

EDUARDO DE AGUIAR DO COUTO

AVALIAÇÃO DO REUSO DE ÁGUAS CINZA EM AMBIENTES
AEROPORTUÁRIOS

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, para obtenção do
título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2012

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

C871a
2012

Couto, Eduardo de Aguiar do, 1986-
Avaliação do reuso de águas cinza em ambientes
aeroportuários / Eduardo de Aguiar do Couto. – Viçosa, MG,
2012.

xiii, 100f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Maria Lúcia Calijuri.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Águas residuais - Purificação - Tratamento biológico.
2. Água - Reuso. 3. Aeroportos - Planejamento.
4. Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.). I. Universidade
Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 628.162

EDUARDO DE AGUIAR DO COUTO

AVALIAÇÃO DO REUSO DE ÁGUAS CINZA EM AMBIENTES
AEROPORTUÁRIOS

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, para obtenção do
título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 26 de janeiro de 2012.

Maria do Carmo Calijuri

Mônica de Abreu Azevedo
(Coorientadora)

Maria Lúcia Calijuri
(Orientadora)

*A toda minha família e a meus
amigos, sempre muito
importantes em minha vida.*

“Coragem, coragem, se o que você quer é aquilo que pensa e faz. Coragem, eu sei que você pode mais...”

Raul Seixas – Por quem os sinos dobram.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por iluminar meus passos em todos os momentos da minha vida e me tornar capaz para aproveitar as oportunidades;

A meus pais, Moacir e Rosangela, pelo carinho, incentivo e dedicação, mesmo distantes. Com certeza, esse trabalho representa uma vitória deles;

A UFV, escola que propiciou grande parte de minha formação, e tem participação importante na pessoa em que me tornei;

A professora Maria Lúcia Calijuri, pela confiança depositada e as valiosas orientações, que contribuíram muito para a execução do trabalho;

Aos funcionários da INFRAERO e empresas vinculadas: Marina, Sebastião, Rita, Vanete, Mônica, Oséas, dentre outros. Pela paciência e cooperação em questões cruciais, decisivas para o êxito do trabalho;

Aos órgãos de fomento: FINEP, FAPEMIG e CAPES. Pelos recursos destinados a essa pesquisa.

Aos companheiros do laboratório nPA: Rodrigo, Anibal, Luna, Isabella, Leo, Marcos, Ronan, Everton, Brunão, Maurão, Mateus, Ivan, Lucas, Teruo, Livia, Chico e Paula. Pelas discussões, pelos momentos de descontração e pela companhia em tantas madrugadas de viagem.

E tantas outras pessoas, que de uma forma ou de outra, contribuíram para o desenvolvimento dessa pesquisa. Sem a participação de cada um, os resultados obtidos nesse trabalho não seriam alcançados. A todos, muito obrigado!

SUMÁRIO

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS.....	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS.....	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
Introdução	1
Objetivos	2
Objetivo Geral.....	2
Objetivos Específicos	3
Contextualização e Justificativa.....	4
Reuso de águas cinza	4
Tecnologias de tratamento de águas cinza	9
Uso racional de água e reuso de águas cinza em aeroportos.....	12
Referências Bibliográficas	18
Artigo 1 - Caracterização Quanti – qualitativa de Águas Cinza em Ambientes Aeroportuários.....	23
Resumo	23
Keywords: Greywater, Reuse Potential, Characterization, Airport Environments.....	24
Introdução.....	24
Metodologia	26
Área de estudo	26
Caracterização Qualitativa de Águas Cinza	28
Análises estatísticas.....	30
Quantificação da produção de águas cinza e da demanda de água não potável.....	31
Resultados e Discussão	34
Caracterização Qualitativa das Águas Cinza Produzidas no AITN.....	34
Características Físicas	34
Características Químicas	36
Características Microbiológicas.....	43
Estatística Multivariada	44
Produção de águas cinza e demanda de água não potável.....	48

Conclusão	53
Referências Bibliográficas	55
Artigo 2 - Tratamento de águas cinza geradas em ambientes aeroportuários visando o reuso não potável	59
Resumo	59
Introdução	61
Metodologia	62
Área de estudo	62
Unidade de tratamento de águas cinza	63
Atendimento aos limites e padrões.....	69
Avaliação econômica do sistema de tratamento	70
Resultados e Discussão	73
Avaliação do filtro anaeróbio	73
Remoção de matéria orgânica	73
Remoção de Sólidos e Turbidez	75
pH e Alcalinidade Total	78
Compostos Nitrogenados.....	79
Fósforo Total	82
Óleos e Graxas	83
Condutividade Elétrica	84
Escherichia coli	84
Unidade de Desinfecção Ultravioleta.....	86
Atendimento aos limites e padrões.....	88
Avaliação econômica da unidade de tratamento	91
Conclusão	92
Referências Bibliográficas	94
Considerações Finais.....	99

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

AIRJ – Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro
AITN – Aeroporto Internacional Tancredo Neves
Alc – Alcalinidade Total
Amo – Amonia
APA – Área de Proteção Ambiental
AR – Abrigo de Rampas
C – Contribuição de Despejos
CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
Cl – Cloro
Cond – Condutividade Elétrica
COPASA – Companhia de Saneamento do Estado de Minas Gerais
CP – Componentes Principais
cv – Cavalos
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
DEC – Departamento de Engenharia Civil
Desvio Pad. – Desvio Padrão
DQO – Demanda Química de Oxigênio
DTCEA – Destacamento de Controle do Espaço Aéreo
E. coli – Escherichia coli
E1 – Primeira Etapa
E2 – Segunda Etapa
EB – Efluente Bruto
EESC – Escola de Engenharia de São Carlos
ET – Efluente Tratado
FA – Filtro Anaeróbio
FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais
FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos
Fos – Fósforo
INFRAERO – Empresa Brasileira de Estrutura Aeroportuária
MHC – Ministry of Health Canada
N – NH_4^+ - Nitrogênio Amoniacal
n – Número de Amostras
N – Número de Ocupantes do Edifício
NBR – Norma Brasileira

ND – Não Detectado
Nit – Nitrato
NMP – Número Mais Provável
 NO_3^- - Nitrato
Norg – Nitrogênio Orgânico
nPA – Núcleo de Pesquisas Ambientais Avançadas
NSW –
Nt – Nitrogênio Total
NTK – Nitrogênio Total Kjeldahl
O & G – Óleos e Graxas
OD – Oxigênio Dissolvido
OMS – Organização Mundial da Saúde
PC – Parque de Combustíveis
PCA – Principal Components Analysis
pH – Potencial Hidrogeniônico
PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
Ptotal – Fósforo Total
RA – Reservatório de Armazenamento
RCV – Reservatório de Controle de Vazão
REC – Reservatório de Efluente de Pia de Cozinha
SCI – Seção Contra Incêndio
SST – Sólidos Suspensos Totais
ST – Sólidos Totais
TDH – Tempo de Detenção Hidráulica
TECA – Terminal de Cargas
TPS – Terminal de Passageiros
Turb – Turbidez
UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket
UFV – Universidade Federal de Viçosa
USEPA – United States Environmental Protection Agency
USP – Universidade de São Paulo
uT – Unidades de Turbidez
UV – Ultravioleta
Vu – Volume Útil
WHO – World Health Organization

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema da unidade de tratamento e reuso de águas cinza no aeroporto de Narita, Japão.	14
Figura 2 - Volume de águas cinza tratadas no aeroporto de Hong Kong.	15
Figura 3 - Estação de tratamento de efluentes do aeroporto de Roma.	16
Figura 4 - Localização da área de estudo.	27
Figura 5 - Instalação de recipientes coletores em pias de banheiro.	29
Figura 6 - Recipiente instalado para coleta.	29
Figura 7 – Dendograma dos pontos de amostragem de águas cinza.	47
Figura 8 - Volume consumido estimado em cada equipamento hidrossanitário nos banheiros.	50
Figura 9 - Volume da produção de águas cinza e da demanda de água não potável para cada edifício estudado.	50
Figura 10 - Porcentagem de cada uso na produção de águas cinza nos edifícios estudados.	51
Figura 11 - Porcentagem de cada uso na demanda de água não potável nos edifícios estudados.	52
Figura 12 - Reservatório para equalização da vazão afluente ao filtro anaeróbio.	64
Figura 13 - Filtro anaeróbio.	64
Figura 14 - Dispositivo de desinfecção ultravioleta.	64
Figura 15 - Reservatório para armazenamento do efluente tratado.	64
Figura 16 - Esquema da unidade de tratamento de águas cinza nas duas etapas de operação.	69
Figura 17 - Valores de DBO5 na primeira etapa.	74
Figura 18 - Valores de DBO5 na segunda etapa.	74
Figura 19 - Valores de DQO para a primeira etapa.	74
Figura 20 - Valores de DQO para a segunda etapa.	74
Figura 21 - Valores de sólidos totais na primeira etapa.	76
Figura 22 - Valores de sólidos totais na segunda etapa.	76
Figura 23 - Valores de sólidos suspensos na primeira etapa.	76
Figura 24 - Valores de sólidos suspensos na segunda etapa.	76
Figura 25 - Valores de turbidez na primeira etapa.	76

Figura 26 - Valores de turbidez na segunda etapa.	76
Figura 27 - Turbidez no efluente da primeira etapa.	77
Figura 28 - Turbidez no efluente da segunda etapa.	77
Figura 29 - Valores de alcalinidade total na primeira etapa.	79
Figura 30 - Valores de alcalinidade total na segunda etapa.	79
Figura 31 - Concentrações de cada composto nitrogenado que compõe o teor de nitrogênio total.	80
Figura 32 - Porcentagem de atendimento aos padrões mais e menos restritivos.	89
Figura 33 - Porcentagem de atendimento aos valores indicados na NBR 13969/97.	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites estabelecidos para reuso de efluentes em atividades não potáveis	6
Tabela 2 - Limites estabelecidos pela NBR 13969/1997 para as 4 classes de atividades não potáveis	7
Tabela 3 - Características de águas cinza disponíveis na literatura	25
Tabela 4 - Caracterização qualitativa das águas cinza - variáveis físicas	35
Tabela 5 - Caracterização qualitativa das águas cinza - compostos nitrogenados e fósforo total	36
Tabela 6 - Caracterização qualitativa das águas cinza - compostos orgânicos	39
Tabela 7 - Caracterização qualitativa das águas cinza - outras variáveis químicas	41
Tabela 8 - Caracterização qualitativa das águas cinza - variáveis microbiológicas	43
Tabela 9 - Coeficientes de cada variável monitorada nas três primeiras componentes principais	45
Tabela 10 - Consumo estimado por atividade em cada edifício (m ³)	49
Tabela 11 - Características de projeto dos filtros anaeróbios para cada edifício estudado.....	71
Tabela 12 - Valores de pH nas duas etapas de tratamento.....	78
Tabela 13 - Valores obtidos para os compostos nitrogenados nas duas etapas de tratamento	80
Tabela 14 - Valores de fósforo total nas duas etapas de tratamento.....	82
Tabela 15 - Valores de óleos e graxas na segunda etapa de tratamento.....	83
Tabela 16 - Valores de condutividade elétrica nas duas etapas de tratamento	84
Tabela 17 - Valores de <i>E. coli</i> para o efluente do filtro anaeróbio nas duas etapas de tratamento	85
Tabela 18 - Valores de <i>E. coli</i> antes e depois do dispositivo de desinfecção ultravioleta	87
Tabela 19 - Valores mais e menos restritivos encontrados em diferentes normas.....	88

RESUMO

COUTO, Eduardo de Aguiar do, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, janeiro de 2012. **Avaliação do reuso de águas cinza em ambientes aeroportuários**. Orientador: Maria Lúcia Calijuri. Coorientadores: Mônica de Abreu Azevedo e Eduardo Antonio Gomes Marques.

Ambientes aeroportuários consomem grandes volumes de água para a manutenção de sua infraestrutura e rotina de operação, sendo que muitas das atividades exercidas não necessitam da água potável. As águas cinza, que são efluentes domésticos sem a contribuição de bacias sanitárias, podem representar alternativa importante a essa demanda não potável, uma vez que representam grande parte do volume do esgoto doméstico, e por outro lado, possuem menores concentrações de diversos poluentes. Esta pesquisa teve o objetivo de avaliar o potencial e a viabilidade para reuso de águas cinza em aeroportos para atender às demandas não potáveis, a partir de estudo realizado no Aeroporto Internacional Tancredo Neves, em Confins, Minas Gerais. Foi realizada a caracterização qualitativa das águas cinza segregadas, e os dados foram analisados com auxílio de estatística descritiva e multivariada. Além disso, procedeu-se o levantamento dos aspectos relacionados à produção desse efluente no aeroporto. Uma unidade de tratamento composta por filtro anaeróbio e dispositivo de desinfecção ultravioleta foi proposta e avaliada. Os resultados mostraram que não existem empecilhos para o reuso de águas cinza em ambiente aeroportuários. O volume produzido desse efluente pode suprir a demanda por água não potável, através de tratamento simplificado e de baixo custo. Portanto, o reuso de águas cinza em aeroportos deve ser fortemente incentivado, podendo propiciar grande economia de recursos financeiros e ambientais.

ABSTRACT

COUTO, Eduardo de Aguiar do, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, January, 2012. **Greywater reuse in airport environments**. Adviser: Maria Lúcia Calijuri. Co-Advisers: Mônica de Abreu Azevedo and Eduardo Antonio Gomes Marques.

Airport environments consume large amounts of water in order to maintain its infrastructure and routine operation, and most of the activities performed do not require potable water quality. Greywater, which is the domestic effluent without toilet contribution, can be an important alternative to meet the non-potable demand in airports, once it represents most of the domestic sewage volume and presents low pollutant concentrations. The objective of this study was to assess the potential and feasibility of using greywater to meet non-potable demands in airports, and it was carried out at the Tancredo Neves International Airport, in Confins, Minas Gerais. The quality assessment of greywater from different sources at the airport was performed and the data obtained was analyzed using descriptive multivariate statistics. Also, a survey was carried out to obtain information regarding greywater production. A treatment plant consisting of an anaerobic filter followed by ultraviolet disinfection was proposed and its efficiency was evaluated. The results showed that there are no impediments to greywater reuse in airport environments. The greywater volume produced can meet the non-potable demand after inexpensive and simplified treatment. Therefore, greywater reuse at airports should be strongly encouraged, as it can provide great savings in financial and environmental resources.

Introdução

A escassez hídrica apresenta-se como um dos principais problemas a serem enfrentados pela humanidade no século XXI. O crescimento populacional e a intensificação da urbanização têm contribuído para o agravamento do problema relativo ao acesso à água tratada e de qualidade.

No entanto, o consumo de água é influenciado por outros fatores que não o crescimento da população. Segundo Rijsberman (2006), no século XX a população mundial triplicou, e o consumo de água cresceu seis vezes. O mesmo autor afirma que o crescente aumento da demanda per capita de água pode estar relacionado ao acréscimo de renda. Com o passar dos anos, o volume de água necessário para satisfazer as necessidades domésticas e industriais tende a se elevar, tornando qualquer tentativa de projeção relacionada à escassez hídrica um tanto quanto pessimista. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (WHO 2006), em 1995, 31 países foram considerados em condições de estresse hídrico, ou de escassez de água, sendo que esse número tende a aumentar para 48 e 54 países, nos anos de 2025 e 2050, respectivamente.

A disputa entre usos conflitantes por fontes de água potável, como agricultura, abastecimento público e diversas tipologias industriais, tem se intensificado a cada ano, sobretudo em regiões áridas e densamente povoadas. Entretanto, existem lugares onde o problema não está relacionado a questões quantitativas, e sim com a qualidade da água disponível. A escassez qualitativa, muitas vezes existente devido a ações antrópicas, indica a necessidade de uma gestão adequada dos recursos hídricos, que contemple políticas de proteção aos mananciais e promova o uso racional desses recursos.

Além disso, questões relacionadas à infraestrutura deficitária de muitos países contribuem para o desperdício de água potável. Milhares de litros são perdidos em tubulações antigas e sistemas de distribuição ultrapassados. Somado a isso, boa parte da água que sai das estações de tratamento e chega às edificações é utilizada para atender demandas cuja qualidade da água não precisa ser potável. É o caso de usos como a manutenção de

áreas verdes, lavagem de pisos e pátios, utilização em sistemas de ar condicionado, lavagem de veículos, acionamento de descargas de sanitários entre outros. Dentro desse contexto de escassez hídrica, o reuso de águas cinza surge como alternativa interessante à redução do consumo e combate ao desperdício de água potável.

As águas cinza são definidas como sendo efluentes domésticos, sem a contribuição de bacias sanitárias (Elmitwalli e Otterpohl 2007; Misra et al 2010; Santos et al 2011). Esses efluentes estão relacionados ao conceito de saneamento descentralizado e reuso que propõe a separação do esgoto doméstico em águas negras (efluentes de bacias sanitárias) e águas cinza, visando um tratamento mais específico de cada tipo de efluente, e obtendo recursos que seriam desperdiçados (Hernández Leal et al 2010).

Ambientes aeroportuários são grandes consumidores de água, já que para garantir a manutenção de sua infraestrutura e operação, necessitam de volumes semelhantes aos consumidos por municípios de médio e pequeno porte. Grande parte desse volume é destinada a atividades não potáveis, e pode ser substituída por efluentes devidamente tratados. Na rotina dos aeroportos, usos como sistemas de refrigeração, reserva contra incêndio, descarga de bacias sanitárias, lavagem de pátios e veículos e irrigação de áreas verdes podem ser executados a partir do reuso de águas cinza. Diante disso, a caracterização qualitativa e o conhecimento de aspectos relacionados à produção desse efluente em complexos aeroportuários, além do desenvolvimento de tecnologias que propiciem o tratamento do mesmo, são importantes objetos de pesquisa no contexto nacional e internacional.

Objetivos

Objetivo Geral

Avaliar o potencial e a viabilidade para reuso de águas cinza em ambientes aeroportuários para atender às demandas não potáveis, a partir de estudo realizado no Aeroporto Internacional Tancredo Neves, em Confins, Minas Gerais.

Objetivos Específicos

Caracterizar qualitativamente as águas cinza produzidas no complexo aeroportuário;

Avaliar os aspectos relacionados à geração de águas cinza nos edifícios instalados no Aeroporto Internacional Tancredo Neves (AITN);

Operar e monitorar unidade de tratamento frente às águas cinza geradas no AITN;

Estudar a possibilidade de reuso das águas cinza tratadas nas atividades exercidas no AITN a partir de normas e legislações nacionais e internacionais;

Avaliar os custos envolvidos na operação da unidade de tratamento de águas cinza proposta.

Contextualização e Justificativa

Reuso de águas cinza

A cada ano aumenta mais a pressão sobre os recursos hídricos para satisfazer a demanda de diversas atividades exercidas pela sociedade, e dessa forma, as fontes de abastecimento de muitos locais vão se aproximando do limite de captação. A existência de usos conflitantes, cada vez mais exigentes, também contribui significativamente para esse cenário preocupante em relação à disponibilidade hídrica.

Nesse contexto, o reuso de águas cinza para fins não potáveis representa uma das principais alternativas na busca pela redução do consumo de água. Segundo Gilboa e Friedler (2008), o reuso de águas cinza mostra-se atrativo, uma vez que esse efluente possui menores concentrações de poluentes, e, no entanto, representa grande parte do volume de esgoto doméstico, representando de 50% a 80% do total gerado em residências (Friedler e Hadari 2006, Li et al 2009). As águas cinza estão relacionadas à ideia de segregação de efluentes na fonte onde são produzidos, objetivando com isso, facilitar o tratamento e reuso desse efluente. Hernández Leal et al (2010) discutem o conceito de saneamento descentralizado e reuso, que propõe a separação do esgoto doméstico em águas negras (efluentes de bacias sanitárias) e águas cinza, visando um tratamento mais específico de cada tipo de efluente, e obtendo recursos que seriam desperdiçados. Além disso, diversos trabalhos vêm discutindo a adoção de fontes descentralizadas de água (Al-Jayyousi 2004; Battilani et al 2010; Domènech e Saurí 2010; Hurlimann 2011; Mankad e Tapsuwan 2011), que consistem na captação, tratamento e reuso de águas cinza e águas negras e aproveitamento de águas pluviais. Essa prática caracteriza-se pelo aproveitamento local das diferentes fontes citadas, ou seja, o reuso em locais próximos à fonte. Dentro desse raciocínio, Friedler e Gilboa (2010) afirmam que sistemas de reuso de águas cinza são adequados para utilização local, através da instalação de unidades de tratamento em residências e/ou em edifícios residenciais e comerciais. Dessa forma, o efluente tratado pode ser utilizado em atividades do próprio local, como

lavagens de áreas externas, irrigação de jardins e descargas sanitárias. Maimon et al (2010) corroboram com a ideia de que as águas cinza podem ter papel relevante na economia de água em algumas regiões, e ainda afirmam que o reuso desse efluente aplicado para fins não potáveis vai de encontro às premissas de sustentabilidade e ao conceito de conservação de água.

Critérios de segurança à saúde, aceitação por parte do usuário e viabilidade econômica devem ser respeitados no reuso de águas cinza, e diversos fatores estão relacionados a esse atendimento. A qualidade da água de abastecimento é determinante na qualidade do efluente bruto, que juntamente com o uso a que se pretende destinar a água cinza tratada, deve influenciar a escolha da tecnologia de tratamento.

A qualidade requerida para que a água cinza tratada possa ser reutilizada em uma determinada atividade deve respeitar padrões existentes nas normas que regulamentam o reuso de efluentes. Em todo o mundo, poucas normas estabelecem limites exclusivos para o reuso de águas cinza, o que pode dificultar a adoção dessa prática (Lazarova et al 2003). Entretanto, normas que regulamentam o reuso de efluentes domésticos podem ser utilizadas. A Tabela 1 apresenta os valores indicados por diversas regulamentações em todo o mundo.

Tabela 1 - Limites estabelecidos para reuso de efluentes em atividades não potáveis

	Turbidez (uT)	SST (mg.L ⁻¹)	DBO ₅ (mg.L ⁻¹)	Coliformes totais (NMP/100mL)	Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	Cloro livre (mg.L ⁻¹)
Arizona¹	2 (méd) 5 (máx)	-	-	-	ND (méd) 23 (méd)	-
Califórnia¹	2 (méd) 5 (máx)	-	-	2,2 (méd) 23 (máx)	-	-
Flórida¹	-	5	20	-	ND (méd) 25 (máx)	-
Havaii¹	2	-	-	-	2,2 (méd) 23 (máx)	-
Nevada¹	-	-	30	-	2,2 (méd) 23 (máx)	-
Texas¹	3	-	5	-	20 (méd) 75 (máx)	-
Washington¹	2 (méd) 5 (máx)	30	30	2,2 (méd) 23 (máx)	-	-
Austrália²	-	<10 (90%) 20 (máx)	<10 (90%) 20 (máx)	< 1	<10 (90%) 30 (máx)	0,5 - 2,0 (90%) 2,0 (máx)
Japão³	5	-	10	< 10	< 10	-
Alemanha³	2	-	20	100	500	-
Canadá⁴	2 (méd) 5 (máx)	<10 (méd) <20 (máx)	<10 (méd) <20 (máx)	ND (méd) < 200 (máx)	ND (méd) < 200 (máx)	> 0,5
OMS⁵	-	-	-	1000 (m) 200 (g)	-	-

Fonte: 1) Agência de Proteção Ambiental dos EUA - EPA (2004); 2) Secretaria de Saúde do Estado de NSW, Austrália - NSW Health (2002); 3) Al-Jayyousi (2003); 4) Ministério da Saúde do Canadá - MHC (2010); 5) Organização Mundial da Saúde - WHO (2006).

Percebe-se pela Tabela 1 que os valores sugeridos podem variar muito de um lugar para o outro, e até mesmo dentro de um país cada estado pode apresentar suas especificações, como é o caso dos Estados Unidos da América. Essa diferença entre os padrões mencionados pode refletir diferenças entre a demanda de cada região, e também aspectos sociais e culturais inerentes a cada local (Li et al 2009). Na Tabela 1, os limites estabelecidos pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA 2004), pela Secretaria de Saúde do estado de NSW, na Austrália (NSW Health 2002) e pelo Ministério da Saúde do Canadá (MHC 2010) são referentes à

reutilização de efluentes em descargas de bacias sanitárias. Os limites impostos pela Organização Mundial da Saúde (OMS) dizem respeito ao reuso de efluentes na irrigação. Já os valores apresentados por Al-Jayyousi (2003) tratam de reuso de efluentes em atividades não potáveis, não sendo especificado o uso.

No Brasil, a NBR 13969 de 1997 define diferentes níveis de padrões de qualidade da água para reuso, baseadas em classes que se enquadram as diversas atividades passíveis de aplicação das águas residuárias devidamente tratadas, sendo elas:

- Classe 1: lavagem de veículos e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador incluído chafarizes;
- Classe 2: lavagens de pisos, calçadas e irrigação de jardins, manutenção de lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes;
- Classe 3: reuso nas descargas de vasos sanitários;
- Classe 4: reuso em pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.

Na Tabela 2 são apresentados os valores indicados para cada classe.

Tabela 2 - Limites estabelecidos pela NBR 13969/1997 para as 4 classes de atividades não potáveis

	Turbidez (uT)	Coliformes Fecais (NMP/100mL)	Sólidos Dissolvidos (mg.L⁻¹)	pH	Cloro livre (mg.L⁻¹)	OD (mg.L⁻¹)
Classe 1	5	< 200	< 200	Entre 6 e 9	Entre 0,5 e 1,5	-
Classe 2	5	< 500	-	-	> 0,5	-
Classe 3	10	< 500	-	-	-	-
Classe 4	-	< 500	-	-	-	> 2,0

As águas cinza devidamente tratadas podem ser reutilizadas em diferentes atividades não potáveis, como descarga de bacias sanitárias, pias de banheiro, irrigação de áreas verdes, lavagem de veículos, limpeza de

calçadas e pátios, compactação do solo, recarga de aquíferos e harmonia paisagística, como em chafarizes e espelhos d'água. (Eriksson et al 2002; Liu et al 2010; Hernández Leal et al 2011).

Em todo o mundo, o reuso desse efluente vem crescendo em muitas das atividades mencionadas. Na Austrália, uma política de saneamento incentiva a implantação de sistemas de tratamento e reuso de águas cinza em edifícios residenciais e comerciais. Este programa pretende aumentar em 70% o número de sistemas até 2015 (Pinto et al 2010). Em Barcelona, Espanha, sistemas de reutilização de águas cinza vêm sendo implantados em novos edifícios. O principal motor dessa tendência foi a aprovação de uma legislação local que visa a economia de água e a utilização de fontes alternativas para atender a demanda. O programa estabelece que os usuários devam assumir responsabilidades na gestão dos recursos hídricos e a instalação de sistemas de tratamento e reutilização de águas cinza passou a ser uma premissa básica para edifícios residenciais (Domènech e Saurí, 2010). No estado de Madhya Pradesh, na Índia, sistemas para o tratamento de águas cinza compostos de sedimentação, filtração e cloração, já foram instalados em 200 escolas, sendo que 412 escolas devem contar com o tratamento (Godfrey et al 2009). As águas cinza tratadas têm sido utilizadas em descarga de sanitários, na limpeza das escolas e na irrigação de jardins. Os responsáveis pelo projeto afirmam que, contabilizando os custos de construção, operação e manutenção dos sistemas, os benefícios ambientais e os ganhos relacionados à saúde proporcionados pelo reuso de águas cinza tratadas podem ser estimados em U\$1.035,00 e U\$18.668,00 por ano, respectivamente.

Diante do que foi exposto, percebe-se que o reuso de águas cinza pode propiciar significativa economia de água e de recursos financeiros, sendo respeitados os diversos fatores operacionais e também aspectos sociais relativos a cada região. Friedler e Hadari (2006) estudando a viabilidade econômica do reuso de águas cinza em edificações, reforçam a afirmação anterior, ao concluírem que essa prática é muito atrativa, apresentando relação custo benefício satisfatória, sem oferecer risco à saúde dos usuários.

Tecnologias de tratamento de águas cinza

A definição do tipo de tratamento a ser empregado a um efluente passa pela análise das características do mesmo, além do conhecimento dos requisitos de qualidade exigidos para o reuso em determinada atividade, ou para o lançamento em corpos d'água.

Diversos processos e tecnologias podem ser utilizados para o reuso de águas servidas, devido à grande variabilidade de fontes de efluentes que podem ser reutilizados, e também graças às inúmeras atividades que podem ser exercidas através do reuso.

As tecnologias aplicadas ao tratamento de águas cinza incluem processos físicos, químicos e biológicos, sendo que a maioria deles é constituída por uma etapa de separação sólido líquido, seguida por uma etapa de desinfecção (Li et al, 2009). Uma das maiores dificuldades enfrentadas para o tratamento desse efluente são as grandes variações na qualidade em um mesmo ponto (Al-Jayyousi 2003) e no volume gerado ao longo do dia. Portanto, sistemas utilizados devem resistir a essas variações, ou tanques de equalização devem ser inseridos ao sistema (Abu Ghunmi et al, 2010).

Os processos físicos de tratamento de águas cinza, em grande parte das vezes, são constituídos por filtros de areia e filtração por membranas, geralmente seguidos por sistema de desinfecção. March et al (2004), em estudo visando a reutilização de águas cinza em descarga de bacias sanitárias de um hotel em Mallorca, Espanha, avaliaram sistema composto por sedimentação, filtração por meio de filtro de tela de nylon e desinfecção com hipoclorito de sódio. Variáveis como DQO, turbidez e sólidos suspensos foram reduzidas de 171 mg.L⁻¹, 20 uT e 44 mg.L⁻¹ para 78 mg.L⁻¹, 16,5 uT e 18,6 mg.L⁻¹, apresentando 54%, 17,5% e 58% de eficiência de remoção. Segundo os autores, as características do efluente proporcionaram boa aceitação por parte dos hóspedes do hotel, mesmo estando aquém dos valores estabelecidos para água potável. Investigando a utilização de ultra filtração por membranas com poros de 0,05 µm para tratamento de águas cinza originadas de lavanderias, Sostar-Turk et al (2005) obtiveram redução de DBO de 195 mg.L⁻¹ para 86 mg.L⁻¹, valor ainda elevado para o reuso não

potável, apesar dos 56% de remoção. Li et al (2009) afirmam que sistemas físicos de tratamento podem apresentar elevado consumo de energia, consistindo em sua maior limitação. Além disso, os autores dizem que quando utilizados isoladamente, os processos físicos não são suficientes para propiciar o reuso com segurança, uma vez que as concentrações de sólidos e matéria orgânica não são reduzidos suficientemente para tal.

Em relação aos processos químicos de tratamento, poucos sistemas são relatados na literatura para o tratamento de águas cinza. De acordo com Li et al (2009), os principais tratamentos químicos aplicados à esse efluente são coagulação, troca-iônica e carvão ativado. Pidou et al (2008) conduziram estudo que fez uso dos processos de coagulação e troca iônica por meio de resina magnética. Em condições ótimas, e utilizando os dois processos mencionados, com a coagulação realizada com sais de alumínio, o sistema reduziu as concentrações de DQO, DBO e turbidez de 791 mg.L^{-1} , 205 mg.L^{-1} e $46,6 \text{ uT}$ para 247 mg.L^{-1} , 27 mg.L^{-1} e $3,01 \text{ uT}$, com eficiências de remoção de 69%, 87% e 94%, respectivamente. A utilização de sais de ferro na coagulação propiciou a obtenção de resultados semelhantes. As águas cinza tratadas obtidas a partir do sistema descrito atenderam algumas normas de reuso, entretanto não atingiram os valores exigidos pelas normas mais restritivas. Sostar-Turk et al (2005), avaliaram sistema combinado composto por coagulação, filtro de areia e carbono ativado para o tratamento de águas cinza oriundas de lavanderias. As concentrações de DQO, DBO e sólidos suspensos foram de 280 mg.L^{-1} , 195 mg.L^{-1} e 35 mg.L^{-1} para 20 mg.L^{-1} , 10 mg.L^{-1} e 5 mg.L^{-1} .

Apesar de os processos químicos citados, quando utilizados no tratamento de águas cinza, não atenderem às normas mais rigorosas sem um tratamento posterior, muitas vezes, limites mais permissivos são aceitos, e nesse contexto, os processos químicos podem ter papel importante, até mesmo como opção ao tratamento biológico (Pidou et al 2008).

O tratamento biológico para águas cinza é aplicado para a remoção da matéria orgânica biodegradável existente no efluente. Vários sistemas biológicos têm sido estudados para o tratamento de águas cinza, dentre

eles: reator UASB (Elmitwalli e Otterpohl 2007), alagados construídos (Li et al 2003; Gross et al 2007) e biorreator de membranas (Lesjean e Gnirss 2006). Li et al (2009), ao avaliarem diferentes sistemas de tratamento biológico, afirmam que os processos aeróbios apresentam grande eficiência na remoção de material biodegradável, e conseqüentemente, problemas como o crescimento de microrganismos patogênicos e odores desagradáveis são evitados, fazendo com que o efluente tratado possa ser armazenado por mais tempo, o que representaria uma vantagem em termos de reuso. Já Hernández Leal et al (2011) afirmam que os sistemas de tratamento biológico anaeróbios apresentam-se como alternativa interessante devido ao reduzido custo e a possibilidade de aproveitamento de energia. O mesmo autor reforça a aplicabilidade de sistemas anaeróbios para o tratamento de águas cinza, devido às reduzidas concentrações de nutrientes, fato esse que poderia limitar a eficiência de sistemas aeróbios.

No que diz respeito à desinfecção, os principais processos relatados na literatura são a cloração e a desinfecção por radiação ultravioleta. Em ambos os processos, é necessário que as águas cinza passem por tratamento anterior a fim de reduzir as concentrações de sólidos suspensos e matéria orgânica. March e Gual (2009), estudando a desinfecção de águas cinza por cloração, afirmam que o decaimento de cloro residual é acelerado na presença de partículas orgânicas, e que o pré-tratamento pode reduzir o consumo do agente desinfetante. Isso acontece porque a matéria orgânica presente no efluente reage com o cloro residual livre, consumindo-o, e limitando a eficiência da desinfecção (Winward et al 2008). No caso da desinfecção ultravioleta, os sólidos suspensos existentes no efluente podem dissipar a radiação, protegendo os microrganismos e reduzindo a eficiência do processo (Brahmi et al 2010). Gilboa e Friedler (2008) estudaram o crescimento de microrganismos em águas cinza submetidas à radiação ultravioleta, e afirmaram que existe a possibilidade de microrganismos que podem causar danos ambientais e oferecer riscos à saúde resistirem à desinfecção e se desenvolverem nas águas cinza tratadas armazenadas, o que reforça a necessidade de remoção de partículas suspensas e matéria orgânica, com o intuito de potencializar a eficiência da desinfecção e

minimizar os riscos citados. Friedler e Gilboa (2010) apresentam como principais vantagens da desinfecção ultravioleta, a não utilização de produtos químicos, a efetiva remoção de uma série de organismos patogênicos, dentre os quais, muitos são resistentes ao cloro, a não formação de subprodutos, e a maior segurança operacional.

Uso racional de água e reuso de águas cinza em aeroportos

Os ambientes aeroportuários consomem grandes volumes de água para a manutenção de sua infraestrutura e para a rotina operacional, sendo que grande parte dessa água é destinada a atividades que não necessitam de água potável para sua realização, tais como sistemas de resfriamento de água, irrigação de áreas verdes, lavagem de pistas, pátios e aeronaves, teste de bombeiros, uso em descargas de sanitários e mictórios e reserva de combate a incêndios (Calijuri et al 2011).

Em nível mundial, grandes complexos aeroportuários consomem água na mesma proporção de pequenos e médios municípios. O Aeroporto Internacional de Atlanta (Hartsfield-Jackson), no ano de 2009, apresentou fluxo de passageiros de 88 milhões de pessoas, e consumo de água equivalente a uma cidade de 15 mil habitantes (HAIA 2009). O Aeroporto de Londres – Heathrow, no ano de 2010 consumiu 1.852.000 m³ de água em suas atividades, o que equivale a um consumo de 25 mil pessoas, sendo que o fluxo de passageiros foi de 66 milhões de pessoas (LHA 2010). Já no aeroporto internacional de Narita, no Japão, com movimento de 33 milhões de passageiros, o consumo de água teve equivalente populacional de 24 mil pessoas em 2010 (NIAC 2010).

No Brasil, 20 aeroportos concentram 91% do movimento de passageiros, sendo que 16 desses aeroportos são internacionais. Esses 20 aeroportos são responsáveis por 85% do consumo de água do setor, com 3,9 milhões de metros cúbicos consumidos (Calijuri et al 2011).

Diversas iniciativas que visam o uso racional da água e a redução do consumo são colocadas em prática em aeroportos por todo o mundo. Essas medidas consistem em monitoramento do consumo, controle de

vazamentos, utilização de equipamentos economizadores e o reuso de efluentes gerados no aeroporto.

O Aeroporto Internacional Hartsfield-Jackson, em Atlanta, entre 2008 e 2009, reduziu o volume de água consumido em suas atividades em 18%, através da substituição de equipamentos hidrossanitários com defeito, da utilização de plantas com menor demanda hídrica nas áreas verdes e do aproveitamento de água pluvial (HAIA 2009). Em Londres, o aeroporto internacional Heathrow, também procedeu à substituição de equipamentos hidrossanitários defeituosos e o aproveitamento de água de chuva, além da identificação de pontos de vazamento na tubulação e correção das avarias encontradas. Com isso obteve redução de 21% no consumo de água (LHA 2010).

Com relação ao reuso de águas cinza, poucos aeroportos segregam esse efluente do restante do esgoto doméstico. No entanto, essa pratica vem crescendo também nesses ambientes, e alguns exemplos podem ser citados. Em Narita, as águas cinza originadas nas pias de cozinha passam por uma estação de tratamento de efluentes, e em seguida são reutilizadas nas descargas de bacias sanitárias em banheiros do terminal de passageiros (NIAC 2010). Na Figura 1 é apresentado o esquema de reuso de águas cinza no Aeroporto Internacional de Narita.

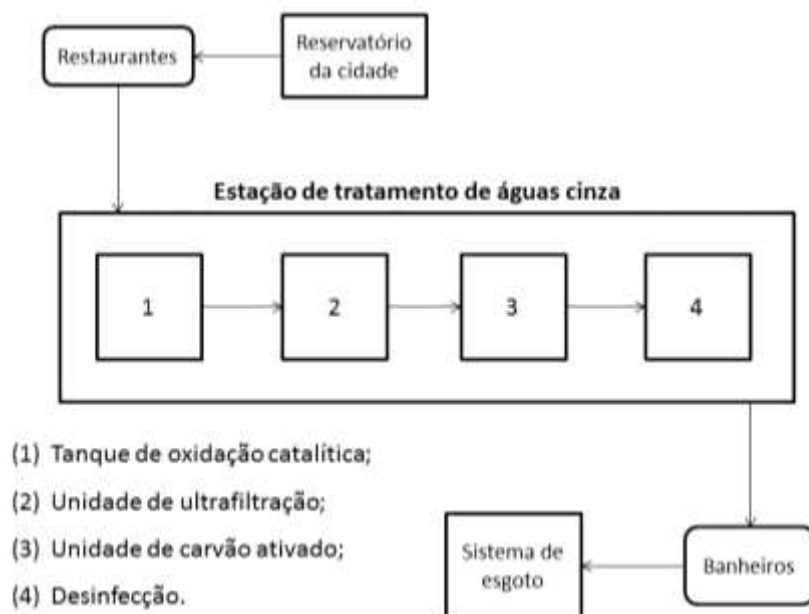
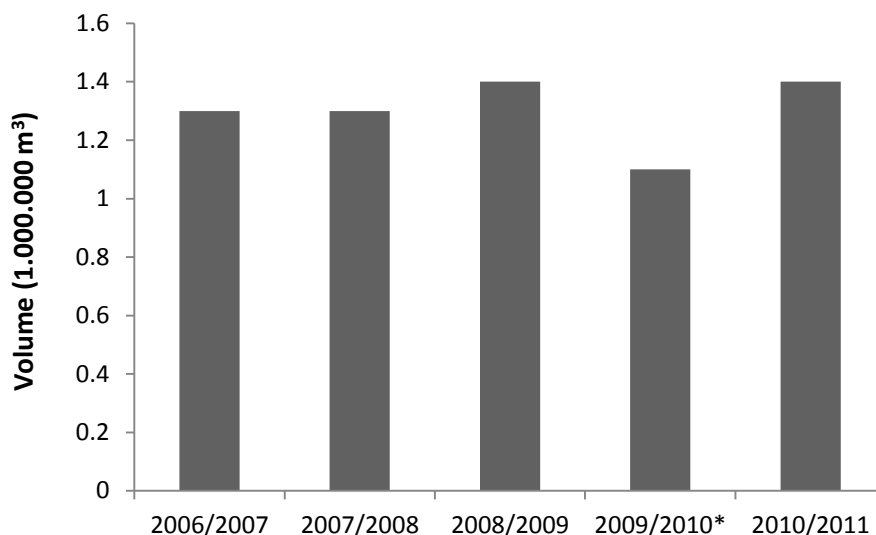


Figura 1 - Esquema da unidade de tratamento e reúso de águas cinza no aeroporto de Narita, Japão.

Fonte: Adaptado de NIAC (2010).

No aeroporto de Hong Kong, as águas cinza oriundas de pias de cozinha e de lavanderias são tratadas e reutilizadas na irrigação de áreas verdes. A estação de tratamento de águas cinza comporta 1,4 milhões de metros cúbicos de efluente e supri toda a demanda de irrigação existente nesse aeroporto. Para o ano de 2012, está prevista a instalação de um reator biológico de membranas, com o intuito de melhorar ainda mais a qualidade da água cinza tratada (HKIA 2010). O volume de água cinza tratado e reutilizado no Aeroporto de Hong Kong nos últimos anos é apresentado na Figura 2.



*2009/2010 o tratamento foi afetado por reparos na tubulação entre janeiro e março de 2010.

Figura 2 - Volume de águas cinza tratadas no aeroporto de Hong Kong.

Fonte: Adaptado de HKIA 2010.

No aeroporto Leonardo da Vinci, em Roma na Itália, os efluentes das pias de cozinha da empresa responsável pelo preparo dos alimentos servidos nas aeronaves são coletados, e após processos físicos de separação da fração gordurosa, são tratados juntamente com o esgoto doméstico em unidades de lodos ativados. O efluente tratado é reutilizado na irrigação de áreas verdes, em descarga de vasos sanitários, em sistemas de refrigeração de ar e na reserva contra incêndio (RLVA 2009). A Figura 3 apresenta o esquema de tratamento de águas cinza e esgoto bruto no aeroporto de Roma.

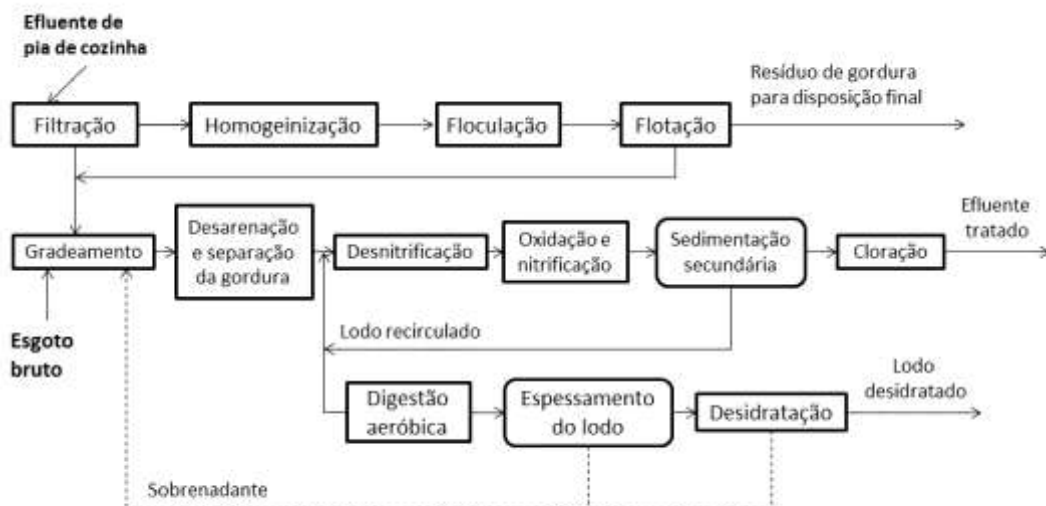


Figura 3 - Estação de tratamento de efluentes do aeroporto de Roma.

Fonte: Adaptado de RLVA 2009.

No aeroporto de Dubai, nos Emirados Árabes Unidos, águas cinza são reutilizadas para lavagem de veículos das empresas ligadas a serviços de engenharia. Após o reuso, as águas cinza são encaminhadas à estação de tratamento de efluentes, que trata 80 m³ de efluente diariamente (DIA 2004).

No aeroporto Hilton, em Manchester, na Inglaterra, é previsto para 2015 a implantação de sistemas de reuso de águas cinza e aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis, reduzindo o consumo de água, e disponibilizando água potável apenas para usos potáveis e de emergência (MA, 2007).

No âmbito nacional, a gestão dos recursos hídricos exercida no Aeroporto Internacional do Galeão – Antônio Carlos Jobim (AIRJ), no Rio de Janeiro, merece destaque. Esse aeroporto é o quarto mais movimentado do país, com 11,7 milhões de passageiros por ano, e o primeiro em consumo de água, com 23% do consumo dos aeroportos geridos pela INFRAERO. Entretanto, muito embora o consumo ainda seja elevado, o Aeroporto do Galeão conseguiu significativa redução no consumo de água. Em 2001, esse aeroporto consumia 150.000 m³ de água/mês. Em 2009, com aumento de 98% no número de passageiros em relação a 2001, o consumo mensal de água foi de 90.000 m³ (Calijuri et al 2011).

Diversas medidas implantadas em conjunto permitiram essa redução considerável no consumo de água do AIRJ. Melhorias na infraestrutura da rede de água e hidrometração nos pontos de consumo permitiram a redução de vazamentos e a minimização do desperdício. Além disso, o aproveitamento de água pluvial também é utilizado no Aeroporto do Galeão. Em 2009, a INFRAERO e a empresa responsável pela gestão dos recursos hídricos do aeroporto, implementaram a captação que atualmente é feita em uma área de telhado com aproximadamente 13.000 m², localizada nas coberturas das edificações da área de apoio do AIRJ. O volume estimado de captação é de 1.500 m³ mensais de água, que é tratado juntamente com esgoto doméstico e utilizado em atividades de reuso, como água de make-up (água de reposição) dos sistemas de refrigeração (Pizzato e Alves 2010).

O sistema de reuso de água consiste no aproveitamento do efluente proveniente do tratamento de esgoto. Este efluente é misturado com aproximadamente 8 m³/h de água de chuva e/ou água dos poços, afim de atingir a eficiência máxima de produção do reuso, que é de 20 m³/h. A adição de água de chuva ou água de poços, além de diluir o efluente, e com isso elevar o tempo de limpeza dos filtros, aumenta o volume disponível para o reuso. Essa mistura passa por um pré-tratamento onde ocorre coagulação, filtração em filtros de areia, filtração em filtros de carvão ativado e, em seguida, o efluente é conduzido para o sistema de separação por membranas, osmose reversa, que resulta em água de excelente qualidade e apta a abastecer as torres de resfriamento com toda a segurança requerida (Pizzato e Alves 2010). Como mencionado anteriormente, todas essas medidas possibilitam redução nos custos referentes ao abastecimento de água, e tornam o AIRJ referência nacional na gestão de recursos hídricos.

As informações discorridas acima mostram que o uso racional de água em ambientes aeroportuários pode propiciar economia de recursos financeiros e ganhos ambientais. A prática do reuso deve ser sempre considerada e avaliada em programas de uso consciente em complexos aeroportuários, uma vez que o preço da água reciclada mostra-se competitivo em relação ao da água potável. Nesse contexto, as águas cinza representam importante fonte alternativa de água, com crescente utilização em aeroportos.

Referências Bibliográficas

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13969/1997. Tanques sépticos - unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

Abu Ghunmi, L., Zeeman, G., Fayyad, M., van Lier, J. B. Grey water treatment in a series anaerobic – Aerobic system for irrigation. *Bioresource Technology*, 101. pp. 41 – 50. 2010.

Al-Jayyousi, O. Greywater reuse: knowledge management for sustainability. *Desalination*, 167. pp. 27 – 37. 2004.

Al-Jayyousi, O. R. Greywater reuse: towards sustainable water management. *Desalination*, 156. pp. 181 – 192. 2003.

Battilani, A., Steiner, M., Andersen, M., Back, S. N., Lorenzen, J., Schweitzer, A., Dalsgaard, A., Forslund, A., Gola, S., Klopman, W., Plauborg, F., Andersen, M. N. Decentralised water and wastewater treatment technologies to produce functional water for irrigation. *Agricultural Water Management*, 98. pp. 385 – 402. 2010.

Brahmi, M., Belhadi, N. H., Hamdi, H., Hassen, A. Modeling of secondary treated wastewater disinfection by UV irradiation: Effects of suspended solids content. *Journal of Environmental Sciences*, 22 (8). pp. 1218 – 1224. 2010.

Calijuri, M. L., Santiago, A. F., Alves, H. O., Moreira Neto, R. F. Silva, M. D. F. M. Experiências com o Uso Racional da Água e Possibilidades de Minimização com Reuso em Aeroportos de Grande Circulação. In: Wilson Cabral Souza Junior & Elaine Nolasco Ribeiro. (Org.). *Uso Eficiente de Água em Aeroportos*. 1 ed. São Carlos, SP: Rima, 2011, v. 1, p. 1-300.

DIA, DUBAI INTERNATIONAL AIRPORT. Public Environmental Report 2003-2004.

Domènech, L., Saurí, D. Socio-technical transitions in water scarcity contexts: Public acceptance of greywater reuse technologies in the

Metropolitan Area of Barcelona. Resources, Conservation and Recycling, 55. pp. 53 – 62. 2010.

Elmitwalli, T. A., Otterpohl, R. Anaerobic biodegradability and treatment of grey water in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. Water Research, 41. pp. 1379 – 1387. 2007.

Eriksson, E.; Auffarh, K. Henze, M. Ledin, A. Characteristics of grey wastewater. Urban Water, 4. pp. 85 – 104. 2002.

Friedler, E., Gilboa, Y. Performance of UV disinfection and the microbial quality of greywater effluent along a reuse system for toilet flushing. Science of the Total Environment, 408. pp. 2109 – 2117. 2010.

Friedler, E., Hadari, M. Economic feasibility of on-site greywater reuse in multi-storey buildings. Desalination, 190. pp. 221 – 234. 2006.

Gilboa, Y., Friedler, E. UV disinfection of RBC-treated light greywater effluent: Kinetics, survival and regrowth of selected microorganisms. Water Research, 42. pp. 1043 – 1050. 2008.

Godfrey, S., Labhasetwar, P., Wate, S. Greywater reuse in residential schools in Madhya Pradesh, India—A case study of cost–benefit analysis. Resources, Conservation and Recycling, 53. pp. 287 – 293. 2009.

Gross, A., Shmueli, O., Ronen, Z., Raveh, E. Recycled vertical flow constructed wetland (RVFCW) — a novel method of recycling greywater for irrigation in small communities. Chemosphere, 66(5). pp.916 – 923. 2007.

HAIA, HARTSFIELD-JACKSON ATLANTA INTERNATIONAL AIRPORT. Annual Environment Report (2009).

Hernández Leal, L., Temmink, H., Zeeman, G., Buinman, C. J. N. Bioflocculation of grey water for improved energy recovery within decentralized sanitation concepts. Bioresource Technology, 101. pp. 9065 – 9070. 2010.

Hernández Leal, L., Temmink, H., Zeeman, G., Buisman, C. J. N. Characterization and anaerobic biodegradability of grey water. *Desalination*, 270. pp. 111 – 115. 2011.

HKIA, HONG KONG INTERNATIONAL AIRPORT. Water manegement (2010).

Hurlimann, A. Household use of and satisfaction with alternative water sources in Victoria Australia. *Journal of Environmental Management*, 92. pp. 2691 – 2697. 2011.

Lazarova, V., Hills, S., Birks, R. Using recycled water for non-potable, urban uses: a review with particular reference to toilet flushing. *Water Science and Technology Water supply*, 3 (4). pp. 69–77. 2003.

Lesjean, B., Gnirss, R. Grey water treatment with a membrane bioreactor operated at low SRT and low HRT. *Desalination*, 199. pp. 432 – 434. 2006.

LHA, LONDON HEATHROW AIRPORT. Towards a sustainable Heathrow (2010).

Li, F., Wichmann, K., Otterpohl, R. Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of the Total Environment*, 407. pp. 3439 – 3449. 2009.

Li, Z., Gulyas, H., Jahn, M., Gajurel, D. R., Otterpohl, R. Greywater treatment by constructed wetland in combination with TiO₂-based photocatalytic oxidation for suburban and rural areas without sewer system. *Water Science & Technology*, 48(11). pp. 101 – 106. 2003

Liu, S., Butler, D., Memon, F. A., Makropoulos, C., Avery, L., Jefferson, B. Impacts of residence time during storage on potential of water saving for grey water recycling system. *Water Research*, 44. pp. 267-277. 2010.

MA, MANCHESTER AIRPORT. Manchester Airport Master Plan to 2030 (2007).

Maimon, A., Tal, A., Friedler, E., Gross, A. Safe on-site reuse of greywater for irrigation – A critical review of current guidelines. *Environmental Science and Technology*, 44 (9), pp. 3213-3220. 2010.

Mankad, A., Tapsuwan, S. Review of socio-economic drivers of community acceptance and adoption of decentralised water systems. *Journal of Environmental Management*, 92. pp. 380 – 391. 2011.

March, J. G., Gual, M. Studies on chlorination of greywater. *Desalination*, 249. pp. 317 – 322. 2009.

March, J. G., Gual, M., Orozco F. Experiences on greywater re-use for toilet flushing in a hotel (Mallorca Island, Spain). *Desalination*, 164(3). pp. 241 – 247. 2004.

MHC, Canadian Guidelines for domestic reclaimed water for use in toilet and urinal flushing. Minister of Health Canada. Ottawa, Ontario. 2010.

Misra, R. K., Patel, J. H., Baxi, V. R. Reuse potential of laundry greywater for irrigation based on growth, water and nutrient use of tomato. *Journal of Hydrology*, 386. pp. 95 – 102. 2010.

NIAC, NARITA INTERNATIONAL AIRPORT CORPORATION. 2010. Narita Airport Environment Report 2010.

NSW HEALTH. Greywater reuse in Sewered single domestic premises. Sidney, 2002. Disponível em: <http://www.health.nsw.gov.au/publichealth/ehb/general/wastewater/greywater_policy.pdf> Acesso em: 08 set 2011.

Pidou, M., Avery, L., Stenphenson, T., Jeffrey, P., Parsons, S. A., Liu, S., Memon, F. A., Jefferson, B. Chemical solutions for greywater recycling, 71. pp. 147 – 155. 2008.

Pinto, U. e Maheswari, B. L., Grewal, H. S. Effects of greywater irrigation on plant growth, water use and soil properties. *Resources, Conservation and Recycling*, 54. pp. 429 – 435. 2010.

Pizzato, M.; Alves, N. Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos no Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro – Galeão. Revista Meio Filtrante. ed. 45. 2010.

RLVA, ROME LEONARDO DA VINCI AIRPORT. Environment Report 2008 (2008).

Santos, C., Taveira-Pinto, F., Cheng, C. Y., Leite, D. Development of an experimental system for greywater reuse, Desalination (2011), doi:10.1016/j.desal.2011.10.017

Sostar-Turk, S. Petrinic, I., Simonic, M. Laundry wastewater treatment using coagulation and membrane filtration. Resources, Conservation and Recycling, 44. pp. 185 – 196. 2005.

USEPA – United States Environmental Protection Agency, Manual: Guidelines for water reuse, Washington. DC: 2004. (EPA/625/R-04/108).

WHO - World Health Organization. Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volume 2: Wastewater and Excreta Use in Agriculture. Geneva. 2006.

Winward, G. P., Avery, L. M., Stephenson, T., Jefferson, B. Chlorine disinfection of grey water for reuse: Effect of organics and particles. Water Research, 42. pp. 483 – 491. 2008.

Artigo 1 - Caracterização Quanti – qualitativa de Águas Cinza em Ambientes Aeroportuários

Resumo

A escassez hídrica é apontada como um dos principais problemas a serem enfrentados pela humanidade nos próximos anos. Frente a esse panorama, o reuso de águas cinza surge como alternativa para a redução do consumo de água. Complexos aeroportuários são grandes consumidores de água, em que a adoção de práticas de reuso, de acordo com as peculiaridades de cada aeroporto, pode representar significativa economia de recursos financeiros e ambientais. O objetivo desse trabalho foi caracterizar as águas cinza produzidas em ambientes aeroportuários, e dessa forma, avaliar o potencial para o reuso desse efluente em aeroportos. O estudo foi desenvolvido no Aeroporto Internacional Tancredo Neves, em Confins, Minas Gerais. Foi realizada caracterização qualitativa das águas cinza segregadas em diferentes locais do aeroporto. Os resultados das análises foram interpretados mediante estatística descritiva e multivariada. A produção de águas cinza foi estimada através da aplicação de questionários e entrevistas com os funcionários. Os dados obtidos foram confrontados com a demanda por água não potável nas atividades realizadas no aeroporto. Os resultados mostraram que as águas cinza produzidas no aeroporto são semelhantes às originadas em residências, e, portanto, podem ser facilmente tratadas para reuso. Para os edifícios estudados, a produção de águas cinza foi de 1.086,5 m³/mês, enquanto a demanda de água não potável é de 1.002,3 m³/mês, o que viabiliza o reuso em termos quantitativos, e pode possibilitar grande economia de água e recursos financeiros. Os resultados obtidos permitiram concluir que os ambientes aeroportuários possuem elevado potencial para reutilização de águas cinza.

Palavras-chave: Águas Cinza, Potencial para reuso, Caracterização, Ambientes Aeroportuários.

Abstract

Water scarcity is one of the main problems to be faced by the humanity in the near future. Considering the worldwide scenario, greywater reuse is seen as

an alternative to reduce potable water consumption. Airport environments are great water consumers and the adoption of reuse practices, according to the characteristics of each airport, can represent significant savings in financial and environmental resources. The objective of this study was to characterize the greywater produced in an airport environment and assess its potential for reuse. The study was carried out in Tancredo Neves International Airport, in Confins, Minas Gerais. The quality assessment of greywater produced in different locations of the airport was performed and the results were interpreted using descriptive and multivariate statistics. The greywater production was estimated by means of questionnaires and interviews with employees. The results were compared to the non-potable water demand of the airport and showed that the greywater produced in such environments is similar to that coming from households and can therefore be easily treated for reuse purposes. For all the buildings at the airport where questionnaires and interviews were carried out, the monthly greywater production was 1086.5 m³, whereas the monthly non-potable water demand was 1002.3 m³. Such results showed that greywater reuse is feasible in terms of volume produced and that it is possible to achieve great water and financial resources savings, thus leading to the conclusion that airport environments have great potential for greywater reuse.

Keywords: Greywater, Reuse Potential, Characterization, Airport Environments

Introdução

As águas cinza consistem em efluentes provenientes de lavatórios, chuveiros, banheiras, pias de cozinha, máquinas e tanques de lavar roupas (Ottoson e Stenstrom 2003; Liu et al 2010; Hernández Leal et al 2011). Esse tipo de efluente está relacionado ao conceito de saneamento descentralizado e reuso, que propõe a separação do esgoto doméstico em águas negras (efluentes de bacias sanitárias) e águas cinza, visando um tratamento mais específico de cada tipo de efluente, e obtendo recursos que seriam desperdiçados (Hernández Leal et al 2010).

Todavia, é preciso salientar que apesar da difusão do conceito de segregação do efluente na fonte, sua aplicação passa por estudos e avaliações das características do efluente gerado em cada conjunto de residências, ou em cada tipologia industrial, para que se adotem sistemas de tratamento e projetos de reuso adequados a cada situação. Eriksson et al (2002) afirmam que as características das águas cinza variam significativamente de acordo com a região e também ao longo do tempo. Lamine et al (2007) e Garland et al (2004) afirmam que os principais fatores que interferem na qualidade das águas cinza são a qualidade da água de abastecimento, o material que compõe a rede de distribuição, e as atividades exercidas em um determinado estabelecimento ou residência. As concentrações de algumas variáveis de qualidade, em estudos realizados em diferentes locais são exibidas na Tabela 3.

Tabela 3 - Características de águas cinza disponíveis na literatura

	Hernández Leal et al (2007)	Gross et al (2005)	Lamine et al (2007)	Halalsheh et al (2008)	Li et al (2009)	Winward et al (2008)
	Holanda	Israel	Tunísia	Jordânia	Alemanha	Inglaterra
DQO	1583	686	102	2568	700	86
DBO₅	-	270	97	1056	466	20
SST	-	-	33	845	183	29
NTK	47,8	14	8,1	128	34,3	-
N-NH₄⁺	16,4	-	6,7	75	-	-
P_{total}	9,9	18	-	19,5	22,8	-
<i>E. coli</i>	-	-	-	2,00E+05	8,03E+07	1,82E+05

DQO, DBO, SST, NTK, N-NH₄⁺ e P_{total} em mg.L⁻¹.
E. coli em NMP/100mL.

Na Tabela 1 os valores de DQO variaram de 86,0 mg.L⁻¹ a 2.568,0 mg.L⁻¹. A menor concentração foi encontrada em trabalho realizado na Inglaterra, enquanto a maior foi obtida na Jordânia. Diferentes aspectos relacionados a hábitos e costumes da população, podem interferir na concentração das variáveis nas águas cinza, o que justifica o fato do trabalho realizado na Holanda, que possui condições climáticas semelhantes a da Inglaterra, apresentar concentração de DQO de 1.583 mg.L⁻¹. Esse raciocínio apresentado para DQO pode ser extrapolado para as outras variáveis.

Já em relação aos aspectos quantitativos, sabe-se que o volume de águas cinza gerado em residências, atividades comerciais ou industriais varia de acordo com as características do local de estudo, como a quantidade de trabalhadores envolvidos no processo, a superfície e a frequência de limpeza das áreas, a existência de refeitório, dentre outras. Essas características também variam de acordo com a região, os costumes e o poder aquisitivo da população. De acordo com Al-Hamaiedeh e Bino (2010), 50 a 80% do volume de esgoto produzido em uma residência é composto por águas cinza. Hernández Leal et al (2011) afirmam que em residências onde sanitários a vácuo são instalados, esse valor pode chegar a 90%.

Entende-se que ambientes aeroportuários são grandes consumidores de água, uma vez que necessitam de grandes quantidades deste recurso para a execução de todas as atividades ligadas à manutenção de sua infraestrutura e operação. Muitos dos usos que compõe a demanda dos aeroportos consistem em fins não potáveis, tais como sistemas de resfriamento de água, irrigação, lavagem de pistas e aeronaves, teste de bombeiros e reserva para combate a incêndios dentre outros. Diante desse cenário, pode-se dizer que os aeroportos constituem-se em ambientes potenciais à implementação de medidas, processos e tecnologias que visem o uso racional da água, contexto em que se insere o reuso de águas cinza.

O objetivo dessa pesquisa foi avaliar e caracterizar os aspectos qualitativos e quantitativos das águas cinza produzidas em um complexo aeroportuário, para inferir sobre a potencialidade de reutilização desse efluente em aeroportos.

Metodologia

Área de estudo

A pesquisa foi desenvolvida no Aeroporto Internacional Tancredo Neves (AITN) localizado entre os paralelos 19°39' – 19°37' de latitude sul e 43°59' – 43°57' de longitude oeste, no município de Confins, a 35 km de Belo Horizonte, Brasil (Figura 4).

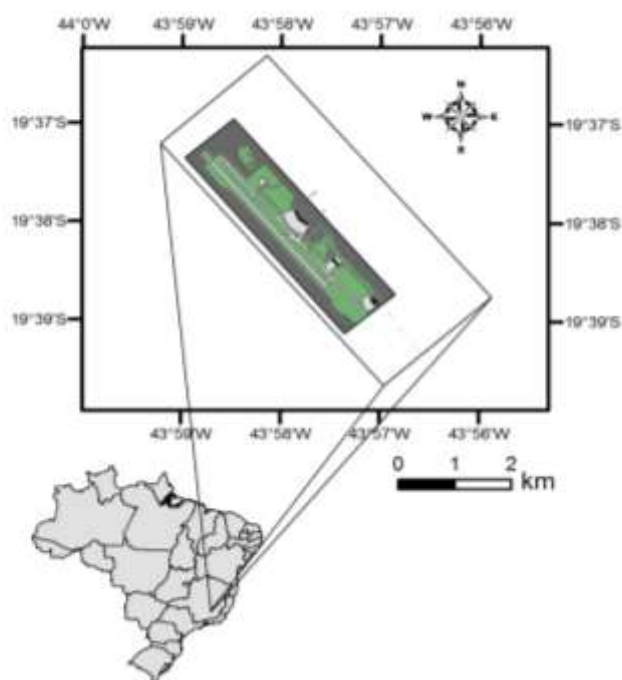


Figura 4 - Localização da área de estudo.

O AITN situa-se em região cárstica, em área de proteção ambiental denominada APA Carste Lagoa Santa. Essa área apresenta grande vulnerabilidade ambiental. A elevada permeabilidade do solo, que propicia rápida infiltração das águas de chuva, e consequentemente, grande disponibilidade de água, pode possibilitar também a rápida dispersão de poluentes, que em um curto espaço de tempo podem deteriorar a qualidade dos recursos hídricos em longas distâncias, devido à conectividade existente entre os aquíferos cársticos e a interação destes com as águas superficiais. Diante disso, fica evidente a necessidade ainda maior do uso racional de recursos hídricos nessa região.

Desde 2005, com uma sucessão de transferências de voos do Aeroporto Regional da Pampulha, em Belo Horizonte, o AITN vem passando por um aumento vertiginoso no número de passageiros. Esse aumento pode interferir diretamente no aumento do consumo de água. No ano de 2010, o AITN recebeu 7.261.000 passageiros e consumiu 217.460m^3 de água, valor esse 18% superior ao volume consumido no ano de 2009, que o coloca em

quinto lugar em consumo de água entre os aeroportos brasileiros, segundo informações da INFRAERO (INFRAERO, 2009).

O fluxo de passageiros e o consumo de água no AITN tendem a aumentar nos próximos anos, devido à Copa do Mundo de futebol em 2014 e as Olimpíadas em 2016. As obras de ampliação e modernização para atender a essa demanda têm início previsto para janeiro de 2012. Esta ampliação objetiva ampliar a capacidade do AITN dos atuais 10,2 para 16,5 milhões de passageiros por ano (INFRAERO 2011).

O contexto de fragilidade ambiental e elevado consumo de água em que se insere o AITN justificam a escolha do mesmo para o desenvolvimento do presente trabalho, uma vez que a avaliação de sua potencialidade de reutilização de águas cinza pode nortear o planejamento da gestão dos recursos hídricos no complexo aeroportuário.

Caracterização Qualitativa de Águas Cinza

Para a realização da caracterização qualitativa das águas cinza segregadas a partir da fonte, foram coletadas e analisadas individualmente amostras oriundas de pias de banheiro, pias de cozinhas e chuveiros em diferentes locais do AITN.

Para as amostras de pias de banheiro, foram selecionados banheiros do subsolo do terminal de passageiros (Ponto 1), do terminal de cargas - TECA (Ponto 2), do edifício de Manutenção (Ponto 3), e do terminal de passageiros - TPS (Ponto 4). As amostras de pia de cozinha foram coletadas das cozinhas da empresa responsável pelo preparo dos alimentos servidos nos voos originados do AITN (Pontos 5 e 6). As amostras de chuveiro foram coletadas do vestiário dos funcionários de uma empresa terceirizada pela INFRAERO para prestação de serviços de engenharia e manutenção (Ponto 7).

A escolha dos pontos de amostragem onde efluentes de pias de banheiro foram coletados foi realizada de forma a representar as características encontradas nas edificações do AITN. O edifício da Manutenção é um edifício administrativo e de população fixa, enquanto o Terminal de Cargas já

apresenta grande número de usuários flutuantes. O banheiro do subsolo do TPS é utilizado por funcionários de todos os níveis hierárquicos, também com grande população flutuante. O banheiro do TPS é utilizado principalmente por passageiros, acompanhantes e funcionários que transitam por este ambiente. Em relação às pias de cozinha, foram selecionados dois pontos de amostragem: uma pia utilizada na higienização de frutas, legumes e verduras (ponto 5), e outra para lavagem de pratos, vasilhas e talheres (ponto 6). As amostras do ponto 7 foram originadas de três chuveiros de um banheiro para funcionários de uma empresa de manutenção terceirizada pela INFRAERO. Com isso, objetivou-se contemplar grande parte dos usos existentes no AITN, e assim garantir a representatividade da caracterização qualitativa.

Foram realizadas nove coletas, no período de setembro de 2010 a maio de 2011. Sifões foram adaptados às instalações hidráulicas existentes, desviando o efluente para recipientes de 50 litros. As Figuras 5 e 6 mostram como as coletas foram realizadas.



Figura 5 - Instalação de recipientes coletores em pias de banheiro.



Figura 6 - Recipiente instalado para coleta.

Após o término de cada coleta, o efluente era homogeneizado e a quantidade necessária para a realização das análises laboratoriais era retirada e conservada a 4°C.

As técnicas de análise utilizadas obedeceram aos procedimentos recomendados pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 21ª edição 2005, e o número do procedimento adotado em cada análise encontra-se entre parênteses. As variáveis físicas, químicas e

microbiológicas analisadas foram: pH (4500-H⁺ B), turbidez (2130B), temperatura (2550B), sólidos em suspensão (2540D), sólidos totais (2540 B), alcalinidade total (2320B), dureza (2340C), condutividade elétrica (2510A), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (5220B), demanda química de oxigênio (DQO) (5220D), oxigênio dissolvido (4500-OG), nitrato (4500-NO₃E), nitrogênio amoniacal (4500-NH₃C), nitrogênio kjeldahl total (NTK) (4500-Norg C), fósforo total (4500-PA), óleos e graxas (5520 A) e *Escherichia coli* (Colilert®) .

Análises estatísticas

As análises de estatística descritiva, compreendendo média e desvio padrão, foram desenvolvidas através do software Microsoft® Excel 2007.

Além disso, foram utilizadas duas análises de estatística multivariada, sendo elas, a análise de componentes principais (PCA) e análise de agrupamento (análise de Cluster).

A análise de componentes principais é utilizada para transformar um conjunto original de variáveis oriundas de um espaço multidimensional em outro conjunto equivalente (Omo-Irabor et al 2008), que o represente de maneira mais concisa. Esta técnica consiste na transformação das variáveis originais em outras, não correlacionadas, chamadas de componentes principais, que correspondem a combinações lineares das variáveis originais (Sarbu e Pop 2005).

Já a análise de agrupamento tem o objetivo de detectar similaridades entre os pontos de monitoramento, separando-os em grupos de acordo com as semelhanças encontradas. É uma técnica que revela o comportamento de um conjunto de dados sem fazer uma suposição a priori sobre os mesmos, a fim de classificar os objetos do sistema em estudo em categorias ou grupos, com base na sua semelhança (Panda et al 2006).

Essas análises foram realizadas a partir do software R®, versão 2.10.1, desenvolvido por R Foundation for Statistical (R Development Core Team, 2009). Os procedimentos de estatística multivariadas utilizaram os pacotes

“FactoMineR” e “Cluster”, para as análises de Componentes Principais e Agrupamento, respectivamente.

Para a realização das análises de estatística multivariada, as informações experimentais precisam ser padronizadas de forma a evitar classificações errôneas causadas por grandes diferenças entre as dimensões das variáveis avaliadas (Bouza DeAño et al 2008). Dessa forma, adotou-se uma escala de variação de 0 a 100, para qual todos os valores foram transformados com base nos valores mínimos e máximos obtidos para cada variável, de acordo com a Equação 1.

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \times (Y_{\max} - Y_{\min}) \quad \text{Equação 1}$$

Em que Y_{ij} é o valor atribuído a cada variável depois da padronização, X_{ij} é o valor original de cada variável, i é o índice das linhas existentes, j o índice de colunas existentes, $X_{\max}$ e $X_{\min}$ são os valores máximos e mínimos encontrados em cada variável, respectivamente, e $Y_{\max}$ e $Y_{\min}$ são os valores máximos e mínimos adotados na padronização realizada, nesse caso 0 e 100.

Quantificação da produção de águas cinza e da demanda de água não potável

A produção de águas cinza no AITN e a demanda de água não potável foram estimadas a partir da obtenção do volume de água consumido em edifícios instalados no aeroporto. A metodologia utilizada permitiu estimar o volume consumido em cada uso, em cada edifício avaliado. De posse desses valores, as contribuições de pias de banheiro, chuveiros, pias de cozinha e atividades de limpeza foram somadas, chegando-se ao volume de águas cinza produzida em cada edifício. Para a estimativa da demanda de água não potável, somou-se o volume consumido em atividades como descargas de bacias sanitárias, mictórios, limpeza dos edifícios e irrigação.

Esse levantamento foi realizado para os seguintes edifícios: Receita Federal, Seção contra incêndio (SCI), Manutenção, Destacamento de controle do

espaço aéreo (DTCEA), Parque de combustível (PC), Abrigo de rampas (AR), Terminal de cargas (TECA) e Grupo RA Catering.

A metodologia empregada no presente estudo foi baseada nos trabalhos realizado por Proença e Ghishi (2005) e Ghishi e Ferreira (2007). Segundo Proença e Ghishi (2005), a metodologia apresentada, mesmo que não conduza a resultados precisos, pode ser aplicada de forma relativamente simples, visando estimar os usos finais de água para aplicação em programas de redução do consumo de água.

A estimativa do consumo de água em cada edifício foi realizada a partir da avaliação dos hábitos de consumo e das vazões específicas de cada aparelho hidrossanitário.

Os hábitos de consumo foram avaliados pela aplicação de questionários aos ocupantes de cada edifício, e por meio de entrevistas com os funcionários responsáveis pela limpeza. As informações solicitadas eram relacionadas à frequência, forma e tempo de utilização dos equipamentos hidrossanitários. O número de questionários aplicados em cada edifício foi determinado de acordo com a Equação 2, utilizada por Barbetta (2003).

$$n \geq \frac{n_0 N}{n_0 + N}, \quad \text{Equação 2}$$

Em que: $n_0 \geq \frac{1}{\varepsilon_0^2}$;

N: número de ocupantes de cada edifício;

ε_0^2 : erro amostral desejado (1 a 20%);

n: tamanho da amostra.

Cada tipo de equipamento hidrossanitário teve sua vazão definida de uma forma distinta. As vazões de pias e torneiras das áreas externas, como as que eram utilizadas para irrigação de áreas verdes, foram obtidas pelo método direto de medição de vazão. A média das vazões encontradas em todas as pias testadas foi utilizada na estimativa do volume de água consumido. Para bacias sanitárias adotou-se a vazão de $1,7 \text{ L.s}^{-1}$, quando equipadas com válvula de descarga, sendo essa a vazão máxima

recomendada pela NBR 5626 (ABNT, 1998). Já para chuveiros a vazão adotada foi de $0,34 \text{ L.s}^{-1}$, valor sugerido por uma pesquisa elaborada pela USP em parceria com a Sabesp, para duchas (água quente/fria) de 15 a 20 mca, característica da maioria dos chuveiros levantados nos edifícios (SABESP, 1996).

Através das respostas dos questionários, e das vazões específicas dos aparelhos hidrossanitários, foi possível calcular o consumo de água para cada atividade, em cada edifício.

Para o cálculo de volume consumido pelo uso de torneiras de lavatórios e chuveiros utilizou-se a Equação 3:

$$C_1 = N_1 T Q_1 \quad \text{Equação 3}$$

Em que:

C_1 : consumo de água por usuário através do uso da torneira/chuveiro (litros/dia);

N_1 : frequência de utilização (número de vezes/dia);

T : tempo de cada utilização (segundos/vez); e

Q_1 : vazão do aparelho hidrossanitário (litros/segundo).

Já para o consumo estimado de água pelo uso de bacias sanitárias e mictórios com válvulas de descarga, foi utilizada a Equação 4:

$$C_2 = N_2 Q_2 \quad \text{Equação 4}$$

Em que:

C_2 : consumo de água por usuário através do uso da bacia sanitária/mictório (litros/dia);

N_2 : frequência de utilização (número de descargas/dia);

Q_2 : vazão do aparelho hidrossanitário (litros/descarga).

Tanto a Equação 3, quanto a 4, retornam valores de consumo para um ocupante por dia. A Equação 5 permite estimar o consumo mensal de um ocupante para as atividades descritas.

$$C_3 = (C_1 + C_2).D \quad \text{Equação 5}$$

Em que:

C_3 : consumo mensal de água de cada ocupante (litros/mês);

$C_1 + C_2$: consumo total diário de cada ocupante (litros/dia);

D: número de dias de trabalho do ocupante por mês (dias/mês).

O consumo total de cada edifício é obtido pela multiplicação do resultado da equação 5 pelo número de ocupantes.

O volume de água utilizado na limpeza foi quantificado em recipientes de 10 litros, por ser a forma mais comum de limpeza utilizada nos edifícios pesquisados e como forma de padronizar o gasto de água com essa atividade.

Os volumes consumidos em outras atividades foram calculados de acordo com cada tipo de utilização, multiplicando-se a frequência e tempo de realização de cada atividade (obtidos nos questionários e entrevistas) pelo volume consumido por vez.

Resultados e Discussão

Caracterização Qualitativa das Águas Cinza Produzidas no AITN

Nesse item discute-se os resultados obtidos nas amostras coletadas nos pontos de monitoramento. A discussão da estatística descritiva foi organizada separando-se as variáveis analisadas em grupos referentes às variáveis físicas, químicas e microbiológicas, com o intuito de facilitar o entendimento dos valores encontrados.

Características Físicas

As variáveis físicas monitoradas nesse estudo foram turbidez, sólidos em suspensão e sólidos totais, e a descrição estatística dos dados obtidos pode ser vista na Tabela 4:

Tabela 4 - Caracterização qualitativa das águas cinza - variáveis físicas

		Turbidez (uT)	SST (mg.L ⁻¹)	ST (mg.L ⁻¹)
Pias de Banheiro	Ponto 1	16,44 ± 5,50	105,25 ± 55,55	309,25 ± 107,39
	Ponto 2	10,72 ± 5,14	40,50 ± 37,34	226,25 ± 120,98
	Ponto 3	11,67 ± 6,91	40,50 ± 12,66	262,0 ± 109,91
	Ponto 4	24,66 ± 9,58	67, 20 ± 14,58	266,40 ± 73,41
Pias de Cozinha	Ponto 5	64,12 ± 79,95	155,63 ± 143,11	578,88 ± 355,5
	Ponto 6	123,74 ± 158,75	208,25 ± 67,62	763,13 ± 200,2
Chuveiro	Ponto 7	26,14 ± 26,87	99,86 ± 43,93	404,14 ± 90,48

Percebe-se pela Tabela 4 que as concentrações de sólidos suspensos, evidenciadas pelos valores de turbidez e sólidos suspensos totais, possuem maiores valores nos efluentes de pias de cozinha (pontos 5 e 6). Nesses pontos, os sólidos suspensos são oriundos, principalmente, de resíduos existentes nos alimentos que são removidos durante a lavagem dos mesmos, ou ainda, por resíduos de alimentos, a partir da higienização dos utensílios de cozinha. No efluente de pias de banheiro e de chuveiros, os sólidos em suspensão podem ser originados de fios de cabelo, fibras de tecido e partículas de areia. Em projetos de tratamento e reutilização de águas cinza, a importância do teor de sólidos suspensos está relacionada com a possibilidade de entupimento das tubulações que levam o efluente até a estação de tratamento. Muito embora as concentrações desses sólidos nas águas cinza sejam inferiores aos valores obtidos no esgoto doméstico, os problemas referentes ao entupimento de instalações hidráulicas não podem ser negligenciados (Eriksson et al 2002). Além disso, os sólidos em suspensão podem interferir negativamente na desinfecção das águas cinza, servindo de abrigo para organismos patogênicos, prejudicando a inativação dos mesmos (Winward et al 2008).

Outra característica evidenciada pela análise da Tabela 4 é a discrepância entre os resultados encontrados em um mesmo ponto de amostragem, representada pelo elevado desvio padrão. Apesar dos horários das coletas terem sido padronizados, as atividades exercidas em cada ponto nos

diferentes dias de amostragem eram diversificadas, o que consequentemente, levou a produção de efluentes com características distintas, o que pode explicar o desvio padrão encontrado.

Donner et al (2010) reuniram resultados de diversos trabalhos, e apresentaram valores de sólidos em suspensão para águas cinza variando de 7 mg.L⁻¹ a 207 mg.L⁻¹, para efluentes de pias de banheiro, e 235 mg.L⁻¹ a 720 mg.L⁻¹ para efluentes de pia de cozinha. Holden e Ward (1999) apresentam águas cinza originadas de pias de banheiro com turbidez variando de 12 uT a 100 uT. Gilboa e Friedler (2008), para efluentes de banheiras, chuveiros e pias de banheiro, encontraram valores de turbidez de 15 uT a 240 uT. Esses trabalhos também obtiveram elevado desvio padrão para variáveis físicas em suas análises, corroborando com os resultados da presente pesquisa, e reforçando a informação de que os hábitos e costumes de cada lugar e de cada pessoa influenciam diretamente na qualidade do efluente gerado.

Características Químicas

Nutrientes

As concentrações de nitrogênio kjeldahl total (NTK), nitrogênio amoniacal (N-NH₄⁺), nitrato (NO₃⁻) e fósforo total (P_{total}) estão expostas na Tabela 5.

Tabela 5 - Caracterização qualitativa das águas cinza - compostos nitrogenados e fósforo total

		NTK (mg.L ⁻¹)	N-NH ₄ ⁺ (mg.L ⁻¹)	NO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹)	P _{total} (mg.L ⁻¹)
Pias de Banheiro	Ponto 1	6,88 ± 10,12	0,77 ± 0,82	5,84 ± 6,90	1,38 ± 0,66
	Ponto 2	4,48 ± 3,78	0,93 ± 1,06	2,96 ± 3,06	0,76 ± 0,52
	Ponto 3	7,25 ± 9,63	0,57 ± 0,85	5,28 ± 3,51	0,71 ± 0,35
	Ponto 4	8,48 ± 2,83	4,18 ± 3,73	7,84 ± 5,02	0,81 ± 0,47
Pias de Cozinha	Ponto 5	12,45 ± 18,29	0,26 ± 0,41	6,65 ± 8,24	3,20 ± 3,13
	Ponto 6	9,28 ± 10,34	0,49 ± 0,89	10,98 ± 7,48	8,43 ± 3,52
Chuveiro	Ponto 7	32,51 ± 12,66	26,65 ± 14,15	5,54 ± 6,10	2,37 ± 1,19

As concentrações médias de NTK para amostras de pias de banheiro variaram de 4,48 mg.L⁻¹ a 8,48 mg.L⁻¹, enquanto que para as pias de cozinha esses valores ficaram entre 9,28 mg.L⁻¹ e 12,45 mg.L⁻¹. Já as concentrações de nitrogênio amoniacal variaram de 0,57 mg.L⁻¹ a 4,18 mg.L⁻¹ para pias de banheiro e de 0,26 mg.L⁻¹ a 0,49 mg.L⁻¹ para efluente de cozinha.

Os valores apresentados são inferiores aos comumente encontrados no esgoto bruto, onde a principal fonte de nitrogênio é a urina. Segundo Otterpohl (2002), apenas 3% do nitrogênio encontrado no esgoto doméstico é devido à parcela de águas cinza nele presente, enquanto a urina contribui com 87% e as fezes com 10%. Nas águas cinza, a principal fonte de nitrogênio são os restos de alimentos. Entretanto, no ponto 7, constituído por amostras de chuveiro, as concentrações de NTK e N-NH₄⁺ foram superiores às encontradas nos demais pontos, atingindo 32,51 mg.L⁻¹ e 26,65 mg.L⁻¹, respectivamente. Isso pode ser explicado pelo hábito dos usuários do vestiário urinarem durante o banho.

Os valores médios de nitrato variaram de 2,96 mg.L⁻¹ a 7,84 mg.L⁻¹ para pias de banheiro, de 6,65 mg.L⁻¹ a 10,98 mg.L⁻¹, para efluentes de pia de cozinha, e foram de 5,54 mg.L⁻¹ para o efluente de chuveiro. Prathapar et al (2005), em estudo realizado com águas cinza produzidas nas residências de Omã, encontraram valores de nitrato de 28,7 mg.L⁻¹ para efluentes de chuveiro e 10,2 mg.L⁻¹ para pias de banheiro. Eriksson et al (2009), afirmam que o nitrato, assim como o nitrogênio amoniacal, não são utilizados nos produtos de higiene pessoal e de limpeza. Assim, as prováveis fontes seriam a urina, ou até mesmo células da pele humana.

As concentrações médias de fósforo total variaram de 0,71 mg.L⁻¹ a 8,43 mg.L⁻¹, sendo que os menores valores foram encontrados nas pias de banheiro, enquanto as maiores concentrações foram obtidas no efluente de pia de cozinha. Nesses pontos, as concentrações de fósforo podem ser atribuídas ao uso de detergentes para a lavagem de utensílios de cozinha. Hernández Leal et al (2011), em pesquisa desenvolvida na Holanda com águas cinza oriundas de residências, e portanto, contemplando usos como

lavagem de roupas e preparo de alimentos, encontraram concentração média de fósforo total de $7,2 \text{ mg.L}^{-1}$.

De forma geral, as águas cinza possuem menores concentrações de nutrientes do que o esgoto doméstico, principalmente em relação ao nitrogênio, isso devido a sua principal fonte ser a urina. No caso do fósforo, a principal fonte são os produtos de limpeza. No AITN os valores encontrados foram semelhantes aos retratados na literatura, como foi exibido.

As concentrações reduzidas de nutrientes nas águas cinza podem interferir no sistema de tratamento utilizado. Al-Jayyousi (2003) diz que as menores concentrações de nutrientes nesse efluente, tanto de nitrogênio, quanto de fósforo, podem limitar a eficiência de um sistema biológico de tratamento. Já Hernández Leal et al (2011) afirmam que essa deficiência de nutrientes pode comprometer o desenvolvimento de um tratamento aeróbio, enquanto um sistema anaeróbio não seria tão prejudicado.

Matéria Orgânica (DBO_5 e DQO)

Na Tabela 6 são apresentados os resultados obtidos para as análises de DBO_5 e DQO . Muito embora as águas cinza não possuam contribuição de efluentes de vasos sanitários, a matéria orgânica encontrada em alguns pontos foi semelhante, ou até mesmo superior aos valores esperados para esgoto doméstico. No efluente de pia de cozinha (pontos 5 e 6), as concentrações médias de DBO_5 variaram de $569,40 \text{ mg.L}^{-1}$ a $613,00 \text{ mg.L}^{-1}$, enquanto os valores médios de DQO ficaram entre $558,86 \text{ mg.L}^{-1}$ e $912,19 \text{ mg.L}^{-1}$. Nesses pontos, a matéria orgânica tem origem em resíduos de alimentos, óleos e gorduras, detergentes e produtos de limpeza.

Tabela 6 - Caracterização qualitativa das águas cinza - compostos orgânicos

		DBO ₅ (mg.L ⁻¹)	DQO (mg.L ⁻¹)
Pias de Banheiro	Ponto 1	79,70 ± 35,62	123, 53 ± 48,11
	Ponto 2	49, 64 ± 20,49	68, 39 ± 73,41
	Ponto 3	45,68 ± 19,80	97,56 ± 36,49
	Ponto 4	95,18 ± 19,58	228,32 ± 51,20
Pias de Cozinha	Ponto 5	549,40 ± 507,63	558,86 ± 528,77
	Ponto 6	613,00 ± 243,34	912,19 ± 169,32
Chuveiro	Ponto 7	82,49 ± 90,73	158,98 ± 131,61

Nas pias de banheiro e chuveiro, as concentrações médias variaram de 45,68 mg.L⁻¹ a 95,18 mg.L⁻¹ para DBO₅ e de 68,39 mg.L⁻¹ a 228,32 mg.L⁻¹ para DQO. Nesses pontos, as principais fontes são resíduos corporais, cabelo, sabão utilizado na higienização do corpo e das mãos.

Hernández-Leal et al (2007), caracterizando as águas cinza produzidas em residências na Holanda, obtiveram concentração média de DBO₅ de 215 mg.L⁻¹, enquanto o valor médio de DQO foi de 425 mg.L⁻¹, valores esses, superiores aos encontrados no AITN para efluentes de pias de banheiro, e inferiores aos resultados de pia de cozinha. Já Shafran et al (2005), em estudo realizado em Israel, obtiveram concentrações menores: 62 mg.L⁻¹ e 200 mg.L⁻¹ para DBO₅ e DQO, respectivamente.

As águas cinza produzidas no AITN apresentaram boas características de biodegradabilidade, com a relação DQO/DBO dos pontos monitorados variando de 1,02 a 2,4, podendo ser eficientemente tratadas por sistema de tratamento biológico. Lamine et al (2007) e Li et al (2009) obtiveram resultados semelhantes, com relação DQO/DBO de 1,05 e 1,50, respectivamente. Entretanto, dependendo da fonte e dos usos da água de um determinado local, as águas cinza podem apresentar características diferentes em relação à biodegradabilidade. De acordo com Al-Jayyousi (2003), a relação DQO/DBO nas águas cinza pode chegar até valores de 4/1, sendo um efluente com matéria orgânica pouco biodegradável. Isso

pode acontecer quando grande parte da DQO é oriunda de produtos químicos, como produtos de limpeza e detergentes. Winward et al (2008) corroboram com essa informação, apresentando relação DQO/DBO de 4,3/1, em estudo realizado na Inglaterra.

Além de informações referentes à biodegradabilidade do efluente, as concentrações de DBO e DQO também indicam o risco de depleção de oxigênio dissolvido. Esse fato é relevante quando existe a necessidade de estocagem do efluente para o tratamento. O consumo do oxigênio dissolvido e a criação de condições anaeróbias podem ocasionar a produção de sulfetos, pela redução de sulfatos, e a consequente emissão de odores desagradáveis.

Outras variáveis químicas de qualidade

A Tabela 7 exibe os valores médios encontrados para pH, condutividade elétrica, alcalinidade total, dureza, cloretos e óleos e graxas.

Tabela 7 - Caracterização qualitativa das águas cinza - outras variáveis químicas

	Pias de Banheiro				Pias de Cozinha		Chuveiro
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto7
pH	7,48 ± 0,38	7,43 ± 0,28	7,41 ± 0,38	7,39 ± 0,47	6,18 ± 1,36	6,62 ± 0,78	7,50 ± 0,27
Condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	468,84 ± 63,47	424,13 ± 39,95	424,23 ± 48,91	489,44 ± 15,45	635,65 ± 542,69	499,91 ± 122,16	855,90 ± 263,17
Alcalinidade Total ($\text{mgCaCO}_3.\text{L}^{-1}$)	210,23 ± 58,40	202,43 ± 36,38	195,55 ± 46,24	216,40 ± 49,31	199,98 ± 147,10	208,95 ± 42,74	302,73 ± 53,19
Dureza ($\text{mgCaCO}_3.\text{L}^{-1}$)	176,67 ± 30,02	160,67 ± 11,37	208,00 ± 45,30	-	185,33 ± 29,14	154,67 ± 7,57	171,00 ± 4,24
Cloreto (mg.L^{-1})	33,06 ± 27,70	18,87 ± 6,41	21,05 ± 13,80	19,63 ± 8,80	95,98 ± 183,80	33,92 ± 11,38	73,97 ± 38,24
Óleos e Graxas (mg.L^{-1})	21,12 ± 27,07	2,32 ± 5,19	3,06 ± 6,84	17,32 ± 14,28	54,92 ± 65,78	201,82 ± 127,14	34,27 ± 9,30

O pH das águas cinzas é dependente do pH apresentado pela água de abastecimento, podendo ser influenciado pelo uso que se faz da água. Os pontos monitorados no AITN apresentaram valores próximos da neutralidade e pequenas variações entre as coletas realizadas, representadas pelos reduzidos valores de desvio padrão.

As variáveis de qualidade da água relacionadas com sólidos dissolvidos apresentaram concentrações elevadas. Esses valores podem ser explicados pelas características naturais da água de abastecimento do AITN. O aeroporto está situado em uma região cárstica, onde a interação das águas subterrâneas com o solo é intensa e a dissolução das rochas durante a percolação da água confere a ela um alto teor de sólidos dissolvidos, traduzido em elevados valores de condutividade elétrica, alcalinidade total e dureza. Os valores médios de condutividade elétrica variaram de 424,13 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ a 635,65 $\mu\text{S.cm}^{-1}$, e de alcalinidade total variaram de 195,55 $\text{mgCaCO}_3.\text{L}^{-1}$ a 302,73 $\text{mgCaCO}_3.\text{L}^{-1}$, sendo que ambas as variáveis não apresentaram grandes diferenças entre os pontos monitorados.

Em relação à dureza, von Sperling (2005) afirma que não existem evidências de que essa variável cause problemas sanitários, entretanto, seu monitoramento é importante devido à sua ligação com a formação de incrustações em tubulações de água quente, caldeiras e aquecedores. Ainda de acordo com o autor, a água de abastecimento do AITN é classificada como água dura (dureza > 50 $\text{mgCaCO}_3.\text{L}^{-1}$). Os valores médios obtidos variaram de 154,67 $\text{mgCaCO}_3.\text{L}^{-1}$ a 208,00 $\text{mgCaCO}_3.\text{L}^{-1}$.

Os valores médios de cloreto para efluentes de pias de banheiro variaram de 18,85 mg.L^{-1} a 33,06 mg.L^{-1} . Já para os pontos onde foram coletados efluentes de pias de cozinha, as concentrações médias ficaram entre 33,92 mg.L^{-1} e 95,98 mg.L^{-1} . Para efluente de chuveiro, o valor médio encontrado foi de 73,97 mg.L^{-1} . As concentrações de cloretos nas águas cinza são oriundas principalmente da dissolução de sais, como o cloreto de sódio, o que justifica os maiores valores encontrados nos efluentes de cozinha.

As pias de cozinha também apresentaram as maiores concentrações de óleos e graxas dentre os pontos monitorados, sendo que as concentrações

médias chegaram a 54,92 mg.L⁻¹ para o ponto 5 e 201,82 mg.L⁻¹ para o ponto 6. Nesse tipo de efluente, a origem dessa variável são os óleos e gorduras utilizados no preparo de alimentos, e até mesmo resíduos dos alimentos misturados ao efluente. Nas pias de banheiro e chuveiro, as concentrações de óleos e graxas foram menores, variando entre 2,32 mg.L⁻¹ e 34,27 mg.L⁻¹. As fontes de óleos e graxas nesses pontos provavelmente são resíduos presentes no corpo humano.

Características Microbiológicas

A Tabela 8 apresenta os resultados (médias geométricas) das análises realizadas para a concentração de *E. coli*. A Tabela mostra que, muito embora as águas cinza não sejam compostas por efluente de vasos sanitários, de onde se originam a maior parte dos organismos patogênicos, existe a presença de *E. coli* nas amostras coletadas.

Para as amostras de pias de banheiro, a lavagem das mãos após o uso do toalete pode representar a principal fonte desses organismos. Já para pias de cozinha, a possível fonte de *E. coli* pode ser a lavagem de alimentos que possuam esses organismos em sua superfície.

Tabela 8 - Caracterização qualitativa das águas cinza - variáveis microbiológicas

<i>E. coli</i> (NMP/100mL)		
Pias de Banheiro	Ponto 1	3,17E+00
	Ponto 2	2,57E+00
	Ponto 3	2,43E+00
	Ponto 4	1,62E+01
Pias de Cozinha	Ponto 5	2,00E+02
	Ponto 6	6,71E+02
Chuveiro	Ponto 7	5,92E+02

O efluente originado de pia de banheiro apresentou concentração de *E. coli* de no máximo 10¹ NMP/100mL, enquanto as amostras de pia de cozinha chegaram a ordem de 10⁴ NMP/100mL. Esses valores estão próximos dos

valores obtidos no aeroporto de Canberra, Austrália. Os efluentes produzidos em banheiros e cozinhas apresentaram até 10^3 NMP/100mL de *E. coli* (Canberra Airport 2009).

Outros autores também encontraram quantidades significativas de organismos indicadores em águas cinza. Halalsheh et al (2008), analisando águas cinza produzidas em pequenas vilas rurais na Jordânia, encontraram até 10^5 NMP/100mL de *E. coli*. Ottoson e Stenstrom (2003), em estudo realizado em residências de Estocolmo, na Suécia, obtiveram densidade de *E. coli* de até 10^6 NMP/100mL. A presença de organismos indicadores em diferentes concentrações nas águas cinza, como mencionado acima, permite afirmar que os hábitos e costumes da população podem interferir diretamente nessa variável.

Os resultados obtidos nessa pesquisa mostram que as águas cinza produzidas no AITN podem estar de acordo com normas de reutilização para alguns usos, no que diz respeito a organismos indicadores de contaminação. Como exemplo, pode-se citar a irrigação restrita, por gotejamento, de plantas ornamentais (WHO, 2006), atividade essa, existente no AITN. Entretanto, vale ressaltar que foi detectada a presença de *E. coli*, muito embora em concentrações menores que a comumente encontrada no esgoto doméstico. Esse fato pode indicar a necessidade de inclusão da etapa de desinfecção em um sistema de tratamento de águas cinza, com o intuito de reduzir os riscos de contaminação microbiológica.

Estatística Multivariada

Análise de componentes principais

A análise de componentes principais (PCA) foi realizada com o intuito de avaliar o comportamento das variáveis de qualidade da água nos diferentes pontos de monitoramento e caracterização de águas cinza, assim como inferir sobre a importância de cada uma na dinâmica de geração desse efluente no AITN.

Os resultados obtidos permitiram reduzir as 15 variáveis monitoradas inicialmente em três componentes principais, que juntas explicaram 72,62%

da variância dos dados. A Tabela 9 apresenta os coeficientes encontrados para cada variável nas três primeiras componentes principais. Os valores em negrito são os maiores coeficientes obtidos.

Tabela 9 - Coeficientes de cada variável monitorada nas três primeiras componentes principais

Variáveis	CP1	CP2	CP3
pH	-0,6350	-0,0096	0,6114
Turb	0,6704	0,0837	0,3337
Cond	0,3456	0,8883	-0,0428
Alc	0,1356	0,8476	0,2108
DQO	0,9488	-0,1004	0,1771
DBO	0,8578	-0,2170	0,0623
ST	0,7967	-0,2617	-0,2182
SST	0,7381	-0,1953	-0,2932
Cl	0,4030	0,7258	-0,0918
NTK	0,2480	0,7931	-0,2212
Nit	0,4976	0,0169	0,5246
Amo	-0,0725	0,6809	-0,1235
Fos	0,7825	-0,0295	0,2075
Eco	0,3464	-0,2038	-0,8115
O&G	0,7794	-0,2626	0,3338
% da variância explicada	37,48	22,73	12,41
% acumulada	37,48	60,21	72,62

A componente principal 1 explicou 37,48% da variância total dos dados, sendo que as variáveis que mais contribuíram positivamente foram DBO e DQO.

Essa componente mostra a importância de determinadas atividades para a composição das águas cinza. As principais fontes das variáveis com elevados coeficientes são restos de alimentos e resíduos corporais originados do banho e da lavagem das mãos. Muito embora todas as fontes de águas cinza estudadas nessa pesquisa tenham alguma contribuição para as variáveis mencionadas, os resultados da estatística descritiva mostram que as concentrações médias dos efluentes de pias de cozinha são superiores em relação aos outros pontos. Dessa forma, pode-se dizer que a

componente principal 1 representa a relevância do efluente originado em pia de cozinha, na qualidade das águas cinza geradas no AITN. Na implantação de um projeto de tratamento e reutilização, esse fato precisa ser levado em consideração. O sistema de tratamento utilizado deve suportar a carga de matéria orgânica e outros poluentes existentes nas águas cinza geradas em cozinhas, para o total atendimento às normas de reuso de efluentes.

A componente principal 2 explicou 22,73% da variância total dos dados, e apresentou forte contribuição das variáveis condutividade elétrica e alcalinidade total. Essa componente mostra a importância da qualidade da água de abastecimento nas características das águas cinza. O abastecimento do AITN é feito na sua totalidade por água subterrânea, e, além disso, está situado em região cárstica. Nesses ambientes, os recursos hídricos possuem grande quantidade de íons em solução, resultantes da dissolução de rochas carbonáticas. Esse resultado evidencia a relação estreita entre os constituintes do solo e as águas subterrâneas, e mais do que isso, a importância dessa relação na qualidade do efluente gerado em pias de cozinha, pias de banheiro e chuveiro.

A componente principal 3 explicou 12,41% da variância dos dados, e apresentou forte contribuição negativa da variável *E. coli*. Esse resultado pode representar a influência de contaminação fecal na qualidade das águas cinza produzidas no AITN. Essa afirmação permite inferir a respeito da necessidade de desinfecção do efluente gerado, caso seja reutilizado, visando à minimização do risco de contaminação. Apesar dessa constatação, é preciso ponderar que, mesmo com a importância mencionada, a concentração de *E. coli* nas águas cinza é inferior ao esgoto doméstico, e dependendo do uso a que se pretende destinar o efluente, os valores de *E. coli* apresentados na Tabela 8 são satisfatórios, como citado anteriormente.

Análise de Agrupamento (Cluster)

A análise de agrupamento foi executada com o intuito de analisar semelhanças/padrões nas características das águas cinza nos pontos

monitorados, e dessa forma, conhecer os aspectos relacionados à geração desse efluente em ambientes aeroportuários.

O resultado da análise de agrupamento é exibido no dendograma da Figura 7. Três grupos distintos podem ser observados.

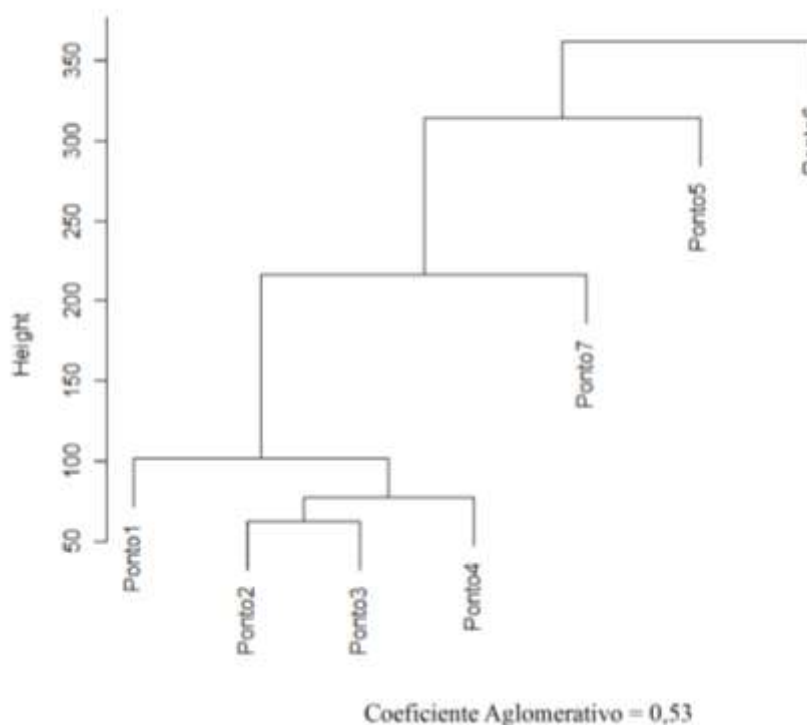


Figura 7 – Dendograma dos pontos de amostragem de águas cinza.

O grupo I é composto pelos pontos 1, 2, 3 e 4, pontos esses, onde foi coletado efluente de pia de banheiro. O efluente gerado nesses pontos apresentou menor concentração para praticamente todas as variáveis. Apenas para variáveis como condutividade elétrica, alcalinidade total e dureza, que não são fortemente influenciadas pelos usos, e, portanto, possuem valores próximos aos da água de abastecimento, esses pontos apresentaram valores próximos aos demais.

O grupo II é formado apenas pelo ponto 7, onde foi coletado efluente de chuveiro. Esse ponto é caracterizado por elevados valores de NTK e N-NH_4^+ . De acordo com Otterpolh (2002), as águas cinza, por não contarem com efluentes de vasos sanitários, apresentam reduzidas concentrações de

diversas frações de nitrogênio, sendo que apenas 3% do nitrogênio encontrado no esgoto doméstico vêm das águas cinza. Diante disso, pode-se atribuir esses valores elevados de NTK e N-NH_4^+ ao hábito de urinar durante o banho.

O grupo III é formado pelos pontos 5 e 6, que possuem efluentes de pias de cozinha. Esses pontos são caracterizados por elevadas concentrações de sólidos e matéria orgânica (DBO_5 e DQO), além de apresentarem as maiores concentrações de várias outras variáveis, como nitrato, fósforo total, cloretos e óleos e graxas, quando comparados com os outros pontos de amostragem. Esse fato, somado à formação de um grupo que isola esses pontos, permite inferir a respeito da relevância do efluente de pia de cozinha nas águas cinza produzidas no AITN. A diferença existente entre as fontes de águas cinza estudadas pode ser significativa, e como o efluente de pia de cozinha apresenta maiores concentrações para muitas das variáveis analisadas, é necessário que se avalie a possibilidade, ou mesmo a necessidade, de reutilização das águas cinza segregadas, como forma de viabilizar técnica e economicamente o projeto a ser executado. Tal informação pode ser reforçada por Nolde (1999) e Otterpohl (2001), que não classificam efluentes de cozinha como águas cinza, devido ao elevado teor de matéria orgânica.

Produção de águas cinza e demanda de água não potável

A análise das respostas dos questionários aplicados aos usuários dos edifícios e as entrevistas realizadas com os responsáveis pela limpeza possibilitou a identificação dos principais usos consumidores de água, além da caracterização das atividades que mais consomem esse recurso. Através desse levantamento discretizado, foi possível estimar a produção de águas cinza, bem como a demanda de água não potável nos edifícios do AITN onde o estudo foi desenvolvido, e avaliar alguns aspectos relacionados à geração desse efluente no complexo aeroportuário.

A Tabela 10 apresentam os resultados de consumo mensal de água (em m^3) por atividade em cada edifício considerado na pesquisa, e também o erro amostral considerado em cada edifício.

Tabela 10 - Consumo estimado por atividade em cada edifício (m³)

	Sanitário	Limpeza	Irrigação	Outras Atividades	Total	Erro Amostral (%)
Receita Federal	111,6	8,7	101,9	2,7	224,9	12,9
SCI	200,7	9,7	15,3	2,6	228,2	8,5
Manutenção	104,2	2,5	69	-	175,8	11
DTCEA	271,4	20	18,1	-	309,5	12,1
PC	185,2	1,5	18,1	7,6	212,4	15
AR	208,1	3,7	-	-	211,8	-
TECA	131,2	54,1	280	-	465,3	13,9
RA Catering	115,5	2,5	9,1	9,1	136,1	6,7

SCI = Seção Contra Incêndio; DTCEA = Destacamento de Controle do Espaço Aéreo; PC = Parque de combustíveis; AR = Abrigo de rampas; TECA = Terminal de Cargas

O erro amostral deve ser o menor possível, entretanto para edifícios com populações pequenas a equação 02 fornece amostras tendendo ao valor real da população quando são utilizados erros muito pequenos. A partir disso, adotou-se erro amostral máximo de 15%, em função da quantidade de questionários respondidos em cada prédio. O valor de 15% está entre 0 e 20%, valor considerado aceitável por Barbetta (2003).

O volume consumido em sanitários, é a soma dos volumes utilizados em chuveiros, mictórios, pias de banheiro e descargas. A Figura 8 apresenta o volume consumido por equipamento hidrossanitário nos banheiros de cada edifício.

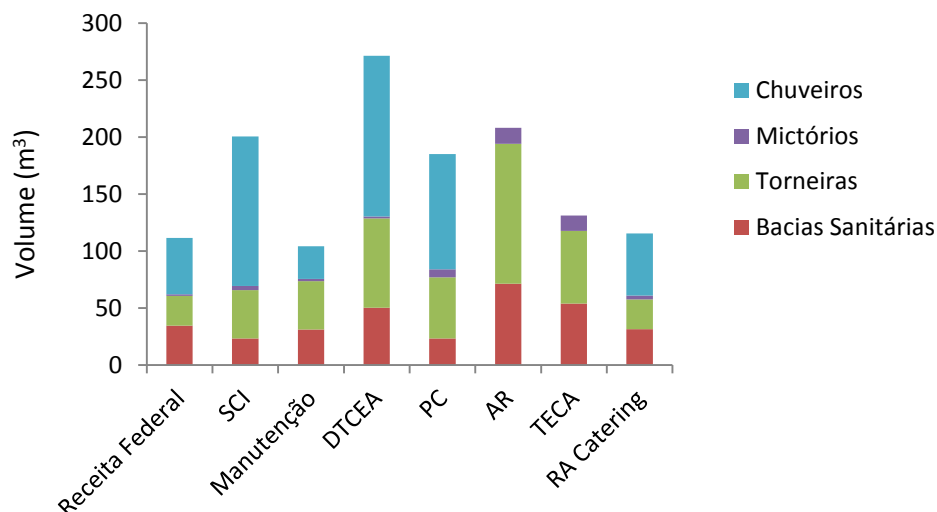


Figura 8 - Volume consumido estimado em cada equipamento hidrossanitário nos banheiros.

A partir do consumo exercido por chuveiros, torneiras, limpeza e outras atividades foram obtidos os volumes estimados de águas cinza produzida em cada edifício, e através dos dados de consumo em bacias sanitárias, mictórios, irrigação e limpeza, foi estimada a demanda de água não potável para cada edifício do AITN. A Figura 9 apresenta os volumes de águas cinza produzidas e demanda de água não potável.

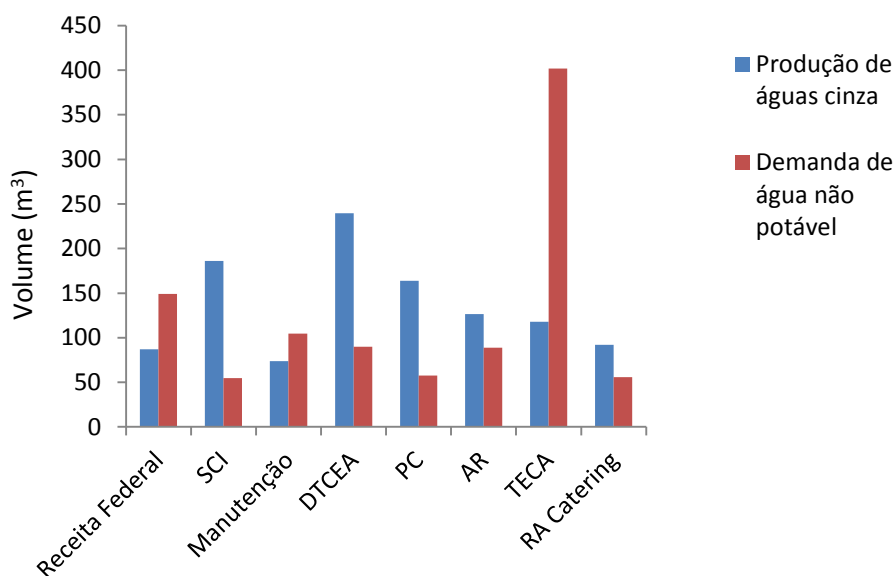


Figura 9 - Volume da produção de águas cinza e da demanda de água não potável para cada edifício estudado.

Como pode ser observado na Figura 9, nos edifícios SCI, DTCEA, Parque de combustíveis, Abrigo de rampas e RA Catering, a produção de águas cinza é superior à demanda de água não potável. Já nos edifícios da Receita Federal, Manutenção, e TECA, a demanda supera a produção.

Um aspecto que pode ser observado nos três edifícios que mais produzem águas cinza é o elevado consumo por chuveiros. No edifício de SCI, no DTCEA e no parque de combustíveis, o volume de água utilizado em chuveiros foi de 57,5%, 45,5% e 47,6% do volume total consumido, respectivamente. Dessa forma, pode-se dizer que, muito embora a utilização de chuveiros não seja uma atividade exercida em todos os prédios instalados no complexo aeroportuário, este se configura em uso importante para a geração de águas cinza. A Figura 10 mostra a porcentagem com que cada uso considerado na estimativa contribui na produção de águas cinza.

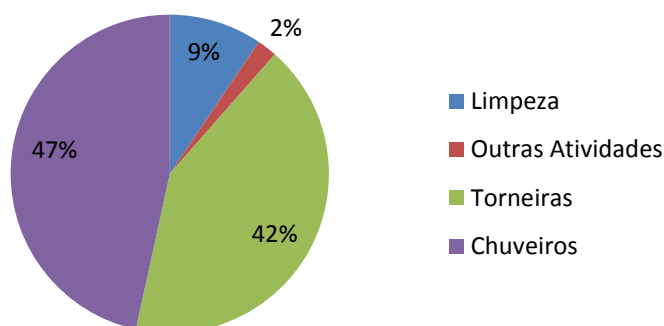


Figura 10 - Porcentagem de cada uso na produção de águas cinza nos edifícios estudados.

Outro ponto de destaque é o elevado consumo através do uso das torneiras. Muitos usuários responderam utilizar as torneiras das pias de sanitários para lavar frutas ou lavar o rosto. Mas as duas atividades predominantes são a higienização das mãos e escovação de dentes. O tempo de uso estimado para escovar os dentes variou de um a dois minutos com a torneira aberta (pelo menos uma volta), à frequência de uma a quatro vezes ao dia. A frequência de utilização para lavar as mãos variou de uma a quinze vezes ao dia.

Os edifícios que apresentam maior demanda de água não potável para suas atividades são TECA e a Receita Federal. O que pode ser destacado em

comum nesses dois edifícios é o elevado volume consumido na irrigação de áreas verdes situadas nas proximidades desses edifícios. De todo o volume consumido no prédio da Receita Federal ($224,9 \text{ m}^3/\text{mês}$), 45,3% é consumido com irrigação, enquanto que no TECA, dos $465,3 \text{ m}^3$ consumidos por mês, 60,1% são destinados à irrigação. Depois da irrigação, a descarga de bacias sanitárias é a atividade que não possui necessidade de água potável que mais consome água nos edifícios considerados. A diferença é que, para bacias sanitárias, este uso acontece em todos os edifícios de forma regular, diferente da irrigação, que consome grande quantidade de água em determinados locais, enquanto em outros é inexistente. A Figura 11 apresenta as porcentagens com que cada uso contribui para a demanda não potável nos edifícios estudados.

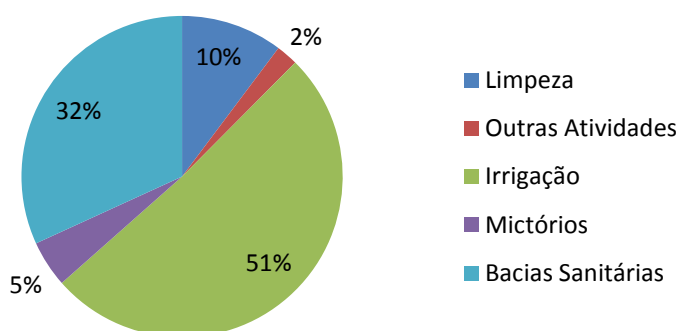


Figura 11 - Porcentagem de cada uso na demanda de água não potável nos edifícios estudados.

A estimativa realizada mostrou que, para os edifícios considerados, a produção de águas cinza ($1.086,5 \text{ m}^3/\text{mês}$) é superior à demanda de água não potável ($1.002,3 \text{ m}^3/\text{mês}$). Apesar de em três edifícios a demanda por água não potável ser maior que a produção de águas cinza, o volume produzido nos edifícios restantes pode suprir essa falta, reduzindo o consumo de água potável. Além disso, a produção de águas cinza superior à demanda nos edifícios indica também, a possibilidade de reutilização em outros usos, não considerados nessa estimativa, como reserva de incêndio e sistemas de refrigeração, por exemplo.

No caso da reserva de incêndio, entre volume operacional e de reserva, é utilizado um total de 44 m^3 , volume esse que pode ser suprido, total ou

parcialmente, pela produção de águas cinza dos edifícios avaliados nesse estudo.

Diante dos resultados obtidos pela estimativa, pode-se dizer que a produção de águas cinza no AITN é satisfatória, e não representa empecilho para reutilização desse efluente no complexo aeroportuário.

Conclusão

As análises qualitativas realizadas nas amostras de águas cinza segregada no AITN mostraram que esse efluente pode apresentar características muito distintas, conforme sua fonte de origem. O efluente gerado por pias de cozinha mostrou maior concentração para a maioria das variáveis analisadas. Nesse efluente, resíduos de alimentos e produtos utilizados na higienização dos utensílios de cozinha constituem importante fonte de matéria orgânica, nutrientes, sólidos, óleos e graxas, dentre outras variáveis. O efluente gerado em chuveiros apresentou grande concentração de NTK e N-NH_4^+ , oriundos provavelmente de urina. Já o efluente originado em pias de banheiro apresentou-se mais diluído em relação às outras fontes estudadas.

Existe a necessidade de se avaliar em um projeto de reuso de águas cinza em aeroportos, o tratamento desse efluente totalmente segregado, isso porque as pias de cozinha apresentaram efluente com concentrações muito superiores aos demais pontos, para a maioria das variáveis analisadas. Essa segregação poderia representar redução nos custos de tratamento, uma vez que estariam sendo tratados apenas efluentes mais diluídos, e, portanto, mais facilmente recuperados para o reuso. Todavia, é importante lembrar que o efeito da diluição existente quando esse efluente é misturado a águas cinza originadas de outras fontes menos concentradas deve ser considerado, pois dependendo do volume de cada efluente nessa mistura, a segregação dos diferentes tipos de águas cinza pode ser desnecessária.

Além disso, foi possível concluir a respeito da importância da qualidade da água de abastecimento para a qualidade das águas cinza geradas no AITN. Os elevados valores para alcalinidade total e condutividade elétrica encontrados, comuns nas águas naturais da região onde o AITN está

instalado, além dos elevados coeficientes dessas variáveis na análise de componentes principais permitiram essa constatação. Os resultados da caracterização qualitativa também permitem concluir a respeito da necessidade de desinfecção das águas cinza para reutilização. Muito embora a densidade de *E. coli* encontrada nos pontos monitorados tenha sido inferior às obtidas no esgoto doméstico, a inclusão da desinfecção no tratamento desse efluente para reuso diminuiria ainda mais os riscos microbiológicos aos seus usuários.

Com relação à quantificação do volume de águas cinza produzida no AITN, o método utilizado mostrou que o uso de chuveiros e torneiras são as atividades que mais contribuem para a geração desse efluente, enquanto a irrigação e a descarga de bacias sanitárias são as que mais demandam por água não potável.

Por fim, essa pesquisa mostrou que as águas cinza produzidas no AITN possuem características semelhantes às produzidas em residências e já difundidas na literatura, podendo, portanto, serem submetidas a um sistema de tratamento convencional de baixo custo. Em relação aos aspectos quantitativos, os volumes gerados são satisfatórios e semelhantes à demanda por água não potável. Em suma, os aspectos qualitativos e quantitativos aqui abordados permitem dizer que não existem grandes limitações para o reuso das águas cinza produzidas em aeroportos. Os resultados apresentados corroboram com a adoção dessa prática em diversos usos não potáveis, como já é feito em muitos aeroportos em nível mundial, obtendo economia de recursos financeiros e ambientais.

Referências Bibliográficas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5626 – Instalação predial de água fria. 1998.

Al-Hamaiedeh, H., Bino, M. Effect of treated grey water reuse in irrigation on soil and plants. *Desalination*, 256. pp. 115 – 119. 2010.

Al-Jayyousi, O. R. Greywater reuse: towards sustainable water management. *Desalination*, 156. pp. 181 – 192. 2003.

APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21.ed. Washington DC: APHA, 2005.

Barbetta, P. A. Estatística aplicada às ciências sociais. 5 ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2003.

Bouza-Deano, R., Ternero-Rodrigues, M., and Fernandez-Espinosa, A. J. Trend Study and Assessment of Surface Water Quality in the Ebro River (Spain). *Journal of Hydrology*. 361, pp. 227-239. 2008.

Canberra Airport Water Management Plan (2009). Disponível em http://www.canberraairport.com.au/PDF/WMP09_Summary.pdf. Acesso em: 20 out. 2010.

Donner, E., Eriksson, E., Revitt, D. M., Scholes, L., Holten Lützhøft, H-C., Ledin, A. Presence and fate of priority substances in domestic greywater treatment and reuse systems. *Science of the Total Environment*, 408. pp. 2444 – 2451. 2010.

DEVELOPMENT CORE TEAM (2009). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL. <http://www.R-project.org>.

Eriksson, E., Andersen, H. R., Madsen, T. S., Ledin, A. Greywater pollution variability and loadings. *Ecological Engineering*, 35. pp. 661 – 669. 2009.

Eriksson, E.; Auffarh, K. Henze, M. Ledin, A. Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, 4. pp. 85 – 104. 2002.

Garland, J. L., Levine, L. H., Yorio, N. C., Hummerick, M. E. Response of graywater recycling systems based on hydroponic plant growth to three classes of surfactants. *Water Research*, 38. pp. 1952–1962. 2004.

Ghisi, E. e Ferreira, D. F. Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multistory residential building in southern Brazil. *Building and Environment*, v. 42, n. 7, p. 2512-2522. 2007.

Gilboa, Y., Friedler, E. UV disinfection of RBC-treated light greywater effluent: Kinetics, survival and regrowth of selected microorganisms. *Water Research*, 42. pp. 1043 – 1050. 2008.

Gross, A., Azulai, N., Oron, G., Ronen, Z., Arnold, M., Nejdat. A. Environmental impact and health risks associated with greywater irrigation: a case study. *Water Science & Technology*, 52 pp. 161–169. 2005.

Halalsheh, M., Dalahmeh, S., Sayed, M., Suleiman, W., Shareef, M., Mansour, M., Safi, M. Grey water characteristics and treatment options for rural areas in Jordan. *Bioresource Technology*, 99. pp. 6635 – 6641. 2008.

Hernández Leal, L., Temmink, H., Zeeman, G., Buisman, C. J. N. Bioflocculation of grey water for improved energy recovery within decentralized sanitation concepts. *Bioresource Technology*, 101. pp. 9065 – 9070. 2010.

Hernández Leal, L., Temmink, H., Zeeman, G., Buisman, C. J. N. Characterization and anaerobic biodegradability of grey water. *Desalination*, 270. pp. 111 – 115. 2011.

Hernández Leal, L., Zeeman, G., Temmink, H., Buisman, C. Characterisation and biological treatment of greywater. *Water Science & Technology*, 56. pp. 193–200. 2007.

Holden, B. e Ward, M. An overview of domestic and commercial re-use of water. Presented at the IQPC conference on Water Recycling and Effluent Reuse, London, UK, 1999.

INFRAERO. Sinal verde para obras de reforma e adequação do Aeroporto de Confins. 26 mar. 2009. Disponível em: <<http://www.infraero.com.br>>. Acesso em: 12 mai. 2010.

INFRAERO. Obras no Aeroporto de Confins têm início. 29 set 2011. Disponível em: <<http://www.infraero.com.br>>. Acesso em: 15 out. 2011.

Lamine, M., Bousselmi, L., Ghrabi, A. Biological treatment of grey water using sequencing batch reactor. *Desalination*, 215. pp. 127 – 132. 2007.

Li, F., Wichmann, K., Otterpohl, R. Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of the Total Environment*, 407. pp. 3439 – 3449. 2009.

Liu, S., Butler, D., Memon, F. A., Makropoulos, C., Avery, L., Jefferson, B. Impacts of residence time during storage on potential of water saving for grey water recycling system. *Water Research*, 44. pp. 267-277. 2010.

Nolde, E. Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-story buildings – over ten years experience in Berlin. *Urban Water*, 4 (1). pp. 275 – 284. 1999.

Omo-Irabor, O. O., Olobaniyi, S. B., Oduyemi, K., Akunna, J. Surface and groundwater water quality assessment using multivariate analytical methods: A case study of the Western Niger Delta, Nigeria. *Physics and Chemistry of the Earth*, 33, 666–673. 2008.

Otterpohl, R. Black, brown, yellow, grey- the new colors of sanitation. *Water* 21. pp. 37-41, out. 2001.

Otterpohl, R. Options for alternative types of sewerage and treatment systems directed to improvement of the overall performance, *Water Science & Technology*, 45. pp. 149–158. 2002.

Ottoson, J., Stenstrom, T. A. Faecal contamination of greywater and associated microbial risks. *Water Research*, 37. pp. 645 – 655. 2003.

Panda, U.C., Sundaray, S.K., Rath, P., Nayak, B.B., Bhatta, D. Application of factor and cluster analysis for characterization of river and estuarine water

systems – a case study: Mahanadi River (India). *Journal of Hydrology*, 331. pp. 434–445. 2006.

Prathapar, S. A., Jamrah, A., Ahmed, M., Al Adawi, S., Al Sidairi, S., Al Harassi, A. Overcoming constraints in treated greywater reuse in Oman. *Desalination*, 186. pp. 177 – 186. 2005.

Proença, L. C. e Ghishi, E. Estimativa de usos finais de água em quatro edifícios de escritórios localizados em Florianópolis. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 9, n. 3, p. 95-108. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 2005.

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Relatório Mensal 3 – Projeto de Pesquisa Escola Politécnica/USP-SABESP. 1996.

Sarbu, C., Pop, H. F. Principal component analysis versus fuzzy principal component analysis. A case study: the quality of Danube water (1985–1996). *Talanta*, 65. pp. 1215–1220. 2005.

Shafran, A. W., Gross, A., Ronen, Z., Weisbrod, N., Adar, E. Effects of surfactants originating from reuse of greywater on capillary rise in the soil. *Water Science & Technology*, 52. pp. 157–166. 2005.

Von Sperling, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. V. 1. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. DESA. UFMG. 452 p. 2005.

Winward, G. P., Avery, L. M., Stephenson, T., Jefferson, B. Chlorine disinfection of grey water for reuse: Effect of organics and particles. *Water Research*, 42. pp. 483 – 491. 2008.

World Health Organization. Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volume 2: Wastewater and Excreta Use in Agriculture. WHO, Geneva. 2006.

Artigo 2 - Tratamento de águas cinza geradas em ambientes aeroportuários visando o reuso não potável

Resumo

O reuso de águas cinza é apontado como uma das principais alternativas para a redução do consumo de água potável em atividades exercidas em residências, indústrias e no comércio. A menor concentração de matéria orgânica e organismos patogênicos nesse efluente possibilitam a adoção de tecnologia de tratamento simplificada, e muitas vezes, pouco onerosa. Complexos aeroportuários necessitam de grandes volumes de água em sua rotina de operação, e a substituição de água potável por águas cinza devidamente tratadas pode representar significativa economia de recursos financeiros e ambientais. O objetivo desse trabalho foi avaliar um sistema composto por filtro anaeróbio e dispositivo de desinfecção ultravioleta no tratamento de águas cinza geradas em ambientes aeroportuários, com vistas ao reuso desse efluente. O trabalho foi desenvolvido no Aeroporto Internacional Tancredo Neves, em Confins, Minas Gerais. A unidade de tratamento de águas cinza foi operada em duas etapas, sendo submetida a efluentes com características semelhantes às águas cinza produzidas nos edifícios do aeroporto. A porcentagem das amostras coletadas que atendeu aos limites e padrões menos restritivos foi considerável nas duas etapas de operação, sendo de 87% e 100% para turbidez, 87% e 82% para sólidos suspensos, 94% e 82% para DBO₅. As remoções de variáveis relacionadas a sólidos suspensos e matéria orgânica foram satisfatórias, e de acordo com a análise de frequência de atendimento aos limites e padrões, o efluente é passível de reutilização, considerando-se normas menos restritivas. Os resultados mostraram ainda que os custos envolvidos na operação da unidade de tratamento são reduzidos, fazendo com que o metro cúbico da água cinza tratada a partir desse sistema seja 2,5 vezes menor que a água potável, possibilitando uma economia de R\$ 36.897,54 por ano. O estudo realizado permite afirmar que as águas cinza produzidas no aeroporto podem ser tratadas por filtro anaeróbio seguido de desinfecção ultravioleta de maneira eficiente e pouco onerosa, viabilizando a prática de reuso não potável.

Palavras-chave: Águas cinza, filtro anaeróbio, desinfecção ultravioleta, ambientes aeroportuários, reuso não potável.

Abstract

Greywater reuse is one of the main alternatives to reduce non-potable water consumption in household, industrial and commercial activities. The low concentrations of organic matter and pathogens in such effluent enable the adoption of a simplified, and often inexpensive, treatment technology. Airport complexes require large amounts of water in their routine operation and the replacement of potable water with treated greywater can represent significant savings in financial and environmental resources. The objective of this study was to evaluate a system consisting of an anaerobic filter followed by ultraviolet disinfection for treating greywater produced in airport environments with the purpose of reusing such effluent. The study was carried out in Tancredo Neves International Airport, in Confins, Minas Gerais. The greywater treatment plant was operated in two phases and the influent had the same characteristics of the greywater produced in the buildings of the airport. The percentage of samples which met less restrictive standards was substantial for the two phases: 87 and 100% for turbidity, 87 and 82% for suspended solids and 94 and 82% for BOD. The removal efficiencies of variables related to suspended solids and organic matter were satisfactory, and according to the frequency analysis of meeting required standards and limits, the effluent was considered adequate for reuse, assuming the less restrictive guidelines. The results also showed that the costs involved in operating the treatment plant are low and the price of the cubic meter of greywater treated using the proposed system is 2.5 lower than that for potable water, reflecting on annual savings of R\$ 36 897.54. The study concluded that the greywater produced at the airport can be treated efficiently and inexpensively by an anaerobic filter followed by ultraviolet disinfection, which makes feasible the greywater reuse practice.

Keywords: Greywater, anaerobic filter, ultraviolet disinfection, airport environments, non-potable reuse

Introdução

As águas cinza estão relacionadas com o conceito de segregação de efluentes na fonte onde são produzidos, objetivando facilitar o tratamento e reuso desse efluente. Gilboa e Friedler (2008) afirmam que o reuso de águas cinza, atualmente, representa um dos principais métodos para a redução no consumo de água potável, isso porque esse efluente apresenta menor concentração de poluentes quando comparada ao esgoto doméstico, e por outro lado, é responsável por uma fração significativa do volume, podendo contribuir, segundo Li et al (2009), com 50% a 80% do volume total do esgoto doméstico de uma residência.

O reuso das águas cinza está ligado diretamente a fatores como a qualidade do afluente, o tratamento aplicado, a qualidade do efluente e principalmente ao uso final que será dado à água (Wichmann e Otterpohl, 2009). Muitos estudos vêm sendo realizados no sentido de caracterizar as águas cinza produzidas em residências, edifícios comerciais e indústrias, bem como desenvolver sistemas de tratamento para atingir uma qualidade adequada ao reuso (Elmitwalli e Otterpohl 2007; Lamine et al 2007; Halalsheh et al 2008; Abu Ghunmi et al 2010; Santos et al 2011). Atualmente, tecnologias de tratamento e reuso de águas cinza vêm sendo implantadas inclusive em aeroportos. Os complexos aeroportuários possuem elevado consumo de água, e possuem diversas atividades que não necessitam de água potável para sua execução, tais como irrigação, descarga de vasos sanitários, limpeza de pátios e veículos, reserva contra incêndio, dentre outros. Diante disso, aeroportos configuram-se como ambientes potenciais à adoção de práticas que visem o uso racional da água, dentre elas, o reuso de águas cinza. Aeroportos como os de Hong Kong (HKIA 2010) e Narita (NIAC 2010), no Japão, dentre outros, já fazem uso de sistemas de tratamento de águas cinza, e reutilizam o efluente para fins não potáveis.

As tecnologias aplicadas ao tratamento de águas cinza incluem processos físicos, químicos e biológicos, sendo que a maioria deles é constituída por uma etapa de separação sólido líquido, seguida por uma etapa de desinfecção (Li et al 2009). As maiores dificuldades enfrentadas para o

tratamento desse efluente são as grandes variações na qualidade em um mesmo ponto (Al-Jayyousi et al 2003) e no volume gerado ao longo do dia. Portanto, sistemas de tratamento utilizados devem resistir a essas variações, ou tanques de equalização devem ser inseridos (Abu Ghunmi et al 2010). Hernández Leal et al (2011) afirmam que os sistemas de tratamento biológico anaeróbios apresentam-se como alternativa interessante devido ao reduzido custo e a possibilidade de aproveitamento de energia. O mesmo autor reforça a aplicabilidade de sistemas anaeróbios para o tratamento de águas cinza, devido às reduzidas concentrações de nutrientes, fato esse que poderia limitar a eficiência de sistemas aeróbios. Jefferson et al (2001) reforçam a afirmação anterior, ao afirmarem que o aumento da concentração de nutrientes pode melhorar a eficiência do tratamento aeróbio de águas cinza.

A presente pesquisa combinou filtro anaeróbio, sistema biológico simplificado, e dispositivo de desinfecção por radiação ultravioleta, sistema sofisticado de desinfecção. O filtro anaeróbio, além de ser resistente à variações de vazão, comuns quando trata-se de águas cinza, pode alcançar reduções significativas na concentração de matéria orgânica e sólidos em suspensão (Andrade Neto et al 2002), propiciando a máxima eficiência da desinfecção ultravioleta

O objetivo desse estudo foi avaliar o sistema composto por filtro anaeróbio seguido por desinfecção ultravioleta para o tratamento de águas cinza produzidas em ambientes aeroportuários, visando o reuso desse efluente em atividades não potáveis.

Metodologia

Área de estudo

O estudo foi desenvolvido no Aeroporto Internacional Tancredo Neves (AITN), no município de Confins, a 35 Km de Belo Horizonte, Brasil. Mais precisamente, o aeroporto está situado entre os paralelos 19°39' – 19°37' de latitude sul e 43°59' – 43°57' de longitude oeste. O complexo aeroportuário

do AITN possui área de 15 Km² e capacidade para atender a 5 milhões de passageiros por ano (INFRAERO 2011a).

O fluxo de passageiros no AITN tem se intensificado desde 2005, com a transferência de voos do aeroporto regional da Pampulha para Confins. Entretanto, a previsão para o ano de 2014 é elevar essa capacidade para mais de 16,5 milhões de passageiros por ano, através da construção de um novo terminal. A capacidade de transporte de cargas aéreas também será ampliada com a implantação da plataforma logística industrial, que incentivará o crescimento do comércio exterior brasileiro, aumentando a competitividade internacional (INFRAERO 2011b).

Na lista dos aeroportos com maior movimento no Brasil, o AITN encontra-se em sétimo lugar, e o quinto em consumo de água (Moreira Neto 2011). Todo o abastecimento de água do AITN é realizado através de poços tubulares, informação relevante, uma vez que o aeroporto está situado em região cárstica, extremamente vulnerável ambientalmente. Diante disso, a redução do consumo de água, e conseqüentemente, a diminuição do volume retirado dos poços da região, podem representar não apenas ganhos financeiros, mas também benefícios ambientais inestimáveis.

Unidade de tratamento de águas cinza

A unidade de tratamento de águas cinza foi construída no canteiro de obras da empresa terceirizada pela INFRAERO para prestação de serviços de manutenção. O efluente foi coletado de vestiário de uso dos funcionários da empresa, que sofreu intervenção em seu sistema de coleta, para permitir a segregação das águas cinza.

A unidade de tratamento proposta consistiu em um filtro anaeróbio de fluxo ascendente seguido de dispositivo de desinfecção ultravioleta. Além disso, dois reservatórios de 500 litros também faziam parte da unidade. O primeiro localizava-se antes do filtro anaeróbio, com a função de equalizar a vazão de entrada do efluente, e o segundo, situava-se a jusante do dispositivo de desinfecção, para armazenamento do efluente tratado. As Figuras 12, 13, 14 e 15 trazem os elementos que compõem a unidade.



Figura 12 - Reservatório para equalização da vazão afluente ao filtro anaeróbio.



Figura 13 - Filtro anaeróbio.



Figura 14 - Dispositivo de desinfecção ultravioleta.



Figura 15 - Reservatório para armazenamento do efluente tratado.

O filtro anaeróbio é um reator biológico com fluxo através do lodo aderido e retido em um leito fixo de material inerte. A escolha desse sistema de tratamento é justificada por apresentar elevada eficiência na remoção de matéria orgânica, resistir à variação de vazão afluente e possuir rotina de operação simples (Andrade Neto et al 2002).

O filtro anaeróbio foi dimensionado a partir da norma NBR 13969/1997, que fornece a seguinte equação:

$$Vu = 1,6NCT \quad \text{Equação 6}$$

Em que:

V_u = volume útil (litros);

N = número de pessoas ou unidades de contribuição;

C = contribuição de despejos, em litro/pessoa x dia ou em litro/unidade x dia;

T = tempo de detenção, em dias.

Os valores de C e T são sugeridos pela NBR 13969/1997, de acordo com o tipo de estabelecimento e as características dos ocupantes (permanentes ou temporários), e a quantidade de efluente produzido. Para contribuição de despejos (C) foi utilizado 70 litros/pessoa x dia. Já para o tempo de detenção hidráulica (T), a norma consultada sugere valores de 0,9 dia ou 1 dia, mas como as águas cinza apresentam menores concentrações de poluentes em relação ao esgoto doméstico, adotou-se 0,5 dia. Para o valor de N , foi realizada pesquisa entre os funcionários da empresa que presta serviços à INFRAERO, e chegou-se à média de 25 usuários diários.

A partir desses valores obteve-se o volume de $1,41\text{m}^3$ para o filtro anaeróbio e determinou-se as dimensões a serem adotadas.

O filtro anaeróbio foi construído em fibra de vidro, e possui 1,80 m de altura e 1,00 m de diâmetro. A 0,30 m de altura foi instalada uma grade, com o objetivo de distribuir o fluxo dentro do filtro, evitando caminhos preferenciais do efluente no reator. O meio suporte foi constituído de conduítes elétricos, de 1", cortados em pedaços de 4 centímetros. Esse material foi escolhido por ser menos denso e possuir maior superfície específica quando comparado com a pedra britada.

A partir do volume obtido e do tempo de detenção pré-determinado, regulou-se a vazão de entrada do efluente no filtro anaeróbio em $2,82\text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$. A vazão afluente ao filtro estava sujeita a variações ao longo do dia, devido à grande variação na produção de águas cinza do vestiário. Entretanto, como dito anteriormente, o filtro anaeróbio é resistente a essas condições.

O método de desinfecção utilizado foi a radiação ultravioleta. De acordo com Guo et al (2009), a desinfecção ultravioleta apresenta vantagens de não

produzir subprodutos tóxicos e possuir operação simplificada. Friedler e Gilboa (2010) afirmam que a desinfecção ultravioleta é especialmente adequada para pequenas unidades de tratamento, e apresenta algumas vantagens, como a não utilização de produtos químicos, a efetiva remoção de uma série de organismos patogênicos, dentre os quais, muitos são resistentes ao cloro, a não formação de subprodutos, e a maior segurança operacional.

Utilizou-se equipamento de desinfecção da marca Pond Clean. O Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB 2003) apresenta valores de doses de radiação ultravioleta necessários para a inativação de microrganismos, como *E. coli* ($6,6 \text{ mWs.cm}^{-2}$) e ovos de nematódeos (40 mWs.cm^{-2}). O equipamento utilizado possuía um tubo por onde o efluente escoava de 30 cm de comprimento e 8 cm de diâmetro interno, e a lâmpada responsável pela geração da radiação ultravioleta funcionou com potência de 36 watts. A potência da lâmpada e o diâmetro do tubo geraram intensidade de radiação ultravioleta aplicada ao meio líquido de 114 mW.cm^{-2} . A partir dessa intensidade, foi possível obter os tempos de exposição necessários para garantir as doses indicadas pelo PROSAB (2003), que foram obtidas durante a operação do sistema.

O estudo foi realizado em duas etapas de operação, com o objetivo de avaliar a eficiência da unidade proposta no tratamento de águas cinza com características semelhantes às produzidas nos edifícios do AITN.

De acordo com estudo realizado no AITN, as águas cinza geradas no complexo aeroportuário são originadas principalmente de chuveiros, pias de banheiro e limpeza de pisos. Dessa forma, procedeu-se a primeira etapa de operação do filtro anaeróbio, coletando-se efluente de chuveiros, pias de banheiro, e da limpeza do vestiário da empresa que presta serviços de manutenção à INFRAERO. Como mencionado, a tubulação que coletava as águas cinza do vestiário foi separada da tubulação de mictórios e bacias sanitárias.

O transporte do efluente até a unidade de tratamento, assim como toda a operação da mesma aconteceu por gravidade.

As amostragens para realização de análises laboratoriais ocorreram na entrada e na saída do filtro anaeróbio, e na saída do dispositivo de desinfecção ultravioleta. As coletas ocorreram com frequência semanal, entre os meses de junho e outubro de 2010.

As variáveis monitoradas na entrada e na saída do filtro anaeróbio foram: turbidez (2130B), temperatura (2550B), DBO (5220B), DQO (5220D), sólidos totais (2540B), sólidos em suspensão (2540D), pH (4500 – H⁺B), alcalinidade total (2320B), condutividade elétrica (2510A), fósforo total (4500 – PA), nitrogênio kjeldahl total (NTK) (4500 – Norg C), nitrogênio amoniacal (4500 – NH₃C), nitrato (4500 – NO₃E) e *Escherichia coli* (*E. coli*) (Colilert®). Para as amostras coletadas após o dispositivo de desinfecção, foram realizadas apenas análises de *E. coli*. As análises foram realizadas de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th. Ed., 2005. Entre parênteses, na frente de cada variável monitorada, encontra-se o número do procedimento adotado em cada análise.

Na segunda etapa de avaliação foram implantadas modificações na estrutura de coleta do efluente para a unidade de tratamento. O estudo que caracterizou os aspectos qualitativos e quantitativos das águas cinza produzidas no AITN mostrou que o edifício onde funciona a empresa responsável pelo preparo dos alimentos servidos nas aeronaves, além de gerar águas cinza oriunda de chuveiros, pias de banheiro e limpeza de pisos, também gera volume de efluente de pia de cozinha. A partir de dados do mesmo estudo, o volume máximo de águas cinza vinda de pia de cozinha foi estimado em 30 m³ mensais, o que equivale a aproximadamente a 20% do volume de águas cinza produzido nesse edifício.

Diante dessas informações, o volume de águas cinza produzida no vestiário que alimentava a unidade de tratamento foi estimado (as águas cinza afluente à unidade foram monitoradas a cada hora durante sete dias), e chegou-se a um valor médio de 250 litros diários, o que equivale a 1.250 litros semanais, uma vez que os funcionários trabalham de segunda a sexta-feira. Dessa forma, um reservatório foi adaptado à tubulação que

transportava o efluente do vestiário até a unidade de tratamento para a adição de 250 litros semanais de efluente de pia de cozinha. O efluente era coletado nas cozinhas do edifício da empresa responsável pelo preparo dos alimentos das aeronaves em recipientes de 50 litros, e transportado até a unidade de tratamento.

A operação do sistema de tratamento ocorreu de março a junho de 2011, com monitoramento semanal, e coleta nos mesmos pontos descritos para a etapa 1. Na segunda etapa, foram monitoradas as mesmas variáveis mencionadas na etapa 1, com adição de óleos e graxas (5520A). A inclusão dessa variável é justificada pelo acréscimo de efluente de pia de cozinha. Da mesma forma que na primeira etapa, as análises foram realizadas de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th. Ed., 2005.

Em relação à desinfecção ultravioleta, na segunda etapa de operação foi detectado defeito no equipamento quando o filtro anaeróbio já se encontrava em operação. Durante o período de chuvas, ocorreu acúmulo de água dentro do abrigo construído para o equipamento, o que pode ter danificado a parte elétrica do mesmo. Diante disso, não foi realizado monitoramento do dispositivo de desinfecção.

A Figura 16 exibe o esquema de funcionamento da unidade de tratamento de águas cinza nas duas etapas de operação.

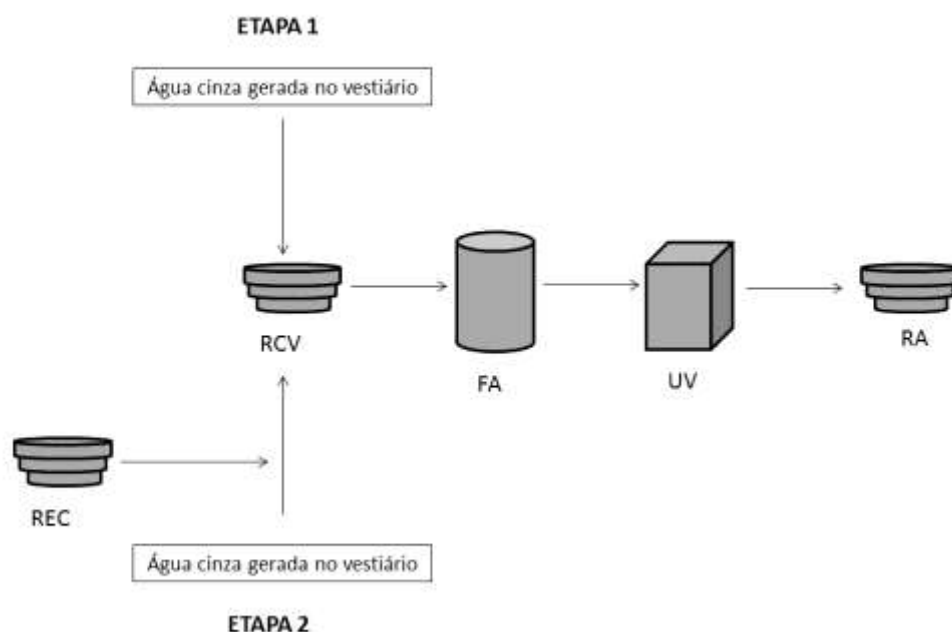


Figura 16 - Esquema da unidade de tratamento de águas cinza nas duas etapas de operação.

As siglas no esquema acima são relativas a reservatório de controle da vazão afluente ao filtro anaeróbio (RCV), ao filtro anaeróbio (FA), à desinfecção ultravioleta (UV) e ao reservatório de armazenamento do efluente tratado (RA) e ao reservatório de adição de efluente de pia de cozinha (REC).

Atendimento aos limites e padrões

A partir dos valores estabelecidos pela USEPA (2004), WHO (2006), Ministério da Saúde do Canadá (2010), normas que regulamentam o reuso de efluentes na Austrália (NSW Health 2002), e de valores indicados pelas legislações de países como Japão e Alemanha, retirados de Al-Jayyousi (2003), foi realizada análise de frequência de atendimento aos limites e padrões mais e menos restritivos (todos os valores indicados pelas normas citadas estão expostos na Tabela 1). Os resultados de todas as coletas realizadas para turbidez, sólidos suspensos, DBO_5 e *E. coli* foram comparados aos limites mais criteriosos e mais permissivos existentes nas regulamentações mencionadas.

Além disso, os resultados foram comparados aos valores estabelecidos pela NBR 13969/1997 que dispõe sobre a reutilização de efluentes para usos não potáveis. Nessa comparação, foram utilizados apenas os valores indicados para as classes 1, 2 e 3, uma vez que os usos definidos na classe 4 não são realizados no AITN, e dificilmente são encontrados em outros aeroportos.

Com a análise de frequência objetivou-se identificar se o sistema proposto produz águas cinza com características passíveis para reuso, e caso contrário, conhecer as variáveis que não atendem os limites indicados, e dessa forma, direcionar as intervenções no sistema de tratamento.

Avaliação econômica do sistema de tratamento

A avaliação econômica do sistema de tratamento proposto foi realizada a partir do estabelecimento de um cenário de reuso de águas cinza nos edifícios estudados no AITN. Diante desse cenário realizou-se o levantamento dos custos de operação das unidades.

O cenário proposto prevê a instalação de um sistema de tratamento composto por filtro anaeróbio e desinfecção ultravioleta para cada edifício estudado, o que seria o número máximo de sistemas instalados. Dessa forma pretende-se estimar o custo máximo de operação.

Considerando-se o volume de águas cinza produzido em cada edificação, e adotando-se tempo de detenção hidráulica (TDH) de 1 dia, obteve-se a vazão de projeto para o filtro a ser instalado em cada edifício. A NBR 13969/1997 apresenta 1 dia como o valor máximo de TDH para temperatura média do mês mais frio de 15⁰C a 25⁰C. A Tabela 11 exibe as especificações de projeto para cada filtro.

Tabela 11 - Características de projeto dos filtros anaeróbios para cada edifício estudado

	Volume produzido (L/dia)	Volume do filtro (m ³)	T (dia)	Q (m ³ /dia)	Altura (m)	Diâmetro (m)	Área Superficial (m ²)
Receita Federal	2903	3	1	3	2	1.38	1.50
SCI	6202	6.5	1	6.5	2.5	1.82	2.60
Manutenção	2452	2.5	1	2.5	2	1.26	1.25
DTCEA	7983	8	1	8	2.5	2.02	3.20
Parque de combustível	5461	5.5	1	5.5	2.3	1.74	2.39
Abrigo de Rampas	4220	5	1	5	2.3	1.66	2.17
TECA	3923	4	1	4	2.3	1.49	1.74
RA Catering	3072	3.5	1	3.5	2	1.49	1.75

Além da instalação dos oito filtros anaeróbios, o cenário de reuso prevê a utilização de reservatórios de captação enterrados para cada sistema. Desse reservatório, o efluente é bombeado para outro, suspenso, com a função de equalizar a vazão de entrada do efluente no filtro, e daí em diante, o processo ocorre por gravidade.

Para a desinfecção ultravioleta considerou-se a utilização do equipamento da marca Pond Clean. Muito embora as vazões de projeto utilizadas nos edifícios sejam maiores do que a utilizada na unidade piloto, o mesmo equipamento, formado por uma lâmpada de 36 W e um tubo de 30 cm de comprimento e 8 cm de diâmetro interno, foi suficiente para garantir doses de radiação indicadas pelo PROSAB (2003) que permitissem a inativação de organismos patogênicos.

O cenário prevê também, a cloração do efluente tratado antes da reutilização, com o intuito de manter o residual de cloro livre na tubulação de distribuição, conforme exigido pela legislação brasileira.

As principais fontes de gastos durante a operação do sistema são o consumo energético pelas bombas hidráulicas e também pelos dispositivos de desinfecção, além das pastilhas de cloro.

Para o cálculo da energia consumida pelas bombas hidráulicas, considerou-se a utilização de bombas de 0,5 cv de potência, operando 4 horas por dia

durante 30 dias no mês. As bombas de 0,5 cv de potência são suficientes para as alturas manométricas existentes diante das alturas dos filtros. As bombas funcionariam de maneira intermitente, a medida que o efluente chegasse ao reservatório de captação, as 4 horas diárias garantem a transferência de todo o efluente para o filtro anaeróbio.

Já para a energia consumida na desinfecção considerou-se o funcionamento dos dispositivos por 24 horas, 30 dias no mês, com lâmpadas de 36 watts.

O consumo de cada bomba hidráulica e de cada dispositivo de desinfecção foi obtido pela Equação 7.

$$C = \frac{P.h.D}{1000} \quad \text{Equação 7}$$

Em que:

C = Consumo mensal do equipamento, em Kw;

P = Potência do equipamento;

h = número de horas de utilização em um dia;

D = número de dias de utilização no mês.

De acordo com informações da INFRAERO (2010), a tarifa de energia para o AITN é de R\$ 0,33 por Kw. A partir desse valor e da demanda energética dos equipamentos utilizados, foi possível obter o custo de operação relacionado ao consumo de energia dos sistemas instalados nos edifícios estudados.

O custo relacionado à cloração do efluente tratado foi estimado a partir dos resultados encontrados por Moreira Neto (2011). No estudo citado foi realizado ensaio de consumo de pastilhas de cloro em águas pluviais tratadas, e chegou-se ao resultado de que para uma vazão de 367 litros por dia, são necessários três pastilhas de 100g por mês. Diante dessa relação, e das vazões utilizadas em cada sistema instalado, chegou-se ao número de pastilhas necessárias em cada uma. Considerou-se o preço de uma pastilha sendo R\$ 6,00. Dessa forma, obteve-se o custo mensal com cloração para o tratamento de toda a água cinza produzida nos edifícios estudados.

Com o custo mensal de operação das unidades de tratamento, utilizando-se o volume de águas cinza tratado nesse tempo, estimou-se o custo do metro cúbico de água cinza tratada.

Depois de todo levantamento de gastos de operação das unidades de tratamento de águas cinza, considerando-se o valor pago pela INFRAERO à concessionária de água e esgoto pelo metro cúbico de água tratada, estimou-se a economia anual para aproveitamento dos 1.086,5 m³ de água cinza produzidas nos edifícios estudados.

Resultados e Discussão

Esse item discute o desempenho da unidade de tratamento de águas cinza proposta para os efluentes gerados no AITN. A discussão da eficiência foi realizada em grupos de variáveis com o intuito de facilitar o entendimento dos resultados. Nas Figuras que serão exibidas, as siglas EB e ET significam efluente bruto e efluente tratado, respectivamente, que são os pontos onde foram realizadas as coletas: EB refere-se à entrada do filtro anaeróbio, enquanto ET é referente à saída do mesmo.

Avaliação do filtro anaeróbio

Como descrito anteriormente, o monitoramento da unidade deu-se em duas etapas, com o objetivo de avaliar eficiência da unidade frente às águas cinza com características semelhantes às produzidas nos edifícios do aeroporto. Durante toda a operação do filtro anaeróbio, a temperatura do efluente permaneceu entre 20 e 28°C.

Remoção de matéria orgânica

O filtro anaeróbio mostrou eficiência satisfatória na remoção de matéria orgânica expressa na forma de DBO₅ e DQO. Os dados descritos estatisticamente para essas variáveis nas duas etapas de operação da unidade estão expostos nas Figuras 17, 18, 19 e 20. Na primeira etapa a eficiência de remoção foi de 68% para DBO₅ e 57% para DQO. Já na segunda, essa eficiência chegou a 73% para DBO₅ e 71% para DQO.

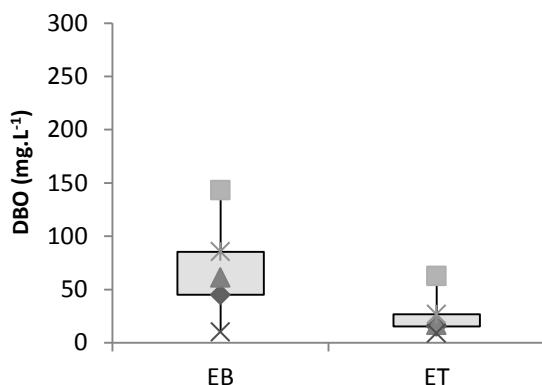


Figura 17 - Valores de DBO5 na primeira etapa.

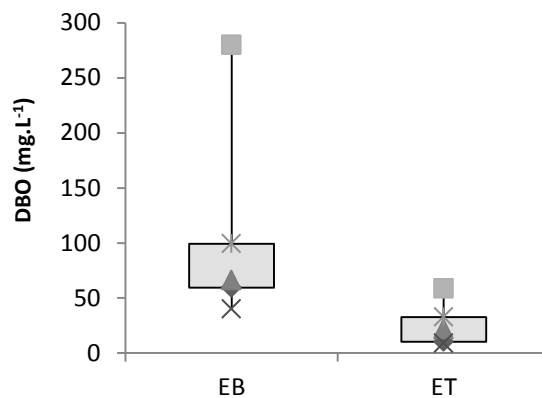


Figura 18 - Valores de DBO5 na segunda etapa.

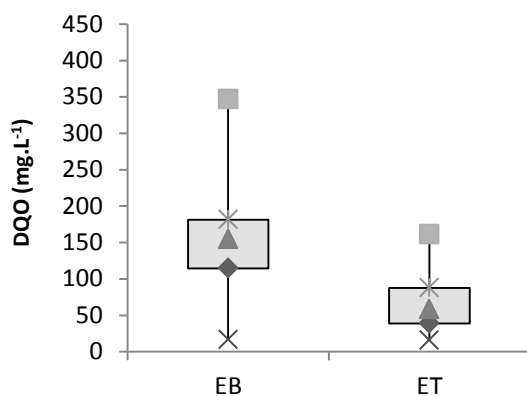


Figura 19 - Valores de DQO para a primeira etapa.

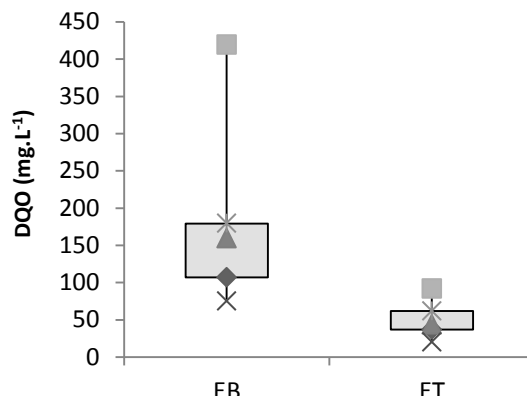


Figura 20 - Valores de DQO para a segunda etapa.

Gannoun et al (2009) estudando o desempenho de filtros anaeróbios, obtiveram resultados semelhantes aos do presente estudo. Os mesmos autores concluíram que em condições ótimas de operação, a eficiência desse sistema para a remoção de matéria orgânica pode ser superior a 75%.

A adição de efluente de pia de cozinha na composição do efluente a ser tratado, aumentou a concentração de matéria orgânica. Dessa forma, foi fornecida maior quantidade de substrato para o crescimento bacteriano dentro do reator, o que pode justificar a maior eficiência de remoção de matéria orgânica na segunda etapa. Entretanto, é válido ressaltar, que para as duas etapas de operação, as concentrações de matéria orgânica no efluente tratado foram semelhantes.

Nas primeiras semanas de operação do filtro anaeróbio as eficiências de remoção de DBO_5 e DQO foram reduzidas, mas com a sequência de operação, atingiram os valores mencionados. Isso aconteceu devido ao tempo necessário para o crescimento, adaptação e desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela degradação anaeróbia. Lee et al (2008) afirmam que filtros anaeróbios necessitam de um período médio de até 90 dias para adaptação da microbiota anaeróbia. Os mesmos autores ainda relatam que em condições ótimas de operação, o filtro anaeróbio pode levar até 120 dias para atingir sua eficiência máxima de remoção, o que permite dizer que baixa eficiência no começo da operação, tanto na primeira, quanto na segunda etapa, não está relacionada ao mau funcionamento do sistema.

Remoção de Sólidos e Turbidez

As Figuras 21, 22, 23, 24, 25 e 26 exibem os resultados obtidos nas duas etapas de operação para sólidos totais, sólidos suspensos e turbidez.

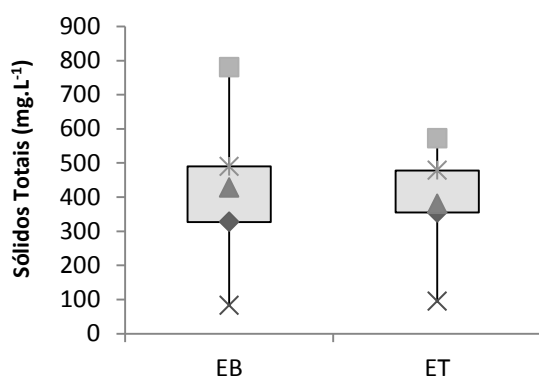


Figura 21 - Valores de sólidos totais na primeira etapa.

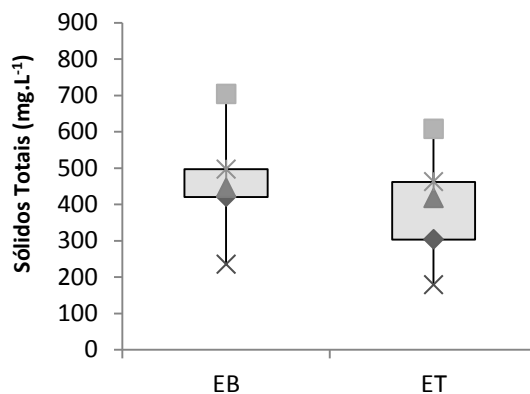


Figura 22 - Valores de sólidos totais na segunda etapa.

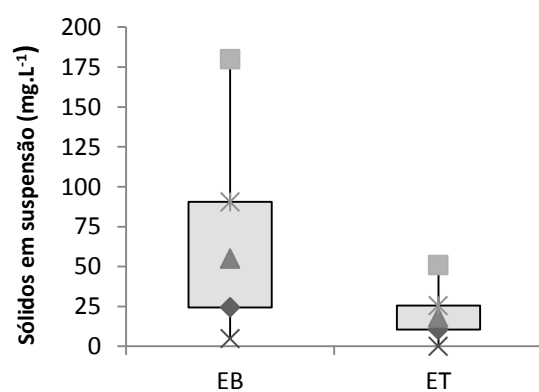


Figura 23 - Valores de sólidos suspensos na primeira etapa.

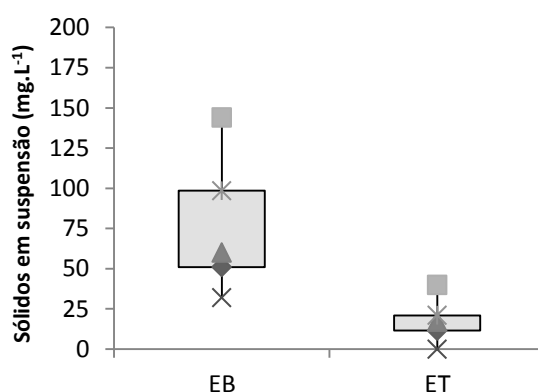


Figura 24 - Valores de sólidos suspensos na segunda etapa.

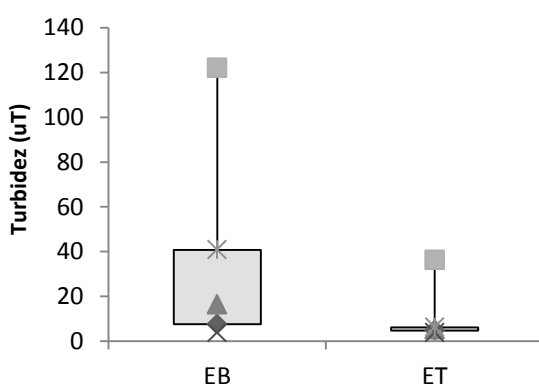


Figura 25 - Valores de turbidez na primeira etapa.

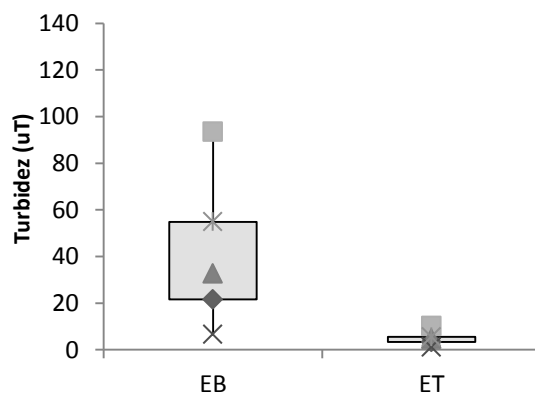


Figura 26 - Valores de turbidez na segunda etapa.

Comparando-se os valores médios de sólidos totais e sólidos suspensos, por diferença pode-se concluir a respeito da elevada carga de sólidos dissolvidos existente nas águas cinza bruta. Isso pode ser explicado pelas

características da água de abastecimento do AITN. Como já mencionado anteriormente, o aeroporto está situado em região cárstica, e toda sua demanda é suprida por águas subterrâneas, que nessas regiões, apresentam elevados valores de sólidos dissolvidos devido à maior interação com o solo e a fácil dissolução deste. A remoção de sólidos totais foi pequena, chegando a um valor médio de 16% nas duas etapas de operação.

Para sólidos suspensos, a remoção apresentada na primeira etapa de operação foi de 68%, enquanto na segunda foi de 77%. De acordo com esses resultados, é possível atribuir a remoção observada para sólidos totais ao teor de sólidos suspensos, o que reforça a afirmação de que a concentração de sólidos dissolvidos não foi afetada significativamente pelo tratamento.

Para turbidez, a eficiência nas primeira e segunda etapas do tratamento foi de 71% e 88%, respectivamente. Percebe-se que a eficiência para sólidos suspensos e turbidez, assim como foi observado para DBO_5 e DQO, foi superior na segunda etapa em relação à primeira. Além disso, as concentrações apresentadas para essas variáveis no efluente tratado foram elevadas nas primeiras amostragens, diminuindo gradativamente com o passar do tempo. As Figuras 27 e 28 ilustram essa informação, exibindo os valores de turbidez do efluente tratado.

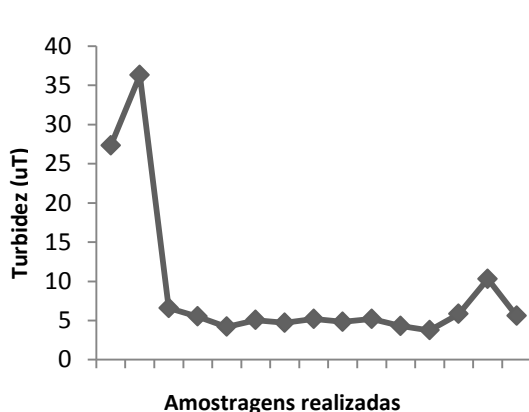


Figura 27 - Turbidez no efluente da primeira etapa.

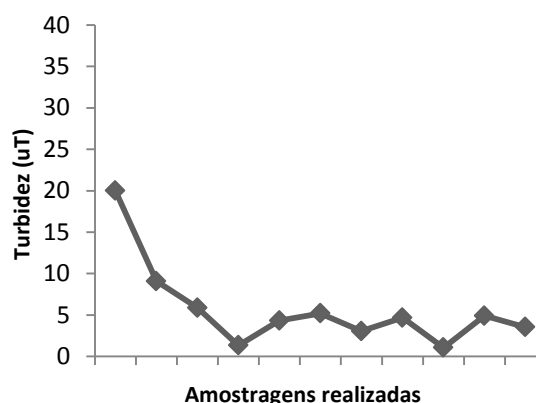


Figura 28 - Turbidez no efluente da segunda etapa.

Essas semelhanças permitem afirmar que os sólidos suspensos existentes nas águas cinza utilizadas na avaliação do filtro anaeróbio eram de natureza

orgânica, oriundos provavelmente, de restos de alimentos e resíduos corporais. Da mesma forma que aconteceu para DBO₅ e DQO, depois das primeiras semanas de operação, a eficiência para remoção de turbidez aumentou, gerando efluentes com valores reduzidos para essa variável nas duas etapas.

pH e Alcalinidade Total

A Tabela 12 apresenta os valores de pH para as duas etapas de operação do filtro anaeróbio.

Tabela 12 - Valores de pH nas duas etapas de tratamento

		pH				
		n	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Pad.
Etapas 1	EB	18	7,57	6,7	8,24	0,36
	ET	15	7,23	6,86	8,1	0,3
Etapas 2	EB	11	7,56	6,9	8,1	0,31
	ET	11	7,72	7,35	8,15	0,27

Em ambas as etapas, o pH apresentou pequeno desvio padrão, com média em valores próximos a 7.

Em reatores anaeróbios, o controle do pH em valores próximos a neutralidade é essencial para o bom funcionamento do sistema, ou seja, é necessário que exista capacidade de tamponamento. Todavia, a verificação sistemática da alcalinidade pode ser mais importante que a medição de pH. Isso se deve à escala logarítmica do pH, significando que pequenas reduções dessa variável podem significar o consumo de concentração considerável de alcalinidade, diminuindo a capacidade de tamponamento do meio. Nesses reatores, a manutenção dessa capacidade é necessária para garantir a estabilidade das espécies microbiológicas responsáveis pela digestão anaeróbia. Mais especificamente, é necessário que haja o controle da pressão parcial de H₂ para garantir a atividade das arqueas metanogênicas presentes no meio. A pressão parcial de hidrogênio pode ser afetada pela acumulação de ácidos orgânicos nas etapas de degradação anaeróbia, e a alcalinidade pode neutralizar esses ácidos, controlando o pH.

O acúmulo excessivo dos ácidos orgânicos pode significar alguma disfunção no consórcio de espécies que participam da degradação anaeróbia. Com isso, grandes quantidades de alcalinidade podem ser consumidas. Dessa forma, pode-se afirmar que a redução de alcalinidade no efluente tratado pode indicar o mau funcionamento do sistema. Entretanto, esse fato não foi observado. As Figuras 29 e 30 mostram que as concentrações de alcalinidade total foram semelhantes nas águas cinza, antes e depois do tratamento.

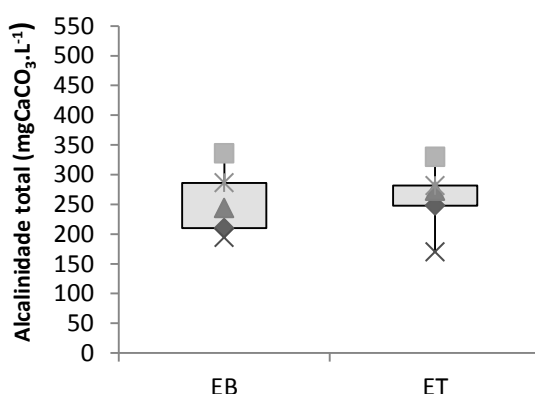


Figura 29 - Valores de alcalinidade total na primeira etapa.

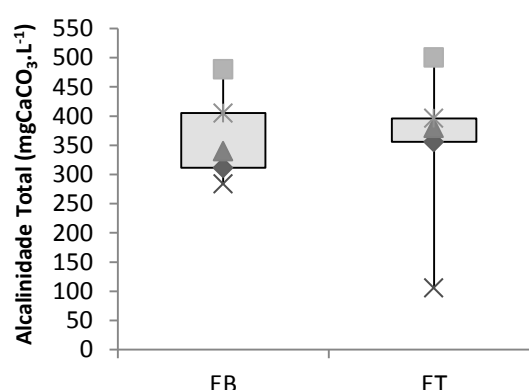


Figura 30 - Valores de alcalinidade total na segunda etapa.

Chernicharo (2007) afirma que do ponto de vista operacional, é desejável que o efluente a ser tratado possua valores elevados de alcalinidade, sendo que dessa forma, elevadas concentrações de ácidos orgânicos poderiam ser tamponadas, sem a necessidade de se acrescentar produtos químicos para a complementação da mesma, o que representaria também, uma vantagem econômica. Essa condição foi apresentada pelo efluente a ser tratado nessa pesquisa. Além disso, a própria digestão anaeróbia pode produzir alcalinidade, através de reações de degradação de ácidos orgânicos voláteis e proteínas. Essa produção de alcalinidade, somada às concentrações do afluente ao filtro, podem garantir o tamponamento do sistema.

Compostos Nitrogenados

A Tabela 13 apresenta os resultados em média e desvio padrão dos compostos nitrogenados monitorados durante as duas etapas de operação do filtro anaeróbio.

Tabela 13 - Valores obtidos para os compostos nitrogenados nas duas etapas de tratamento

	Etapa 1		Etapa 2	
	EB	ET	EB	ET
NTK	20,44 ± 5,7	12,97 ± 3,2	44,01 ± 16,1	55,25 ± 11,2
N-NH₄⁺	11,92 ± 6,35	10,11 ± 7,49	36,45 ± 16,2	47,42 ± 11,4
NO₃⁻	1,47 ± 1,31	0,95 ± 0,92	7,45 ± 6,73	3,00 ± 2,48

Assim como para as concentrações de matéria orgânica, percebe-se que os valores dos compostos nitrogenados no efluente bruto foram maiores na segunda etapa. O acréscimo de efluente de pia de cozinha contendo resíduos de alimentos pode explicar esse fato.

Através da medida de NTK e NH₄⁺, pode-se ter a medida de nitrogênio orgânico (Norg) existente nas amostras analisadas. De posse das concentrações de nitrogênio orgânico nas águas cinza, foi possível conhecer o balanço do nitrogênio total (Nt) nas amostras, antes e depois do tratamento pelo filtro anaeróbio. As concentrações de cada composto nitrogenado que interferem no valor de nitrogênio total estão expostas na Figura 31.

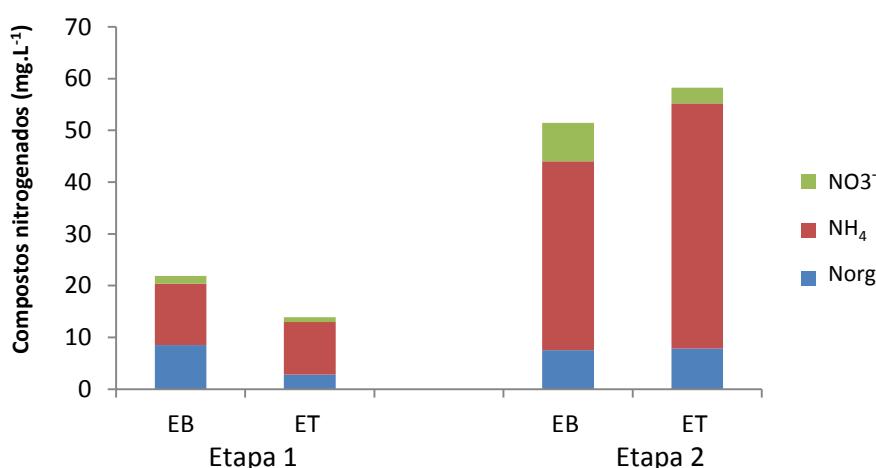


Figura 31 - Concentrações de cada composto nitrogenado que compõe o teor de nitrogênio total.

Na primeira etapa, o efluente tratado apresentou diminuição no valor de nitrogênio total, devido, principalmente, à redução na concentração de nitrogênio orgânico, como pode ser observado na Figura 31. O nitrogênio

orgânico pode ter sido removido devido à incorporação deste à biomassa celular dentro do reator. Ainda na primeira etapa, percebe-se que a concentração de amônia permaneceu praticamente inalterada, apresentando maior contribuição na fração de nitrogênio total.

Na segunda etapa, houve aumento do nitrogênio total e NTK, que pode ser explicado pela elevação na concentração de amônia no efluente tratado. Entretanto, esse aumento na fração de amônia pode ser considerado normal em se tratando de reatores anaeróbios. No processo de digestão anaeróbia, durante a acidogênese, fase em que produtos solúveis originados da hidrólise são metabolizados, ocorre liberação de amônia através da degradação de aminoácidos. Somado a isso, o processo de nitrificação, que configura principal forma de remoção de amônia, acontece aerobicamente, portanto já não era esperada remoção desse composto por esse sistema.

A importância da formação de amônia e o equilíbrio entre a forma ionizada e não ionizada é significativa nos processos anaeróbios. A degradação de aminoácidos produz bicarbonato de amônia, que além de ser fonte de nitrogênio para os microrganismos funciona como tampão para as mudanças de pH. Sabe-se que as duas formas de amônia encontram-se em equilíbrio de acordo com a Equação 8:



Em elevadas concentrações do íon hidrogênio, o equilíbrio da reação desloca-se para a formação do íon amônia, já para maiores valores de pH, o equilíbrio desloca-se para a direita, formando amônia não ionizada, que pode ser o agente inibidor dos processos anaeróbios, uma vez que, ambas as formas podem se tornar tóxicas aos microrganismos anaeróbios quando presentes em elevadas concentrações.

De acordo com o exposto, o equilíbrio entre os compostos nitrogenados, assim como a dinâmica de formação de amônia, também podem indicar problemas no processo de degradação anaeróbia, no entanto, no caso do filtro anaeróbio aqui estudado, os resultados apontam para o bom funcionamento do reator.

Fósforo Total

Na Tabela 14 é possível observar os resultados obtidos para o monitoramento de fósforo total durante a operação da unidade.

Tabela 14 - Valores de fósforo total nas duas etapas de tratamento

		$P_{total} (mg.L^{-1})$				
		N	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Pad.
Etapa 1	EB	20	0,96	0	4	0,93
	ET	18	0,77	0	1,4	0,39
Etapa 2	EB	11	3,07	1,99	4,72	0,99
	ET	11	3,06	1,51	4,25	0,87

Percebe-se que em ambas as etapas a concentração de fósforo não diferiu significativamente após a passagem pelo filtro anaeróbio. Entretanto, esse comportamento era esperado, uma vez que sistemas como o utilizado nessa pesquisa não têm o objetivo de remoção dessa variável. A pequena quantidade de fósforo total que ficou retida no reator pode ser devido à incorporação por parte da biomassa microbiana existente no filtro, pela retenção física de partículas sólidas, que continham algum teor de fósforo em sua constituição, ou mesmo pela adsorção de fósforo nessas partículas.

Outro fator que pode ser observado na Tabela 13 é a grande oscilação na concentração de fósforo nas águas cinza bruta. A principal fonte de fósforo total são os produtos de limpeza e produtos de higiene pessoal. Com isso, a concentração de fósforo pode variar de acordo com a utilização destes. É possível perceber também, que com o acréscimo de efluente de pia de cozinha, a concentração de fósforo total foi maior. Como já dito, produtos de limpeza, como detergentes, são as principais fontes de fósforo em efluentes domésticos, portanto o aumento da concentração dessa variável mediante o acréscimo de efluente de pia de cozinha já era esperado. Todavia, como também já foi observado, o comportamento do filtro anaeróbio foi semelhante nas duas etapas.

Óleos e Graxas

O teor de óleos e graxas em reatores anaeróbios pode ocasionar redução na eficiência de tratamento, uma vez que pode limitar a degradação de substrato solúvel pela biomassa (Jeganathan et al 2006). Além disso, Long et al (2011) afirmam que óleos e graxas podem ser prejudiciais à tubulação responsável pela coleta e distribuição do efluente, uma vez que podem formar depósitos endurecidos através de reações químicas, ou mesmo por processo físicos. Travis et al (2008) avaliaram o reuso de águas cinza em irrigação de jardins, e afirmam que efluentes de pia de cozinha sem tratamento, podem provocar acumulação de óleos e graxas nas camadas superiores do solo, o que pode interferir na disponibilidade de água para o crescimento das plantas. Os autores ainda concluem que, muito embora o reuso de águas cinza na irrigação seja uma alternativa interessante, os possíveis efeitos da presença de óleos e graxas não podem ser negligenciados. Esse aspecto é importante de ser observado, uma vez que a irrigação de áreas verdes consome significativo volume de água no AITN.

Os resultados obtidos para as análises de óleos e graxas durante a segunda etapa de operação da unidade de tratamento estão expostos na Tabela 15.

Tabela 15 - Valores de óleos e graxas na segunda etapa de tratamento

		Óleos & Graxas (mg.L ⁻¹)				
		n	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Pad.
Etapa 2	EB	11	22,82	5,00	40,70	13,57
	ET	11	0,00	0,00	0,00	0,00

Como pode ser observado na Tabela, os resultados encontrados na segunda etapa foram satisfatórios. Em todas as coletas realizadas, não foi encontrada concentração alguma de óleos e graxas.

Os resultados obtidos em estudo de caracterização qualitativa das águas cinza produzidas no AITN mostraram que os efluentes de pia de cozinha apresentam maiores concentrações dessa variável, quando comparado com efluente de chuveiro e pia de banheiro. Com isso, seria esperado que na primeira etapa, as concentrações de óleos e graxas no efluente bruto fossem

menores que as apresentadas na Tabela acima. Como o filtro anaeróbio foi capaz de remover toda a carga de óleos e graxas existente nas águas cinza contendo efluente de pia de cozinha, é de se esperar que a eficiência seja satisfatória também em efluentes menos concentrados, contemplando as águas cinza geradas nos diversos edifícios considerados nesse estudo.

Condutividade Elétrica

A Tabela 16 traz os resultados de condutividade elétrica descritos estatisticamente.

Tabela 16 - Valores de condutividade elétrica nas duas etapas de tratamento

		Condutividade Elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)				
		n	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Pad.
Etapa 1	EB	18	642,14	444	1149	149,02
	ET	14	588,57	523	660	37,35
Etapa 2	EB	11	1047,3	673,8	1500	236,44
	ET	11	1096,16	902,8	1262	126,64

Os valores de condutividade elétrica nas águas cinza do AITN são elevados devido à água de abastecimento. Entretanto, percebe-se na Tabela que o acréscimo de efluente de pia de cozinha propiciou a elevação dos valores desse variável. Além disso, nota-se que os valores de condutividade elétrica não variaram significativamente após o tratamento em nenhuma das etapas de operação. No entanto, essa variável não apresenta grandes riscos sanitários. Seu acompanhamento é necessário devido à relação com o risco de formação de incrustações na tubulação que transporta o efluente. Os sais dissolvidos que conferem os valores de condutividade elétrica, dependendo das condições do meio, como temperatura e pH, podem precipitar, e com isso, provocar o entupimento de instalações hidráulicas.

Escherichia coli

Para o reuso de águas cinza a qualidade sanitária do efluente deve ser observada com atenção, a fim de se minimizar os riscos para a saúde dos usuários (Friedler et al 2006). Muito embora a remoção de organismos

indicadores de contaminação fecal tenha sido objetivada a partir da radiação ultravioleta, o comportamento do filtro anaeróbio perante a concentração de *E. coli* foi acompanhado. Os resultados estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Valores de *E. coli* para o efluente do filtro anaeróbio nas duas etapas de tratamento

			<i>E. coli</i> (NMP/100mL)			
			n	Média	Mínimo	Máximo
Etapa 1	EB	14	6,80E+01	3,10E+00	2,40E+03	6,81E+02
	ET	15	3,25E+01	1,00E+00	9,70E+02	3,89E+02
Etapa 2	EB	9	9,36E+02	1,00E+02	1,00E+04	3,08E+03
	ET	11	4,46E+01	4,00E+00	2,05E+02	8,30E+01

Pode-se observar que as concentrações de *E. coli* nas amostras coletadas variaram muito no decorrer do monitoramento, fato esse evidenciado pelo elevado desvio padrão. Na etapa 1, os valores de *E. coli* nas águas cinza bruta chegaram a $2,4 \times 10^3$ NMP/100mL, com média de $6,8 \times 10^1$ NMP/100mL. No efluente tratado, a concentração máxima observada foi na ordem de 10^2 NMP/100mL, não apresentando redução nos valores médios, de nenhuma unidade logarítmica. Na etapa 2, o efluente bruto apresentou concentração superior quando comparado ao efluente bruto da primeira etapa, com $9,36 \times 10^2$ NMP/100mL em média, e valores máximos de $1,0 \times 10^4$ NMP/100mL. *E. coli* em efluentes de pia de cozinha pode ser originada a partir da higienização de alimentos como frutas e legumes que possuam algum grau de contaminação. Já as águas cinza tratadas na segunda etapa apresentaram redução de uma unidade logarítmica em média.

As pequenas diferenças apresentadas entre as concentrações de *E. coli* para as águas cinza antes e após o tratamento podem ser atribuídas à retenção física pelo meio suporte. Li et al (2009) afirmam que apenas o tratamento biológico não é suficiente para atingir os diferentes padrões de reuso, sendo necessário a inclusão da etapa de desinfecção.

Apesar de as concentrações médias de *E. coli* no efluente tratado nas duas etapas terem sido reduzidas, e estejam dentro dos padrões sugeridos por diversas normas de reuso de efluentes em atividades não potáveis (NBR

13969/97, WHO 2006, USEPA 2004), esses valores não foram encontrados em todas as amostragens realizadas, como mostram os valores máximos de cada etapa. Estes resultados reforçam a necessidade da etapa de desinfecção, a fim de garantir a eficiência na inativação dos organismos indicadores de contaminação fecal e diminuir o risco de contaminação frente ao reuso do efluente.

Unidade de Desinfecção Ultravioleta

A desinfecção ultravioleta se dá pela destruição da capacidade reprodutora dos microrganismos. Quando a radiação UV penetra o interior das células, afeta o material genético, e compromete a capacidade de reprodução.

Antes de qualquer processo de desinfecção, é necessário que o efluente passe por um tratamento que vise à redução na concentração de sólidos, uma vez que esses podem interferir na inativação dos organismos patogênicos. Liberti et al (2002) corroboram com a informação acima, afirmando que o tratamento prévio pode otimizar a eficiência da desinfecção. Winward et al (2008), estudando os efeitos de sólidos suspensos e de matéria orgânica na desinfecção realizada com cloro, afirmam que sólidos suspensos podem formar associados com organismos indicadores, dificultando a desinfecção. Além disso, os autores dizem que a matéria orgânica existente no efluente também deve ser removida, diminuindo a demanda por cloro e impossibilitando o crescimento de microrganismos no efluente tratado.

No presente trabalho, o próprio manual de operação do equipamento utilizado para a desinfecção ultravioleta afirmava a necessidade de o efluente possuir valores de turbidez próximos a 5 uT para que a eficiência do processo fosse garantida. Partindo dessa informação, a operação do dispositivo de desinfecção proposto teve início quatro semanas após o começo da operação do filtro anaeróbio, quando este apresentou resultados de turbidez que não comprometeriam o processo.

A Tabela 18 apresenta os resultados para a concentração de *E. coli* obtidas a partir da desinfecção ultravioleta na primeira etapa de operação.

Tabela 18 - Valores de *E. coli* antes e depois do dispositivo de desinfecção ultravioleta

<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	
Água cinza bruta	Água cinza tratada
1,01E+01	1,00E+00
8,50E+00	4,10E+00
1,00E+00	ND *
3,00E+00	ND
3,05E+01	ND
1,81E+01	ND
6,30E+00	ND
3,00E+00	ND
7,25E+01	ND
4,36E+00	ND

* ND = não detectado.

A desinfecção ultravioleta foi eficiente na remoção de organismos indicadores de contaminação fecal (Tabela 17). Das nove amostragens realizadas, duas apresentaram concentração de *E. coli* na ordem de 10^0 NMP/100mL, enquanto nas outras sete, não foi detectada a presença desse microrganismo. Friedler e Gilboa (2010), estudando o uso de radiação ultravioleta na desinfecção de águas cinza para o reuso em vasos sanitários, chegaram a resultados semelhantes aos do presente estudo, atingindo remoção de 100% para *E. coli*. Os mesmos autores afirmaram que os riscos a saúde a partir do uso de águas cinza devidamente desinfetadas dessa forma são insignificantes. Considerando-se a qualidade microbiológica proporcionada pela desinfecção e as doses infectantes dos organismos patogênicos presentes, uma pessoa teria que ter contato com grandes volumes desse efluente, por um tempo longo, para que o risco fosse elevado.

A escolha correta das características do dispositivo de desinfecção possibilitou a inativação eficiente dos organismos indicadores de contaminação fecal. As características do equipamento utilizado permitiram que as doses de radiação ultravioleta fossem suficientes para inativação de *E. coli*. Além disso, as remoções de sólidos suspensos e turbidez em aproximadamente 70% também contribuíram para a eficácia da desinfecção.

Na segunda etapa de operação, como justificado na metodologia, o equipamento de desinfecção ultravioleta apresentou problema técnico devido ao contato com água de chuva, que comprometeu seu sistema elétrico, e com isso, não foi operado. Todavia, o efluente gerado pelo filtro anaeróbio apresentou características semelhantes nas duas etapas de operação, sobretudo para a concentração de matéria orgânica e sólidos suspensos. Diante disso, espera-se que a desinfecção ultravioleta apresente resultados satisfatórios para as águas cinza produzidas no AITN.

Atendimento aos limites e padrões

Foi realizada análise de frequência de atendimento aos padrões de qualidade existentes para reuso de água não potável. Foram considerados os valores mais e menos restritivos de diversas normas que dispõem sobre reuso de água não potável em todo o mundo (Tabela 19). Na exposição dos resultados, “E1” exibe a porcentagem de atendimento na primeira etapa de operação, enquanto “E2” representa o atendimento na segunda etapa de operação. A Figura 32 apresenta os resultados para a análise mencionada.

Tabela 19 - Valores mais e menos restritivos encontrados em diferentes normas

	Turbidez	SST (mg.L⁻¹)	DBO₅ (mg.L⁻¹)	<i>E. coli</i> (NMP/100mL)
Mais restritivo	2 uT	5	5	ND
Menos restritivo	10 uT	30	30	500

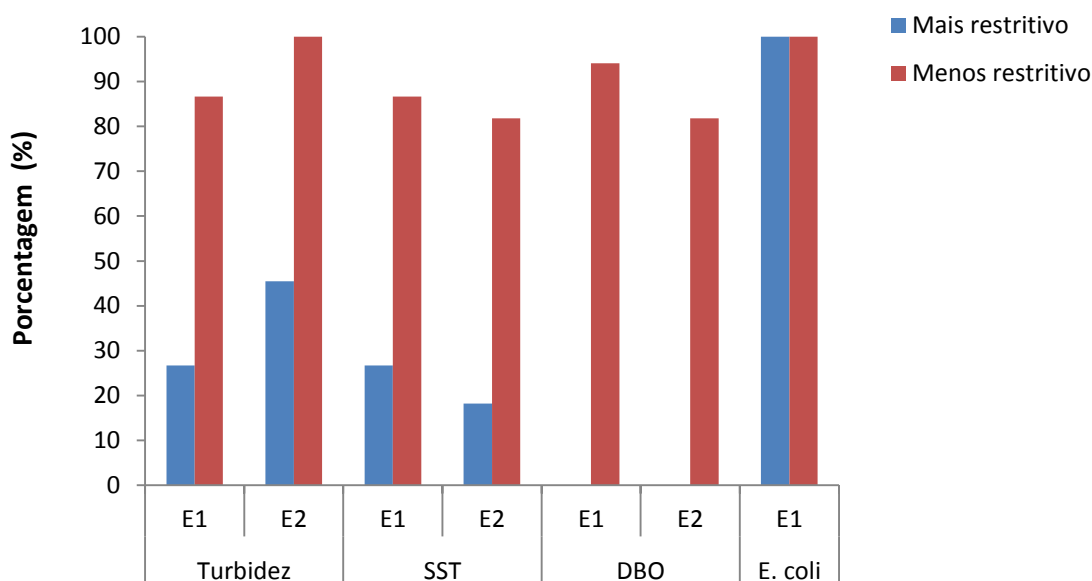


Figura 32 - Porcentagem de atendimento aos padrões mais e menos restritivos.

A Figura 32 mostra que nas duas etapas de operação, uma porcentagem pequena das amostras coletadas atingiu os resultados indicados pelos padrões mais restritivos para turbidez e sólidos suspensos, enquanto que para DBO₅, nenhuma das amostras apresentou os valores mencionados. Apenas para *E. coli* os resultados foram satisfatórios em termos dos padrões mais restritivos, sendo que 100% das amostras coletadas atingiram os valores estabelecidos. Em contrapartida, nas duas etapas de operação, os valores indicados nos padrões menos restritivos foram atingidos em grande porcentagem das amostras coletadas, sendo 87% e 100% para turbidez, 87% e 82% para sólidos suspensos, 94% e 82% para DBO₅. Para *E. coli* obviamente esse valor foi de 100%.

Foi realizada também uma análise de frequência a partir dos valores indicados pela NBR 13969 de 1997 para as classes 1, 2 e 3 de usos não potáveis. A classe 4 não foi incluída na análise, uma vez que os usos por ela discriminados não ocorrem no AITN. A Figura 33 apresenta os resultados.

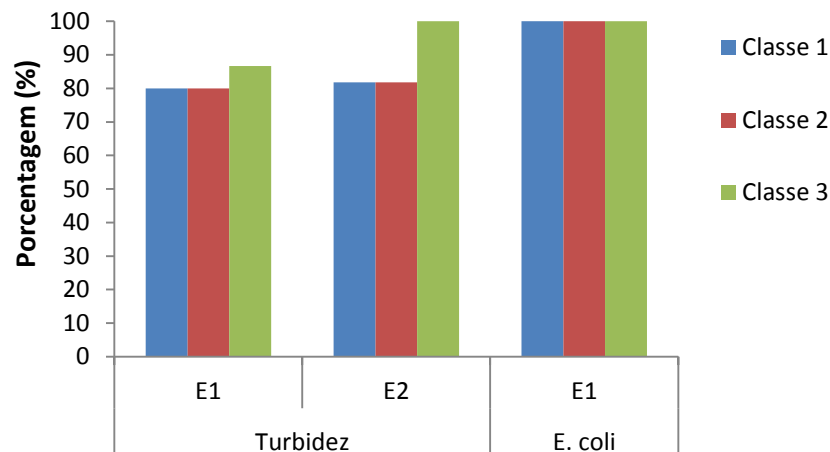


Figura 33 - Porcentagem de atendimento aos valores indicados na NBR 13969/97.

Em relação aos valores estabelecidos pela NBR 13969/1997, nas duas etapas de operação, 80% das coletas realizadas apresentaram efluentes com valores de turbidez de acordo com o indicado para as classes 1 e 2, sendo que para a classe 3 esse valor subiu para 87% na primeira etapa e para 100% na segunda etapa. Para *E. coli*, 100% dos resultados estavam dentro dos limites estabelecidos para as três classes.

A necessidade de se atingir determinados padrões para turbidez está relacionado à possibilidade de entupimento em tubulações devido ao acúmulo de partículas suspensas, à aceitação por parte dos usuários, devido ao aspecto que o efluente possa apresentar, e principalmente à interferência no processo de desinfecção. Nas duas etapas de operação do filtro anaeróbio, depois das duas primeiras semanas de monitoramento, todas as coletas apresentaram valores entre 5 e 10 uT, sendo a maioria inferior a 5 uT, como exibido nas Figuras 16 e 17. O efluente gerado não apresentava aspecto e odor desagradável, e como comprovado pelos resultados de *E. coli*, não comprometeu o processo de desinfecção. Segundo Winward et al (2008), a importância em se atingir os valores indicados para DBO_5 está relacionada à necessidade de impedir o crescimento de microrganismos no efluente tratado. Considerando-se os padrões internacionais menos restritivos, e a NBR 13969/1997 os resultados apresentados pela análise de frequência foram satisfatórios.

No que diz respeito aos limites de organismos indicadores de contaminação fecal, todas as normas consideradas na análise de frequência citam valores para coliformes totais ou coliformes fecais. Nessa pesquisa, o indicador utilizado foi *E. coli*, um organismo mais representativo da contaminação fecal, devido ao fato de ele ser exclusivo do trato intestinal de animais de sangue quente. Ou seja, se os valores exigidos foram atendidos para *E. coli*, logo serão atendidos para coliformes totais e coliformes fecais.

As águas cinza tratadas pela unidade proposta possuem características que satisfizeram em grande parte das amostras, os critérios de normas nacionais (NBR 13969/1997) e de normas internacionais menos restritivas, podendo ser reutilizadas em atividades como irrigação de áreas verdes, descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos e reserva contra incêndio. Os valores mais restritivos de turbidez eram de 2 uT, entretanto, para atividades como as exercidas no AITN, limites menos severos podem ser considerados. Em se tratando da qualidade microbiológica, o dispositivo de desinfecção mostrou-se eficiente. Todavia, é preciso salientar que todas as normas indicam valores necessários de cloro residual no efluente tratado, com o intuito de garantir a ausência de organismos indicadores de contaminação fecal no ponto final de distribuição do efluente tratado. Portanto, seria necessária a adição de equipamento de cloração à unidade de tratamento avaliada nesse trabalho.

Avaliação econômica da unidade de tratamento

A partir da Equação 7 e dos dados de funcionamento das bombas hidráulicas, obteve-se um consumo de 44,13 Kw por mês para cada bomba utilizada, totalizando 353,04 Kw mensais, uma vez que foram consideradas 8 bombas. Para os dispositivos de desinfecção, obteve-se consumo de 25,92 Kw para cada equipamento, e um total de 207,36 Kw mensais para todos os dispositivos utilizados. Com isso, chegou-se a um gasto energético de 560,4 Kw por mês, em todas as unidades consideradas no cenário de reuso estabelecido.

Com esse consumo de energia, conhecendo-se a tarifa paga pelo AITN (R\$ 0,33), tem-se que o custo mensal exigido pelas bombas hidráulicas e pela desinfecção é de R\$ 184,93.

O custo estimado para cloração foi obtido através do número de pastilhas de cloro de 100g necessárias nas oito unidades de tratamento instaladas. Esse número de pastilhas de cada unidade é dependente da vazão de cada uma, sendo que todas as unidades juntas necessitam de 311 pastilhas por mês. Considerando-se o custo de uma pastilha a R\$ 6,00, tem-se que o custo mensal com a cloração foi de R\$ 1.866,00.

Considerando-se o volume total de águas cinza que seria tratada mensalmente nesse cenário (1.086,5 m³), e todos os custos envolvidos na operação do sistema proposto (R\$ 2.051,00), tem-se que o metro cúbico da água cinza tratada custaria R\$ 1,89.

A tarifa que a INFRAERO paga à concessionária de água e esgoto do Estado de Minas Gerais (COPASA) pela água tratada é de R\$ 4,72 por metro cúbico, de acordo com informações da própria empresa. Dessa forma, a economia mensal obtida através do reuso de águas cinza seria de R\$ 3.074,80, sendo R\$ 36.897,54 por ano.

Diante da análise realizada, é possível afirmar que o reuso de águas cinza mostra-se muito atrativo financeiramente, o que representa mais uma vantagem dessa prática, somando-se a imensuráveis ganhos ambientais.

Conclusão

A unidade de tratamento avaliada composta por filtro anaeróbio e desinfecção ultravioleta apresentou desempenho satisfatório. A redução na concentração de sólidos suspenso, turbidez, DBO e DQO na primeira etapa foi de 68%, 71%, 68% e 57%, respectivamente. Na segunda etapa as remoções foram de 77%, 88%, 73% e 71%, e para óleos e graxas a eficiência foi de 100%. Nas duas etapas de operação, as características das águas cinza após o tratamento pelo filtro anaeróbio foram semelhantes, sendo que as concentrações das variáveis mencionadas eram próximas, e o efluente não apresentava odor desagradável. A adição de efluente de pia de

cozinha, na mesma proporção em que estes são produzidos no edifício onde são preparados os alimentos servidos nas aeronaves, não comprometeu a eficiência do filtro anaeróbio.

O dispositivo de desinfecção ultravioleta mostrou eficiência significativa, sendo que a concentração máxima de *E. coli* encontrada no efluente após a radiação ultravioleta foi na ordem de 10^0 NMP/100mL, e na maioria das análises não foi detectada a presença desse organismos indicador. A eficiência do filtro anaeróbio de aproximadamente 70% para remoção de sólidos suspensos foi importante para a eficácia na desinfecção.

Os resultados da análise de frequência de atendimento aos padrões mostraram que, de acordo com normas menos restritivas, o efluente pode ser reutilizado em atividades como irrigação de jardins e áreas verdes, descarga de vasos sanitários, lavagem de pisos, e também para reserva contra incêndio, sendo necessária a adição de cloro para garantir a concentração residual desse composto exigida pelas diversas normas consideradas.

A partir da análise dos custos envolvidos na operação do sistema de tratamento foi possível constatar que o metro cúbico de água cinza tratada custa cerca de 19 vezes menos do que a água potável utilizada pela INFRAERO. Nos cálculos realizados, não foram considerados possíveis custos referentes à adição de cloro e a energia consumida por bombas hidráulicas, entretanto, mesmo com a inclusão desses gastos, o reuso de águas cinza em atividades não potáveis pode trazer economia significativa de recursos financeiros. É importante ressaltar que, muito embora diversos tratamentos avançados sejam utilizados em outras regiões do planeta, essa pesquisa mostrou que é possível tratar águas cinza produzidas em ambientes aeroportuários através de tecnologias simples e de baixo custo, atendendo aos padrões de reuso.

Referências Bibliográficas

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13969/1997. Tanques sépticos - unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

Abu Ghunmi, L., Zeeman, G., Fayyad, M., van Lier, J. B. Grey water treatment in a series anaerobic – Aerobic system for irrigation. *Bioresource Technology*, 101. pp. 41 – 50. 2010.

Al-Jayyousi, O. R. Greywater reuse: towards sustainable water management. *Desalination*, 156. pp. 181 – 192. 2003.

Andrade Neto, C O de; Haandel, A van ; Melo, H N S. (2002). O Uso do Filtro Anaeróbio para Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios no Brasil. In: X SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2002, Braga, Portugal. Anais do X Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Braga: APESB/APRH/ABES, 2002.

APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21.ed. Washington DC: APHA, 2005.

Bazzarella, B. B. Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Espírito Santo. 165p. 2005.

Brasil. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB. Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismos patógenos e substâncias nocivas. Aplicações para fins produtivos como agricultura, aquicultura e hidroponia. FINEP/PROSAB. Rio de Janeiro, 438p., 2003.

Chernicharo, C. A. L. Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Volume 5: Reatores Anaeróbios. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. 2ª edição. 2007.

Elmitwalli, T. A., Otterpohl, R. Anaerobic biodegradability and treatment of grey water in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. *Water Research*, 41. pp. 1379 – 1387. 2007.

Friedler, E., Gilboa, Y. Performance of UV disinfection and the microbial quality of greywater effluent along a reuse system for toilet flushing. *Science of the Total Environment*, 408. pp. 2109 – 2117. 2010.

Friedler, E., Kovalio, R., Ben-Zvi, A., 2006. Comparative study of microbial of greywater treated by three on-site treatment systems. *Environmental Technology*, 27 (6). pp. 653–663. 2006.

Gannoun, H., Bouallagui, H., Okbi, A., Hamdi, M. Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of biologically pretreated abattoir wastewaters in an upflow anaerobic filter. *Journal of Hazardous Materials*. 170 (1), 263–271. 2009.

Gilboa, Y., Friedler, E. UV disinfection of RBC-treated light greywater effluent: Kinetics, survival and regrowth of selected microorganisms. *Water Research*, 42. pp. 1043 – 1050. 2008.

Guo, M.; Hu, H.; Liu, W. Preliminary investigation on safety of post-UV disinfection of wastewater: bio-stability in laboratory-scale simulated reuse water pipelines. *Desalination*. 239, 22 – 28. 2009.

Halalsheh, M., Dalahmeh, S., Sayed, M., Suleiman, W., Shareef, M., Mansour, M., Safi, M. Grey water characteristics and treatment options for rural areas in Jordan. *Bioresource Technology*, 99. pp. 6635 – 6641. 2008.

Hernández Leal, L., Temmink, H., Zeeman, G., Buisman, C. J. N. Characterization and anaerobic biodegradability of grey water. *Desalination*, 270. pp. 111 – 115. 2011.

HKIA, HONG KONG INTERNATIONAL AIRPORT. Water manegement (2010).

INFRAERO – Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária, 2011a. Disponível em: <http://www.infraero.gov.br/index.php/br/aeroportos/minas->

gerais/aeroporto-de-tancredo/complexo-aeroportuario.html. Acesso em 15 de set de 2011.

INFRAERO – Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. Aeroporto-Indústria e segundo Terminal de Confinos abrem licitações. 04 out 2011. Disponível em: <<http://www.infraero.com.br>>. Acesso em: 12 nov. 2011b.

INFRAERO. Tarifa de água e energia no aeroporto de Confinos. Publicação Eletrônica [Mensagem pessoal]. Mensagem recebida por eduardo.acouto@hotmail.com em: 25/10/2010. 2010.

Jefferson, B., Burgess, J. E., Pichon, A., Harkness, J., Judd, S. J. Nutrient addition to enhance biological treatment of greywater. *Water Research*, 35 (11). pp. 2702 – 2710. 2001.

Jeganathan, J., Bassi, A., Nakhla, G. Pre-treatment of high oil and grease pet food industrial wastewaters using immobilized lipase hydrolyzation. *Journal of Hazardous Materials*, 137. pp. 121 – 128. 2006.

Lamine, M., Bousselmi, L., Ghrabi, A. Biological treatment of grey water using sequencing batch reactor. *Desalination*, 215. pp. 127 – 132. 2007.

Lee, M.W., Joung, J.Y., Lee, D.S., Park, J.M., Woo, S.H. Application of a movingwindow- adaptive neural network to the modeling of a full-scale anaerobic filter process. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 44, p 3973–3982. 2008.

Li, F., Wichmann, K., Otterpohl, R. Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of the Total Environment*, 407. pp. 3439 – 3449. 2009.

Liberti, L.; Notarnicola, M.; Petruzzelli, D. Advanced treatment for municipal wastewater reuse in agriculture. UV disinfection: parasite removal and by-product formation. *Desalination*. 152 315 – 324. 2002.

Long, J.H., de los Reyes III, F. L., Ducoste, J. J. Anaerobic co-digestion of fat, oil, and grease (FOG): A review of gas production and process

limitations. Process Safety and Environmental Protection (2011), doi:10.1016/j.psep.2011.10.001

MHC, Canadian Guidelines for domestic reclaimed water for use in toilet and urinal flushing. Minister of Health Canada. Ottawa, Ontario. 2010.

Moreira Neto, R. F. Avaliação do aproveitamento de água pluvial em ambientes aeroportuários. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Viçosa. 2011.

NIAC, NARITA INTERNATIONAL AIRPORT CORPORATION. 2010. Narita Airport Environment Report 2010.

NSW HEALTH. Greywater reuse in Sewered single domestic premises. Sidney, 2002. Disponível em: <http://www.health.nsw.gov.au/publichealth/ehb/general/wastewater/greywater_policy.pdf> Acesso em: 08 set 2011.

Santos, C., Taveira-Pinto, F., Cheng, C. Y., Leite, D. Development of an experimental system for greywater reuse, Desalination (2011), doi:10.1016/j.desal.2011.10.017.

Travis, M. J., Weisbrod, N., Gross, A. Accumulation of oil and grease in soils irrigated with greywater and their potential role in soil water repellency. Science of the Total Environment, 394. pp. 68 – 74. 2008.

USEPA – United States Environmental Protection Agency, Manual: Guidelines for water reuse, Washington. DC: 2004. (EPA/625/R-04/108).

WHO - World Health Organization. Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volume 2: Wastewater and Excreta Use in Agriculture. Geneva. 2006.

Wichmann, L. F.; Otterpohl, K. Evaluation of appropriate technologies for grey water treatments and reuses. Water Science and Technology. 59 (2) 249 – 260. 2009.

Winward, G. P., Avery, L. M., Stephenson, T., Jefferson, B. Chlorine disinfection of grey water for reuse: Effect of organics and particles. *Water Research*, 42. pp. 483 – 491. 2008.

Considerações Finais

O reuso de águas cinza é uma atividade crescente em aeroportos por todo o mundo, entretanto, diante da necessidade da gestão adequada dos recursos hídricos, e da possibilidade de economia de recursos financeiros, muitos investimentos ainda podem ser realizados nesse sentido.

A qualidade das águas cinza em aeroportos é influenciada por diversos fatores como a qualidade da água de abastecimento e os usos a que são destinadas. Os efluentes originados de pias de cozinha mostraram maior concentração de matéria orgânica, sólidos suspensos, óleos e graxas, fósforo e *E. coli*. Já as águas cinza oriundas de chuveiro apresentaram valores de *E. coli* semelhantes aos encontrados em pias de cozinha, e exibiram as maiores concentrações de NTK e N-NH_4^+ . A caracterização qualitativa das águas cinza geradas no AITN mostrou que esse aspecto não representa empecilho para o tratamento e o posterior reuso desse efluente.

O levantamento dos aspectos relacionados à geração de águas cinza em aeroportos mostrou que o uso de chuveiro e pias de banheiro são as atividades que mais contribuem para a geração desse efluente, por outro lado, as maiores demandas por água não potável vem da descarga de bacias sanitárias e irrigação de áreas verdes. Mais do que isso, o estudo mostrou que a demanda por água não potável nos edifícios estudados pode ser suprida pelo volume de águas cinza produzido, o que contribui para a viabilidade dessa prática.

A unidade de tratamento de águas cinza avaliada, composta por filtro anaeróbio seguido de desinfecção ultravioleta apresentou resultados satisfatórios do ponto de vista do reuso. O filtro foi capaz de remover matéria orgânica, sólidos suspensos e óleos e graxas, enquanto o dispositivo de desinfecção foi capaz de reduzir eficientemente as concentrações de *E. coli*.

As águas cinza tratadas pelo sistema proposto apresentaram valores condizentes com as normas e padrões de reuso menos restritivas, sendo possível o uso em atividades como irrigação de áreas verdes, descarga de bacias sanitárias, lavagem de pátios e veículos e reserva contra incêndio. O

custo de operação foi de apenas R\$0,25 por metro cúbico de água cinza tratada, o que é aproximadamente 19 vezes inferior ao preço do metro cúbico da água potável na região de Confins. Essa questão merece destaque, pois, muito embora diversos tratamentos avançados sejam utilizados em outras regiões do planeta, a tecnologia utilizada no presente estudo é de simples operação, tem custos reduzidos, e ainda apresenta resultados satisfatórios.

Os resultados encontrados nessa pesquisa apontam para o reuso de águas cinza como alternativa muito atraente também em ambientes aeroportuários. As características qualitativas e os aspectos quantitativos, assim como o tratamento eficiente por sistema de simples operação e de baixo custo não deixam justificativas para a não adoção dessa prática. Portanto, o reuso de águas cinza deve ser fortemente incentivado em aeroportos.