

# QUALIDADE AMBIENTAL E SAÚDE PÚBLICA: UM ESTUDO DE CASO DE POLUIÇÃO DO SOLO COM ESGOTO DOMÉSTICO

Vania ROSOLEN<sup>1</sup>

Uwe HERPIN<sup>2</sup>

## Resumo

O rápido aumento de esgoto gerado pelos municípios e a necessidade de medidas para a disposição e tratamento têm levado à expansão de tratamentos alternativos como o sistema de escoamento à superfície. O tratamento realizado no município de Populina (SP) opera há 18 anos. A comparação entre duas áreas revela substanciais mudanças no conteúdo de elementos químicos devido ao longo período de aplicação do esgoto doméstico. As implicações ambientais e os riscos potenciais à saúde humana foram apresentados usando como referência os valores orientadores estabelecidos para o Estado de São Paulo pela CETESB (2005).

**Palavras-chave:** Esgoto doméstico. Poluição de solos. Qualidade ambiental. Saúde humana.

## Abstract

### Environmental quality and human health: a study case of soil pollution by domestic wastewater

The rapid increase of wastewater worldwide and the needed treatment measures towards disposal purpose has lead to an expansion of alternative treatment as overland flow process. The wastewater treatment in Populina (SP) has been operating for 18 years. The comparison of two selected sites revealed substantial changes of the elements content associated with long term application of domestic wastewater. The environmental implication and potential risk to human health were presented by using the guiding values for enhanced monitoring for soil in Sao Paulo State proposed by CETESB (2005).

**Key words:** Domestic wastewater. Soil pollution. Environmental quality. Human health.

<sup>1</sup> Docente do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia. Av. João Naves de Ávila, 2121, Campus Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP: 38408-100. E-mail: vrosolen@ig.ufu.br

<sup>2</sup> Pesquisador do NUPEGEL/ESALQ da Universidade de São Paulo (USP). Alameda das Sibipirunas, s/n, Piracicaba-SP, CEP: 13418-900. E-mail: uwe.herpin@gmail.com

## INTRODUÇÃO

A má qualidade ambiental, particularmente nos países em desenvolvimento, é apontada pela Organização das Nações Unidas como uma das principais causas da ocorrência e/ou aumento de doenças (ONU, 1998). Brasil, África, Índia e China, por exemplo, possuem grupos de pessoas vulneráveis aos riscos ambientais decorrentes da rápida urbanização, industrialização e pobreza. Particularmente no Brasil, a disposição dos efluentes domésticos e industriais no solo ou corpos hídricos é uma das grandes causas de degradação da qualidade ambiental cujos efeitos refletem na saúde pública. A ausência de um efetivo sistema de tratamento e de integração de ações de planejamento dificultam a gestão para a melhoria da qualidade de vida da população e conservação do meio ambiente (PHILLIPI JR., 2005). Dados do IBGE (2004) revelam que apenas 47% dos domicílios brasileiros têm esgotamento sanitário e 78% têm água encanada, e refletem uma grande desigualdade regional.

O interesse de se estudar o esgoto doméstico é que ele pode, ao mesmo tempo, ser considerado um material potencialmente perigoso ou benéfico. Benéfico porque é um material que contém quantidades significantes de matéria orgânica, macro e micronutrientes, mas maléfico por conter também poluentes e patógenos (SMITH et al., 1996; YADAV et al., 2002). O solo é um corpo natural que pode ser usado como um sistema depurador de esgoto. Quando o material é disposto no solo, este corpo pode atuar como um filtro e assimilar os produtos através de uma complexa rede de processos físicos e biológicos (ADRIANO et al., 2004). Embora o solo cumpra a função de depurador, sua capacidade não é ilimitada. Devido à sua capacidade limitada e ao efeito cumulativo, o estudo dos impactos gerados por esta prática assume grande importância do ponto de vista da biacumulação e da ecotoxicologia. Inúmeras doenças podem ser veiculadas pela contaminação dos solos seja diretamente, através do contato, seja indiretamente, pelo consumo de produtos *in natura* (hortaliças, por exemplo) cultivados neste ambiente.

Devido ao alto custo dos sistemas convencionais de tratamento de esgotos municipais, alguns países como Estados Unidos, Nova Zelândia, Austrália, China e Israel têm demonstrado que há um grande potencial para o uso alternativo de efluentes de esgotos tratados como, por exemplo, a irrigação da agricultura ou ainda o uso de sistemas alternativos de tratamento como o escoamento à superfície (SCOTT; FULTON, 1978, HALL, 1979, VAZQUEZ-MONTIEL et al., 1996, PAGANINI, 2001, YADAV et al., 2002, HERPIN et al., 2007). No primeiro caso, o esgoto doméstico é útil por ser um material constituído de uma grande quantidade de sais e nutrientes. No segundo caso, a aplicação na superfície do solo é eficiente por ser um método de baixo custo e de fácil operação para os municípios de pequeno porte e que tenham as condições ambientais adequadas. Porém, se por um lado o uso deste sistema garante a purificação do efluente em parâmetros aceitáveis para disposição no curso d'água, por outro lado o resultado deste tratamento é a retenção dos poluentes e patógenos do efluente de esgoto no solo (ROSOLEN et al., 2005). Devido à eficiência do sistema solo-planta, os constituintes incorporados por escoamento à superfície são modificados, removidos ou transformados sendo que uma porção significativa dos sólidos e elementos químicos fica retida no solo à medida que o fluxo do efluente escoar para subsequente descarga no curso d'água (PAGANINI, 2001). Porém, aspectos negativos devem ser considerados quando grande quantidade de elementos químicos contidos no esgoto se acumula no solo. Quando esta grande quantidade de elementos é sistematicamente incorporada ao ambiente através das atividades humanas e ocorre em quantidades suficientes para serem prejudiciais à vida dos organismos - homens e seu ambiente biológico- estes elementos devem ser consideradas na avaliação da qualidade ambiental (CHOUDHRY et al., 1983).

Os padrões de qualidade ambiental e de risco potencial para a saúde humana são determinados através do estabelecimento de parâmetros para avaliação de solo limpo e

valores de alerta para intervenção. No Estado de São Paulo estes valores orientadores são estabelecidos pela CETESB (2005) e devem ser usados como um instrumento para prevenção e controle da contaminação e gerenciamento de áreas contaminadas. Segundo o relatório divulgado por este órgão, de forma sintética, um solo pode ser considerado limpo quando a concentração de um elemento ou substância de interesse ambiental é menor ou igual ao valor de ocorrência natural. É considerada uma área contaminada se a concentração de um elemento ou substância estiver acima de um dado limite denominado valor de intervenção, indicando a existência de um risco potencial à saúde humana. Concentrações residuais maiores podem ser aceitas quando o solo é usado para fins menos nobres ou quando existe uma menor exposição à saúde humana.

O objetivo deste trabalho é apresentar os impactos de natureza química quando um solo laterítico é usado como um meio para tratamento de esgoto doméstico através do sistema de escoamento à superfície e avaliar as implicações ambientais e riscos à saúde humana usando como parâmetro os valores de referência para o Estado de São Paulo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O campo experimental com o sistema de tratamento de esgoto por escoamento à superfície situa-se no município de Populina e resulta de uma parceria entre a Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo (PAGANINI, 2001) e a SABESP (Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo). O município possui 4.500 habitantes e está localizada a Nordeste do Estado de São Paulo.

Em linhas gerais, a primeira etapa de purificação consiste na disposição do esgoto bruto na superfície do solo, sem qualquer tratamento prévio, exceto o gradeamento, para a separação da fase sólida grosseira e líquida. O efluente é disposto na superfície do solo por meio de tubos perfurados que delimitam quatro módulos os quais, por rotação, receberão o efluente. Cada módulo possui 25m de largura e 70m de comprimento. O módulo de referência está situado imediatamente ao lado dos módulos de tratamento comportando as mesmas características de relevo, mesma posição topográfica e mesmo tipo e características de solo. A declividade do terreno dos módulos é controlada em 5% para evitar a estagnação da água ou a erosão superficial do solo recoberto com gramíneas. A eficiência deste tratamento reside no fato que existe uma interação entre o solo, o colo da planta, o sistema foliar e radicular e a energia solar formando um sistema depurador solo-planta, com condições renováveis de tratamento, evitando a exaustão. A taxa de aplicação de efluente em um sistema de rotação é definida pela capacidade de infiltração e pelo tempo de secagem do solo, determinados por boas condições de aeração do solo e ausência de um ambiente anaeróbio. Neste ambiente, a percolação do esgoto entre o solo e o colo das plantas forma um filtro biológico que desempenha função de um filtro renovável responsável pela degradação rápida da matéria orgânica e não proliferação de patógenos (PAGANINI, 2001).

A implantação do sistema é favorecida pelas condições ambientais da região. O clima é tropical com uma média de precipitação anual de 1200mm cuja máxima se concentra nos meses de verão, de setembro a abril. O inverno, entre os meses de maio a agosto, é marcadamente seco. A temperatura média anual é de 23°C com pouca variação de amplitude entre os meses de verão e inverno.

A geologia corresponde aos arenitos do Grupo Bauru e o relevo predominante são as colinas suavemente onduladas. O solo é classificado como Latossolo distroférrico. Comporta argilas de atividade baixa, principalmente caolinita, associada com óxidos de ferro e alumínio. O solo é arenoso, coeso, com baixo valor de pH e baixo teor de carbono orgânico.

A vegetação original é a floresta tropical semidecidual que, há aproximadamente 50 anos, foi retirada para introdução de pastagens.

As análises de laboratório foram realizadas em amostras de solo coletadas no módulo de tratamento (módulo 2, aproximadamente 3 metros a jusante do ponto de saída do efluente) e no módulo de referência, em posições topográficas comparáveis. No módulo de tratamento foram coletadas amostras em duas profundidades. A primeira profundidade corresponde à camada superficial, entre 0-10cm, e a segunda entre 150 e 160cm. Este procedimento foi adotado pois, para a construção dos módulos de disposição, foi feito um corte e retirado o solo até a profundidade de 150cm com o objetivo de controle da declividade do terreno. No módulo de tratamento foram coletadas 3 amostras, para criar uma amostra composta, da camada superficial, entre 0 e 7cm, claramente identificada pela cor preta (N/O). No módulo de referência foram coletadas 3 amostras e gerada uma amostra composta da superfície, entre 0-10cm e na profundidade entre 150-160cm. As comparações para a determinação dos impactos químicos pela disposição do efluente foram feitas entre a superfície do solo do módulo de disposição com a superfície do solo do módulo de referência e entre a superfície do solo do módulo de disposição com a profundidade de 150-160cm do solo do módulo de referência.

As amostras de efluente foram coletadas diretamente nos tubos perfurados do sistema de descarga. As coletas foram feitas de acordo com o Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1992) e analisados por Absorção Atômica. A análise química dos solos do módulo de referência e do módulo impactado com efluente foi feita através da determinação química dos elementos considerados como tóxicos ao ambiente e ao ser humano de acordo com a tabela da CETESB (2005). Os elementos Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobalto, Cobre, Cromo, Mercúrio, Molibdênio, Níquel, Prata, Vanádio e Zinco foram determinados por ICP-OES (espectroscopia de massa com fonte de plasma acoplado indutivamente) após digestão das amostras de solo com Água Régia (HCl-HNO<sub>3</sub>, 3:1). O controle de qualidade foi verificado usando material de referência internacional (ICPREF20, laboratório Lakefield Geosol Ltda.).

Visando avaliar o impacto ambiental e os potenciais riscos ao ser humano foram confrontados os valores determinados no campo experimental com os valores de referência de qualidade elaborado pela CETESB (2005).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

O sistema de tratamento foi implantado há aproximadamente 18 anos com o objetivo de tratar o esgoto do município para posterior lançamento no córrego. Evitar a contaminação da água superficial é particularmente importante pois é ela é usada para abastecimento e dessedentação animal. Não foram realizados estudos prévios sobre as características e comportamento do solo que receberia o efluente bem como o monitoramento dos impactos causados no solo devido ao aporte de grande quantidade de matéria orgânica e outros elementos químicos que compõem o efluente.

A caracterização química da camada superficial do solo impactado com efluente foi comparada com a superfície e com a camada entre 150-160cm de profundidade do solo de referência. As condições químicas da camada superficial do solo impactado são consideradas, principalmente, como o resultado da aplicação do efluente. A camada entre 150-160cm do solo no módulo de referência representa as condições naturais de intemperismo químico e físico. As condições químicas da superfície do solo do módulo de referência são consideradas como resultado da evolução natural e do uso do solo (processos de decomposição e redistribuição, efeitos da atividade antrópica, poluição atmosférica, atividades da fauna etc).

Os resultados mostraram consideráveis variações no padrão de distribuição e dos teores de concentração entre as diferentes camadas de solo analisadas (Tabela 1). No solo impactado com efluente foram encontrados valores mais elevados de C e N. Este resultado é esperado pois é conhecida a concentração destes macroelementos nos esgotos municipais (CPRH, 2006, HERPIN et al., 2007).

**Tabela 1 - Conteúdo de elementos obtidos em diferentes camadas de solo: área de tratamento (0-7cm), área de referência (0-10 e 150-160cm) no campo experimental de Populina (SP). Elementos em ordem alfabética**

Áreas	Camada	Elementos													
		Ag	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Pb	Ni	V	Zn	C	N
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	%
Tratamento (0-7cm)		< 1	21	329	< 1	3,3	193	99	2,1	58	36	60	438	22,4	3,4
Referência (0-10cm)		< 1	< 5	16	< 1	4,2	177	66	< 1	17	73	61	15	1,3	0,11
Referência (150-160cm)		< 1	< 5	18	< 1	4,4	130	15	< 1	18	13	89	12	0,1	0,01

Outros elementos como As, Ba, Cr, Cu, Mo e Pb que são elementos reconhecidamente tóxicos para o ambiente e a saúde humana também apresentaram importante aumento de concentração no solo usado para o tratamento de efluente. Este resultado sugere uma alta entrada e retenção de elementos no solo após a aplicação do efluente (Tabela 1). Os elementos Ag e Cd não foram encontrados em nenhuma área, significando, possivelmente, a não presença no solo ou efluente enquanto o elemento V foi encontrado em teor mais elevado na área de referência entre 150 e 160 cm de profundidade sugerindo concentração ligada à alteração da rocha e composição mineralógica. Não é possível afirmar se a não concentração destes elementos deve-se às ausências no efluente ou se outros fatores podem ser determinantes, como por exemplo, a absorção pelas plantas ou lixiviação. Estas questões devem ser respondidas com estudos mais detalhados. Quanto ao elemento Ni, não são claras a gênese e concentração nas diferentes camadas de solo e áreas estudadas. Altos valores do teor de C no solo usado para o tratamento de efluente associado ao aumento de muitos outros elementos sugerem enriquecimento de elementos associados com a matéria orgânica cuja origem é o esgoto doméstico. A correlação está ligada ao poder que os colóides orgânicos têm em adsorver cátions (FITZPATRICK, 1983, SCHRODER, 1984).

Os resultados obtidos evidenciaram que o processo de acumulação de elementos no solo pode ter sérias implicações ambientais e na saúde pública. A comparação entre os valores determinados no solo impactado com efluente e os valores orientadores de qualidade e valores de alerta estabelecidos pela CETESB (2005) refletem um aumento considerado aceitável para os critérios de um solo limpo para os elementos Cobalto, Molibdênio, Níquel, Prata e Vanádio (Tabela 2). A concentração do elemento Chumbo está acima do valor considerado para classificação de solo limpo enquanto os elementos Arsênio, Bário, Cobre, Cromo e Zinco ultrapassaram os valores de alerta e são áreas que necessitam de intervenção.

**Tabela 2 - Valores orientadores de qualidade e de alerta para metais em solos no Estado de São Paulo (CETESB, 2005) e valores determinados no solo impactado de Populina (SP). Elementos em ordem alfabética**

Substância	Valores de referência de qualidade (mg.Kg <sup>-1</sup> solo)	Valores de alerta (mg.Kg <sup>-1</sup> solo)	Valores determinados no solo de Populina (mg.Kg <sup>-1</sup> solo)
Arsênio	3,5	15	<b>21</b>
Bário	75	150	<b>329</b>
Cádmio	<0,5	3	<1
Chumbo	17	100	58
Cobalto	13	25	3,3
Cobre	35	60	<b>99</b>
Cromo	40	75	<b>193</b>
Molibdênio	<25	30	2,1
Níquel	13	30	3,4
Prata	0,25	2	<1
Vanádio	275	–	60
Zinco	60	300	<b>438</b>

Segundo os critérios do relatório, um solo pode ser considerado limpo quando a concentração de um elemento ou substância de interesse ambiental é menor ou igual ao valor de ocorrência natural. É considerada uma área contaminada se a concentração de um elemento ou substância estiver acima de um dado limite denominado valor de intervenção, indicando a existência de um risco potencial à saúde humana. Porém, concentrações residuais maiores podem ser aceitas quando o solo é usado para fins menos nobres ou quando existe uma menor exposição à saúde humana. Baseando-se nestes critérios, a área da pesquisa se insere nesta última categoria uma vez que é uma área projetada para tratamento de esgoto e distante da área urbana. Contudo, sua inserção na paisagem indica potenciais riscos à saúde humana: a estação de tratamento localiza-se imediatamente a montante do curso d'água, está rodeada por áreas de pastagens e a gramínea cultivada nos módulos de tratamento é periodicamente cortada e destinada à alimentação do gado. Embora ainda não tenham sido realizadas análises das folhas das plantas, pesquisas mostram que a absorção de metais pelos vegetais é alta e como ela é consumida pelo gado pode ser disponibilizado para o ser humano através do consumo de leite e carne. A entrada de metais na cadeia alimentar assim como o consumo da água ou vegetais contaminados são as principais vias de exposição humana aos metais pesados (BERTON, 2000).

## CONCLUSÕES

O presente estudo fornece uma visão geral e inicial sobre poluição do solo através da disposição do esgoto doméstico e seus reflexos na qualidade ambiental e saúde humana. O campo experimental constitui-se em um tratamento alternativo e de baixo custo mas ao mesmo tempo representa um perigo futuro para o homem e o ambiente. A

comparação entre as características químicas dos solos na área de pesquisa indicou mudanças substanciais nos teores dos elementos após a disposição de esgoto doméstico. Parcialmente, esta área pode ser considerada como poluída.

O rápido aumento da quantidade de esgoto gerado pelos municípios e a necessidade de tratá-los para minimizar seus impactos requerem políticas de planejamento e gestão ambiental em prol da qualidade de vida de todos os cidadãos, sem exclusão social.

Os resultados desta pesquisa mostraram que os efeitos cumulativos ou sinérgicos de algumas substâncias químicas e os grupos sociais que possam ser atingidos pelo sistema de tratamento de esgoto doméstico são situações que refletem que muito ainda deve ser feito no país em relação à implantação e monitoramento de sistemas de saneamento visando a melhoria da qualidade ambiental e a prevenção de doenças na população.

## AGRADECIMENTOS

À Fapesp (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pela bolsa de pesquisa (Proc. 01/02208-0) e a SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) e Dr. Wanderley Paganini (Escola de Saúde Pública da USP) por permitirem o uso do sistema para amostragem do solo.

## REFERÊNCIAS

ADRIANO, D. C.; WENZEL, W. W.; VANGRONSVELD, J.; BOLAN, N.S. Role of assisted natural remediation in environmental cleanup. **Geoderma**, Amsterdam, n. 122, p. 121-142, 2004.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for examination of waters and wastewaters**, 16<sup>th</sup> ed. APHA/ WWA/WPCF, USA., 1992.

BERTON, R. S. Riscos de contaminação do agroecossistema com metais pesados. In: CETESTB - **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. Série Relatórios Ambientais, CETESB: São Paulo, 247 p., 2000.

CPRH - CENTRO DE PLANEJAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS. **Poluição das águas: causas e conseqüências**. Disponível em <URL: <http://www.cprh.gov.br>>. Acesso em: 06 nov. 2006.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo**, Série Relatórios Ambientais, CETESB: São Paulo, 2005. Disponível em <URL: [http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/solo\\_geral.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/solo_geral.asp)>. Acesso em: 12 fev. 2007.

CHOUDHRY, G. G. **Humic substances: structural, photophysical, photochemical and free radical aspects and interactions with environmental chemicals**. 7 ed., UK: Bell and Bain Ltd., 1983, 185p.

FITZPATRICK, E. A. **Soils: their formation, classification and distribution**. New York: Longman, 1983, 357p.

HERPIN, U.; GLOAGUEN, T. V.; FONSECA, A. F.; MONTES, C. R.; MENDONÇA, F. C.; PIVELI, R. P.; BREULMANN, G.; FORTI, M. C.; MELFI, A. J. Chemical effects on the soil-plant system in a secondary treated wastewater irrigated coffee plantation a pilot field study in Brazil. **Agricultural Water Management**, v. 89, p. 105-115, 2007.

- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **O Brasil em Síntese**. 2004. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/brasilemsintese>>. Acesso em: 05 abril 2006.
- ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. United Nations Development Programme, World Resources Institute, United Nations Environment Programme, World Bank. 1998. **A guide to the global environment**: environmental change and human health. New York: Oxford University Press.
- PAGANINI, W. S. **Efeitos da disposição de esgotos no solo**. 2001. 212p. Tese (doutoramento) - Departamento de Saúde Ambiental, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- PHILLIPI JR., A. **Saneamento, saúde e ambiente**. Barueri: Manole, 2005, 832p.
- SCHROEDER, D. **Soils**: facts and concepts. International Potash Institute, Bern, 1984, 282p.
- ROSOLEN, V.; HERPIN, U. ; FRANZLE, S. ; BREULMANN, G. ; CAMARGO, P.B. ; PAGANINI, W. ; CERRI, C.C. ; MELFI, A.J. ; MARKERT, B. Land application of wastewater in Brazil - A scientific challenge: chemical characterization of soil at Populina, São Paulo State. **Journal of Soils and Sediments**, Germany, vol. 5, n. 2, p.112-120. 2005.
- SCOTT, T.; FULTON, P. Removal of pollutants in the overland flow (grass filtration) system. **Progress in Water Technology**, USA, n. 11, p. 301-314, 1978.
- SMITH, C. J.; HOPMANS, P. ; COOK, F. J. Accumulation of Cr, Pb, Cu, Ni, Zn and Cd in soil following irrigation with treated urban effluent in Australia. **Environmental Pollution**, USA, vol. 94, n. 3, p. 317-323, 1996.
- YADAV, R. K.; ROYAL, B. ; SHARMA, R. K.; DUBEY, S.K.; MINHAS, P. S. Post-irrigation impact of domestic sewage effluent on composition of soils, crops and ground water – A case study. **Environmental International**, USA, vol. 28, n. 6, p. 481-486, 2002.

Recebido em setembro de 2007

Revisado em janeiro de 2008

Aceito em maio de 2008