



II-331 - CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS TRATADAS NA ETEB-NORTE EM BRASÍLIA QUANTO A PADRÕES DE QUALIDADE PARA REÚSO PAISAGÍSTICO

Andréa Naritza Silva Marquim de Araujo

Engenheira Civil, Especialista em Gestão e Controle Ambiental pela Universidade de Pernambuco, Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília, Analista de Infra-Estrutura – Departamento de Engenharia de Saúde Pública – FUNASA.

Endereço: e-mail: annaritza@hotmail.com/andrea.araujo@funasa.gov.br.

RESUMO

O presente trabalho enfoca a avaliação da qualidade da água dos efluentes da ETEB-Norte, em Brasília, e sua aplicação do reúso de água urbano na irrigação paisagística, tendo como motivação a busca por fontes alternativas de água, face à previsão de escassez desse recurso no Distrito Federal, bem como o controle da poluição, mediante a diminuição do despejo de efluentes nos corpos receptores de água.

Buscou-se classificar a água de irrigação (efluentes) e avaliar a qualidade das águas residuárias utilizadas, quanto aos balizamentos prescritos nos principais padrões adotados para essa modalidade de reúso urbano, identificando o potencial de sua utilização. Concomitantemente à análise dos efluentes foi conduzido um experimento para a avaliação do desempenho de um sistema de reúso paisagístico, onde foram utilizadas unidades experimentais independentes para o cultivo da espécie florífera *Dahlia pinnata*, as quais foram concebidas de forma a possibilitar a coleta da água percolada para o monitoramento do processo. Durante o experimento, realizou-se a caracterização da água de irrigação (efluentes do tratamento de esgotos nos níveis primário, secundário e terciário, coletados na Estação de Tratamento de Esgotos de Brasília-Norte, água do lago Paranoá e água do sistema público de abastecimento da Asa Norte) e o acompanhamento do desenvolvimento das plantas por meio da medição de parâmetros indicadores de crescimento, bem como a evolução da fertilidade do solo. A realização da avaliação da qualidade da água segundo os padrões para reúso paisagístico, em conjunto com o monitoramento de um experimento que empregou os efluentes em análise, possibilitou a inferência de aspectos que transcendem a análise puramente teórica. Em relação a alguns parâmetros de qualidade, verificou-se que mesmo não estando em conformidade com os padrões, o sistema mostrou-se eficiente, no que tange ao desenvolvimento das plantas, às condições do solo e quanto à tratabilidade dos efluentes.

Como principais conclusões da pesquisa, destacam-se: (i) a qualidade da água dos efluentes utilizados não se encontra em conformidade com os padrões em sua totalidade; (ii) as águas residuárias apresentaram pequenas restrições com relação à salinidade e níveis de Sódio; (iii) não foram identificadas restrições quanto à presença de sólidos; e (iv) o sistema mostrou-se satisfatório para o reúso paisagístico mesmo não estando totalmente dentro dos padrões propostos para os parâmetros de qualidade da água para essa modalidade de reúso, requerendo ajustes quanto à taxa de aplicação ideal.

PALAVRAS-CHAVE: reúso de água; fontes alternativas de água; controle de poluição da água; irrigação paisagística; fertirrigação.

1. INTRODUÇÃO

O Distrito Federal encontra-se entre os estados brasileiros que estão em situação definida como “estresse hídrico”. Essa situação é acentuada pelo consumo de água diário por habitante, excessivamente elevado, principalmente em Brasília, pela ausência de mananciais de grande porte na região e pela ocorrência de prolongados períodos de estiagem.

A manutenção de áreas verdes, públicas ou particulares, também contribui para o aumento da demanda hídrica urbana, devido aos requerimentos de irrigação. Dessa forma, a busca por fontes alternativas e o uso racional da água constituem fatores imprescindíveis para suprir as demandas hídricas de Brasília.

Além do exposto, para a formalização e a implementação dos conceitos de desenvolvimento sustentável previstos na Agenda 21, urge a implementação de instrumentos de gestão que propiciem a utilização de tecnologias voltadas para o controle de poluição e o uso racional das águas em paralelo.



Nesse sentido, o presente trabalho verifica o enquadramento dos parâmetros de qualidade das águas residuárias produzidas pela ETEB-Norte, em Brasília, quanto aos padrões de reúso de água paisagístico, com o intuito avaliar o seu potencial como fonte alternativa de água para a irrigação paisagística, associado ao controle de poluição.

2. OBJETIVOS

O presente estudo teve por objetivo principal avaliar a qualidade das águas residuárias produzidas pela ETEB-Norte, em Brasília, quanto aos balizamentos indicados nos principais padrões de qualidade para reúso paisagístico, considerando ainda, os resultados obtidos durante o monitoramento de um experimento piloto envolvendo a irrigação paisagística com águas residuárias tratadas.

3. METODOLOGIA

A metodologia de pesquisa adotada apresenta o seguinte escopo:

- a utilização de critérios para a classificação dos efluentes quanto a parâmetros de qualidade, segundo as recomendações propostas pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos e por Ayres e Westcot, citadas por Bernardo (1989);
- o enquadramento segundo padrões de qualidade para reúso, segundo Telles (2003), Padrões do Estado da Flórida, Padrões da EPA e recomendações da OMS;
- o acompanhamento de um experimento piloto localizado na Estação Experimental de Biologia da

Universidade de Brasília, acompanhando um ciclo de vida de quatro meses da espécie florífera *Dahlia pinnata*, durante os meses de julho a outubro de 2003.

Segundo Bernardo (1989), a caracterização da água a ser utilizada na irrigação é um fator de grande importância para que sejam identificados os seus efeitos sobre o sistema solo-água-plantas, além das interferências na infra-estrutura física do projeto de irrigação.

A correta interpretação dessas informações poderá indicar a origem de muitas das interferências no desempenho do sistema, quer sejam positivas ou negativas.

Nesse sentido, foram realizadas análises físico-químicas e microbiológicas dos efluentes utilizados na irrigação (esgoto primário, esgoto secundário e esgoto terciário), no período de julho a outubro de 2003, com frequência quinzenal, com fins de caracterização da água de irrigação. Para a caracterização da água de irrigação no período de estudo foram considerados parâmetros de qualidade relevantes ao tipo de uso, como pode ser visto na Tabela 1.

A classificação proposta pelos técnicos do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos é baseada na condutividade elétrica (CE), como indicadora do perigo de salinização do solo, e na Razão de Adsorção de Sódio (RAS), como indicadora do perigo de alcalinização ou sodificação do solo.

Tabela 1 – Resumo das Análises e Parâmetros de Qualidade da Água de Irrigação

Parâmetros Analisados	DBO, DQO, pH, Cloretos, Série de Sólidos, Série de Nitrogênio, Fósforo Total, Na, Ca, Mg, K, Condutividade, Coliformes Totais e Termotolerantes, Temperatura.
Coleta de Amostras	Quinzenal
Nº de Análises	184
Referência	APHA/AWWA/WPCF (1999)



Tabela 2 - Problemas Potenciais Relacionados à Qualidade da Água de Irrigação Segundo Telles, (2003)

Parâmetros	Unidade	Níveis de Danos		
		Nenhum	Médio	Severo
pH	-	5,5 - 7,0	< 5,5 ou > 7,0	< 4,5 ou > 8,0
C.E.	(dS/m)	0,5 0,75	0,75 - 3,0	> 3,0
Total Sólidos Solúveis	(mg/L)	325 - 480	480 - 1920	> 1920
Bicarbonatos	(mg/L)	< 40	40 - 180	> 180
Sódio	(mg/L)	< 70	70 - 180	> 200
Cálcio	(mg/L)	20 - 100	100 - 200	> 200
Magnésio	(mg/L)	< 63	> 63	
RAS	-	< 3	3 - 6	> 6,0
Boro	(mg/L)	< 0,5	0,5 - 2,0	> 2,0
Cloro	(mg/L)	< 70	70 - 300	> 300
Flúor	(mg/L)	< 0,25	0,25 - 1,0	> 1,0
Ferro	(mg/L)	< 0,2	0,2 - 0,4	> 0,4
Nitrogênio	(mg/L)	< 5,0	5 - 30	> 30

Tabela 3 – Principais Padrões de Qualidade da Água de Reúso para Irrigação

Padrões do Estado da Flórida		Padrões da EPA	
Parâmetro	Limite	Parâmetro	Limite
C. Fecais (NMP/100 mL)	Nível não detectável	C. Fecais (NMP/100 mL)	200
SST (mg/L)	5,0	SST (mg/L)	30,0
DBO (mg/L)	20,0	DBO (mg/L)	30,0
Sugestão de tratamento secundário + filtração + desinfecção		pH	6,9

Como apresentado, na Tabela 2 é possível observar os problemas potenciais, apontados por Telles (2003), relacionados à qualidade da água de irrigação, enquanto na Tabela 3 são apresentados os balizamentos propostos pelo Estado da Flórida e pela EPA.

No caso da irrigação com águas residuárias, as informações acerca da degradabilidade funcionam como um indicador da capacidade do solo em receber matéria orgânica sem comprometer o seu funcionamento normal.

Esse parâmetro pode ser obtido pela relação DBO/DQO, indicando que, quanto mais próximo de 1,0 (um) for o resultado dessa relação, subentende-se que há predominância da matéria orgânica carbonácea sobre a matéria orgânica recalcitrante, sugerindo que o esgoto poderá ser degradado mais facilmente. Essa é uma das razões pela qual se indica utilizar no reúso, irrigação com efluentes que apresentem características de esgoto doméstico.

Após a caracterização dos efluentes foi realizada a classificação dos esgotos utilizados na irrigação, segundo a metodologia descrita por Bernardo (1989), bem a comparação com os balizamentos pelos padrões de reúso adotados, buscando identificar a adequabilidade dos efluentes à modalidade de reúso em estudo.

4. ATIVIDADES

Em complementação ao estudo analítico da qualidade da água de irrigação, foi realizado o acompanhamento visual do crescimento das plantas e medição de tamanho, diâmetro e número de folhas, incluindo a verificação da manifestação de doenças.

Amostras dos efluentes e da água percolada no solo foram coletadas e analisadas quanto aos parâmetros já indicados na Tabela 1, com o intuito de identificar as possíveis influências causadas ao sistema em função da qualidade da água de irrigação, tendo em vista a sua aplicabilidade.

Quanto ao controle microbiológico, foram analisados coliformes totais e fecais nos efluentes e na água percolada, bem como contaminação do solo por helmintos e protozoários no final do período da pesquisa.



A evolução da fertilidade do solo foi acompanhada mensalmente, verificando-se suas condições físico-químicas e os efeitos da irrigação com águas residuárias tratadas.

O controle operacional do sistema foi baseado nos seguintes aspectos:

- medidas diárias da tensão no solo;
- medidas diárias de umidade do solo;
- medidas semanais do crescimento vegetal, incluindo observação dos sintomas de pragas, de doenças e de carência nutricional;
- medidas quinzenais de qualidade da água de reúso; e
- medidas quinzenais de qualidade da água drenada.

5. RESULTADOS OBTIDOS

As transformações ocorridas na água de irrigação após percolar a camada de solo, podem auxiliar na identificação da eficiência do sistema, e no diagnóstico das interferências sobre o desenvolvimento das plantas, além de propiciarem um melhor conhecimento dos processos que ocorrem no solo.

Nesse contexto, foi avaliado o desempenho do sistema de reúso, considerando o comportamento das plantas e o potencial de poluição das águas percoladas, mediante a irrigação em excesso para provocar a percolação da água, confrontando os resultados obtidos numa situação prática com as proposições teórico-analíticas.

Na Tabela 4 são apresentadas as características gerais da água de irrigação utilizada no período da pesquisa e na Tabela 4 a classificação segundo Bernardo (1989).

Tabela 4 – Caracterização da Água de Irrigação

Parâmetros	Esgoto 1º	Esgoto 2º	Esgoto 3º
DBO (mg/L)	213,33	27,60	5,92
DQO (mg/L)	352,83	38,50	19,50
Amônia (mg/L)	45,33	3,52	2,88
Nitrito (mg/L)	9,33	1,95	1,48
Nitrato (mg/L)	1,82	1,52	1,38
Fósforo Total (mg/L)	24,07	4,81	1,54
Cloretos (mg/L)	31,75	24,02	41,58
Coliformes Totais (NMP/100mL)	5,65E+07	1,51E+06	5,40E+04
Coliformes Termotolerantes (UFC/100mL)	6,42E+06	9,99E+05	6,13E+03
Cálcio (mg/L)	15,12	8,95	6,70
Magnésio (mg/L)	3,05	1,52	1,14
Potássio (mg/L)	11,98	10,68	10,35
Sódio (mg/L)	31,61	42,15	40,61
Sólidos Totais (mg/L)	374,17	239,33	244,17
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	313,00	213,83	206,17
Sólidos Suspensos (mg/L)	61,17	25,50	38,00
Condutividade (µS/cm)	590,17	336,67	346,83
pH	7,2	6,7	6,6
RAS	2,21	3,51	3,50

* Valores médios resultantes de seis observações quinzenais.

Nas Figuras 1 a 14 apresenta-se o comportamento da qualidade da água de irrigação utilizada na pesquisa, segundo os parâmetros analisados.

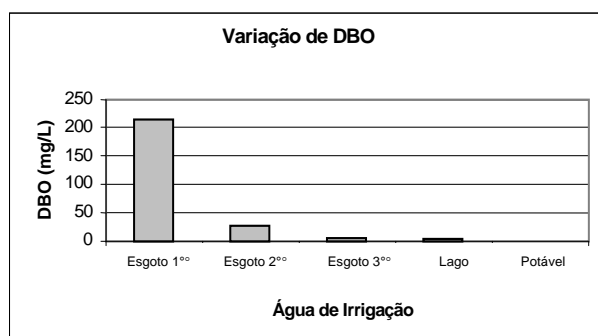


Figura 1 - Comparação entre Tratamentos – DBO

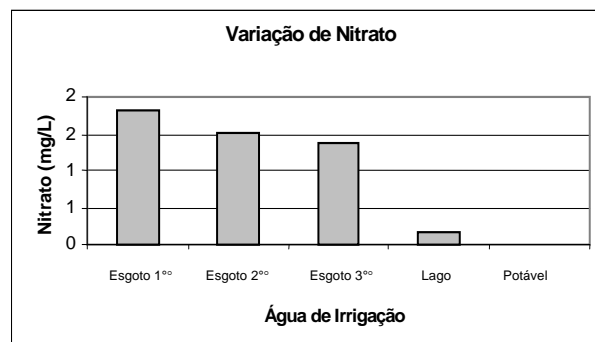


Figura 5 - Comparação entre Tratamentos – Nitrato

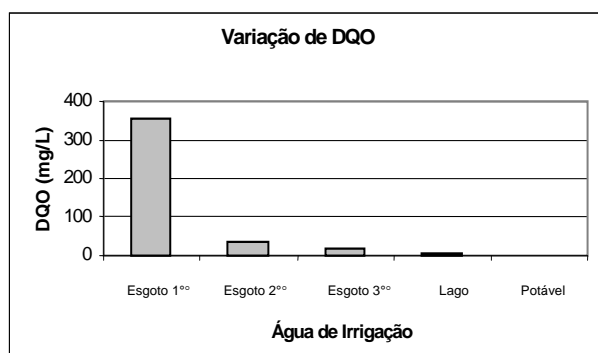


Figura 2 - Comparação entre Tratamentos – DQO

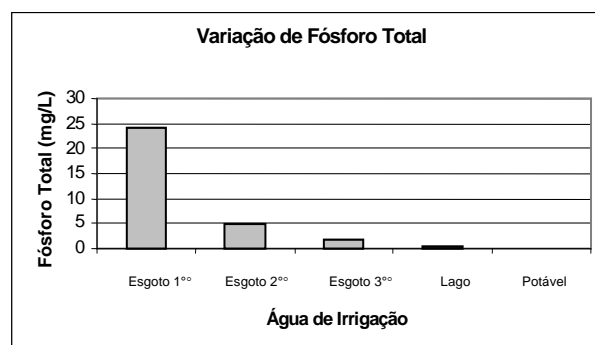


Figura 6 - Comparação entre Tratamentos - Fósforo Total

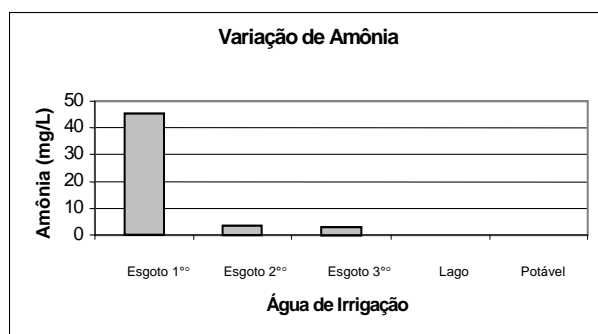


Figura 3 - Comparação entre Tratamentos – Amônia

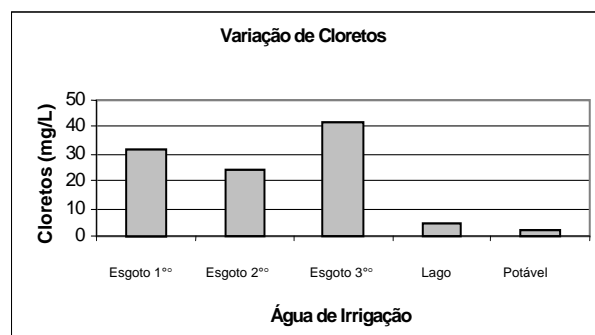


Figura 7 - Comparação entre Tratamentos – Cloretos

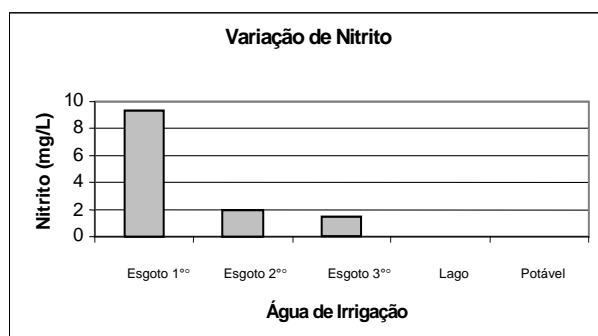


Figura 4 - Comparação entre Tratamentos - Nitrito

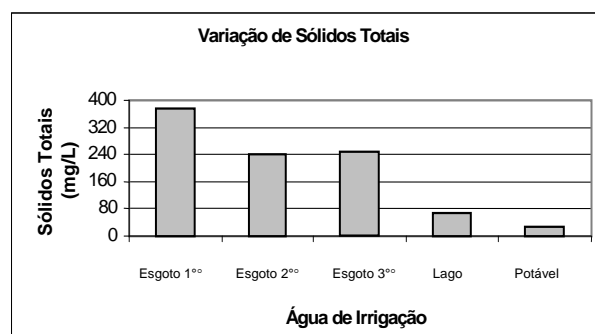


Figura 8 - Comparação entre Tratamentos - Sólidos Totais

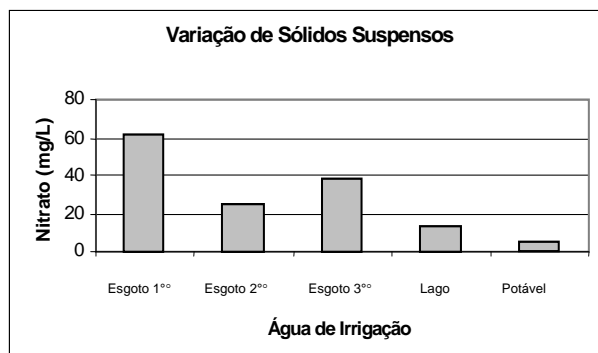


Figura 9 - Comparação entre Tratamentos - Sólidos Suspensos

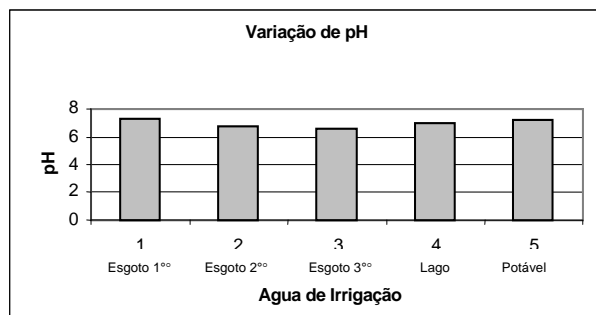


Figura 12 - Comparação entre Tratamentos – pH

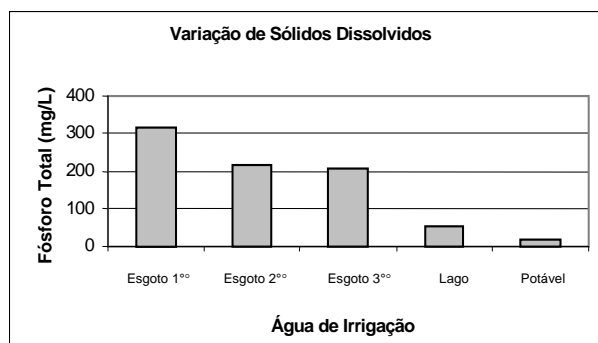


Figura 10 - Comparação entre Tratamentos - Sólidos Dissolvidos

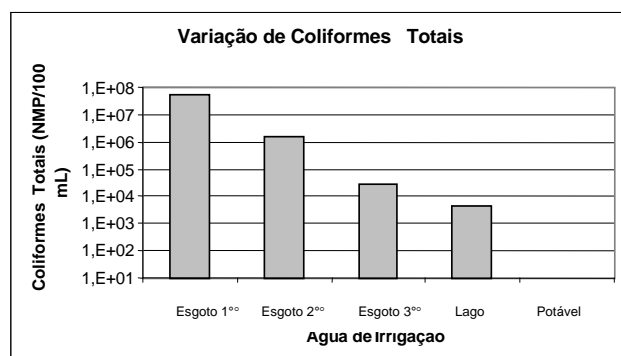


Figura 13 – Comparação entre Tratamentos - Coliformes Totais

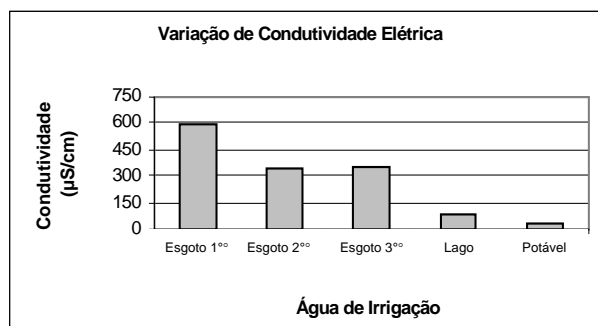


Figura 11 - Comparação entre Tratamentos – Condutividade

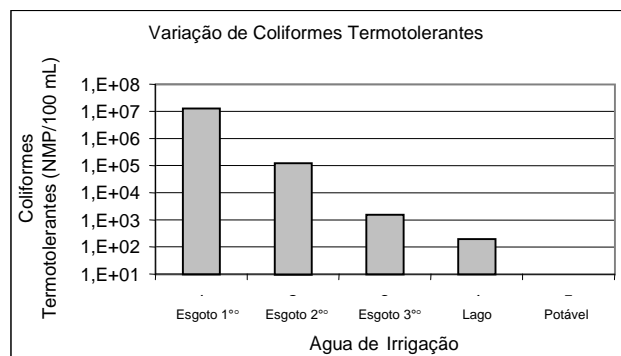


Figura 14 – Comparação entre Tratamentos - Coliformes Termotolerantes



Na Tabela 5 são apresentados os resultados referentes ao monitoramento da degradabilidade da água de irrigação.

Tabela 5 – Relação DBO/DQO

Tipo de Água de Irrigação	Relação DBO/DQO	Valor Máximo	Valor Mínimo
Esgoto 1º	0,60	0,87	0,29
Esgoto 2º	0,72	0,92	0,48
Esgoto 3º	0,30	0,82	0,16

Acredita-se que o fato do esgoto secundário apresentar maior degradabilidade que o esgoto primário tenha ocorrido devido à inibição da nitrificação pelo excesso de matéria orgânica.

Solos que recebem alta concentração de matéria orgânica e nutrientes têm, em pouco tempo, seu desempenho como processo de tratamento prejudicado, exigindo, quando isso ocorrer, uma interrupção na atividade de disposição. Por isso, é necessário que a aplicação das águas residuárias esteja sendo realizada em turnos de rega que considerem as características do solo (Coraucchi et al., 1999b).

Nesse sentido, buscou-se realizar primeiramente a irrigação diária para em seguida adotar um turno de rega menos freqüente, avaliando-se os efeitos desse manejo sobre o processo de tratamento realizado pelo reúso, como já constatado por outros autores.

A classificação da água de irrigação, proposta pelos técnicos do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos é baseada na condutividade elétrica (CE), como indicadora do perigo de salinização do solo, e na Razão de Adsorção de Sódio (RAS), como indicadora do perigo de alcalinização ou sodificação do solo.

Na Tabela 6 são apresentados os resultados da classificação da água de irrigação, no período de pesquisa.

Tabela 6 – Classificação da Água de Irrigação Utilizada na Pesquisa, segundo o Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos, citado por Bernardo (1989)

Água de Irrigação	Classificação
Esgoto Primário	C2S1
Esgoto Secundário	C2S1
Esgoto Terciário	C2S1
Água do lago Paranoá	C1S1
Água Potável	C1S1

* Classificação proposta pelo U.S. Salinity Laboratory Staff – U.S.D.A. Agriculture Handbook nº 60

Descrição das classes identificadas:

- **C2-S1:** Água com salinidade média, podendo ser usada sempre que houver um grau moderado de lixiviação. Plantas com moderada tolerância aos sais podem ser cultivadas, na maioria dos casos, sem práticas especiais de controle de salinidade. Água com baixa concentração de sódio, podendo ser usada para irrigação, em quase todos os solos, com pequena possibilidade de alcançar níveis perigosos de sódio trocável.
- **C1-S1:** Água com salinidade baixa, podendo ser usada para irrigação da maioria das culturas e na maioria dos solos, com pouca probabilidade de ocasionar salinidade. Água com baixa concentração de sódio, podendo ser usada para irrigação, em quase todos os solos, com pequena possibilidade de alcançar níveis perigosos de solo trocável.

A classificação proposta por Ayres e Westcot se baseia em quatro áreas problemáticas: (a) problemas de salinidade associados com a quantidade total de sais solúveis na água para irrigação; (b) problemas de decréscimo da infiltração associados à elevada concentração de sódio em relação à concentração de cálcio e/ou com baixa concentração de sais solúveis; (c) problemas de toxicidade, devido à presença de elementos tóxicos



na água de irrigação; e (d) problemas diversos envolvendo os parâmetros de qualidade da água de irrigação como alterações no pH e excesso de nitrogênio.

Na Tabela 7, apresenta-se um resumo da classificação da água de irrigação utilizada na presente pesquisa, segundo a metodologia proposta por Ayres e Westcot.

Tabela 7 – Classificação da Água de Irrigação Utilizada na Pesquisa, segundo Ayres e Westcot, citado por Bernardo (1989)

Água de Irrigação	Restrição ao Uso			
	Salinidade (TSS ¹ e CEi ²)	Infiltração (RAS ³ e CEi)	Toxicidade (Sódio)	Miscelâneos (N)
Esgoto 1º	SS: sem restrições CE: moderada	Moderada	Moderada	Severa
Esgoto 2º	SS: sem restrições CE: moderada	Moderada	Moderada	Moderada
Esgoto 3º	SS: sem restrições CE: moderada	Moderada	Moderada	Nenhuma
Água do lago Paranoá	Nenhuma	Nenhuma	Nenhuma	Nenhuma
Água Potável	Nenhuma	Nenhuma	Nenhuma	Nenhuma

(1) TSS: Total de Sólidos Solúveis

(2) CEi: Condutividade Elétrica da água de irrigação

(3) RAS: Relação de Adsorção de Sódio

A partir dos resultados da classificação da água de irrigação, percebe-se que as águas residuárias utilizadas (efluentes do tratamento de esgotos primário, secundário e terciário) apresentaram pequenas restrições com relação à salinidade e níveis de sódio, requerendo cuidados especiais. Acredita-se que o fato de se ter realizado percolações quinzenais nas unidades experimentais, para o monitoramento do tratamento pelo reúso, os efeitos da salinidade no solo foram amenizados, em função da lixiviação dos sais.

Contudo, em função dos dados de desenvolvimento das plantas, percebeu-se que, embora a capacidade de infiltração do solo não tenha sido afetada, em função das concentrações de cálcio e magnésio presentes nas águas residuárias terem propiciado um certo equilíbrio com as concentrações de sódio, a presença de sais pode ter sido um dos fatores intervenientes no desempenho das plantas irrigadas com esgotos. Tais efeitos podem, ainda, ter sido complementados pela reação das plantas à toxicidade pelo excesso de nitrogênio, o que requer a análise da planta para a efetiva comprovação.

Os valores de condutividade elétrica e sólidos dissolvidos obtidos pela análise da qualidade dos esgotos tratados nos níveis primário, secundário e terciário, estiveram em torno de 590 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 313 mg/L, 337 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 214 mg/L, 347 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 206 mg/L, respectivamente, não apresentando propensão a causar danos ao sistema. Analogamente, verifica-se que as concentrações de cloretos não estão na faixa prejudicial.

Os Tratamentos T4, T5 e T0 (testemunha) não apresentaram riscos associados à presença de Na, Ca, K e Mg, pois os valores destes constituintes na água de irrigação estiveram sempre baixos. O mesmo foi constatado quanto à presença de sólidos suspensos e dissolvidos e à condutividade elétrica, não apresentando risco de salinidade nem diminuição da capacidade de infiltração do solo.

Na Tabela 7 são apresentados os principais problemas relacionados à qualidade da água de irrigação.



Tabela 7 – Problemas Potenciais Relacionados à Qualidade da Água de Irrigação

Parâmetro	Unidade	Níveis de Danos		
		Nenhum	Médio	Severo
pH	-	5,5 – 7,0	< 5,5 ou > 7,0	< 4,5 ou > 8,0
C.E.	(dS/m)	0,5 – 0,75	0,75 – 3,0	> 3,0
Total Sólidos Solúveis	(mg/L)	325 – 480	480 – 1920	> 1920
Bicarbonatos	(mg/L)	< 40	40 – 180	> 180
Sódio	(mg/L)	< 70	70 – 180	> 200
Cálcio	(mg/L)	20 – 100	100 – 200	> 200
Magnésio	(mg/L)	< 63	> 63	
RAS	-	< 3	3 – 6	> 6,0
Boro	(mg/L)	< 0,5	0,5 – 2,0	> 2,0
Cloro	(mg/L)	< 70	70 – 300	> 300
Flúor	(mg/L)	< 0,25	0,25 – 1,0	> 1,0
Ferro	(mg/L)	< 0,2	0,2 – 0,4	> 0,4
Nitrogênio	(mg/L)	< 5,0	5 - 30	> 30

Fonte: Telles, 2003.

No estudo realizado por Miranda *et al.* (2001), foi notada a variação dos valores de RAS na água a medida que ela percolou o solo, ocorrida em função da aplicação de águas residuárias tratadas em tabuleiros, no cultivo de capim elefante. Os autores concluíram que, após percolar no solo, houve uma variação significativa nos valores de RAS da água, passando de C2-S1 para C2-S2, indicando a possível ocorrência de lixiviação dos sais através da água, assim como a absorção de cálcio e magnésio pelas raízes das plantas, concluindo que a fonte de água utilizada tende a causar danos ao sistema.

Em função da presença acentuada de certos constituintes de risco para as plantas e para o meio ambiente, na água de reúso, foram desenvolvidos padrões de qualidade da água, buscando nortear a implementação de projetos de reúso, a partir de balizamentos.

O conhecimento sobre os efeitos nas plantas relacionados a compostos orgânicos na água é ainda muito limitado, e em razão disso, estabelece-se como critério geral que as águas de reúso utilizadas para irrigação não apresentem teores de orgânicos superiores àqueles observados em esgotos municipais simples (Blum, 2003).

Na Tabela 8 são apresentados os valores limites propostos para o reúso paisagístico pelo estado da Flórida, enquanto na Tabela 9 são apresentados os valores encontrados na pesquisa.

Tabela 8 – Limites Propostos para o Reúso Paisagístico

Padrões do Estado da Flórida		Padrões da EPA	
Parâmetro	Limite	Parâmetro	Limite
C. Fecais (NMP/100 mL)	Nível não detectável	C. Fecais (NMP/100 mL)	200
SST (mg/L)	5,0	SST (mg/L)	30,0
DBO (mg/L)	20,0	DBO (mg/L)	30,0
Sugestão de tratamento secundário + filtração + desinfecção		pH	6,9

Tabela 9 – Valores Médios da Água de Irrigação

Parâmetro	Esgoto 1º	Esgoto 2º	Esgoto 3º	lago
C. Fecais (NMP/100 mL)	6,42E+06	9,99E+05	6,13E+03	1,99E+02
SST (mg/L)	61,2	25,5	38	13,0
DBO (mg/L)	213,3	27,6	5,92	3,8
pH	7,2	6,7	6,6	6,9



A partir da comparação dos resultados de análise da água de irrigação com os valores da Tabela 8, verificou-se que as águas residuárias tratadas utilizadas na irrigação da *Dahlia pinnata* não apresentaram restrições quanto à condutividade elétrica, pH, sólidos dissolvidos, sódio, cálcio e magnésio.

Por outro lado, os valores de RAS indicaram potencial para níveis de danos médios em alguns eventos de irrigação, principalmente o esgoto terciário, enquanto que, para o efluente primário, as concentrações de nitrogênio indicaram a possibilidade de ocorrência de danos severos ao sistema.

Nenhum dos tipos de efluentes utilizados na pesquisa obedeceu à exigência de 1000 UFC/100mL, para coliformes fecais, das recomendações da OMS para reúso de água, no caso de irrigação de parques e jardins.

O Estado da Califórnia estabelece que, para a irrigação de parques, áreas de lazer e campos escolares, o tratamento mínimo requerido para a recuperação dos esgotos consiste em tratamento secundário com coagulação, filtração e desinfecção.

Os padrões propostos pela Agência de Proteção Ambiental americana recomendam tratamento secundário e desinfecção para a modalidade de reúso de água paisagístico. A qualidade da água recuperada deverá apresentar pH = 6,9, DBO = 30 mg/L, SST = 30 mg/L, coliformes fecais = 200 NMP/100mL e cloro residual = 1 mg/L.

Comparando-se os resultados da presente pesquisa com as recomendações propostas pela EPA, verifica-se que o esgoto primário utilizado não se enquadrou em nenhum desses limites. Já os esgotos secundários estavam de acordo com os limites de SST, DBO e pH; os esgotos terciários com os limites de DBO e pH, e a água do lago Paranoá estava em conformidade com todos os parâmetros, como visto na Tabela 8. Nenhum dos tipos de água residuária utilizados obedeceu aos limites para coliformes termotolerantes.

Os critérios para a qualidade e tratamento para uso não-potável de águas residuárias tratadas, propostos pelo Estado da Flórida, indicados para a irrigação com propósitos estéticos, apresentam limites para a qualidade da água nos valores de coliformes fecais em nível não detectável, SST = 5mg/L e DBO = 20 mg/L, indicando-se, ainda, tratamento secundário seguido de filtração e desinfecção. Para esse padrão, nenhum dos tipos de água de irrigação esteve dentro dos limites propostos para SST e coliformes fecais, e apenas o esgoto terciário e água do lago Paranoá estiveram dentro dos limites para DBO.

A partir da classificação e do enquadramento das águas residuárias utilizadas na pesquisa, segundo os padrões mais utilizados para o reúso paisagístico, foi possível concluir que existe um grande potencial da aplicabilidade dos efluentes produzidos pela ETEB-Norte. Contudo, serão necessárias adaptações ao sistema ou a complementação de uma unidade de tratamento, para que sejam alcançados níveis ideais quanto aos parâmetros de qualidade da água, de modo a viabilizar o sistema de reúso.

O que se percebe em relação ao enquadramento das águas residuárias utilizadas na pesquisa, quanto aos balizamentos propostos pelos principais padrões estabelecidos para reúso na irrigação, é que a categoria de reúso paisagístico não é contemplada de forma satisfatória. A maioria dos padrões estabelecidos destina-se a culturas ingeridas pelo homem, cruas ou processadas, ou por animais, indicando cuidados especiais com relação à saúde, requerendo uma qualidade de água com maiores restrições, implicando em níveis mais exigentes de tratamento.

Dessa forma, espera-se que as pesquisas acerca do reúso paisagístico possam direcionar maior atenção aos padrões já propostos, promovendo a criação de condições mais viáveis para a implementação do reúso urbano.

A preocupação com a viabilização dessa modalidade de reúso de água fundamenta-se no princípio de que os grandes centros urbanos são os locais em que são produzidos maiores volumes de águas residuárias, apresentam restrições quanto à disponibilidade de áreas para o despejo de resíduos, assim como se observa uma crescente busca por fontes alternativas de água para satisfazer as demandas cada vez mais intensas.

Algo a que também se deve dar importância é o fato de que os padrões propostos indicam grandes restrições quanto à presença de microrganismos patogênicos, criando um impasse na escolha do efluente para a realização da fertirrigação com águas residuárias. Sabe-se que algumas formas usuais de desinfecção, tais como a cloração e a ozonização, promovem a oxidação da matéria orgânica, o que implicaria a diminuição do poder de fertilização dos esgotos quando fosse realizada sua aplicação.



Portanto, é necessário encontrar um ponto de equilíbrio entre o nível de restrição da presença de patógenos na água de irrigação e o seu potencial de fertilização associado à concentração de matéria orgânica e de macro e micronutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas.

Caso seja estabelecida a realização incondicional da desinfecção, que seja feita a partir da aplicação de métodos que tenham menor interação com a matéria orgânica.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O efeito fertilizante das águas residuárias no aumento da produtividade das plantas foi verificado para todas as variáveis mensuradas, possibilitando a conclusão de que o aporte de nutrientes associado ao reúso foi significativo, em função das transformações quase sempre positivas, das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Contudo, foram observados inconvenientes associados à qualidade das águas residuárias utilizadas na irrigação.

Quanto à degradabilidade dos esgotos utilizados na irrigação das plantas, o esgoto secundário apresentou a maior taxa de degradabilidade, indicando que a sua utilização não promove o comprometimento do desempenho do solo, e, conseqüentemente, da continuidade do tratamento.

A classificação da água de irrigação, segundo as metodologias mais adotadas na literatura, indicaram que os esgotos utilizados na pesquisa apresentaram restrições com relação à salinidade do solo e ao risco de sodificação em função dos níveis de sódio trocável. Entretanto, acredita-se que a adoção de lixiviações quinzenais, implementadas no sistema de irrigação, aliviaram os efeitos da sodificação do solo.

Os efluentes primário, secundário e terciário, utilizados na irrigação das flores não apresentaram restrições quanto aos valores de condutividade elétrica, sólidos dissolvidos, cloretos, Cálcio, Magnésio e pH. Contudo, foram identificados efeitos de toxicidade pela alta concentração de nitrogênio.

A partir da comparação dos valores obtidos referentes aos parâmetros de qualidade da água estudados, nenhum dos esgotos se enquadraram aos padrões propostos pela EPA, bem como não foram atendidos os limites indicados para coliformes termotolerantes pela OMS.

Embora a pesquisa tenha encontrado dados favoráveis ao reúso paisagísticos, as análises teóricas relativas aos parâmetros de qualidade da água, indicaram que os esgotos precisam ser adaptados para os balizamentos indicados à essa categoria de reúso de água. Por outro lado, foi constatado que os padrões para essa modalidade de reúso nem sempre são contemplados, requerendo uma dedicação especial para novas determinações.

Pelo exposto, identifica-se a necessidade em desenvolver pesquisas específicas para cada tipo de cultura, incluindo a determinação de taxa de aplicação ideal para cada espécie cultivada.

No caso de espécies de flores, sabe-se que fatores como salinidade e pH interferem diretamente no desempenho das plantas, por se tratarem de culturas mais sensíveis, requerendo a determinação de parâmetros mais restritivos do que aqueles aplicados a gramados e a outras culturas mais adaptáveis a condições extremas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA/AWWA/WPCF (1999). *Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, 20ª edition, Washington, DC, EUA.
2. ARAÚJO, G. H. M. F. e RODRIGUES, M. G. R. (2002). "Pragas e Doenças de Plantas Ornamentais". In: *Manual de Jardinagem e Produção de Mudas do DPJ*. NOVACAP (2002). Brasília, DF. (94-101) pp.
3. BERNARDO, S. (1989). *Manual de Irrigação*. 5ª edição, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 596p.
4. BLUM, J. R. C. (2003). "Critérios e Padrões de Qualidade da Água". In: *Reúso de água*. Editores: Pedro Caetano Sanches Mancuso e Hilton Felício dos Santos. Barueri, SP: Manole. Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Núcleo de Informações em Saúde Ambiental. (125-174) p.



5. CORAUCCI, B. F., CHERNICHARO, C. A. L., NETO, C. O. A., NOUR, E. A., ANDREOLI, F. N., SOUZA, H. N., MONTEGGIA, L. O., von SPERLING, M., LUCAS, M. F., AISSE, M. M., FIGUEIREDO, R. F. de F., e STEFANUTTI, R. (1999b). "Tecnologia do tratamento de águas residuárias no solo: infiltração rápida, irrigação e escoamento superficial." In: *Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo*. PROSAB: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, Rio de Janeiro. (357- 408) p.
6. EMBRAPA (1997). *Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos*. 2 edição revisada e atualizada, Rio de Janeiro, 212 p.
7. LIMA, A. O., SOARES, B. J., GRACO, J. B., GALIZZI, J. e CANÇADO, J. R. (1992). *Métodos de Laboratório Aplicados à Clínica*. Editora Guanabara Koogan S. A., Rio de Janeiro.
8. LOPES, A. S. (1989). *Manual de Fertilidade do Solo*. Tradução de: *Soil fertility manual*, Potash Phosphate Institute, 1978. 155 p.
9. MIRANDA, R. J. A., MELO, H. N. S, ANDRADE NETO, C. O. e LUCAS FILHO, M. (2001). "Evolução da salinidade em solo irrigado com esgoto sanitário tratado." 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais de Congresso (CD-Rom), João Pessoa, PB.
10. PAGANINI, W. S. (2003). "Reúso de água na agricultura." In: Reúso de água. Editores: Pedro Caetano Sanches Mancuso e Hilton Felício dos Santos. Barueri, SP: Manole. Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Núcleo de Informações em Saúde Ambiental. (339-402) p.
11. SOUZA, P. I. M. e CARVALHO (1985). "Nutrição Mineral de Plantas". In: *Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo*. Goedert, W. J. (1985). São Paulo: Nobel; Brasília: -EMBRAPA, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. (75-98)pp.