

**DESINFECÇÃO DE ÁGUAS CINZAS POR APLICAÇÃO DE  
HIPOCLORITO DE CÁLCIO PARA FINS DE REUSO NÃO POTÁVEL**

**Rodrigo Felipe da Cal**

Orientadora: Maria Elisa Magri

2011/1





UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

RODRIGO FELIPE DA CAL

**DESINFECÇÃO DE ÁGUAS CINZAS POR APLICAÇÃO DE  
HIPOCLORITO DE CÁLCIO PARA FINS DE REÚSO NÃO  
POTÁVEL**

Florianópolis  
2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

RODRIGO FELIPE DA CAL

**DESINFECÇÃO DE ÁGUAS CINZAS POR APLICAÇÃO DE  
HIPOCLORITO DE CÁLCIO PARA FINS DE REUSO NÃO  
POTÁVEL**

Trabalho apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

Orientador(a): Eng. Msc. Maria Elisa Magri

Co-orientador(a): Prof. Dr. Luiz Sérgio Philippi

Florianópolis  
2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

RODRIGO FELIPE DA CAL

**DESINFECÇÃO DE ÁGUAS CINZAS POR APLICAÇÃO DE  
HIPOCLORITO DE CÁLCIO PARA FINS DE REÚSO NÃO  
POTÁVEL**


Este trabalho foi julgado adequado para a obtenção do título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental e aprovado em sua forma final pela Banca examinadora e pelo curso de graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

BANCA EXAMINADORA:



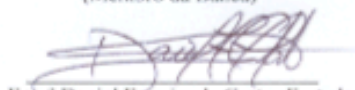
---

Luiz Sérgio Philippi, Dr.  
(Co-orientador)



---

Cátia Regina Silva de Carvalho Pinto, Dra.  
(Membro da Banca)



---

Eng.º Daniel Ferreira de Castro Furtado  
(Membro de Banca)

Florianópolis  
2011

## **DEDICATÓRIA**

Primeiramente, dedico este trabalho a toda a minha família, que sempre esteve ao meu lado nos momentos de alegria e nos momentos de necessidade, me apoiando e sempre torcendo por mim.

Dedico também à minha namorada, por todo o apoio e amor nessa fase da minha vida.

Aos meus professores que, durante a graduação, não só me capacitaram tecnicamente para chegar onde estou, como também me fizeram aprender com suas experiências, por meio de conversas aleatórias.

E finalmente, aos meus preciosos amigos. Aos antigos amigos, e aos que fiz durante esses anos. Aos meus amigos do Futsal da UFSC, que me acompanharam fazendo Estática algumas vezes, sempre como uma família. Todos sempre acreditaram em mim. Desejo que essa família que se formou permaneça para todo sempre.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer à toda minha família. Minha mãe, minha avó e minha tia por todo apoio e paciência quando eu precisei. Ao meu pai e meu avô pelos conselhos, sempre sábios, e ajudas de cunho mais técnico quando necessitava.

Gostaria de agradecer à minha namorada, Paulinha, pelo amor, paciência, apoio, ajuda técnica, conselhos e pela amizade. Eu te amo.

À amiga e companheira de trabalho no GESAD, Tuti, por todo o auxílio na confecção deste trabalho. Sua ajuda foi indispensável, sem a qual teria tornado deveras mais difícil a conclusão deste TCC.

À Maria Elisa Magri pela orientação, mesmo com toda distância, e por todo aprendizado nos anos de trabalho no GESAD.

Agradeço também à todos os que me ajudaram, direta e indiretamente, durante a realização das análises e da pesquisa.

Aos meus professores pelo conhecimento e experiência passados durante toda a graduação.

Aos meus amigos, pelo apoio, parceria, companhia e momentos de descontração.

E finalmente, à todos que fizeram parte da minha vida nos anos de graduação. Todos contribuíram para meu aprendizado e evolução como pessoa e agora, Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

## RESUMO

No atual contexto mundial de escassez de água de boa qualidade, o reuso surge como uma opção viável e sustentável. O reuso da água, após o devido tratamento, possibilita sua utilização em vários níveis. Para isso, há uma nova abordagem que defende a segregação das águas residuárias domiciliares em águas cinzas e águas negras, sendo que haverá um tipo de tratamento para cada situação e tipo de efluente para reuso. O reuso não potável diz respeito à utilização da água já tratada para fins menos nobres como lavagem de pisos, rega de jardim, paisagismo e recarga de aquíferos. Algumas normas e manuais definem alguns padrões de referência para o reuso e alguns desses padrões abrangem a presença de microrganismos patogênicos nessas águas como Coliformes totais e *Escherichia coli*. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo caracterizar as águas cinzas de uma residência unifamiliar de base rural, bem como verificar e avaliar a desinfecção destas águas cinzas por adição de hipoclorito de cálcio, verificando também o ressurgimento dos microrganismos após a desinfecção. Para isso, o trabalho foi dividido em duas etapas: preliminar e final. A etapa preliminar consistiu na criação de uma curva *massa de hipoclorito de cálcio X concentração de cloro residual* para que, a partir da concentração de cloro residual que se desejava para o efluente desinfetado, fosse estimada uma quantidade de hipoclorito de cálcio ideal, em massa. A etapa final consistiu na desinfecção propriamente dita, com posterior verificação do ressurgimento de microrganismos patogênicos. Estas águas, antes da desinfecção, apresentaram valores dentro dos padrões exigidos, o que justificou a contaminação das amostras com culturas de *E. coli* para melhor visualização do decaimento bacteriano. Porém os resultados não foram satisfatórios em relação à desinfecção, pois apesar de a mesma ter acontecido, teve origem em uma supercloração, que também resultou em altas concentrações de cloro residual.

**PALAVRAS CHAVE:** Reuso de águas cinzas, desinfecção, padrões de reuso, águas cinzas.

## ABSTRACT

In today's world of scarcity of good quality of water, the reuse has emerged as a viable and sustainable option. The water reuse, after the adequate treatment, allows its use in several levels. To achieve this, there is a new approach that defends the separation of the household wastewater in blackwater and greywater, on which there is a kind of treatment for each status and type of effluent for reuse. The non-potable reuse relates to the use of already tested water for less noble purposes as washing floors, landscaping and groundwater recharge. Some standards and manuals define some references for reuse and some of these standards include the presence of pathogenic microorganisms in these waters as Total coliforms and *Escherichia coli*. In this context, this study aims to characterize rural-based residence's greywater, as well as to examine and evaluate the greywater disinfection by adding calcium hypochlorite, also checking the regrowth of microorganisms after the disinfection. For this, after the characterization of the greywater, the study was divided into two stages: the preliminary and the final one. The preliminary stage was related to the conception of *mass of calcium hypochlorite X residual chlorine concentration* curve so that, from the desired value of residual chlorine concentration for the disinfected effluent, the ideal mass of calcium hypochlorite was estimated. The final stage was related to the disinfection itself, with subsequent verification of the regrowth of pathogenic microorganisms. This water, before disinfection, resulted in values that were according to the required standards, which have justified the contamination of the samples with *E. coli* cultures for a better visualization of bacterial decay. But the results were not satisfactory regarding the disinfection, because although it has happened, it was caused by superchlorination, which also resulted in high concentrations of residual chlorine.

**KEY WORDS:** Greywater reuse, disinfection, reuse standards, greywater.



## LISTA DE ABREVIATURAS

AB	Águas Cinzas Brutas
ABNT	Associação Brasileira de Normas e Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
Ca(ClO) <sub>2</sub>	Hipoclorito de Cálcio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
GESAD	Grupo de Estudo em Saneamento Descentralizado
pH	Potencial Hidrogeniônico
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
STS	Saída do Tanque Séptico
SST	Sólidos Suspensos Totais
SW	Saída do Filtro Plantado com Macrófitas
THM	Trihalometanos
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio

## LISTA DE TABELAS E FIGURAS

TABELA 1: PADRÕES DE REFERÊNCIA PARA REUSO .....	7
FIGURA 1: EXEMPLO DO CICLO FECHADO – INTERFACE URBANO RURAL .....	13
FIGURA 2: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO BAIRRO TRÊS BARRAS .....	15
TABELA 2: RESUMO DAS MÉDIAS DOS VALORES MEDIDOS DOS PARÂMETROS DA ÁGUA CINZA.....	22
TABELA 3: RESULTADOS OBTIDOS PARA OS PARÂMETROS MEDIDOS DA AMOSTRA 1. .....	25
TABELA 4: RESULTADOS OBTIDOS PARA OS PARÂMETROS MEDIDOS DA AMOSTRA 2. .....	26
TABELA 5: RESULTADOS OBTIDOS PARA OS PARÂMETROS MEDIDOS DA AMOSTRA 3. .....	27
TABELA 6: RESULTADOS OBTIDOS PARA OS PARÂMETROS MEDIDOS DA AMOSTRA 4. .....	28
TABELA 7: VALORES MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO DE CLORO RESIDUAL .....	29
FIGURA 3: GRÁFICO <i>MASSA DE <math>Ca(ClO)_2</math> X CONCENTRAÇÃO DE CLORO RESIDUAL</i> ..	30
TABELA 8: QUANTIDADES IDEIAS DE $Ca(ClO)_2$ , EM MASSA.....	31
TABELA 9: VALORES DE DQO DA ÁGUA CINZAS NO MEIO DO DIA DE ANÁLISES. ....	32
TABELA 10: VALORES DE DQO DA ÁGUA CINZAS NO FIM DO DIA DE ANÁLISES. ....	32
TABELA 11: VALORES DE PH MEDIDOS.....	33
TABELA 12: CONCENTRAÇÕES DE CLORO RESIDUAL APÓS 48H.....	34
TABELA 13: CONCENTRAÇÕES DE DQO DAS AMOSTRAS MEDIDAS.....	35

# ÍNDICE GERAL

## DESINFECÇÃO DE ÁGUAS CINZAS POR APLICAÇÃO DE HIPOCLORITO DE CÁLCIO PARA FINS DE REÚSO NÃO POTÁVEL

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
2.1. OBJETIVO GERAL.....	3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
3.1. REUSO DE ÁGUAS.....	4
3.1.1. PADRÕES DE REUSO .....	6
3.2. ÁGUAS CINZAS .....	8
3.3. FORMAS DE DESINFECÇÃO .....	9
3.3.1. DESINFECÇÃO POR ADIÇÃO DE CLORO.....	9
3.4. SANEAMENTO DESCENTRALIZADO .....	11
3.5. SANEAMENTO ECOLÓGICO .....	12
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>15</b>
4.1. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL .....	15
4.2. ETAPAS DE REALIZAÇÃO DA DESINFECÇÃO.....	17
4.2.1. ETAPA PRELIMINAR .....	17
4.2.2. ETAPA FINAL .....	19
4.2.2.1. AVALIAÇÃO DAS AMOSTRAS COM A APLICAÇÃO DE HIPOCLORITO DE CÁLCIO .....	19
4.2.2.2. AVALIAÇÃO DO RECREScimento DOS MICRORGANISMOS.....	21
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>22</b>

5.1.	CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS CINZAS DO LOCAL .....	22
5.1.1.	PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS .....	22
5.1.2.	PARÂMETROS DE REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA .....	22
5.1.3.	PARÂMETROS DE REMOÇÃO DE NUTRIENTES.....	23
5.1.4.	PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS.....	24
5.2.	ETAPA PRELIMINAR DE DESINFECÇÃO .....	24
5.3.	ETAPA FINAL DA DESINFECÇÃO .....	33
5.3.1.	TEMPERATURA E PH.....	33
5.3.2.	CORO RESIDUAL.....	33
5.3.3.	DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO .....	35
5.3.4.	INATIVAÇÃO E RECRESCIMENTO DE COLIFORMES TOTAIS E <i>E. COLI</i>	36
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	37
6.1.	CONCLUSÕES .....	37
6.2.	RECOMENDAÇÕES .....	38
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>39</b>

## 1. Introdução

O atual contexto mundial acerca da escassez de água de boa qualidade mostra-se como um novo e grande desafio para inúmeros países no tocante à gestão dos recursos hídricos. Hoje, tornou-se quase que obrigatória a redução no consumo de água, de forma que a reutilização da mesma, dado o devido tratamento, surge como uma excelente opção, sendo esta viável e sustentável.

Frequentemente encontra-se grandes volumes de água potável sendo utilizados para fins menos nobres, ou seja, não potáveis. Nesse contexto, criou-se uma nova abordagem relativa ao reuso das águas residuárias.

Nas medidas relativas ao reuso das águas residuárias inserem-se os conceitos de saneamento ecológico e segregação. Em uma residência, as águas residuárias podem ser segregadas em águas cinzas (lavatório, chuveiro, tanque e máquina de lavar roupa) e águas negras (pia de cozinha e vaso sanitário), e estas ainda em águas marrons (vasos – fezes) e águas amarelas (vaso – urina) (MAGRI, 2008).

Philippi et al. (2005) afirma que a presença de microrganismos patogênicos nas águas cinzas pode estar associada à lavagem das mãos após o uso o vaso sanitário, banho em crianças, lavagem de vegetais crus etc.

Assim, o presente trabalho teve a finalidade de conhecer o efluente de uma residência unifamiliar de base rural, buscando avaliar uma alternativa de desinfecção para as águas cinzas, visando a eliminação total desses microrganismos patogênicos e garantindo que não haja recrescimento de microrganismos. Dessa forma podendo vir a complementar as técnicas de reuso de águas, inclusive com o seu armazenamento.

Nesse contexto, este trabalho apresentou como objetivo geral caracterizar as águas cinzas em questão e avaliar o processo de desinfecção de águas cinzas a partir da aplicação de cloro comercial, hipoclorito de cálcio, visando seu armazenamento e reuso não potável.

Para a realização destas avaliações, este trabalho foi dividido em duas etapas de desinfecção denominadas como: Etapa preliminar e etapa final. A etapa preliminar foi onde realizou-se a construção da curva *massa de hipoclorito de cálcio X concentração de cloro residual*, para que dessa forma fosse estimada a massa ideal de hipoclorito de cálcio a partir do cloro residual desejado para o efluente tratado. A etapa final consistiu na desinfecção propriamente dita e na verificação do ressurgimento dos microrganismos.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo geral**

Este trabalho apresenta como objetivo geral caracterizar as águas cinzas tratadas de uma residência unifamiliar de base rural e avaliar o processo de desinfecção das águas cinzas a partir da aplicação de cloro comercial, hipoclorito de cálcio, visando seu armazenamento e reuso não potável.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar as águas cinzas de uma residência unifamiliar de base rural a partir de dados de monitoramento do tratamento do local;
- Gerar uma curva capaz de auxiliar na estimativa da quantidade ideal, em massa, do desinfetante a ser aplicado nas amostras;
- Avaliar o processo de desinfecção das águas cinzas por cloração com hipoclorito de cálcio;
- Verificar e avaliar o recrescimento de organismos biondicadores após a realização do processo de desinfecção.

### 3. Revisão Bibliográfica

#### 3.1. Reuso de águas

O reuso, de acordo com Costa & Telles (2007), pode ser entendido como o aproveitamento do efluente após uma extensão de seu tratamento, com ou sem investimentos adicionais. Esse tratamento pode ser direcionado, já que as técnicas de tratamento de efluente já existem e podem ser aplicadas de acordo com a necessidade, o custo e o objetivo que se deseja alcançar. Ou seja, não há necessidade de submeter o efluente a certos tipos de tratamento, quando o seu uso posterior não o exige.

Em razão da limitação dos recursos hídricos o homem primitivo não fixava moradia e mudava-se constantemente, numa permanente busca de locais com suposta abundância de água. De forma que, com o crescimento das populações esse movimento tornou-se cada vez mais difícil, surgindo assim uma grande necessidade de disciplina e racionalização do uso da água (MANCUSO & SANTOS, 2003).

O reuso de água já mostrava raízes em antigos manuscritos, que mostravam técnicas que muitos anos depois seriam conhecidas. Place (1985), citado por Mancuso & Santos (2003), transcreve parte de um antigo manuscrito, o *Ousuruta Sanghita*, provavelmente de meados de 2000 a.C.: “*É bom guardar a água em vasilhas de cobre, e filtrá-la em carvão*”. Ainda em relação à tal transcrição, Mancuso & Santos (2003) afirmam que a mesma mostra um conjunto de processos e operações que mais tarde seriam caracterizados como sedimentação, desinfecção e filtração, possíveis de serem realizados isoladamente ou por meio de várias combinações, obtendo-se maior ou menor grau de tratamento e tornando possível a reutilização da água.

O Manual de reuso e conservação da água em edificações (ANA/FIESP & SINDUSCON/SP, 2005), cita alguns tipos de reuso e suas respectivas definições:



- Direto: uso planejado de água de reuso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos;
- Indireto: uso de água residuária ou de água com qualidade inferior, em sua forma diluída, em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos;
- Planejado: uso adequadamente concebido e disciplinado, direto ou indireto, de esgoto ou de água de qualidade inferior recuperados, mantendo-se permanentemente o controle da qualidade da água, associado aos seus usos correspondentes.
- Não planejado: uso não deliberado, incidental ou inconsciente, direto ou indireto, de esgoto ou de água de qualidade inferior, recuperados ou não, sem nenhum controle da qualidade da água, associado aos seus usos benéficos correspondentes.

De acordo com Mancuso & Santos (2003), o reuso não-potável compreende alguns tipos de uso, são eles: reuso para fins agrícolas, industriais, recreacionais, domésticos, para manutenção de vazões, aquicultura e recarga de aquíferos. O presente trabalho apresenta interesse em alguns deles:

- Fins agrícolas: no caso da irrigação de plantas não comestíveis e a dessedentação de animais;
- Fins recreacionais: seria o uso direto na rega de jardim, de plantas ornamentais;
- Fins domésticos: para uso em regas de jardins, e lavagem de pisos e outras estruturas;
- Fins de recarga de aquífero: este acontecerá por meio de infiltração no solo.

Mesmo com a existência de estudos acerca do assunto, ainda encontra-se uma certa relutância por parte da população ao tratar-se do reuso de efluentes domésticos, ainda que os mesmos sejam tratados. Cohim & Cohim (2007) em pesquisa realizada na Grande Salvador/BA afirmam que a população local apresentou disponibilidade decrescente à reutilização de água na proporção em que a mesma se fazia próxima ao contato humano e que a população apresentou falta de confiança em relação à qualidade da água e em relação às autoridades legais.

### 3.1.1. Padrões de reuso

No Brasil, a norma que apresenta padrões de qualidade para esgotos tratados e os relaciona aos seus usos previstos é a ABNT NBR-13969:1997, que trata de certos parâmetros para o reuso de tais efluentes, e afirma que, para isso, devem ser considerados todos os tipos de reutilização que o usuário necessitar, preconizando que os usos para todas as áreas devem ser quantificados de acordo com o volume total final a ser reusado. Alguns desses usos são:

- Lavagens de pisos e calçadas;
- Irrigação;
- Paisagismo;
- Manutenção de águas de canais;
- Descargas de banheiros, entre outros.

O reuso é admitido em plantações de milho, arroz, trigo, café e outras árvores frutíferas, via escoamento no solo, tomando-se o cuidado de interromper a irrigação 10 dias antes da colheita (ABNT, 1997).

A NBR-13969 (ABNT, 1997) prevê ainda, graus progressivos de tratamento dos esgotos para o reuso, dependendo do nível de exigência de qualidade para a qual este efluente tratado será reusado. Com isso, a norma divide esses efluentes em classes para o reuso. Neste trabalho e de acordo com o uso previsto, o efluente insere-se na classe 2, que diz que o reuso caberá nas situações de lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção de canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes. Assim, os padrões mínimos que esta norma exige para essa classe 2 são:

- Turbidez: < 5;
- Coliformes fecais: < 500 NMP/100mL;
- Cloro residual: > 0,5 mg/L.

No âmbito internacional, também encontram-se alguns padrões de qualidade. Em relação aos microrganismos termotolerantes a NSWHealth (2000) define que águas cinzas tratadas e desinfetadas apresentando até 30 UFC/100mL, poderão ser utilizadas para irrigação superficial em local apropriado. Também diz que, para águas cinzas

apresentando até 10 UFC/100mL, após tratamento e desinfecção, poderão ser utilizadas em banheiros, descarga e lavanderia.

Magri (2008) apresenta a tabela a seguir em seu trabalho. Esta tabela contém valores de parâmetros nacionais constantes no Manual da água da ANA/FIESP & SINDUSCON/SP (2005) e internacionais como USEPA (2004), NSWHealth (2005), Lazzarova (2003) e Jefferson (1999).

**Tabela 1: Padrões de referência para reuso**

Parâmetro	EPA - algumas regiões dos EUA (2004)	NSW HEALTH - Austrália (2005)	LAZAROVA - Japão (2003)	JEFFERSON - Alemanha (1999)	ANA, FIESP & SINDUSCON - SP/Brasil (2005) <sup>1</sup>
pH	-	-	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0
Turbidez (NTU)	2,0 - 5,0	-	5,0	1,0 - 2,0	≤ 2,0
Cor (Uc)	-	-	-	-	≤ 10,0
Sólidos suspensos (mg/L)	5,0 - 30,0	< 10,0 - 20,0	-	30	≤ 5,0
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	-	-	-	-	≤ 20,0
Nitrogênio nitrito (mg/L)	-	-	-	-	≤ 1,0
Nitrogênio nitrato (mg/L)	-	-	-	-	≤ 10,0
Fósforo total (mg/L)	-	-	-	-	≤ 0,1
Coliformes totais (UFC/100mL)	2,2 - 23	< 1	10	500	-
Coliformes fecais (UFC/100mL)	ND - 75	< 10 - 30	10	100	ND (NMP/100mL)

1- Padrões para águas de reuso classe 1 do manual (descarga de vaso sanitário, lavagem de pisos, paisagismo)

Fonte: MAGRI (2008)

## 3.2. Águas cinzas

De acordo com Gelt (2001) apud Borges (2003), as águas cinzas são aquelas provenientes de chuveiros, lavatórios, máquinas de lavar e tanques, desconsiderando as águas cinzas de pias e máquinas de lavar pratos, visto que estas apresentam alto teor de óleos e gorduras. Desta forma, as águas cinzas são efluentes que apresentam elevada demanda química de oxigênio, a DQO. Rapoport (2004), diz que a concentração de químicos é alta devido aos sabões utilizados que contém Sódio, Fosfato, Boro, Surfactantes, Amônia e Nitrogênio.

O NSWHealth (2000), define as águas cinzas como efluentes gerados a partir do uso doméstico, excluindo-se os com contaminação de excretas humanas. E ainda salienta que, água cinza proveniente da pia da cozinha não é passível de reuso sem um prévio tratamento.

De acordo com Philippi et al. (2005), a presença de microrganismos patogênicos nas águas cinzas pode estar associada à lavagem das mãos após o uso o vaso sanitário, banho em crianças, lavagem de vegetais crus etc.

As características das águas cinzas são variáveis de acordo com alguns fatores dinâmicos do estabelecimento como, o número de habitantes contribuintes, seu estilo de vida, seus hábitos alimentares, distribuição etária e seus padrões de uso de água (NSWHEALTH, 2000), considerando também que a qualidade da água de abastecimento também influencia na qualidade final do efluente gerado. Magri (2008) diz que a geração de águas cinzas domésticas varia de acordo com fatores culturais e sociais.

As águas cinzas representam um volume de água que, no tratamento centralizado, representa custos elevados de tratamento, considerando que o destino do efluente após o tratamento não potável ou menos nobre. De forma que, um tratamento simplificado poderia ser suficiente para atender demandas locais de uso, como por exemplo o reuso em vasos sanitários, ou de simples reabastecimento do aquífero local.

Então, para que efluentes como as águas cinzas sejam reutilizados é necessário que os mesmos passem por tratamento

adequado com posterior desinfecção. Desinfecção esta, que não surtirá o efeito desejado a menos que o efluente seja previamente tratado, sendo assim capaz de reduzir a concentração de sólidos suspensos e reduzir a demanda bioquímica de oxigênio, a DBO (NSWHEALTH, 2000).

Em estudo realizado em uma residência unifamiliar na cidade de Florianópolis/SC, Magri (2008) constatou que um sistema de tratamento composto por uma caixa de mistura de águas cinzas, seguido de filtro anaeróbio e depois filtro aeróbio, não foi eficiente na remoção de Coliformes totais e *E. coli* das águas cinzas do local.

### **3.3. Formas de desinfecção**

#### **3.3.1. Desinfecção por adição de cloro**

A desinfecção de esgotos sanitários e das águas por aplicação de cloro é uma técnica vastamente difundida no Brasil e no mundo, vide sua acessibilidade e facilidade de operação. Porém, Gonçalves (2003) salienta que, apesar dos benefícios da cloração dos esgotos sanitários tratados, é necessário considerar que todos os desinfetantes químicos geram subprodutos, direta ou indiretamente, podendo gerar riscos à saúde pública, em alguns casos.

De acordo com Meyer (1994), a aplicação de cloro pode ter como objetivos: a desinfecção (destruição dos microrganismos patogênicos), a oxidação (alteração das características da água pela oxidação dos compostos nela existentes) ou ambas as ações simultaneamente.

O cloro, quando em contato com as bactérias presentes nos esgotos sanitários, induz à uma série de eventos associados à atividade da membrana celular, como a alteração da permeabilidade, e modifica os ácidos nucléicos, causando mutações (GONÇALVES, 2003). Estas mutações fazem com que estes microrganismos não consigam mais se multiplicar, culminando assim em sua inativação.

Porém, a desinfecção por cloro pode sofrer com interferências, e por isso é muito importante que se conheça alguns parâmetros do

efluente em questão. Gonçalves (2003) afirma que os processos de desinfecção tem maior ou menor eficiência em função dos fatores que podem intervir neles, como por exemplo as características físico-químicas do efluente que irá passar pelo processo. Os sólidos, por exemplo, podem servir como barreira para a ação dos desinfetantes sobre os microrganismos patogênicos. Gonçalves (2003), ainda afirma que pode haver uma maior ou menor resistência por parte dos microrganismos em função de sua forma ou espécie, por exemplo.

O cloro e seus derivados apresentam alto poder oxidante e reagem com vários compostos presentes nos esgotos. A demanda de cloro, calculada pela diferença entre a dose inicial e residual de cloro, é proveniente dessa variedade de reações nas quais o cloro é consumido por vários constituintes da água residuária e por decomposição (GONÇALVES, 2003). Duas diferentes reações do cloro, uma com a amônia e outra com compostos orgânicos, apresentam produtos com poderes desinfetantes.

No caso da reação do cloro com a amônia, os produtos são compostos conhecidos como cloraminas. Estas se apresentam como monoclорaminas ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ) e dicloraminas ( $\text{NHCl}_2$ ), e são denominadas cloro combinado, que de acordo com Gonçalves (2003) apresentam poder desinfetante, apesar de o mesmo ser inferior ao dos produtos resultantes da dissociação de qualquer forma de cloro na água, o cloro livre ( $\text{HClO}$  e  $\text{OCl}^-$ ). De acordo com Meyer (1994), as dicloraminas tem maior poder bactericida que as monoclорaminas. Há também as tricloraminas, porém, estas não apresentam efeito desinfetante.

O cloro livre apresenta propriedades oxidantes e por isso, alto poder desinfetante. Isso acontece pois o cloro livre tem a capacidade de reagir com compostos orgânicos sintéticos e naturais, participando de reações de oxidação e substituição em que moléculas de cloro são adicionadas às moléculas denominadas precursoras (FILHO, 2008).

Ainda de acordo com Filho (2008), as reações de cloro livre com compostos orgânicos naturais, presentes nas águas naturais, são as que permitem a formação de subprodutos de desinfecção, uma vez que a grande maioria dessas reações químicas envolvem a quebra de determinadas moléculas orgânicas e a substituição ou introdução da molécula de halogênio em sua estrutura molecular.

Porém, no caso da reação com compostos orgânicos, a atenção deve ser maior, principalmente no tocante às reações que ocorrem com o nitrogênio orgânico e os compostos não nitrogenados, capazes de formar os THM's, ou trihalometanos (GONÇALVES, 2003). Um exemplo de THM é o clorofórmio, que de acordo com Meyer (1994), é o THM mais facilmente detectável.

Várias são as formas com as quais o cloro pode se apresentar e ser encontrado comercialmente para a desinfecção das águas residuárias, uma dessas formas é a gasosa, com o cloro molecular ( $Cl_2$ ), e também nas formas líquida e sólida, sendo elas o hipoclorito de sódio e o hipoclorito de cálcio, respectivamente (GONÇALVES, 2003).

Winward (2007), afirma que cloro molecular ( $Cl_2$ ) e dióxido de cloro são substâncias improváveis de serem os desinfetantes mais adequados para o reuso descentralizado de águas urbanas, devido a preocupações com segurança e custo de geração, manuseio e armazenamento.

Para fins de reuso, o hipoclorito de sódio e o hipoclorito de cálcio são os mais adequados, isso por conta do cloro livre (HOCl), que normalmente requer baixa concentração e tempo de contato reduzido para obter um nível equivalente de inativação microbiana quando comparado às cloraminas.

### **3.4. Saneamento Descentralizado**

Na busca por alternativas mais viáveis para o saneamento, no âmbito econômico, social e ambiental, houve o surgimento do conceito de saneamento descentralizado, que seriam concepções técnicas que priorizam a redução da extensão da rede de esgoto, buscando alternativas de tratamento que melhor se adaptem à realidade local (SEZERINO, PHILIPPI & CAMPOS, 2007). Neste sentido, os autores ainda destacam o saneamento descentralizado de tratamento de esgoto como uma alternativa a ser empregada em residências unifamiliares, ou estabelecimentos comerciais, pois os esgotos coletados seriam conduzidos à estações de tratamento de esgoto simplificadas e também muito mais próximas. O tratamento tem a possibilidade de atingir melhores eficiências pois, para cada

situação deverá ser escolhida a tecnologia mais adequada, posteriormente podendo realizar a disposição do efluente tratado no próprio terreno, podendo assim contribuir com qualidade para o reabastecimento do aquífero local. A escolha mais adequada das tecnologias é de suma importância para o sucesso do tratamento e para a conservação e preservação da água.

Este tipo de concepção apresenta-se como forte alternativa para os sistemas centralizados clássicos que, de acordo com Philippi (2007), são mais dispendiosos, possuem baixo atendimento às populações carentes e rurais, além de privilegiar grandes projetos e necessitar de estrutura para transportar o esgoto por longas distâncias.

Algumas técnicas, como a segregação e o reuso das águas, podem ser relacionadas ao saneamento descentralizado, pois dependendo do tipo de destino da água, o tipo de tratamento muda e dependendo do tipo do efluente, o tratamento necessário pode ser muito mais simples e barato. Porém, essas técnicas deverão ser utilizadas concomitantemente a outras técnicas, pois a prática de reuso é uma excelente forma de preservar os recursos naturais e de gerenciar águas e efluentes, porém deve ocorrer simultaneamente a outras medidas de racionalização do uso da água e demais recursos. Além disso, deve ser devidamente planejada para não apresentar riscos às atividades que a utilizarem (Costa dos Santos, 2007).

### **3.5. Saneamento Ecológico**

De acordo com Winblad (2004), o saneamento ecológico, também chamado ECOSAN, é uma abordagem desenvolvida para o saneamento que objetiva economizar água, não poluir e ainda, devolver ao ambiente os nutrientes presentes nas excretas humanas, por exemplo para o solo.

Esta nova abordagem tem à sua frente uma série de desafios que dizem respeito ao saneamento, dos quais podem ser citados:

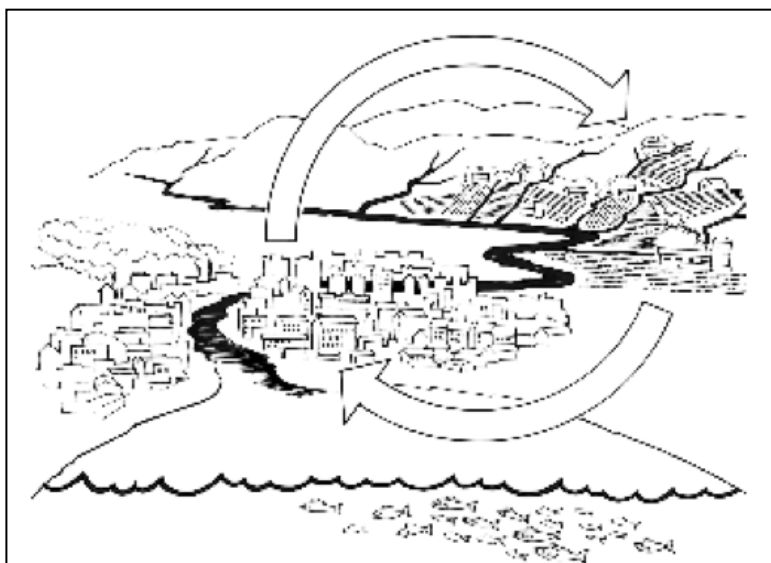
- A grande quantidade de pessoas sem saneamento;
- O crescimento das áreas urbanas;



- Os efeitos causados à saúde da população pela precariedade e pela falta de saneamento adequado;
- A escassez de água de boa qualidade, entre outros.

Winblad (2004) ainda afirma que o saneamento ecológico é baseado em três princípios fundamentais: prevenir a poluição ao invés de tentar controlar; a sanitização das excretas humanas e o uso de produtos seguros na agricultura. Considera-se essa abordagem um ciclo, chamado também de *Closed Loop* ou “Circuito fechado”. No caso das excretas humanas, seus nutrientes são processados até possuírem qualidade suficiente para que possam ser utilizados na agricultura.

O conceito de eco-saneamento se baseia na separação das correntes de resíduos domésticos em um ciclo das águas e em um ciclo de nutrientes e energia, conforme suas características em termos de volume, teor de nutrientes e contaminação biológica. Assim, urina e fezes se relacionam predominantemente com o ciclo dos nutrientes, enquanto águas cinzas e águas de chuva devem ser integradas ao ciclo das águas (COHIM & COHIM, 2007).



**Figura 1: Exemplo do ciclo fechado – Interface Urbano Rural**

FONTE: WINBLAD (2004)

Então, o saneamento ecológico defende as excretas humanas como um recurso a ser reutilizado ao invés de resíduos a serem eliminados (WINBLAD, 2004). Assim, devem ser tratados separadamente, de forma que se possa facilitar e potencializar este tratamento, fortalecendo a ideia de segregação destes efluentes antes do seu tratamento, que em alguns casos pode acontecer na forma de águas cinzas e águas negras. As águas cinzas, são parte importante proveniente da segregação dos efluentes de um determinado estabelecimento.

Winblad (2004), enumera alguns itens mostrando os objetivos de se incluir o tratamento das águas cinzas no âmbito do saneamento ecológico. São eles:

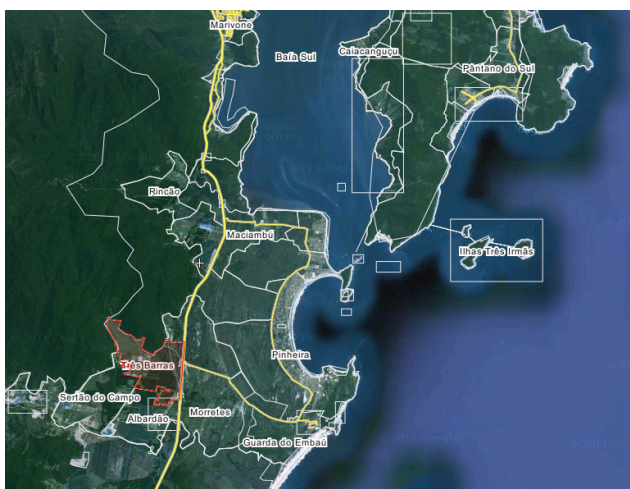
- O uso das águas cinzas como recurso para o crescimento de plantas, recuperação de águas subterrâneas e paisagismo;
- Prevenir a contaminação de águas subterrâneas e reservas de água potável;
- Evitar a eutrofização de águas superficiais mais sensíveis; e
- Evitar o aparecimento de maus odores e ambientes propícios para o crescimento de mosquitos e insetos.

## 4. Metodologia

### 4.1. Caracterização do local

Para a realização deste trabalho foram coletadas águas cinzas de uma residência localizada no Distrito de Três Barras, Município de Palhoça/SC.

**Figura 2: Mapa de localização do bairro Três Barras**



A residência em questão é caracterizada como uma residência unifamiliar de base rural. Esta, pois, possui 5 habitantes fixos, com alguma flutuação no número total de pessoas durante os fins de semanas.

Esta residência participa de um projeto do Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado (GESAD) denominado “*Gestão de efluentes e avaliação de fontes alternativas de água em propriedades rurais de base familiar*”, do fundo setorial de recursos hídricos, o CT-HIDRO/CNPq. Neste projeto, foram implantados sistemas descentralizados de tratamento de efluentes, com posterior reuso, além de um sistema de coleta e aproveitamento de água da chuva. Para a

implantação do sistema de tratamento descentralizado no local, foi realizada a segregação do esgoto da casa, dividindo-se então em um sistema para águas negras e um para águas cinzas, objeto de estudo do presente trabalho.

As águas cinzas utilizadas na pesquisa são compostas pelas águas provenientes do tanque e da máquina de lavar roupa, que são abastecidos pela água captada da chuva. O sistema utilizado para o tratamento descentralizado das águas cinzas na residência é composto por um tanque séptico e um filtro plantado com macrófitas de fluxo horizontal. Após esta sequência de tratamento o efluente tratado é recalcado e armazenado em uma cisterna elevada, de onde pretende-se retirar a água para reutilizá-la de forma não potável como, a lavagem de pisos, e a rega de jardim e plantas ornamentais.

As águas cinzas dessa residência foram caracterizadas a partir dos valores obtidos no monitoramento do sistema de tratamento entre abril de 2010 e abril de 2011. Neste monitoramento foram avaliados os seguintes parâmetros físico-químicos e microbiológicos:

- pH;
- Alcalinidade, em mg/L;
- Sólidos em suspensão, em mg/L;
- DQO total, em mg/L;
- Nitrogênio amoniacal, em mg/L;
- Nitrogênio nitrato, em mg/L;
- Fósforo ortofosfato, em mg/L;
- *Escherichia coli*, em NMP/100 mL.

Estes parâmetros foram analisados em laboratório utilizando os métodos analíticos padronizados por APHA (1972) e APHA (1998), com exceção do nitrogênio amoniacal que foi analisado com base em VOGEL (1981).

Este efluente foi avaliado em três pontos distintos de coleta: antes de entrar no sistema de tratamento, a água cinza bruta (AB); na saída do tanque séptico (STS); e na saída do filtro plantado com macrófitas (SW).

Da saída do filtro plantado com macrófitas, o efluente segue para um reservatório elevado, de maneira que com uma desinfecção bem sucedida, este efluente tratado deverá ter condições de ser armazenado sem que haja recrescimento de microrganismos.

## **4.2. Etapas de realização da desinfecção**

Este trabalho foi dividido em duas etapas para a desinfecção. A primeira etapa diz respeito à criação de um gráfico com uma curva capaz de auxiliar a estimar a massa ideal do desinfectante que será aplicado às águas cinzas. Assim, com a criação de um gráfico de *Massa de  $Ca(ClO)_2$  X Concentração de cloro residual*, pode-se estimar a partir do cloro residual que se deseja para o efluente desinfectado, a quantidade ideal de massa de  $Ca(ClO)_2$ , o hipoclorito de cálcio. Esta concentração de cloro residual é normatizada pela NBR 13969 (ABNT, 1997), e deve possuir valores acima de 0,5 mg/L. Também, não deverá exceder o limite máximo de 2,0 mg/L, segundo a Portaria MS 1469 (Ministério da Saúde, 2000) que define este limite para águas de abastecimento.

A segunda parte, diz respeito à desinfecção propriamente dita. Esta desinfecção foi realizada com a adição de hipoclorito de cálcio, a uma dosagem ideal estimada na etapa anterior e, posteriormente à desinfecção, foi realizada análise do recrescimento de microrganismos.

Para facilitar a visualização do trabalho, as etapas foram nomeadas como etapa preliminar e etapa final. A etapa preliminar diz respeito à geração da curva *Massa de  $Ca(ClO)_2$  X Concentração de cloro residual*; Já a etapa final, diz respeito à realização dos experimentos finais, utilizando os resultados da etapa preliminar.

### **4.2.1. Etapa preliminar**

Devido aos resultados insatisfatórios na busca por uma concentração ideal de hipoclorito de cálcio capaz de realizar a desinfecção das águas cinzas, decidiu-se por elaborar uma curva que pudesse auxiliar a estimar tais valores.

O produto escolhido para a desinfecção das águas cinzas foi o POOL-TRAT, hipoclorito de cálcio granulado, com 65% de cloro ativo, produzido pela GENCO®.

Neste trabalho, optou-se por moer este hipoclorito de cálcio granulado, de forma a homogeneizar mais o desinfetante e facilitar na pesagem, anterior à adição.

Para a realização dos testes, foram necessários 4 recipientes, de 1 litro cada, com o efluente a ser desinfetado. Em cada um desses recipientes com o efluente, foi adicionado uma massa pré-estabelecida de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  moído. São elas:

- 0,7g de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ;
- 1,3g de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ;
- 1,9g de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ; e
- 2,5g de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ .

Os valores escolhidos foram aleatórios, visto que o objetivo era obter uma curva onde informações seriam extraídas de uma linha de tendência capaz de gerar a equação dessa reta, auxiliando assim na obtenção do valor ideal desejado de hipoclorito de cálcio, em massa, em função da concentração de cloro residual desejada.

Antes da adição do hipoclorito de cálcio [ $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ], foram feitas medições das amostras. Foram elas:

- pH;
- Temperatura; e
- DQO.

Imediatamente após a adição do desinfetante, realizou-se a primeira medição de cloro residual, juntamente com temperatura e pH das amostras.

O cloro residual foi medido pelo método colorimétrico DPD (APHA, 1995), em espectrofotômetro, o que gerou também valores de absorbância para cada valor de concentração de cloro. As medições foram feitas em intervalos de uma hora repetidamente no decorrer do

dia, até que seus valores estabilizassem. Desta forma, mostrando o valor de cloro residual que aquela massa inicial de cloro comercial gerava.

No meio e no final do dia de análises, realizaram-se as segunda e terceira medições da DQO, pois de acordo com Gonçalves (2003) o cloro possui grande potencial de oxidação da matéria orgânica.

## **4.2.2. Etapa final**

Esta parte foi onde se concretizou todo o estudo. Nesta etapa, foi feita a adição de hipoclorito de cálcio em um certo volume de efluente e, posteriormente à desinfecção, foi realizada a reavaliação do efluente desinfectado acerca do recrescimento dos microrganismos.

### **4.2.2.1. Avaliação das amostras com a aplicação de hipoclorito de cálcio**

Para a concretização desta etapa do trabalho, foram utilizados os seguintes materiais:

- pHmetro;
- Termômetro;
- Hipoclorito de cálcio granulado;
- Placas Petrifilm-EC 3M;
- Espectrofotômetro;
- Incubadora.

Para a realização da desinfecção foram utilizados três galões, com 1 litro do efluente, sendo que para cada um deles, adicionou-se uma massa de hipoclorito de cálcio na quantidade definida na etapa anterior, de forma a garantir as concentrações desejadas de cloro residual para cada um deles. Os parâmetros medidos foram:

- pH;
- Temperatura;
- DQO;

- Cloro residual;
- *E. coli*; e
- Coliformes totais.

Nesta etapa, foi necessária a inoculação de culturas multiplicadas da bactéria *E. coli*, de forma que pudesse tornar a visualização do comportamento dos microrganismos quanto a inativação no tempo, mais fácil e detalhada, para cada massa de cloro comercial aplicada.

Previamente à adição do hipoclorito de cálcio para desinfecção foram medidos os seguintes parâmetros: pH, Temperatura, DQO, *E. coli* e Coliformes totais. Após essas medições efetuou-se a aplicação do produto desinfetante e os parâmetros supracitados foram novamente medidos, com exceção da DQO que foi medida na terceira hora após a aplicação do desinfetante. O cloro residual foi medido apenas 48 horas após a desinfecção. Estes parâmetros, com exceção dos coliformes totais e *E. coli*, seguiram os padrões da APHA (1995).

A partir das primeiras análises, foram repetidas as medições de pH, Temperatura, *E. coli* e Coliformes totais na primeira e na terceira hora após a adição do desinfetante. Para a realização das medições de *E. coli* e Coliformes totais foram seguidos os procedimentos indicados pelo próprio fabricante, que utilizou o método oficial 991.14, conforme AOAC (2000). Este método utiliza 1 mL da amostra diluída na placa, que possui o meio de cultura. Após aplicação das amostras nas placas, estas são incubadas a  $35^{\circ} \pm 1^{\circ}$  e as leituras são realizadas 24h  $\pm$  2h para coliformes totais, e 48h  $\pm$  2h para *E. coli*. Para a determinação das unidades formadoras de colônia, deve-se contar como coliformes totais as colônias vermelhas que apresentam produção de gás, e como *E. coli* as colônias azuis com produção de gás.



#### **4.2.2.2. Avaliação do recrescimento dos microrganismos**

Para a avaliação do potencial de recrescimento dos microrganismos após a desinfecção, foram realizadas coletas do efluente já desinfetado para aplicação em Placas Petrifilm, da marca 3M.

Estas medições foram feitas 24 horas após as desinfecções, com repetição 48 horas após estas desinfecções.

## 5. Resultados e discussão

### 5.1. Caracterização das águas cinzas do local

Os resultados das análises laboratoriais apresentaram como resultados finais, os valores dispostos na tabela 2. Estes valores são resultado da média dos valores medidos no período de monitoramento:

**Tabela 2: Resumo das médias dos valores medidos dos parâmetros da água cinza.**

Parâmt. \ Pontos	AB	STS	SW
pH	8,24	7,2	7,18
Alcalinidade (mg/L)	185,5	353,9	299,4
SST (mg/L)	252,4	91	8,8
DQO total (mg/L)	1227,9	753,1	97,3
N amoniacal (mg/L)	6,7	13,6	3,4
N nitrato (mg/L)	0,9	0,5	0,1
F ortofosfato (mg/L)	90,6	50,4	3,8
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100ML)	1,50E+02	5,00E+01	7,00E+01

#### 5.1.1. Parâmetros físico-químicos

Após as análises no laboratório, pôde-se observar que o pH apresentou redução nos seus valores desde a entrada no sistema, ao passo que o parâmetro alcalinidade sofreu um aumento na STS, tornando a reduzir o valor da sua média na SW.

#### 5.1.2. Parâmetros de remoção de matéria orgânica

O parâmetro SST, sólidos em suspensão totais, apresentou remoção significativa durante sua passagem pelos dispositivos de

tratamento de águas cinzas, apresentando ao final do tratamento remoção na faixa de 97% de SST.

Apesar da elevada porcentagem de remoção, o efluente apresenta-se com a média final dos valores um pouco maior do que o padrão de referência exigido pelo Manual da água da ANA/FIESP & SINDUSCON/SP (2005).

O parâmetro DQOt, demanda química de oxigênio total, obteve remoção na ordem de 92%, apresentando valor final com média de 97,3 mg/L. Em um sistema de reuso de águas cinzas com configuração diferente, Magri (2008) atingiu valores com média de 20,6 mg/L para DQOt e remoção de 95%.

### **5.1.3. Parâmetros de remoção de nutrientes**

Os resultados obtidos para a partir das análises laboratoriais para o fósforo ortofosfato foram de 3,8 mg/L após todo o processo de tratamento, sendo essa uma remoção de 96%. Este é um parâmetro importante pois, no armazenamento, altas concentrações de fósforo culminariam em eutrofização do efluente tratado armazenado (VON SPERLING, 2005).

Esta eficiência de remoção do ortofosfato apresenta valor semelhante aos valores de estudos de Philippi e Sezerino (2000) apud Philippi (2004), que apresentaram eficiência na remoção do parâmetro na ordem de 92%, em sistema de tratamento semelhante.

Para o nitrogênio amoniacal e o nitrato, foram obtidas as concentrações de 3,4 e 0,1 mg/L, respectivamente. Estes valores estão dentro dos valores de referência exigidos pelo Manual da água da ANA/FIESP & SINDUSCON/SP (2005), que indica que sejam menores ou iguais a 20 e 10 mg/L respectivamente.

A presença de compostos nitrogenados até uma certa concentração pode favorecer a formação das cloraminas, que fazem parte do chamado cloro combinado e possui grande poder desinfetante (MEYER, 1994).

### **5.1.4. Parâmetros microbiológicos**

O parâmetro avaliado neste ensaio de laboratório foi de extrema importância para a construção deste trabalho, dado o objetivo de avaliar a desinfecção destas águas cinzas.

Este efluente em sua forma bruta com 150 NMP/100 mL, já apresentava concentração dentro dos padrões de referência exigidos pela NBR 13969/97 (ABNT, 1997), que exige que o mesmo seja menor que 500 NMP/100 mL. Porém os outros padrões de referência mostraram-se mais restritivos quanto a esta concentração com valores variando entre 0 e 100 NMP/100 mL.

Na saída do filtro plantado com macrófitas, antes da reservação, este parâmetro já apresentava valores muito baixos, na ordem de 70 NMP/100 mL. Valor este, um pouco maior que na saída do tanque séptico que apresentava 50 NMP/100 mL. O que poderia ser explicado por alguma contaminação externa na caixa de passagem encontrada na saída do filtro.

Estes baixos valores, justificaram a contaminação do efluente, com culturas de *E. coli* anteriormente à sua desinfecção, de forma a tentar observar com mais detalhes o processo de decaimento destes microrganismos nas águas cinzas.

## **5.2. Etapa preliminar de desinfecção**

Nesta etapa, onde buscou-se gerar a equação da curva para estimar o volume ideal de cloro comercial, os valores obtidos estão apresentadas nas tabelas 3 a 6. Foram 4 amostras de 1 L de águas cinzas que foram numeradas de 1 a 4, onde foram aplicadas 0,7 g, 1,3 g, 1,9 g e 2,5 g de hipoclorito de cálcio, respectivamente.

Tabela 3: resultados obtidos para os parâmetros medidos da amostra 1.

Número da amostra:		1	Massa inicial de Hipoclorito de Cálcio (g):			0,70
N° da medição	Hora	dt	T (°C)	pH	C Cloro (mg/L)	ABS
0			22	7		
1	13:00	1 hora	22	8,2	0,2	0,0289
2	14:00	1 hora	22	8,2	0,2	0,0286
3	15:00	1 hora	22	8,18	0,2	0,0288
4	16:00	1 hora	22	8,18	0,1	0,0257
5	17:00	1 hora	22	8,2	0,1	0,0239
6	18:00	1 hora	22	7,97	0,1	0,0235
7	19:00	1 hora	22	8,06	0	0,0214
8	20:00	1 hora	22	8,01	0,1	0,0254
9	21:00	1 hora	22	8,04	0	0,0217

Tabela 4: resultados obtidos para os parâmetros medidos da amostra 2.

Número da amostra:		2	Massa inicial de Hipoclorito de Cálcio (g):			1,30
N° da medição	Hora	dt	T (°C)	pH	C Cloro (mg/L)	ABS
0			22	7		
1	13:00	1 hora	22	8,21	1,7	0,0892
2	14:00	1 hora	22	7,89	2,5	0,1203
3	15:00	1 hora	22	7,88	2,5	0,121
4	16:00	1 hora	22	7,88	2,7	0,1274
5	17:00	1 hora	22	7,87	1,9	0,0974
6	18:00	1 hora	22	7,78	2,5	0,1206
7	19:00	1 hora	22	7,75	2,4	0,1165
8	20:00	1 hora	22	7,77	2,4	0,1154
9	21:00	1 hora	22	7,77	2,5	0,1205

Tabela 5: resultados obtidos para os parâmetros medidos da amostra 3.

Número da amostra:		3	Massa inicial de Hipoclorito de Cálcio (g):			1,90
N° da medição	Hora	dt	T (°C)	pH	C Cloro (mg/L)	ABS
0			22	7		
1	13:00	1 hora	22	7,99	18,1	0,4189
2	14:00	1 hora	22	7,91	18,3	0,4193
3	15:00	1 hora	22	7,93	20,11	0,4849
4	16:00	1 hora	22	7,93	19,99	0,4821
5	17:00	1 hora	22	7,89	17,32	0,423
6	18:00	1 hora	22	7,82	17,46	0,4262
7	19:00	1 hora	22	7,81	19,51	0,4716
8	20:00	1 hora	22	7,81	18,86	0,4572
9	21:00	1 hora	22	7,81	18,74	0,4546

Tabela 6: resultados obtidos para os parâmetros medidos da amostra 4.

Número da amostra:		4	Massa inicial de Hipoclorito de Cálcio (g):			2,50
N° da medição	Hora	dt	T (°C)	pH	C Cloro (mg/L)	ABS
0			22	7		
1	13:00	1 hora	22	8,02	19,47	0,4706
2	14:00	1 hora	22	8	20,60	0,4956
3	15:00	1 hora	22	8,02	21,09	0,5064
4	16:00	1 hora	22	8,02	22,05	0,5276
5	17:00	1 hora	22	7,99	19,75	0,4769
6	18:00	1 hora	22	7,9	21,18	0,5085
7	19:00	1 hora	22	7,89	21,05	0,5055
8	20:00	1 hora	22	7,89	21,38	0,5129
9	21:00	1 hora	22	7,89	21,97	0,526



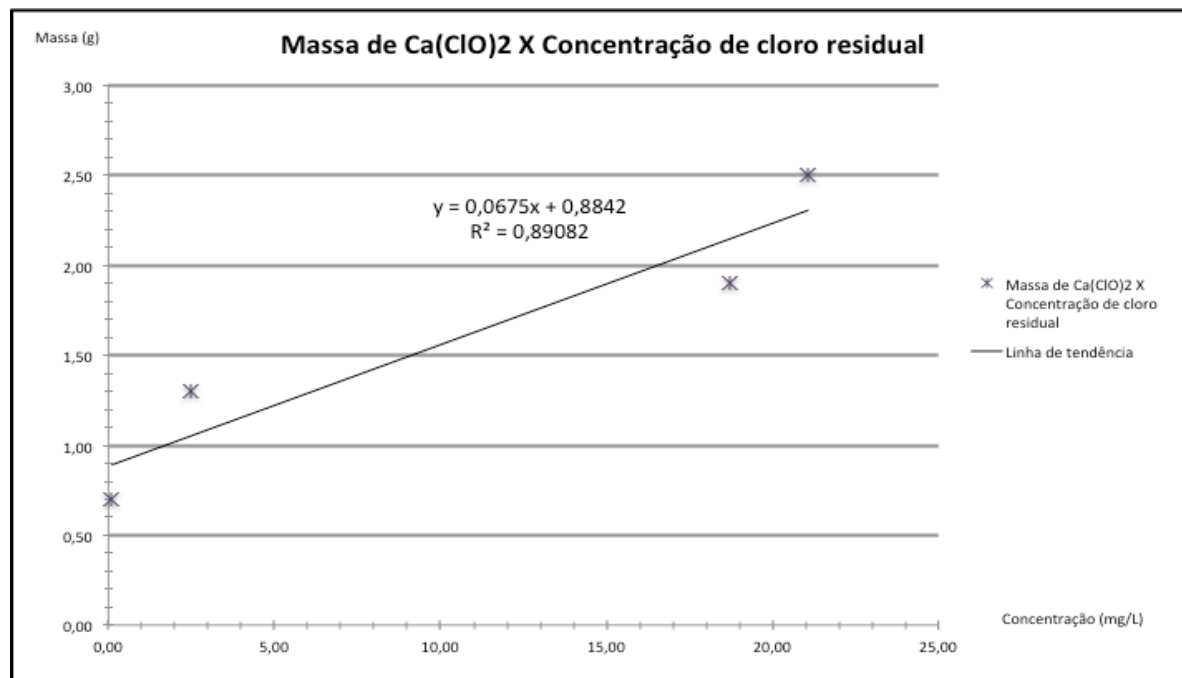
Com isso, foram feitas as médias dos valores encontrados para a concentração de cloro residual, e assim fosse construído o gráfico *Massa de Ca(ClO)<sub>2</sub> X Concentração de cloro residual*. Os valores das médias são apresentados na tabela 7 e no gráfico 2:

**Tabela 7: Valores médios de concentração de cloro residual**

Número da amostra	Massa de Ca(ClO) <sub>2</sub>	Média da Conc. De Cloro
1	0,7	0,1
2	1,3	2,5
3	1,9	18,74
4	2,5	21,09

Com esses valores, foi possível gerar o seguinte gráfico:

Figura 3: Gráfico *Massa de Ca(ClO)<sub>2</sub> X Concentração de cloro residual*.



A partir deste gráfico, e utilizando a equação da reta ajustada, é possível estimar a quantidade em massa de cloro comercial, o hipoclorito de cálcio, a partir do cloro residual que se requer para a água cinza desinfetada. Então, baseado nos valores definidos na NBR 13969 (ABNT, 1997), que diz que para águas de classe 2 o cloro residual deverá ser maior que 0,5 mg/L, foram selecionados os valores de 0,5 mg/L, 1,0 mg/L e 2,0 mg/L de cloro residual, para estimar um valor ideal de cloro comercial. Este último valor, é o limite máximo para águas de abastecimento de acordo com a Portaria 1469 (Ministério da Saúde, 2000). Assim, como mostra o gráfico, a equação da melhor reta que foi gerada pelo gráfico foi:

$$Y = 0,0675X + 0,8842$$

Onde, Y representa a quantidade em massa de cloro comercial e X a concentração de cloro residual 1 L de amostra.

Os valores selecionados de cloro residual estão dentro da faixa exigida pela lei e norma, já supracitado. O quadro abaixo mostra o valor ideal em massa para atingir cada concentração de cloro residual desejada em 1 litro de água cinza.

**Tabela 8: Quantidades ideais de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ , em massa.**

Concentração de cloro requerida (mg/L)	Quantidade de cloro comercial para 1 L de águas cinzas (g/L)
0,5	0,92
1	0,95
2	1,02

Estas foram as massas selecionadas para a realização da desinfecção.

Também, nesta etapa preliminar, foram feitas medições de DQO nas amostras, vide a capacidade de oxidação da matéria orgânica por conta do cloro.

Antes da adição do cloro comercial, as 4 amostras possuíam um mesmo valor de DQO iguais a 59 mg/l. As medições deste parâmetro foram repetidas no meio do dia de análises e ao fim do dia de análises, sendo 4 e 8 horas após a aplicação do desinfetante, respectivamente.

A segunda medição foi feita às 17:00 horas e apresentou os seguintes valores:

**Tabela 9: Valores de DQO da água cinzas no meio do dia de análises.**

Nº da amostra	DQO
1	11 mg/L
2	8 mg/L
3	6 mg/L
4	8 mg/L

A última medição do dia foi feita às 21:00 horas e apresentou os seguintes valores:

**Tabela 10: Valores de DQO da água cinzas no fim do dia de análises.**

Nº da amostra	DQO
1	13 mg/L
2	4 mg/L
3	6 mg/L
4	5 mg/L

### 5.3. Etapa final da desinfecção

Nesta etapa final, foram utilizadas 3 amostras de 1 L de água cinza, que foram nomeadas em A, B e C, e a elas adicionou-se as quantidades de hipoclorito de cálcio estabelecidas na etapa anterior, sendo elas 0,92 g, 0,95 g, 1,02 g de hipoclorito de cálcio, respectivamente.

#### 5.3.1. Temperatura e pH

Os valores de temperatura das amostras variaram entre 20 e 21°C, visto que a temperatura do ambiente era controlada.

Já os valores do pH não apresentaram grandes variações, permanecendo dentro da faixa de referência indicada pelo Manual da água da ANA/FIESP & SINDUSCON/SP (2005). Os valores medidos encontram-se na tabela a seguir:

**Tabela 11: Valores de pH medidos.**

pH	pré desinfecção	imediatame nte após a desinfecção	1 h após a desinfecção	3 h após a desinfecção	24 h após a desinfecção	48 h após a desinfecção
Amostra A	6,80	6,96	6,82	7,18	6,97	7,32
Amostra B	6,89	7,10	6,93	7,06	7,03	7,30
Amostra C	6,93	7,06	7,21	7,17	7,05	7,33

#### 5.3.2. Cloro residual

Neste trabalho, o cloro residual foi medido apenas ao final do tempo previsto para análises, ou seja, 48 horas após a desinfecção. Com isso, o cloro residual de cada uma das amostras foi medido, apresentando os seguintes valores:

**Tabela 12: Concentrações de cloro residual após 48h.**

	Concentração de Cloro residual (mg/L)
Amostra A	51
Amostra B	74
Amostra C	75

O valor inicial teórico gerado pelas massas de hipoclorito de cálcio aplicadas às amostras A, B, e C são demonstradas a seguir, sendo 71 e 143 g/mol as massas molares do  $Cl_2$  e do  $Ca(ClO)_2$ , respectivamente:

- $$\frac{Cl_2}{Ca(ClO)_2} = \frac{71}{143} = 0,497 ;$$

Sendo que deste, 65% são de cloro ativo no produto:

% teórica de cloro ativo =  $0,497 \times 0,65 = 0,3227 = 32,27\%$  de cloro por grama de produto.

Multiplicando-se este valor pela quantidade, em massa, de produto adicionada às amostras tem-se:

- Amostra A (1 Litro de amostra):

$$C \text{ teórica} = 0,92 \text{ g} \times 0,3227 = 0,2969 \text{ g/L} = 296,9 \text{ mg/L}$$

- Amostra B (1 Litro de amostra):

$$C \text{ teórica} = 0,95 \text{ g} \times 0,3227 = 0,3065 \text{ g/L} = 306,5 \text{ mg/L}$$

- Amostra C (1 Litro de amostra):

$$C \text{ teórica} = 1,02 \text{ g} \times 0,3227 = 0,3291 \text{ g/L} = 329,1 \text{ mg/L}$$

Nota-se que o decaimento nos valores da concentração de cloro residual nas amostras é significativo, porém insuficiente em relação aos parâmetros referenciais e ao esperado, vide o uso da equação da melhor reta para valores muito menores de cloro residual.

### 5.3.3. Demanda química de oxigênio

O parâmetro DQO, apresentou os valores a seguir:

**Tabela 13: Concentrações de DQO das amostras medidas.**

DQO (mg/L)	pré infecção	pré desinfecção	Após desinfecção	24 h após desinfecção	48 h após desinfecção
Amostra A	18	> 1500	1415	1426	1424
Amostra B	16	> 1500	1428	1430	1446
Amostra C	44	> 1500	1327	1336	1326

Mesmo com a adição do hipoclorito de cálcio, os valores medidos em laboratório para a DQO mostraram-se elevados. Estes valores aparentam ter sofrido interferência externa, visto que os valores de cloro residual ainda eram altos e este tem a capacidade de oxidação da matéria orgânica.

Esta interferência foi associada à adição do caldo nutriente onde as colônias de *E. coli* foram multiplicadas, sabendo que para cada litro foram adicionados 70 mL de caldo nutriente contendo tal cultura. Para fazer tal investigação, preparou-se uma amostra do caldo nutriente em iguais proporções, conduzindo a mesma para a análise laboratorial. Após análise, verificou-se que o caldo nutriente apresenta a DQO no valor de 1845 mg/L. Concluindo que os valores apresentados nas medições de DQO das amostras faziam parte da interferência causada por este caldo nutriente.

### **5.3.4. Inativação e recrescimento de Coliformes totais e *E. coli***

O decaimento no número de unidades formadoras de colônias, observado em Placas Petrifilm-EC da 3M, também apresentou valores muito elevados e associados à uma grande velocidade de desinfecção.

As primeiras placas avaliadas foram inoculadas anteriormente à desinfecção com as amostras contaminadas com as culturas de *E. coli*. Os resultados obtidos com essas análises em 24 horas, representando coliformes totais, foram incontáveis UFC já com a coloração indicada para as colônias de *E. coli*. Estas que confirmaram-se nas 48 horas após a desinfecção, com número incontável UFC. Este valor repetiu-se para as três amostras.

As placas inoculadas com amostras, 1 e 3 horas após a desinfecção, foram igualmente lidas depois de incubadas 24 e 48 horas após a inoculação. Apesar dos resultados com incontáveis UFC nas placas com inoculação sem desinfecção, estas placas pós cloração não apresentaram colônias em nenhuma das placas, tanto para coliformes totais, quanto para *Escherichia coli*, confirmando a inativação total dos microrganismos patogênicos avaliados. Estes resultados sem unidades formadoras de colônias foram insuficientes para avaliar o decaimento dos microrganismos no tempo.

As placas inoculadas nas 24 e 48 horas posteriores à desinfecção, também não apresentaram unidades formadoras de colônia, o que mostra que não houve recrescimento dos microrganismos dentro destas 48 horas.



## 6. Conclusões e recomendações

### 6.1. Conclusões

A partir dos resultados obtidos em análises laboratoriais dos parâmetros que caracterizavam o efluente tratado avaliado neste trabalho puderam-se tirar as seguintes conclusões:

- Os parâmetros pH e Nitrogênio-nitrato após o tratamento encontraram-se contemplados nos padrões de referência do Manual da água da ANA/FIESP & SINDUSCON/SP (2005). A presença de compostos nitrogenados em certas concentrações pode favorecer a formação de agentes desinfetantes, como as cloraminas;
- Já a concentração do parâmetro relacionado ao fósforo dissolvido, ortofosfato, apresentou valores acima dos permitidos por ANA (2005), assim o efluente tratado encontra-se fora dos padrões de reuso estabelecidos. De acordo com Philippi (2004), nos filtros plantados com macrófitas há grande absorção desse composto, então um maior tempo de detenção no filtro plantado com macrófitas poderia ser suficiente para que este parâmetro atingisse o valor mínimo.
- Da mesma forma que para o fósforo ortofosfato, um aumento no tempo de detenção no filtro plantado com macrófitas poderia potencializar a remoção de SST.
- O nitrogênio amoniacal apresenta valores dentro das normas do CONAMA 430/11, que dispõe sobre a qualidade de efluentes para lançamento e suplementa a CONAMA 357/05, visto que a nova resolução não possui mais padrões para esse parâmetro quando originado de esgotamento doméstico. Este fato, em locais com menos controle, pode ser perigoso para elevadas taxas deste parâmetro, já que o mesmo está diretamente ligado ao fenômeno da eutrofização.

Em relação às etapas de desinfecção por hipoclorito de cálcio, os valores dos resultados obtidos ficaram fora dos valores esperados.

Nesta etapa de desinfecção confirmou-se a inativação dos organismos patogênicos avaliados, assim como o seu não ressurgimento no período de 48 horas a partir da desinfecção. Aliado a isso, foram obtidos valores de DQO extremamente baixos ao se comparar com a leitura da DQO do caldo nutriente adicionado às amostras para a sua contaminação. Donde se concluiu que estes valores associados aos valores medidos de cloro residual, que após 48 horas apresentou elevadas concentrações, apontam para uma supercloração das amostras, o que tornou os resultados relativos à desinfecção acima do que se esperava neste experimento.

Esta supercloração pode indicar que a curva *Massa de  $Ca(ClO)_2$  X Concentração de cloro residual*, gerada na etapa preliminar de desinfecção, tenha sido superestimada. Isto, supondo que o caldo nutriente usado para contaminação não tenha causado algum comportamento desconhecido na dissociação do hipoclorito de cálcio, visto que na geração de tal curva aplicou-se o desinfectante na água bruta sem contaminação.

## **6.2. Recomendações**

Sugere-se que a curva *Massa de  $Ca(ClO)_2$  X Concentração de cloro residual*, seja novamente realizada utilizando amostras contaminadas igualmente às que serão utilizadas no momento da desinfecção, para que assim possam ser atingidos menores valores iniciais de massa de hipoclorito de cálcio para aplicação nas amostras a serem desinfetadas.

## 7. Referências

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969**: Projeto, Construção e Operação de Unidades de Tratamento Complementar e Disposição Final dos Efluentes de Tanques Sépticos: procedimentos. Rio de Janeiro, 1997. 57p.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conservação e Reuso da Água em Edificações**. Prol Editora Gráfica. São Paulo, 2005.

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 19. ed. Washington: American Public Health Association, 1995.

AOAC. **Method 991.14: Official methods of analysis of AOAC International**. 17a edição, AOAC International. Gaithersburg, 2000.

BORGES, L. Z. **Caracterização da água cinza para promoção da sustentabilidade dos recursos hídricos**. Outubro, 2003.

COHIM, E., COHIM, F. **Reuso de água cinza: Percepção do usuário (Estudo exploratório)**. IX SILUBESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2007.

COSTA, R. H. P. G., TELLES, D. D. **Reuso de Água: Conceitos, Teorias e Práticas**. São Paulo: Editora Blucher, 2007.

DOS SANTOS, C. **Avaliação da potencialidade de reuso de água em sistemas descentralizados de tratamento de esgoto**. Em: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007. 11p.

FILHO, S. S. F. **Comportamento cinético do cloro livre em meio aquoso e formação de subprodutos de desinfecção**. São Paulo: 2008. Pgs 198-206.

GONÇALVES, R. F. **PROSAB 3 – Desinfecção de efluentes sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. 438 p.

MAGRI, M. E. **Reuso de águas cinzas tratadas em descarga de vaso sanitário e rega de jardim.** IX SILUBESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2008.

MANCUSO, P. C. S., SANTOS, H. F. **Reuso de água.** Barueri, São Paulo, 2003.

MEYER, S. T. **Chlorine Use in Water Disinfection, Trihalomethane Formation, and Potential Risks to Public Health.** Cad. Saúde Públ., Rio de Janeiro, 10 (1): 99-110, Jan/Mar, 1994.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria MS 1496:2000.** Site: <[http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/Portaria MS 1469-00.pdf](http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/Portaria_MS_1469-00.pdf)> visitado em junho de 2011.

NSWHEALTH. **Grey water reuse in sewerred single domestic premises.** 1999.

PHILIPPI, L. S. **Saneamento descentralizado: instrumento para o desenvolvimento sustentável.** IX SILUBESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2007.

PHILIPPI, L. S., SEZERINO, P. H., PETERS, M. R., LAPOLLI, F. R. **Reuso combinado de águas cinzas e água de chuva em uma unidade residencial.** 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande, 2005.

PHILIPPI, L. S. **Aplicação de sistemas tipo Wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com Macrófita.** Ed. do Autor. Florianópolis, 2004. 144 p.

RAPOPORT, B. **Águas Cinzas: Caracterização, avaliação financeira e tratamento para reuso domiciliar e condominial.** Rio de Janeiro, 2004.

SEZERINO, P. H., PHILIPPI, L. S., CAMPOS, R. H. **Sistemas descentralizados de tratamento de esgoto.** Apostila ReCESA. 2007. 72 p.

USEPA–**Wastewater Technology Fact Sheet Ultraviolet Disinfection** - EPA 832- F-99-064, Office of Water Washington, D.C., 1999.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** DESA, Belo Horizonte. 2005. 452 p.

WINWARD, G. P. **Disinfection of grey water.** Cranfield University, School of applied sciences: 2007. 207 p.

WINBLAD, U. **Ecological Sanitation – Revised and enlarged edition.** Stockholm Environment Institute, 2004. 141 p.