Possibilidade de utilização da irrigação com água residuária em torno das principais estações de tratamento de efluentes da Região Metropolitana de Curitiba, Estado do Paraná, Brasil

Clodoveu Valdeni Trentin[1] e Jorge Luiz Moretti de Souza[2*]

*[1]Pós-Graduação em Ciências do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. [2]Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Rua dos Funcionários, 1540, 80035-050, Curitiba, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência: e-mail: jmoretti@ufpr.br*

RESUMO: O presente trabalho consistiu no levantamento de parâmetros de qualidade dos efluentes e na realização de mapeamento dos solos ao redor das principais Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) da Sanepar, na Região Metropolitana de Curitiba, visando analisar a possibilidade de irrigar culturas agrícolas com água residuária. Com base nos dados levantados e analisados, verificou-se que: as ETEs analisadas possuem boa eficiência no tratamento dos efluentes, mas ainda apresentam limites de qualidade fora do recomendado na literatura para uso na irrigação agrícola, principalmente a DBO; os solos Gleissolo, Organossolo e Neossolo existentes na região, por serem mal drenados, são mais adequados para irrigação por inundação, enquanto que os Argissolos, Cambissolos e Latossolos são adequados às práticas da irrigação por aspersão e localizada; grãos e olerícolas são os grupos de culturas mais promissores para serem irrigados com águas residuárias na região das ETEs com potencial para exploração agrícola.

Palavras-chave: reúso de água, solos, métodos de irrigação.

ABSTRACT. Wastewater use potencial for irrigation in the metropolitan area of Curitiba, Paraná State, Brazil. The present work goal was to evaluate the wastewater use potential for irrigation in Curitiba metropolitan area, Paraná State, Brazil. In order to evaluate the potential for wastewater use, effluent quality from main Sanepar sewage sludge plants was determined as well as the major soil class near to each station. Wastewater analysis indicated that the sewage sludge plants have good effluent treatment efficiency, but not enough to reach the water standard quality required for agricultural irrigation, mainly due to high BOD. The major soil classes found in the low land area were Histosol and Entisol which are more adapted for flood irrigation, due to poor drainage soil capacity. While, Ultisol, Inceptisol, and Oxisol are found in high land area, and they are more appropriate for sprinkler and localized irrigation. Commercial grain and vegetable production are the more promising crop groups to be irrigated with wastewater in this region.

Key words: water reuse, soil, irrigation methods.

Introdução

Essencial à vida, a água é uma substância necessária às diversas atividades humanas, além de constituir componente fundamental da paisagem e do meio ambiente (Medeiros *et al.*, 2003). O acelerado crescimento populacional no mundo tem conduzido ao aumento da demanda de água, o que vem ocasionando, em várias regiões, problemas de escassez desse recurso (Setti *et al.*, 2002).

Embora as fontes hídricas sejam abundantes, freqüentemente elas são mal distribuídas na superfície do planeta. Em alguns locais, a demanda é tão elevada em relação à oferta, que a disponibilidade de água superficial está sendo reduzida e os recursos subterrâneos estão sendo rapidamente esgotados (Setti *et al.*, 2002). Essa carência, no entanto, favorece a discussão sobre a necessidade urgente da utilização de águas de qualidade inferior, como as águas residuárias domésticas (águas servidas) tratadas em um nível compatível com seu uso, em atividades menos exigentes em qualidade.

As normas, os padrões e os códigos de prática de reúso agrícola no Brasil são realizados com base em

diretrizes desenvolvidas por organismos internacionais. A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) estabeleceu diretrizes que são voltadas unicamente para os aspectos agrícolas e edafológicos em sistemas irrigados com efluentes. A Organização Mundial da Saúde publicou, em 1989, as "Diretrizes para o Uso de Esgotos em Agricultura e Aqüicultura", nas quais foram estabelecidos os critérios básicos para a proteção dos grupos de risco.

Com o objetivo de evitar a poluição e a contaminação de qualquer espécie que modifique os usos dos corpos d'água, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), na Resolução n.º 357, publicada em 17 de março de 2005, estabeleceu 13 classes de usos preponderantes da água no Território Nacional. Os efluentes somente podem ser descartados em corpos d'água se os seus parâmetros característicos se situarem dentro do balizamento dado pela referida resolução, para cada classe de corpo de água (Conama, 2005).

O tratamento de esgotos domésticos, visando ao seu aproveitamento na agricultura, é uma boa alternativa. O reúso consiste no aproveitamento de água previamente utilizada, uma ou mais vezes em alguma atividade humana, podendo ser direto ou indireto, bem como decorrer de ações planejadas ou não (Brega Filho e Mancuso, 2003). Segundo Oliveira *et al.* (2002), a agricultura utiliza grande quantidade de água e a atividade pode tolerar águas de qualidade inferior à necessária em indústria e em uso doméstico. Dessa forma, é inevitável que haja tendência crescente para se encontrar na agricultura a solução dos problemas relacionados com efluentes.

Braile e Cavalcanti (1979), Aguiar e Silva (1999), Mota (2000) e Lucas Filho *et al.* (2001), após obterem bons resultados no desenvolvimento de experimentos envolvendo o reúso da água, descreveram que esse recurso pode ser utilizado de forma planejada para produção de algumas culturas agrícolas. O reúso intencional de despejos tratados não é uma prática nova, entretanto, ultimamente, tem havido interesse crescente em relação à necessidade de sua reutilização para inúmeras culturas (Aguiar e Silva, 1999).

O efluente de esgoto tratado (EET) caracteriza-se por ser um material líquido que possui algumas características peculiares, diferindo-o da água convencional. As principais diferenças em relação à água estão na presença de matéria orgânica expressa pela demanda química de oxigênio (DQO) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO), macro e micronutrientes, metais pesados essenciais e não-essenciais às plantas (Fonseca, 2002).

Para Sousa *et al.* (2001), a adequação da água para irrigação ainda é muito subjetiva, no entanto deve-se sempre tentar identificar e avaliar alguns parâmetros que poderão produzir efeitos desagradáveis na relação água, planta e solo. Por exemplo, a água pode ser considerada adequada para certo tipo de solo ou cultura, mas inadequada para outros. Dessa forma, sempre é importante analisar: as características físico-químicas, a qualidade sanitária da água, as características do solo, a tolerância das culturas a serem utilizadas, o clima local, o manejo da irrigação e a drenagem.

Hespanhol (2003) comenta que as águas residuárias para fins agrícolas devem possuir um pH entre os limites 6,0 e 8,5 e acrescenta que valores de DBO até 100 mg/L não afetam a absorção de água pelas raízes das plantas. O autor recomenda, para melhor aceitação pelo usuário, que os valores de DBO devem ser de até 30 mg/L para irrigação de culturas consumidas cozidas e 10 mg/L para plantas consumidas cruas. Os teores de sólidos em suspensão devem ser inferiores a 30 mg/L para plantas consumidas cozidas. Blum (2003) acrescenta que águas residuárias que possuem teores de sólidos em suspensão superiores a 30 mg/L podem causar entupimento em alguns sistemas de irrigação por aspersão, gotejamento e danos a sistemas de bombeamento. O autor recomenda também que os sólidos totais dissolvidos na água de irrigação para fins agrícolas não devem ultrapassar 500 mg/L, mas podem chegar até 2.000 mg/L em condições especiais. Acima de 500 mg/L, as irrigações devem ser realizadas com acompanhamento de práticas cuidadosas de manejo, pois podem afetar plantas mais sensíveis.

A escolha correta do método de irrigação depende das características locais como o solo, clima, água, bem como das culturas de interesse (Ferreira, 1997). Além dos fatores mencionados, Hespanhol (2002) acrescenta que a seleção adequada do método de irrigação deve considerar também os riscos para a saúde dos trabalhadores, a contaminação da cultura, a formação de aerossóis, os odores e os possíveis danos ao sistema de irrigação.

Mediante as considerações feitas anteriormente, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a possibilidade de utilização da irrigação de culturas agrícolas, com água residuária, em torno das principais Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) da Região Metropolitana de Curitiba, a partir de um levantamento da qualidade dos efluentes tratados e da identificação dos respectivos tipos de solos e declividade ao seu redor.

Material e métodos

O trabalho foi iniciado com a realização de um levantamento de informações das ETEs de Curitiba e Região Metropolitana para identificar o potencial de utilização do efluente tratado para a irrigação de culturas agrícolas.

Junto à Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), foram identificadas, na Região Metropolitana de Curitiba, aproximadamente 35 ETEs; no entanto, devido à importância, ao porte e à potencialidade para uso de efluentes tratados para fins agrícolas, optou-se por fazer o levantamento detalhado de dados de apenas 10 estações, denominadas: Atuba Sul, Padilha Sul, Belém, Santa Quitéria, CIC Xisto, Cachoeira, Menino Deus, Cambuí, Colombo Sede e Lapa. Todas as ETEs analisadas apresentam processo anaeróbio de tratamento de efluentes, realizado através de Reatores Anaeróbios de Lodo Fluidizado (RALF), exceto a ETE Belém, que utiliza o processo aeróbio.

Como forma de avaliar a qualidade da água residuária para irrigação agrícola, levantaram-se os limites dos principais parâmetros operacionais das ETEs, realizados pela Sanepar, como a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), a Demanda Química de Oxigênio (DQO), os Sólidos Suspensos (SS), os Sólidos Sedimentáveis e o pH, que foram contrastados com os parâmetros estabelecidos na Resolução n.º 357 de 2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama).

Os critérios de qualidade e os limites máximos de impurezas para o uso agrícola, constantes na Resolução n.º 357, estabelecem a classificação das águas doces, salobras e salinas do território nacional para as várias aplicações, dentre elas a irrigação. As águas servidas que atingirem a Classe 2 da Resolução poderão ser aproveitadas para irrigação de hortaliças e plantas frutíferas. Se atingirem a Classe 3, poderão ser aproveitadas para irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras. As classes da referida Resolução permitem a recomendação para uso planejado dos efluentes (Conama, 2005).

Um índice denominado "Índice de Qualidade de Esgoto Tratado (I.Q.E.T.)", desenvolvido pela Sanepar, também foi utilizado para verificar o desempenho operacional das ETEs. Esse índice utiliza a seguinte classificação dos esgotos, em qualidade: (a) ótima (I.Q.E.T. entre 91 e 100); (b) aceitável (I.Q.E.T. entre 71 e 90); (c) inadequada (I.Q.E.T. entre 41 a 70); e (d) precária (I.Q.E.T. entre 0 e 40). No entanto é importante observar que a Sanepar não possui qualquer tipo de relação entre os valores de I.Q.E.T. e a qualidade necessária para irrigação de culturas agrícolas.

O georreferenciamento das ETEs e a identificação dos tipos de solos existentes no seu entorno foram realizados com o auxílio de um mapa digitalizado contendo um levantamento de solos, na escala 1:600.000, disponibilizado pela Emater-PR. Com um software de sistemas de informação geográfica denominado *ArcView*, foram inseridas, no mapa de Curitiba e Região Metropolitana, as coordenadas em UTM das ETEs selecionadas, visando identificar a classe do solo onde elas estão localizadas. As referidas coordenadas foram obtidas junto à Companhia Sanepar e, ou, na própria Estação de Tratamento de Efluentes por meio de um Sistema de Posicionamento Geográfico (GPS). Com o auxílio do mesmo mapa disponibilizado pela Emater, foi gerado um mapa de declividade do solo, seguindo as recomendações de Ramalho Filho e Beek (1995).

A partir dos principais parâmetros operacionais das ETEs, dos mapas de solo/declividade nos quais elas se encontram e de uma série de informações dispostas na literatura, contrastaram-se os dados e verificou-se a possibilidade de utilização da irrigação com água residuária em torno das principais ETEs da Região Metropolitana de Curitiba.

Maiores informações sobre as principais ETEs analisadas na Região Metropolitana de Curitiba, bem como informações referentes à aplicação de questionários para caracterização das ETEs e consumidores de frutas e verduras irrigadas com água residuária, à análise de dados climáticos da região para o estudo da precipitação e evapotranspiração provável, à realização de balanço hídrico irrigacionista, entre outros, podem ser verificadas em Trentin (2005).

Resultados e discussão

Na Tabela 1, apresentam-se os parâmetros operacionais médios das principais ETEs da Região Metropolitana de Curitiba, no ano de 2003, obtidos do Boletim Anual de Controle Operacional fornecido pela Sanepar.

A água utilizada para irrigação de hortaliças e plantas frutíferas não pode exceder o limite de qualidade determinado pela legislação, como é o caso dos coliformes fecais, os quais não poderão exceder a 1.000 por 100 mL, em 80% ou mais de, pelo menos, 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com freqüência bimestral (Conama, 2005). Crook (1985) e Hespanhol (2002) comentam que as diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS) recomendam para irrigação agrícola o máximo de um ovo de helminto viável por litro.

Em análises feitas pela Sanepar, com o efluente da ETE Cambuí, nos meses de junho a setembro de 2004, observou-se que a taxa média de coliformes fecais

analisada foi de 33.595 Número Mais Provável (NMP/100mL). Contrastando-se esse resultado com as informações dispostas no parágrafo anterior é possível evidenciar que o valor de coliformes fecais está muito acima do limite máximo permitido na Resolução do Conama (2005) e a qualidade da água verificada na ETE Cambuí não está adequada para fins de irrigação agrícola. É importante observar que, no período de realização deste trabalho, não foram encontradas informações disponíveis para quantificar o NPM para as outras ETEs além da ETE Cambuí. No entanto, como o processo de tratamento dos efluentes é praticamente o mesmo, acredita-se que o NMP das demais ETEs também se encontre inadequado.

Levando-se em consideração as informações dispostas na Tabela 1 e estudos realizados por Hespanhol (2003) e Blum (2003), verificam-se, em média, as seguintes condições para as águas residuárias dos efluentes tratados no ano de 2003:

(a) com exceção das ETEs Padilha Sul (110,34 mg/L), Colombo Sede (113,24 mg/L) e Lapa (121,50 mg/L), as demais ETEs apresentam valores de DBO que não evidenciam riscos quanto à absorção de água pelas raízes das plantas;

(b) todas as ETEs analisadas não apresentam DBO em condição para serem utilizadas para irrigação de culturas consumidas cruas ou cozidas, com exceção da ETE Menino Deus (27,28 mg/L);

(c) com exceção das ETEs CIC Xisto (22,52 mg/L) e Colombo Sede (17,54 mg/L), as demais ETEs não apresentam teores de sólidos em suspensão em nível adequado (abaixo de 30 mg/L);

(d) o pH foi o único parâmetro que se mostrou dentro dos limites recomendáveis para irrigação em todas as ETEs, com exceção da ETE Cambuí (4,97).

(e) apesar de ter havido grande remoção de sólidos sedimentáveis em todas as ETEs analisadas, esse parâmetro ainda se apresenta fora dos limites recomendados pelo Conama (2005), para as ETEs Belém (7,32 mL/L) e Lapa (2,0 mL/L) na qual deveriam estar no limite de 1 mL/L.

É importante observar que o Conama (2005) permite que determinados parâmetros sejam definidos a critério do órgão ambiental competente, como é o caso do lançamento de efluentes tratados pelas ETEs. No Paraná, esses parâmetros são fixados pelo Instituto Ambiental do Paraná e estabelecidos na licença de operação. Exemplos de alguns parâmetros que são fixados como limite máximo: 60 mg/L para DBO, 150 mg/L para DQO, 50 mg/L para Sólidos Suspensos. Em função disso, os efluentes tratados nas ETEs podem apresentar concentração maior que o permitido pelo Conama, podendo inviabilizar o uso desses efluentes para a irrigação de culturas agrícolas.

Na Tabela 2, constam os valores do "Índice de Qualidade de Esgoto Tratado (I.Q.E.T.)" obtidos ao longo do ano de 2003 nas ETEs analisadas em Curitiba e Região Metropolitana.

Tabela 1. Dados operacionais médios das principais ETEs da Região Metropolitana de Curitiba, no ano de 2003, obtido do Boletim Anual de Controle Operacional fornecido pela Sanepar.

ETE	DQO			DBO			Sólidos Suspensos			Sólidos Sedimentáveis			pH	
	Afluente	Efluente	Remoção	Afluente	Efluente	Remoção	Afluente	Efluente	Remoção	Afluente	Efluente	Remoção		
	mg/L	mg/L	%	mg/L	mg/L	%	mg/L	mg/L	%	mL/L.h	mL/L.h	%	Afluente	Efluente
Atuba Sul	351,00	163,56	51,77	191,26	70,25	61,16	149,69	77,64	44,54	1,49	0,13	92,10	7,18	6,91
Belém	594,06	89,98	83,02	313,75	32,31	87,56	313,77	53,12	76,29	15,86	7,32	78,75	—	—
Cachoeira	603,87	166,23	70,97	356,43	63,17	80,78	220,65	56,26	72,39	2,79	0,32	81,57	7,03	6,57
CIC Xisto	565,29	113,20	78,18	310,57	49,94	82,47	278,40	22,52	90,51	2,11	0,03	98,23	7,22	7,31
Padilha Sul	637,55	218,05	65,80	355,73	110,34	68,61	237,08	44,85	80,62	2,69	0,02	98,91	7,11	7,05
Santa Quitéria	344,44	128,11	61,61	188,59	54,74	70,78	136,18	62,09	49,98	1,45	0,14	89,40	7,15	6,95
Colombo Sede	677,75	120,25	82,26	331,63	113,24	65,85	195,10	17,54	91,07	3,07	0,12	96,09	7,09	7,10
Menino Deus	619,88	103,00	83,38	268,43	27,28	89,84	153,08	36,50	76,16	2,69	0,16	94,11	6,82	7,24
Cambuí	820,00	107,13	86,94	—	66,67	—	224,96	60,54	73,09	3,62	0,33	90,88	5,24	4,97
Lapa	—	278,00	—	—	121,50	—	—	—	—	—	2,00	—	—	6,70

Fonte: Sanepar.

Tabela 2. Índice de Qualidade do Esgoto Tratado (I.Q.E.T.) obtido ao longo do ano de 2003 para as principais ETEs de Curitiba e Região Metropolitana, fornecido pela Sanepar.

ETEs	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	I.Q.E.T. médio anual
Atuba Sul	96,25	95,00	100,00	99,17	86,25	72,50	85,00	68,33	90,00	100,00	80,00	90,00	88,54
Belém	92,90	82,59	98,39	83,60	92,67	92,05	90,83	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	94,42
Cachoeira	100	98,75	100,00	96,67	83,33	100,00	92,50	87,50	65,00	80,00	85,00	85,00	89,00
CIC Xisto	—	97,50	100,00	96,67	96,43	95,00	97,14	83,33	90,00	95,71	90,00	97,50	94,48
Padilha Sul	—	—	83,33	71,00	76,43	75,00	64,09	52,50	60,83	70,00	80,00	70,00	70,32
Santa Quitéria	100	98,57	100,00	95,83	92,50	82,50	100,00	85,00	91,25	90,00	100,00	100,00	94,64
Colombo Sede	92,50	100,00	97,50	100,00	95,00	100,00	100,00	100,00	85,00	100,00	100,00	90,00	96,67
Menino Deus	90,00	95,00	92,50	62,50	92,50	92,50	77,50	77,50	62,50	92,50	70,00	97,50	83,54
Cambuí	90,00	100,00	90,00	87,50	75,00	95,00	82,50	67,50	70,00	95,00	86,67	100,00	86,60
Lapa	100,00	97,50	80,00	25,00	100,00	45,00	70,00	30,00	30,00	30,00	100,00	100,00	67,29

Fonte: Sanepar

O Índice de Qualidade de Esgoto Tratado (I.Q.E.T.), registrado na maioria das ETEs analisadas, possui boa eficiência no tratamento dos efluentes, variando de qualidade aceitável a ótima ao longo de grande parte do ano. No entanto, apesar de haver grande remoção de resíduos e de agentes patogênicos presentes nos efluentes, essa remoção ainda não contempla os limites recomendados por Hespanhol (2003) e Blum (2003) para uso na irrigação agrícola.

Na Tabela 3, apresenta-se, para a ETE Colombo Sede, os resultados alcançados com o tratamento dos efluentes, através de uma análise da água a montante e a jusante no corpo receptor da ETE, realizada pela Sanepar. As amostras foram coletadas em duas datas diferentes, sendo a primeira denominada Amostra 1 e a segunda Amostra 2.

Comparando-se a qualidade da água a montante e a jusante do corpo receptor do efluente da ETE Colombo Sede (Tabela 3) com os parâmetros indicados na Classe 2 da Resolução do Conama (2005), observa-se que o parâmetro DBO se encontra acima do limite máximo permitido para a Amostra 1 (jusante), que deveria ser de 5 mg/L para irrigação agrícola. Os sólidos sedimentáveis do efluente da ETE apresentam-se dentro do recomendado, possuindo valor inferior a 1,0 mL/L.

Tabela 3. Análise da água a montante e a jusante do corpo receptor da ETE Colombo Sede.

Parâmetros	Amostras analisadas			
	Amostra 1 (13/01/2003)		Amostra 2 (24/06/2003)	
	Montante	Jusante	Montante	Jusante
DBO	n.d.	24 mg/L	n.d.	4 mg/L
DQO	20 mg/L	28 mg/L	10 mg/L	19 mg/L
pH	7,4	6,9	7,2	7,1
Sólidos Suspensos (SS)	8 mg/L	18 mg/L	10 mg/L	14 mg/L
Sólidos Sedimentáveis	n.d.	0,1 mL/L	0,1 mL/L	0,1 mL/L

Fonte Sanepar; n.d.: não-disponível.

A legislação não estabelece padrões de lançamento para parâmetros como DBO, DQO, SS e coliformes fecais no corpo receptor, porém determina que os lançamentos não podem alterar o seu enquadramento. Os parâmetros analisados a jusante do corpo receptor da ETE Colombo Sede estão dentro dos níveis de qualidade estabelecidos por Hespanhol (2003) e Blum (2003) para irrigação de produtos agrícolas que passam por um processo de cozimento antes de serem consumidos. É importante observar que, no período de realização deste trabalho, não foram encontradas informações disponíveis para avaliar os resultados alcançados com o tratamento dos efluentes para as demais ETEs, através de uma análise da água a montante e a jusante no corpo receptor.

Nas Figuras 1 e 2, são apresentados, respectivamente, os mapas de solos e a declividade da Região Metropolitana de Curitiba, contendo, em seu interior, a localização das principais ETEs analisadas. Conforme Embrapa (1999), podem ser observados e identificados os seguintes tipos de solos nos locais onde as ETEs se encontram instaladas (Figura 1):

(a) as ETEs Atuba Sul, CIC Xisto e Cachoeira estão localizadas em uma região em que a classe de solo se denomina Gleissolo. Essa classificação corresponde a solos permanentemente ou periodicamente saturados por água, mal ou muito mal drenados em condições naturais;

(b) as ETEs Belém e Padilha Sul estão localizadas em classe de solo denominada de Organossolo. Essa classe corresponde a solo pouco evoluído, constituído por material orgânico proveniente de acumulações de restos vegetais em grau variável de decomposição, acumulado em ambientes mal a muito mal drenados, ou em ambientes úmidos de altitude elevada, que estão saturados com água por poucos dias no período chuvoso;

(c) a ETE Lapa está localizada na classe de solo denominada Latossolo. Essa classe corresponde a solos com avançado estágio de intemperização, possuindo baixa capacidade de troca de cátions. São solos profundos, fortemente a bem drenados, embora haja solos com drenagem moderada ou até mesmo imperfeitamente drenados, possuindo seqüência de horizontes A, B e C, com pouca diferenciação de horizontes;

(d) a ETE Cambuí está localizada em solo denominado Argissolo, correspondendo a solo e profundidade variáveis, desde fortemente a imperfeitamente drenados. A textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte B;

(e) as ETEs Colombo Sede e Menino Deus estão localizadas em solo denominado de Cambissolo, correspondendo a solos fortemente a imperfeitamente drenados, constituídos por material mineral, mas, ao seu redor, existem outras classes, como o Latossolo e o Organossolo;

(f) não foi possível identificar a classe de solo existente na região da ETE Santa Quitéria, devido à inexistência da determinação do tipo de solo para essa parte da cidade de Curitiba, no "Mapa de Solo" disponibilizado pela Emater-PR.

Com a localização das ETEs no mapa de declividade de Curitiba e Região Metropolitana (Figura 2), podem ser observadas e identificadas as seguintes condições topográficas nos locais onde elas se encontram instaladas, de acordo com Ramalho Filho e Beek (1995):

– as ETEs Belém, Atuba Sul, Menino Deus, Padilha Sul, CIC Xisto, Cachoeira e Santa Quitéria

encontram-se localizadas em áreas que possuem declividade até 8%, abrangendo uma área de aproximadamente 299.421 ha. A ETE Padilha Sul encontra-se também próxima de uma área contendo declividade entre 8% e 20%;

– as ETEs Cambuí e Colombo Sede encontram-se em uma região de relevo forte ondulado com declividade entre 20% e 45%, abrangendo uma área de aproximadamente 643.140 ha. As duas ETEs também se encontram próximas de áreas que possuem declividade entre suave ondulado a ondulado (entre 0% e 20%);

– a ETE Lapa encontra-se em uma região de relevo ondulado com declividade entre 8% e 20%, o que corresponde a uma área de aproximadamente 267.963 ha. No entanto, a leste da ETE, encontra-se uma região montanhosa que possui declividade entre 45% e 100%.

Na Tabela 4, são apresentados, para cada uma das ETEs analisadas na Região Metropolitana de Curitiba, um resumo dos principais resultados obtidos nos itens anteriores e uma indicação do(s) método(s) de irrigação(ões) mais adequado(s) para serem utilizados na região onde elas se encontram.

Os efluentes resultantes do tratamento do esgoto nas ETEs apresentam concentrações inadequadas de DBO (Tabela 4), porque estão acima do limite máximo recomendado para irrigação agrícola na resolução do Conama (2005). É importante observar que somente esse fato já inviabiliza a utilização da água residuária para qualquer tipo de irrigação, visto que o Conama (2005) especifica limites únicos para os parâmetros recomendados para água residuária com os diferentes sistemas de irrigação existentes.

Dessa forma, desconsiderando as concentrações de DBO, que podem de alguma forma ser melhoradas a partir de alterações no tratamento de efluentes das ETEs, as informações dispostas na Tabela 4 permitem realizar as seguintes considerações:

(a) as ETEs que se encontram próximas das áreas agricultáveis (Colombo Sede, Cambuí e Lapa), por serem de pequeno porte, possuem baixa vazão de esgoto tratado para serem empregadas na irrigação de culturas agrícolas. As ETEs de maior porte e que possuem maior vazão de esgoto tratado (Belém, Atuba Sul, Padilha Sul, CIC Xisto, Santa Quitéria, Cachoeira, Menino Deus) estão localizadas em áreas urbanas e o efluente necessitaria ser bombeado a longas distâncias para chegar às áreas agricultáveis;

(b) as características dos solos analisados na Região Metropolitana de Curitiba, conforme mapa de solos disponibilizado pela Emater-PR, possuem textura média a argilosa, podendo-se encontrar textura arenosa em alguns casos;

Figura 1. Mapa de solos de Curitiba e Região Metropolitana, contendo a localização das principais ETEs.

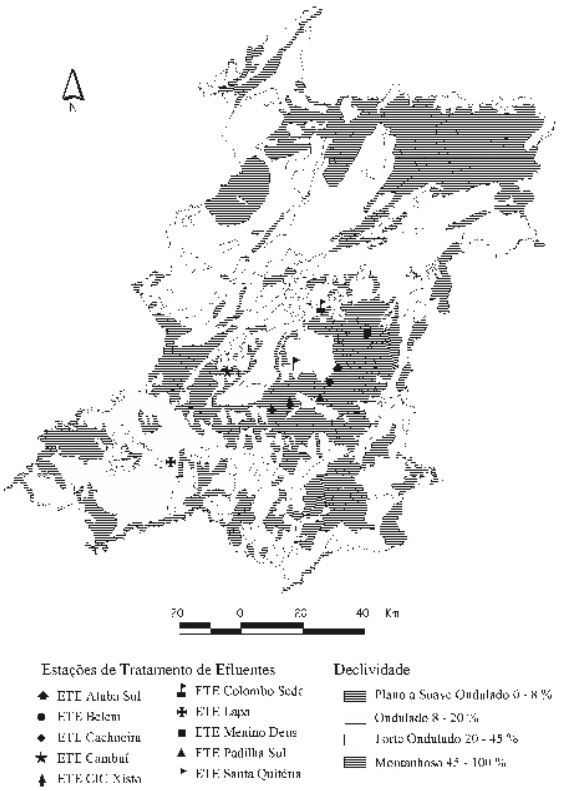

Figura 2. Mapa de declividade da Região Metropolitana de Curitiba com a localização das ETEs.

Tabela 4. Resumo dos principais resultados obtidos na análise das ETEs: vazão de projeto, tipo de solo, declividade, drenagem do solo e condição em que se encontram os parâmetros recomendados para água residuária destinada para irrigação.

ETEs	Vazão m^3/dia	Tipo de Solo	Drenagem	Declividade %	Cultura*	Parâmetros recomendados para irrigação			Método de irrigação mais indicado
						DBO	Sólidos Sedimentáveis	**pH**	
Belém	75.168	Organossolo	mal drenado	0 – 8	—	inadequada	inadequado	adequado	superfície (inundação)
Atuba Sul	50.112	Gleissolo	mal drenado	0 – 8	—	inadequada	adequado	adequado	superfície (inundação)
Padilha Sul	15.000	Organossolo	mal drenado	0 – 8	—	inadequada	adequado	adequado	superfície (inundação)
CIC Xisto	21,000	Gleissolo	mal drenado	0 – 8	—	inadequada	adequado	adequado	superfície (inundação)
Santa Quitéria	19.872	—	—	0 – 8	—	inadequada	adequado	adequado	superfície (inundação)
Cachoeira	3.600	Gleissolo	mal drenado	0 – 8	—	inadequada	adequado	adequado	superfície (inundação)
Colombo Sede	216	Cambissolo	bem drenado	20 – 45	Olerícolas	inadequada	adequado	adequado	aspersão e localizada
Menino Deus	5.184	Cambissolo	bem drenado	0 – 8	—	inadequada	adequado	adequado	aspersão e localizada
Cambuí	4.315	Argissolo	bem drenado	20 – 45	Grãos	inadequada	adequado	inadequado	aspersão e localizada
Lapa	3.456	Latossolo	bem drenado	8 – 20	Grãos	inadequada	inadequado	adequado	aspersão

*Retirado do levantamento das principais culturas cultivadas em alguns municípios da Região Metropolitana de Curitiba.

(c) os solos Gleissolo (Atuba Sul, CIC Xisto e Cachoeira) e Organossolo (Belém e Padilha Sul), que se encontram próximos de algumas ETEs, não são adequados para o uso da irrigação agrícola por aspersão, gotejamento, sulcos, entre outros, pois esses solos são mal drenados em condições naturais, além de haver acúmulo de água em determinadas ocasiões do ano, conforme observado em Embrapa (1999). Os solos da classe Neossolo, existentes na Região Metropolitana de Curitiba, apesar de não possuírem ETE alguma localizada sobre eles, também possuem as mesmas limitações por serem mal drenados;

(d) os solos do tipo Argissolo (Cambuí) e Cambissolo (Colombo Sede e Menino Deus) são adequados às práticas da irrigação por aspersão e localizada, porém, em alguns casos, eles podem se apresentar imperfeitamente drenados, mostrando características indesejáveis à utilização da prática. Dos solos verificados na Região Metropolitana de Curitiba, o Latossolo que se encontra próximo da ETE Lapa é aquele que apresenta as melhores condições para realização da prática da irrigação localizada ou por aspersão convencional e mecanizada. A atividade agrícola que se mostra mais promissora para ser irrigada na região da ETE Colombo Sede é a olericultura. Para as ETEs Cambuí e Lapa, a irrigação poderá ser mais promissora para o cultivo de grãos. As demais ETEs não possuem grandes áreas agricultáveis ao seu redor;

(e) solos mal drenados, que possuem velocidade de infiltração baixa, menor que 5 mm/h (Bernardo, 1989), são mais recomendados para uso da irrigação por superfície na forma de inundação, desenvolvendo a cultura do arroz irrigado. Esse tipo de solo foi encontrado próximo das ETEs Belém, Atuba Sul, Padilha Sul, CIC Xisto e Cachoeira. O inconveniente está no fato de que a Região Metropolitana de Curitiba não possui tradição na produção de arroz. Além disso, o sistema de irrigação por inundação exige topografia muito plana e possui o inconveniente de colaborar, quando mal manejado, com a proliferação de insetos e uma série de doenças;

(f) a região da ETE Lapa possui condições de solo, drenagem, topografia e cultura para utilizar o sistema de irrigação por aspersão e localizada, no entanto a concentração de sólidos sedimentáveis mostra-se como um sério agravante, principalmente para o uso da irrigação localizada, devido ao problema de entupimento e de danos ao sistema de bombeamento.

(g) geralmente, os solos mais indicados para fazer uso da irrigação por sulco, aspersão, gotejamento, na Região Metropolitana, seriam Latossolo, Cambissolo, Argissolo e Nitossolo. A irrigação por sulco na região está limitada principalmente devido à declividade do terreno e à falta de drenagem. Bernardo (1989) comenta que a irrigação por sulco necessita de superfícies uniformes e de declividade não muito acentuada, para não haver limitação no seu uso. A irrigação por superfície exige áreas uniformes, sem elevações e depressões para evitar a falta ou acúmulo de água, bem como a erosão excessiva nos sulcos. Segundo o autor, a declividade da superfície não deve exceder a 2%. Esse fato indica que a maior parte da área analisada não é adequada para irrigação por superfície, seja pela topografia ou pelas características do solo.

Conclusão

As ETEs analisadas possuem boa eficiência no tratamento dos efluentes, variando de qualidade aceitável a ótima ao longo de grande parte do ano. No entanto, apesar de haver grande remoção de resíduos e de agentes patogênicos presentes nos efluentes, essa remoção ainda não contempla os limites recomendados na literatura para uso na irrigação agrícola, principalmente para a DBO. Os solos existentes na região das ETEs, denominados de Gleissolo (Atuba Sul, CIC Xisto e Cachoeira),

Organossolo (Belém e Padilha Sul) e Neossolo, por serem mal drenados em condições naturais, são mais adequados para irrigação por superfície, principalmente inundação. Os solos do tipo Argissolo (Cambuí) e Cambissolo (Colombo Sede e Menino Deus) são adequados às práticas da irrigação por aspersão e localizada. O Latossolo que se encontra próximo da ETE Lapa apresenta as melhores condições para realização da prática da irrigação localizada ou por aspersão convencional e mecanizada.

A atividade agrícola mais promissora para ser irrigada na região da ETE Colombo Sede é a olericultura, caso o efluente tratado atinja a Classe 2 estabelecida pelo Conama. Para as ETEs Cambuí e Lapa, a irrigação é mais promissora para o cultivo de grãos, caso o efluente tratado atinja a Classe 3 do Conama. As demais ETEs não possuem grandes áreas agricultáveis ao seu redor.

Agradecimento

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de mestrado.

Referências

AGUIAR, E.M. de.; SILVA, D.A. da. Aspectos produtivos e morfológicos do capim elefante (Pennisetum purpureum, Schum.) cv. roxo de botucatu submetidos a esgoto sanitário semi-tratados. *In:* ENCONTRO DAS ÁGUAS*,* 2., 1999, Montevidéu. *Anais*... Montevidéu: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Uruguay, 1999.

BERNARDO, S. *Manual de irrigação*. 5. ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 1989.

BLUM, J.R.C. Critérios e padrões de qualidade da água. *In:* MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. dos. (Ed.). *Reúso de água*. Barueri: Manole, 2003. p. 125-174.

BRAILE, P.M.; CAVALCANTI, J.E.W.A. *Manual de tratamento de águas residuárias industriais*. São Paulo, 1979.

BREGA FILHO, D.B.; MANCUSO, P.C.S. Conceito de reúso de água. *In:* MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. dos. (Ed.). *Reúso de água*. Barueri: Manole, 2003. p. 21-36.

CONAMA-CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução Nº 357 de 17 de março de 2005. Classifica as águas doces, salobras e salinas. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, 18 de março de 2005.

CROOK. J. Water reuse in California. *J. Am. Water Works Assoc.*, New York, v. 77, p. 60-71, 1985.

EMBRAPA *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*, Brasília: Embrapa Solos, 1999.

FEREIRA, P.A. Tecnologias aplicadas ao planejamento de projetos hidroagrícolas. *In:* SILVA, D.D. da; PRUSKI, F.F. (Ed.). *Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura.* Brasília: UFV, 1997. p. 191-207.

FONSECA, A.F. da. *Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado*. 2002. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

HESPANHOL, I. Potencial de Reúso de Água no Brasil: Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aqüíferos. *Rev. Bras. Rec. Hid.*, Porto Alegre, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria e recarga de aqüíferos. *In:* MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. dos. (Ed.). *Reúso de água*. Barueri: Manole, 2003. p. 37-96.

LUCAS FILHO, M. *et al.* Disposição de esgoto tratado através do escoamento subsuperficial em solo preparado com cobertura vegetal. *In: ENCUENTRO DE LAS AGUAS*, 3., 2001, Santiago. *Anais...* Santiago, Chile, 2001.

MEDEIROS, S. de S. *et al.* Avaliação do manejo de irrigação no perímetro irrigado de Pirapora, MG. *Rev. Bras. Eng. Amb.***,** Campina Grande, v.7, n.1, p.80-84, 2003.

MOTA, S. Aplicação de esgoto doméstico em irrigação. *In:* REÚSO DE ÁGUAS: A EXPERIÊNCIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. 2000, Fortaleza. *Anais*... Fortaleza: UFC, 2000.

OLIVEIRA, R.A. *et al.* Influencia da aplicação de águas residuárias de suinocultura na capacidade de infiltração de um solo Podzólico Vermelho-Amarelo. *Rev. Bras. Eng. Amb.*, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 263-267, 2002.

RAMALHO FILHO, A; BEEK, K.J. *Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras*. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1995.

SETTI, A.A. *et al. Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos*. 3. ed. Brasília: ANEEL/ANA, 2002.

SOUSA, J.T. *et al.* Desempenho da cultura do arroz irrigado com esgotos sanitários previamente tratados. *Rev. Bras. Eng. Amb.,* Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 107-110, 2001.

TRENTIN, C.V. *Diagnóstico voltado ao planejamento do uso de águas residuárias para irrigação nos cinturões verdes da região metropolitana de Curitiba–PR*. 2005. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

Received on August 08, 2005.
Accepted on June 09, 2006.