foram observadas alterações significativas em relação às avaliações realizadas anteriormente, uma vez que de acordo com a literatura pesquisada, a remoção de vírus ocorre, quase que exclusivamente, por adsorção às partículas do solo, não havendo uma influência muito grande da filtração nesse processo, devido ao pequeno tamanho dos vírus.

- **Salmonella sp:**

Os resultados encontrados para *Salmonella spp* são peculiares e se repetiram em todas as coletas realizadas, ao contrário das pesquisas anteriores, onde não foi possível estabelecer um padrão de distribuição desta bactéria no solo da Estação de Tratamento.



Verificou-se a ausência desses organismos no solo e valores <1 no esgoto afluente e efluente. Essa constatação pode ser indicativa de uma característica específica da população de Populina. Os baixos índices e infestação por ovos de helmintos da população local já foram cogitados em estudos anteriores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos apresentaram um perfil satisfatório, muito próximo do que é esperado para os processos de tratamento por disposição de esgotos no solo, ressaltando-se que, mesmo operando com sobrecarga, o sistema ainda apresenta bons resultados em relação à retenção de organismos pelos módulos de tratamento.

Os estudos teóricos e práticos desenvolvidos ao longo desse projeto de pesquisa trouxeram várias evidências da viabilidade técnica, econômica e ambiental do tratamento de esgotos por disposição no solo, com o diferencial de que a disposição de esgotos no solo contribui para dar continuidade a um dos ciclos mais importantes da natureza, que é a transformação da matéria orgânica em energia renovável.

A irrigação de culturas com efluentes é uma alternativa bastante atrativa como fonte de água e nutrientes para as plantas, porém representa um verdadeiro desafio à ciência do solo, pela complexidade do entendimento e comportamento dos constituintes dos efluentes no solo. Deste modo, o desenvolvimento de estudos em escala real deve ser prioritário. Não faz sentido persistir no paradoxo de se considerar os nutrientes contidos nos esgotos como um rejeito, enquanto ampliam-se as extensões de terras áridas e agrava-se a escassez mundial de fertilizantes.

A experiência acumulada até agora na remoção dos nutrientes dos esgotos mediante processos terciários de tratamento (membranas), tem revelado que os custos envolvidos nesses sistemas crescem exponencialmente com a eficiência obtida, e ainda há inúmeras incertezas quanto à completa confiabilidade técnica das operações propostas. Deste modo, a disposição de esgotos no solo apresenta-se como alternativa para a postergação de grandes investimentos e proteção ao meio ambiente, lembrando-se que esses sistemas devem ser concebidos e operados a partir do entendimento de que o solo funciona como um elemento depurador, e o sistema solo-planta como um reator renovável, regido pela natureza. Deste modo torna-se imprescindível a manutenção do equilíbrio do sistema para que ele não entre em colapso por exaustão ou indigestão, deixando de cumprir as funções para as quais foi concebido.

Os benefícios ambientais decorrentes do reuso agrícola são inúmeros, podendo-se mencionar a minimização das descargas de esgotos em corpos d'água; a preservação dos recursos subterrâneos, a conservação do solo pela acumulação de húmus e pelo aumento da resistência à erosão, destacando-se ainda o aumento da produção de alimentos, com reflexos significativos na melhoria da qualidade de vida e das condições sociais, especialmente em áreas carentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AYRES, R.M. AND MARA, D.D. Análises de águas residuais para su uso em agricultura. Manual de técnicas parasitológicas y bacteriológicas de laboratorio, Organización Mundial de la Salud, Ginebra. 1997.
2. BAILENGER J. Mechanisms of parasitological concentration in coprology and their practical consequences. Journal of American medical technology, 41: 65-71.1979
3. LEVENTHAL, R. AND CHEADLE, R.F. Medical Parasitology: A Self-Instructional Text, 4th ed., F.A. Davis, Philadelphia, PA., 2000.
4. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Métodos básicos de laboratorio en parasitología medica. OMS: Ginebra. 1992.
5. PAGANINI, W.S. Efeitos da disposição de esgotos no solo. São Paulo; 2001. [Tese de Doutorado – Faculdade de Saúde Pública da USP].
6. SABESP. Relatório de Dados Operacionais: Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotos Sanitários. 2007
7. SHUVAL HI. Wastewater irrigation in developing countries. Washington (DC); World Bank; 1990. (Water and Sanitarian, Discussion Paper Series, 2).



8. WORLD HEALTH ORGANIZATION. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture, Technical Report Series, N°. 778, World Health Organization, Geneva.1989
9. YANKO WA. Occurrence of pathogens in distribution and marketing municipal sludge. EPA 600/1-87-014, 1987.