

Gabriella Caroline Soethe

**DESINFECÇÃO DE ÁGUAS CINZAS PELOS MÉTODOS DE
CLORAÇÃO E RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA PARA FINS DE
REÚSO NÃO POTÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação
em Engenharia Sanitária e Ambiental
da Universidade Federal de Santa
Catarina como requisito à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia
Sanitária e Ambiental.

Orientador: Eng. Msc. Maria Elisa
Magri

Florianópolis
Janeiro/2013

Soethe, Gabriella Caroline

Desinfecção de Águas Cinzas pelos Métodos de Cloração e Radiação Ultravioleta para fins de Reúso Não Potável

Gabriella Caroline Soethe – Florianópolis, 2013.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental

Título em inglês: Greywater Disinfection Methods by Chlorination and Ultraviolet Radiation for Non Potable Reuse

1. Desinfecção de águas cinzas.
2. Cloração.
3. Radiação Ultravioleta

Gabriella Caroline Soethé

DESINFECÇÃO DE ÁGUAS CINZAS PELOS MÉTODOS DE
CLORAÇÃO E RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA PARA FINS DE
REÚSO NÃO POTÁVEL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade
Federal de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental, sendo submetido à
Banca Examinadora e considerado aprovado em 01/12/2013

Maria Elisa Magri

Eng. Msc. Maria Elisa Magri
Orientador

Bruno Segalla Pizzolatti

Eng. Msc. Bruno Segalla Pizzolatti
Membro da Banca Examinadora

enagseff

Eng. Dr. Maria Eliza Nagel Hassemer
Membro da Banca Examinadora

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Gabriel e Marcia, que se esforçaram muito para que eu me dedicasse exclusivamente aos estudos e conseguisse alcançar esta vitória.

A minha irmã Kennya e meu namorado Nílton, pelo incentivo, carinho e compreensão nos momentos em que mais precisei.

A minha orientadora Maria, pela paciência e dedicação durante a realização deste trabalho e a toda equipe do GESAD pelo apoio prestado.

Aos amigos e colegas de graduação que estiveram sempre ao meu lado e me deram força, momentos de alegria e inspiração.

E a todas as pessoas, que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento e conclusão desse trabalho.

RESUMO

A escassez de água é um problema que atinge muitos países. Além disso, observa-se uma grande fragilidade nos sistemas públicos de abastecimento e tratamento tanto de água, como de esgoto. Diante disso, o reúso das águas cinzas apresenta-se como uma alternativa sustentável para tentar amenizar estes problemas e ainda reduzir os custos relacionados à água. As águas cinzas são as águas provenientes das unidades hidro-sanitárias, exceto a bacia sanitária, ou seja, é a água do chuveiro, lavatório, tanques e máquinas de lavar roupas. Através da reutilização destas águas para fins não potáveis, como lavagem de carros, regas de jardim, descargas em vasos sanitários, entre outros, é possível diminuir o consumo diário de água, reduzir a quantidade de esgoto gerado e, conseqüentemente, preservar nossos recursos hídricos. Entretanto, para que se possa reutilizar as águas cinzas de forma segura, é essencial que a mesma não possua microrganismos prejudiciais à saúde humana e a inativação destes microrganismos pode ser realizada através da desinfecção. Por este motivo, neste trabalho, avaliou-se a desinfecção das águas cinzas pelos métodos de cloração e radiação ultravioleta para fins de reúso não potáveis. Os dois métodos testados mostraram-se eficientes na inativação de Coliformes totais e *Escherichia coli*. Baixas concentrações de cloro obtidas a partir de pastilhas de hipoclorito de cálcio foram capazes de inativar um log de coliformes totais e *E. coli*, em 13 e 16 minutos, respectivamente. Para amostras com baixos valores de DQO esta inativação foi completa em apenas cinco minutos de tempo de contato. Já as análises realizadas com o reator UV, mostraram que mesmo com amostras de água cinzas com altos valores de sólidos suspensos totais e turbidez, a desinfecção pode ser bem sucedida. Através deste método, o tempo de exposição do efluente à radiação UV para inativar de um log de *E. coli* foi de 26 segundos, em um comprimento de onda de 254 nm. Além disso, outro experimento realizado com o reator UV revelou que o pré-aquecimento da lâmpada por 10 minutos aumenta a eficiência do sistema em 27 %.

PALAVRAS-CHAVE: Águas Cinzas, Cloro, Coliformes totais, Desinfecção, *Escherichia coli*, Reúso, Ultravioleta.

ABSTRACT

The lack of water is a problem that affects many countries. Besides, there is a great brittleness in the public water supply and water treatment systems. The sewerage is an example of that. The reuse of greywater arises as a sustainable alternative in order to prevent these problems and also reduce costs related to water. The greywater is the water that comes from hydro-sanitary units and sanitary bowl, except the water from showers, sinks, washtubs and washing machines. Among the forms of reusing this water for non-potable purposes are washing cars, watering gardens, discharging toilets and others. Those may reduce water consumption, amount of sewage generated and thus preserve our water resources. However, to be able to reuse the greywater safely, it should be free of microorganisms harmful to human health. Inactivation of these microorganisms can be performed by disinfection. In this study, we evaluated the disinfection of greywater by the methods of chlorination and ultraviolet radiation for non-potable reuse. Both methods proved effective in the inactivation of total coliforms and *Escherichia coli*. Low concentrations of chlorine obtained from calcium hypochlorite tablets were able to inactivate a log of total coliforms and *E. coli*, in 13 and 16 minutes, respectively. For samples with low values of COD, this inactivation was complete in just five minutes of contact time. On the other hand, the analyzes performed with the UV reactor showed that even with greywater samples with high values of total suspended solids and turbidity, disinfection can be successful. Through this method, the exposure time to the UV radiation from the effluent to inactivate a log of *E. coli* was 26 seconds, at a wavelength of 254 nm. Furthermore, another experiment performed with the UV reactor showed that the pre-heating of the lamp for 10 minutes increases system efficiency by 27%.

KEYWORDS: Greywater, Chlorine, Coliforms, Disinfection, *Escherichia coli*, Reuse, Ultraviolet.

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1: Distribuição dos recursos hídricos e da população no Brasil.</i>	14
<i>Figura 2: O ciclo dos nutrientes de acordo com o saneamento ecológico.</i>	16
<i>Figura 3: Sistemas de utilização de águas residuárias de acordo com o conceito do ECOSAN.</i>	17
<i>Figura 4: Fatores para implantação do reuso da água.</i>	20
<i>Figura 6: Espectro eletromagnético.</i>	34
<i>Figura 7: Inativação germicida causada pela radiação UV.</i>	35
<i>Figura 8: Esquema do uso da água e manejo dos efluentes na propriedade rural.</i>	45
<i>Figura 9: Representação do sistema de tratamento de águas cinzas instalado na propriedade.</i>	46
<i>Figura 11: Reator UV.</i>	50
<i>Figura 12: Decaimento de coliformes totais e E. coli na Amostra 1 durante 60 minutos.</i>	54
<i>Figura 13: Decaimento de coliformes totais na Amostra 2 durante 5 minutos.</i>	55
<i>Figura 14: Decaimento de E. coli na amostra de água cinza por um tempo de exposição à radiação UV de 60 segundos.</i>	60
<i>Figura 15: Decaimento de E. coli na amostra de água cinza por um tempo de exposição à radiação UV de 90 segundos.</i>	61

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1: Formas de reúso e suas características.</i>	18
<i>Tabela 2: Caracterização qualitativa da água cinza segregada (parâmetros físicos).</i>	22
<i>Tabela 3: Comparação de características técnico-econômicas de algumas tecnologias de desinfecção.</i>	29
<i>Tabela 4: Subprodutos da desinfecção química.</i>	30
<i>Tabela 5: Vantagens e desvantagens da desinfecção pelo método de cloração.</i>	31
<i>Tabela 6: Principais vantagens e desvantagens da aplicação da radiação ultravioleta na desinfecção.</i>	33
<i>Tabela 7: Doses de radiação UV para inativação de bactérias, vírus, protozoários, helmintos, fungos e leveduras.</i>	38
<i>Tabela 8: Classes e finalidades destinadas ao reúso conforme a NBR 13969/97.</i>	40
<i>Tabela 9: Valores de parâmetros para esgotos estabelecidos pela NBR 13969/97 para as 4 classes de atividades não potáveis.</i>	41
<i>Tabela 10: Parâmetros requeridos para água de reúso de acordo com o Manual da ANA/FIESP & SindusCon/SP (2005).</i>	42
<i>Tabela 11: Parâmetros analisados e metodologias aplicadas.</i>	47
<i>Tabela 13: Concentração de cloro residual após 30 minutos.</i>	52
<i>Tabela 14: Caracterização da água cinza contaminada com fezes.</i>	52
<i>Tabela 15: Resultados obtidos dos parâmetros analisados durante uma hora de tempo de contato do cloro com a água cinza – Experimento 1.</i>	53
<i>Tabela 16: Resultados obtidos de DQO após o tempo de contato de uma hora do cloro com a água cinza – Experimento 1.</i>	56
<i>Tabela 17: Resultados da análise de recrescimento de coliformes totais e E. coli.</i>	56
<i>Tabela 18: Caracterização da água cinza contaminada com a solução concentrada de E. coli.</i>	57
<i>Tabela 19: Resultados obtidos dos parâmetros analisados durante 30 minutos de tempo de contato do cloro com a água cinza – Experimento 2.</i>	57
<i>Tabela 20: Caracterização da água cinza contaminada com uma solução concentrada de E. coli.</i>	59
<i>Tabela 21: Resultados obtidos de E. coli durante o tempo de exposição de um minuto à radiação UV – Experimento 3.</i>	59
<i>Tabela 22: Resultados obtidos de E. coli nas amostras com o pré-aquecimento da lâmpada por dez minutos – Experimento 4.</i>	61

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVO	12
2.1	<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1	<i>ESCASSEZ DE ÁGUA</i>	13
3.2	<i>SANEAMENTO ECOLÓGICO</i>	15
3.3	<i>REÚSO DA ÁGUA</i>	18
3.4	<i>ÁGUAS CINZAS</i>	21
3.4.1	Características qualitativas da água cinza	21
3.5	<i>TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS</i>	26
3.6	<i>PRINCÍPIOS DA DESINFECÇÃO</i>	27
3.6.1	Desinfecção por cloração	29
3.6.2	Desinfecção por ultravioleta	32
3.7	<i>NORMAS E LEGISLAÇÕES PARA O REÚSO DE ÁGUAS CINZAS</i>	39
4	MATERIAIS E MÉTODOS	45
4.1	<i>LOCAL DA PESQUISA</i>	45
4.2	<i>CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS CINZAS SEGREGADAS</i>	46
4.2.1	Parâmetros analisados	46
4.3	<i>EXPERIMENTOS DE DESINFECÇÃO DAS ÁGUAS CINZAS</i>	47
4.3.1	Cloro	47
4.3.2	Ultravioleta.....	50
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
5.1	<i>RESULTADOS DA DESINFECÇÃO POR CLORAÇÃO</i>	52
5.2	<i>RESULTADOS DA DESINFECÇÃO POR RADIAÇÃO UV</i>	58
6	CONCLUSÕES	63
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

1 INTRODUÇÃO

A escassez da água tornou-se um dos graves problemas mundiais e vem aumentando devido a vários fatores como a poluição hídrica, o uso desordenado, o crescimento da demanda, os aglomerados urbanos e a industrialização. Estes fatores contribuem gradativamente para a diminuição da sua disponibilidade e fazem com que a água torne-se a cada dia um bem mais raro e, conseqüentemente, mais precioso (PETERS, 2006).

Sempre que a água com a qualidade requerida para determinado uso torna-se um recurso escasso, são buscadas, de forma sistematizada ou não, alternativas de suprimento ou repressão do consumo para que seja restabelecido o equilíbrio oferta/demanda desse precioso recurso. O reúso de água, quando bem planejado, tem demonstrado ser uma das alternativas mais interessantes de suprimento (METCALF & EDDY, 2003).

As águas cinzas são as águas provenientes das unidades hidro sanitárias, exceto a bacia sanitária, ou seja, é a água do chuveiro, lavatório, tanques e máquinas de lavar roupas.

As águas cinzas apresentam o maior potencial de reúso em unidades residenciais, sendo que a sua reutilização contribui para a preservação da qualidade da água nos sistemas públicos, bem como reduz o gasto financeiro com água nas residências e evita a disseminação de poluentes (MAGRI, 2011). Além disso, ao reduzir a quantidade de esgoto gerado, estaremos contribuindo para a preservação de nossos recursos hídricos.

Entretanto, para que se possa reutilizar as águas cinzas de forma segura, deve-se fazer um tratamento adequado e viável economicamente. O tratamento sugerido neste trabalho, que está sendo estudado pelo Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado (GESAD) do departamento do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade de Santa Catarina (UFSC), é a desinfecção das águas cinzas pelos métodos de cloração e radiação ultravioleta para fins de reúso não potável, como lavagem de carros, regas de jardim, descargas em vasos sanitários, entre outros.

A desinfecção é a inativação seletiva de organismos patogênicos sem que seja necessária a remoção de todos os organismos, ela pode ser realizada por intermédio de agentes físicos e/ou químicos, com objetivo de controle das doenças de veiculação hídrica (PIZZOLATTI, 2007).

No trabalho em questão serão estudados os dois tipos de agentes para realizar a desinfecção das águas cinzas, o químico pela adição de cloro na forma de hipoclorito de cálcio e o físico pela ação da radiação ultravioleta (UV), através de uma lâmpada germicida de 25W que está acoplada a um reator. Para garantir a segurança do usuário, ainda será verificado o recrescimento de coliformes totais e *Escherichia coli*, que são bactérias indicadoras de contaminação, em um determinado tempo após a desinfecção.

Ambos os métodos possuem suas vantagens e desvantagens, entretanto, de acordo com pesquisas já realizadas, os dois mostram-se eficientes quando utilizados de forma adequada às características do efluente tratado.

2 OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a desinfecção das águas cinzas pelos métodos de cloração e radiação ultravioleta para fins de reúso não potáveis.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a eficiência da desinfecção por cloração das águas cinzas, testando diferentes concentrações de cloro através de pastilhas de hipoclorito de cálcio.
- Avaliar a eficiência da desinfecção por radiação ultravioleta das águas cinzas, testando diferentes tempos de exposição do efluente à radiação UV com comprimento de onda de 254 nm.
- Avaliar o recrescimento de *Escherichia coli* e coliformes totais nas águas cinzas em um determinado tempo após a desinfecção.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ESCASSEZ DE ÁGUA

A disponibilidade de água doce na Terra excede, em muito, a demanda humana. Grandes populações vivem em áreas que recebem abundantes precipitações pluviométricas, enquanto outras vivem em regiões semiáridas ou mesmo áridas (MANCUSO e SANTOS, 2003).

A água é determinante para a vida humana e cada vez mais este recurso está se tornando escasso, tanto do ponto de vista quantitativo, quanto do qualitativo. De acordo com Born (2000), a escassez física somam-se a escassez econômica, relativa a falta de capacidade de pagar os custos de acesso a água e escassez política, referente aos desajustes ou diretrizes políticas que impedem algum segmento populacional de ter acesso à água ou ecossistemas aquáticos. É evidente a crescente poluição hídrica e o abastecimento público de água mostra-se cada vez mais caro e tecnologicamente complexo.

De maneira geral, o Brasil é um país privilegiado quanto ao volume de recursos hídricos, pois abriga 13,7% da água doce do mundo. Porém, a disponibilidade desses recursos não é uniforme. Mais de 73 % da água doce disponível no país encontra-se na bacia Amazônica, que é habitada por menos de 5% da população. Não só a disponibilidade de água não é uniforme, mas a oferta de água tratada reflete os contrastes no desenvolvimento dos Estados brasileiros. Enquanto na região Sudeste 87,5% dos domicílios são atendidos por rede de distribuição de água, no Nordeste a porcentagem é de apenas 58,7% (IDEC, 2002). A Figura 1 mostra a distribuição dos recursos hídricos, da superfície e da população do Brasil.

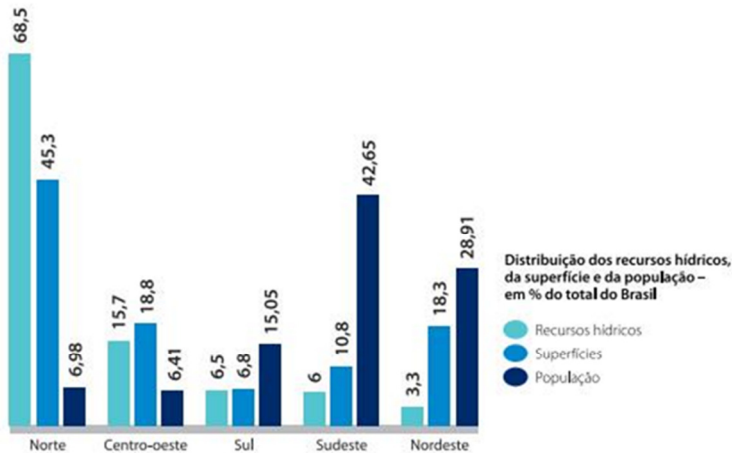


Figura 1: Distribuição dos recursos hídricos e da população no Brasil.

Fonte: IDEC (2002)

Segundo Silva (2004), a problemática da água é composta por diversos fatores, tais como:

- Urbanização elevada e desordenada da infraestrutura urbana;
- Diversificação e intensificação das atividades e consequentemente do uso da água;
- Impermeabilização e erosão do solo;
- Ocupação de área de mananciais, com consequente poluição e assoreamento das margens;
- Preponderância histórica dos interesses do setor hidroelétrico na política dos recursos hídricos;
- Práticas agrícolas de utilização de produtos químicos e utilização dispendiosa de água;
- Deficiências do setor de saneamento e a relação entre água e saúde;
- Migrações populacionais motivadas pela escassez de água;
- Conflitos entre países gerados pela falta de água, muitos dos quais assumindo proporções de guerra.

Historicamente, pode-se notar cada vez mais uma preocupação com a escassez dos recursos naturais. Com a crescente conscientização de que a água é um bem finito, fica mais visível o fato de que a sua disponibilidade está sujeita às condições do meio antrópico. Tais condições, relacionadas à ação do homem, podem comprometer o atendimento das demandas de consumo urbano, industrial e agrícola. Para se evitar tal comprometimento é necessária a aplicação de ações de conservação que possam conduzir à economia de água da bacia hidrográfica e dos sistemas públicos e prediais de abastecimento (SANTOS e FROEHNER, 2007).

3.2 SANEAMENTO ECOLÓGICO

Os conceitos convencionais centralizados para abastecimento de água e de águas residuais, desenvolvidos por anos em países industrializados, implicam em elevados custos e elevado consumo de água, o que os torna inadequados como solução sustentável, especialmente para os países em desenvolvimento. A disseminação de alternativas aos sistemas convencionais está se tornando cada vez mais indispensável por razões ecológicas, econômicas e sociais. Abordagens mais sustentáveis devem considerar a reutilização da água tratada, bem como a reciclagem dos nutrientes, se possível (SASSE, 2005).

Ecosan é um termo curto para referir-se a saneamento ecológico, que é uma abordagem alternativa para os sistemas convencionais de tratamento de águas residuais para que se tenha uma gestão mais ecológica e economicamente mais sustentável desse sistema. Ecosan pode ser realizada por uma variedade de soluções de baixa tecnologia até alta tecnologia, que são baseadas em uma sistemática de fluxo de matéria, orientada pelo processo de reciclagem. Os sistemas de saneamento ecológico permitem a recuperação completa de todos os nutrientes das fezes, urina e águas cinzas, beneficiando a agricultura e minimizando a poluição da água e riscos para a saúde, bem como permitindo o uso econômico da água e sua reutilização máxima, em particular para fins de irrigação (MANILA, 2003). Este ciclo dos nutrientes está exemplificado na Figura 2.

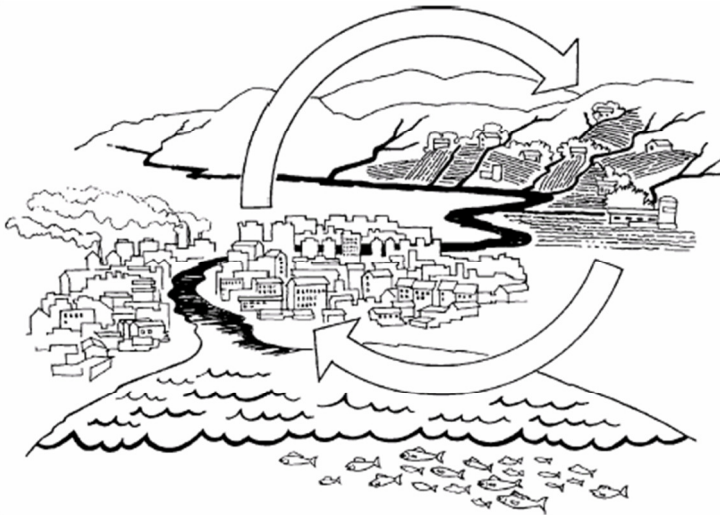


Figura 2: O ciclo dos nutrientes de acordo com o saneamento ecológico.

Fonte: ESREY, 1998

Assim, as abordagens Ecosan visam não só no fechamento dos ciclos de nutrientes, tornando-os seguros, mas também no fechamento de ciclos hídricos locais. Ela representa uma nova compreensão básica de manuseamento de águas residuais em que urina (água amarela), fezes (água marrom) e águas cinzas não são consideradas como poluentes, mas em vez disso recursos úteis (GANROT, 2005). A Figura 3 ilustra os possíveis sistemas propostos pela ECOSAN de separação pela fonte, tratamentos e exemplos de utilização das águas residuárias.

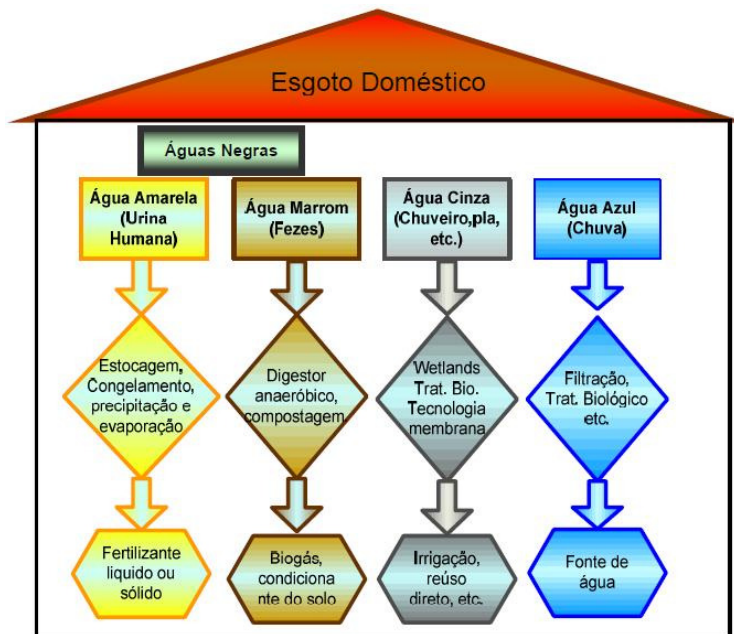


Figura 3: Sistemas de utilização de águas residuárias de acordo com o conceito do ECOSAN.

Fonte: Adaptado de GANROT, 2005

Mesmo sabendo da importância deste tipo de gerenciamento de águas residuárias, salientam Ribeiro e Günther (2002) que o saneamento ambiental não tem sido historicamente priorizado, tanto na formulação de políticas públicas quanto nas ações do setor privado da economia, resultando em condições deficientes. Esse fato é agravado pela falta de informação e de educação sanitária da população para enfrentar as condições sanitárias precárias vividas. Esse cenário agrava as já indesejáveis condições de saúde, de desequilíbrio ambiental e da baixa qualidade de vida da população.

3.3 REÚSO DA ÁGUA

Reúso da água é a reutilização da água, que, após sofrer tratamento adequado, destina-se a diferentes propósitos, com o objetivo de se preservarem os recursos hídricos existentes e garantir a sustentabilidade. É a utilização dessa substância, por duas ou mais vezes, após tratamento, para minimizar os impactos causados pelo lançamento de esgotos sem tratamento nos rios, reaproveitamento que também ocorre espontaneamente na natureza através do “ciclo da água”. Em vários países do mundo, o reúso planejado da água já é uma solução adotada com sucesso em diversos processos (FIORI *et al.*, 2006).

Mancuso e Santos (2003) classificam o reúso de água, em geral, em potável e não potável. Essa classificação foi adotada por esses autores pela sua praticidade e facilidade. O reúso potável divide-se em direto e indireto. Já o reúso não potável é dividido de acordo com sua finalidade. A Tabela 1 apresenta as demais formas de reúso e suas características.

Tabela 1: Formas de reúso e suas características.

Formas de Reúso	Características
Direto	Uso planejado de esgotos tratados para certa finalidade como uso industrial, irrigação e água potável. Nada é descarregado no meio ambiente.
Indireto	Quando a água, já utilizada, uma ou mais vezes para o uso doméstico ou industrial, é descartada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente, mas de forma diluída.
Planejado	Quando este é resultado de uma ação planejada, consciente, diante do ponto de descarga do efluente a ser usado.
Não planejado	Caracterizado pela maneira não intencional e não controlada de sua utilização.

Potável	Com a finalidade de abastecimento da população.
Não potável	Objetiva atender a demanda que tolera águas de qualidade inferior (Fins industriais, recreacionais, irrigação, descarga em vasos sanitários, entre outros).
Potável direto	O esgoto é recuperado por meio de tratamento avançado e é injetado diretamente no sistema de águas potável.
Potável indireto	O esgoto depois de tratados é lançado nas águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural para uma posterior captação e tratamento.
Aquicultura	Consiste no aproveitamento dos nutrientes existentes no efluente tratado para a produção de peixes e plantas aquáticas, com a finalidade de obter alimentos e/ou energia.
Manutenção de vazões	É uma forma de reúso planejada, e objetiva uma adequada diluição de eventuais cargas poluidoras naquele curso de água.
Recarga de aquíferos subterrâneos	Quando o aquífero subterrâneo é recarregado com o efluente tratado para, entre outros objetivos, evitar o rebaixamento de seu nível e aumentar a disponibilidade de água.

Fonte: Do Val *et al.* (2004) e Mancuso e Santos (2003)

Para que o reúso de água recuperada de efluentes possa ser aplicado de forma sustentável e eco eficiente um conjunto de fatores precisa ser atendido. Os principais fatores requeridos, que são de natureza técnica e/ou legal, podem ser vistos na Figura 4. Na maioria das vezes, esses fatores são analisados após as condições sociais econômicas e ambientais envolvidas na implantação do reúso serem atendidas com segurança (MENDONÇA, 2004).



Figura 4: Fatores para implantação do reúso da água.

Fonte: MENDONÇA, 2004

Nesse contexto, o reúso de águas cinzas para fins não potáveis apresenta-se como excelente solução para a redução do consumo de água. Segundo Gilboa e Friedler (2008), o reúso de águas cinzas é muito vantajoso, pois esse efluente possui menores concentrações de agentes poluidores, e, no entanto, constitui grande parte do volume de esgoto doméstico, representando de 50% a 80% do total gerado em residências.

3.4 ÁGUAS CINZAS

O resíduo líquido gerado em uma residência (ou também escolas, escritórios ou edifícios públicos), também conhecido como esgoto, pode ser classificado, segundo diversos autores, em dois tipos: águas negras e águas cinzas. Nas águas negras há a presença dos efluentes oriundos de vasos sanitários (urina e fezes) e, nas águas cinzas, não há contribuição de efluentes de vasos sanitários (MIWA, 2011). Segundo Fiori *et al* (2006), as águas cinzas são aquelas provenientes dos lavatórios, chuveiros, tanques e máquinas de lavar roupa e louça. Entretanto, salienta que não há um consenso internacional sobre esse conceito, já que alguns autores não consideram o efluente proveniente de cozinhas como água cinza, devido à presença de óleos e gorduras.

As águas cinzas devidamente tratadas apresentam um grande potencial de reúso para fins não potáveis. Diferentemente das águas pluviais onde os volumes produzidos dependem diretamente dos índices pluviométricos da região, as águas cinzas apresentam vazões oriundas do uso de água potável na edificação, sendo de fácil coleta (MAY, 2009).

3.4.1 Características qualitativas da água cinza

O reúso de água, para qualquer fim, depende de sua qualidade física, química e microbiológica. A maioria dos parâmetros físico-químicos de qualidade é bem compreendida, tornando possível estabelecer critérios de qualidade que sejam orientadores para o reúso. Para que a água possa ser reutilizada, ela deve satisfazer os critérios recomendados ou os padrões que tenham sido fixados para determinado uso e, para isso, é necessário se conhecerem as características físicas, químicas e biológicas das águas residuárias ou poluídas (FIORI *et al.*, 2006).

A composição da água cinza depende da origem da água, podendo ser doméstica (pia de cozinha, chuveiro, lavatório, máquina de lavar louça e roupa) ou comercial (lavanderias comerciais e/ou industriais, lavatórios de edifícios públicos e etc.). Além disso, o estilo de vida, costumes e uso de produtos químicos são de extrema importância para a sua qualificação (Ledin *et al.*, 2002 *apud* PETERS, 2006).

Não se deve dispensar o fato de que a água cinza é passível de conter contaminações das mais diversas, pela grande flexibilidade de uso dos aparelhos sanitários. É comum ocorrer situações de usuários que fazem a higienização no banho, após a utilização da bacia sanitária, ou a lavagem de ferimentos em qualquer torneira disponível, seja de um tanque ou lavatório, ou ainda a presença de urina na água de banho (FIESP, 2005).

- Características físicas

Os parâmetros físicos mais relevantes são: temperatura, cor, turbidez e o conteúdo de sólidos suspensos. Altas temperaturas podem ser indesejáveis devido ao favorecimento do crescimento de microorganismos; já as medidas de turbidez e sólidos suspensos podem dar alguma informação a respeito do conteúdo de partículas e colóides que poderiam induzir ao entupimento de instalações de transporte e tratamento desses efluentes (BAZZARELLA, 2005). Segundo Eriksson *et al* (2002), a causa destes problemas é proveniente da combinação entre coloides e surfactantes (provenientes dos detergentes) que pode causar estabilização da fase sólida devido à adsorção do surfactante na superfície do colóide. De modo geral, as águas cinzas possuem altas concentrações de sólidos em suspensão e turbidez bastante elevada, como apresenta a Tabela 2.

Tabela 2: Caracterização qualitativa da água cinza segregada (parâmetros físicos).

Referência	Fonte de Água Cinza	Local	Turbidez (uT)	SST (mg/L)
Siegrist et al (1976)	CH/BH	EUA	-	120
	MQ (lava)		-	280
	MQ (enxágue)		-	120
	CZ		-	720
	MQ (louça)		-	440
Christova-Boal et al (1996)	BH	Austrália	60 - 240	-
	MQ		50 - 210	-

Almeida et al (1999)	LV	Inglaterra	-	181
	CH		-	200
	BH		-	54
	MQ		-	165
	CZ		-	235
Pesquisa UFSC (2006)	MS	Santa Catarina	2 - 583	25 - 351
Pesquisa UFES (2005)	LV	Espírito Santo	95-327	84-209
	CH		45-345	15-483
	TQ		111-507	68-756
	MQ		32-100	17-106
	CZ		60-750	101-1103
	MS		90-289	70-220
<p>Legenda: CZ – pia cozinha; MQ – máquina lavar roupa; TQ – tanque; LV – lavatório; CH – chuveiro; VS – vaso sanitário; MS - mistura</p>				

Fonte: Adaptado de GONÇALVES, 2006

- Características químicas

As características químicas das águas cinzas serão apresentadas em função de seus componentes químicos comumente encontrados.

➤ *Compostos orgânicos*

As medidas dos parâmetros tradicionais de águas residuárias como DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e DQO (demanda química de oxigênio) e a concentração de nutrientes como nitrogênio e fósforo podem fornecer informações valiosas. A medida de DBO e DQO pode indicar o risco de depleção de oxigênio devido à degradação da matéria orgânica durante o transporte e estocagem e, portanto, o risco de produção de sulfeto. A maior parte da DQO é derivada dos produtos químicos domésticos, como detergentes para lavar louças e roupas, então se espera que os níveis de DQO sejam parecidos aos encontrados para o esgoto doméstico convencional. Já para as concentrações de DBO esperam-se valores mais baixos (ERIKSSON *et al.*, 2002).

Mesmo não possuindo contribuições dos vasos sanitários, o conteúdo de matéria orgânica e inorgânica presente na água cinza é bastante significativo. A maior parte dela é oriunda de resíduos de alimentos, óleos e gorduras, resíduos corporais, sabão, etc (GONÇALVES, 2006).

➤ *Compostos nitrogenados e fosforados*

A concentração de nitrogênio total nas águas cinzas são mais baixas do que no esgoto convencional, pois a principal fonte de nitrogênio no esgoto, a urina, não deve estar presente nas águas cinzas. Portanto, o efluente da cozinha é o que mais contribui para o aumento do nível de nitrogênio. Entretanto, em algumas residências, as pessoas tem o costume de urinar durante o banho (ERIKSSON *et al.*, 2002).

A principal fonte de fósforo na água cinza são os detergentes e os sabões contendo fosfatos. Isso explica as concentrações nas amostras de tanque, máquina de lavar e cozinha, sempre maiores do que nas amostras de lavatório e chuveiro (GONÇALVES, 2006).

➤ *Compostos de enxofre*

Os compostos de enxofre encontram relação direta com a formação de odores desagradáveis onde há geração de água cinza. Como exemplo pode ser citado o odor desagradável de roupas que permaneceram sob enxágue em água com sabão por períodos prolongados. A formação do gás sulfídrico (H_2S) é o principal fator responsável pelos odores desagradáveis, o que ocorre naturalmente em ambientes redutores. Entretanto, as condições ideais para a produção de sulfetos não se encontram presentes logo que a água cinza é produzida, o que resulta em concentrações bastante baixas desse composto. Essas concentrações podem aumentar significativamente em virtude das elevadas concentrações de sulfato, oriundo de sabões e detergentes, e a decomposição de matéria orgânica (proteínas) (GONÇALVES, 2006).

➤ *Outros componentes*

O pH nas águas cinzas depende largamente do pH e alcalinidade da água de abastecimento. Entretanto, o maior valor de pH encontrado nas águas cinzas na lavanderia mostra que o uso de produtos químicos também pode ser relevante. Além disso, as medidas de alcalinidade e dureza transmitem alguma informação a respeito do risco de entupimento das tubulações (ERIKSSON *et al.*, 2002).

Uma forma alternativa para selecionar os compostos relevantes para a caracterização das águas cinzas pode ser baseada em quais compostos são potencialmente encontrados em produtos químicos domésticos, juntamente com a identificação do risco ambiental que eles proporcionam. Com base nas informações disponíveis no rótulo de diferentes tipos de produtos domésticos comuns dinamarqueses, abrangendo produtos desde cremes para banho até sabão em pó para a roupa, pelo menos 900 diferentes substâncias químicas orgânicas e grupos de compostos podem ser listados. Os principais compostos na lista são os surfactantes, utilizados em detergentes e produtos de higiene, ou seja, produtos não iônicos, aniônicos e anfóteros. Outro grande grupo é composto por fragrâncias, solventes e conservantes (ERIKSSON *et al.*, 2002).

- Características microbiológicas

Embora a água cinza não possua contribuição dos vasos sanitários, de onde provém a maior parte dos microrganismos patogênicos, a presença de consideráveis densidades de coliformes termotolerantes neste tipo de água residuária é um fato. A limpeza das mãos após o uso do toailete, lavagem de roupas e alimentos fecalmente contaminados ou o próprio banho são algumas das possíveis fontes de contaminação (GONÇALVES, 2006).

3.5 TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS

Crítérios de segurança à saúde, aceitação por parte do usuário e viabilidade econômica devem ser respeitados no reúso de águas cinzas, 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 (COUTO, 2012).

Segundo Rasmussen *et al.* (1996), muitas tecnologias para tratamento de águas cinzas estão sendo desenvolvidas ultimamente pelo mundo todo. Estes métodos de tratamento variam de filtração simples para utilização na irrigação superficial a métodos mais avançados, como produção de água sanitariamente segura para banho.

A filtração grosseira seguida de desinfecção é uma tecnologia comumente utilizada no Reino Unido pra reúso doméstico, chamada de dois estágios. Muitas empresas estão fabricando este sistema de reúso baseadas neste processo. O processo aplica um curto tempo de detenção mantendo as características químicas da água cinza. A desinfecção pode ser executada com pastilhas de cloro ou bromo dissolvidas lentamente ou por dosagem de solução líquida (Jefferson *et al.*, 1999 *apud* PETERS, 2006)

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 *apud* COUTO, 2012).

- Sistemas físicos e físico-químicos

Os processos físicos desenvolvidos para o tratamento de águas cinzas compreendem principalmente a filtração com leitos de areia e processos utilizando membranas, esses últimos geralmente são precedidos de um pré-tratamento apropriado (BAZZARELLA, 2005). Em relação aos processos químicos de tratamento, poucos sistemas são relatados na literatura para o tratamento de águas cinzas. De acordo com Li *et al* (2009), os principais tratamentos químicos aplicados à esse efluente são coagulação, troca-iônica e carvão ativado.

- Sistemas biológicos

O tratamento biológico de água cinza é requerido para remover o material biodegradável e é indicado especialmente para sistemas de reúso que possuem grandes redes de distribuição (BAZZARELLA, 2005).

Segundo Couto (2012), diferentes tipos de sistemas biológicos têm sido estudados para o tratamento de águas cinzas, dentre eles: reator UASB, alagados construídos e biorreator de membranas.

3.6 PRINCÍPIOS DA DESINFECÇÃO

A desinfecção refere-se à destruição seletiva de organismos causadores de doenças, sem que seja necessária a eliminação de todos os organismos. É usualmente conseguida pelo uso de agentes químicos e físicos; meios mecânicos e radiação (OLIVEIRA, 2003).

Os mecanismos envolvidos na desinfecção dos organismos patogênicos podem ser reunidos em três grupos (Daniel, 2001):

- Destruição ou danificação da parede celular, do citoplasma ou do núcleo celular. O agente desinfetante atua sobre os componentes dessas estruturas celulares, impedindo que desenvolvam suas funções elementares adequadamente.
- Alteração de importantes compostos envolvidos no catabolismo, como enzimas e seus substratos, alterando o balanço de energia na célula.
- Alteração nos processos de síntese e crescimento celular, mediante alteração de funções como a síntese de proteínas, de ácidos nucleicos e coenzimas.

A desinfecção pode ser realizada por meio de processos artificiais ou naturais (Figura 5). Tanto os processos artificiais como os naturais utilizam, isoladamente ou de forma combinada, agentes físicos e químicos para inativar os organismos-alvo. No caso dos processos naturais, há, ainda, o concurso de agentes biológicos na inativação de patógenos. Entre os agentes físicos pode-se citar a transferência de calor (aquecimento ou incineração), as radiações ionizantes, a radiação UV e a filtração em membranas. A desinfecção química é realizada pela aplicação de compostos do grupo fenólico, álcoois, halogênios e metais pesados. Os agentes químicos mais utilizados na desinfecção de esgotos são cloro, dióxido de cloro e ozônio. Nos processos naturais, além dos agentes químicos e físicos naturalmente presentes, a ação de predação ou competição de outros organismos resulta na inativação de patógenos (GONÇALVES, 2003).

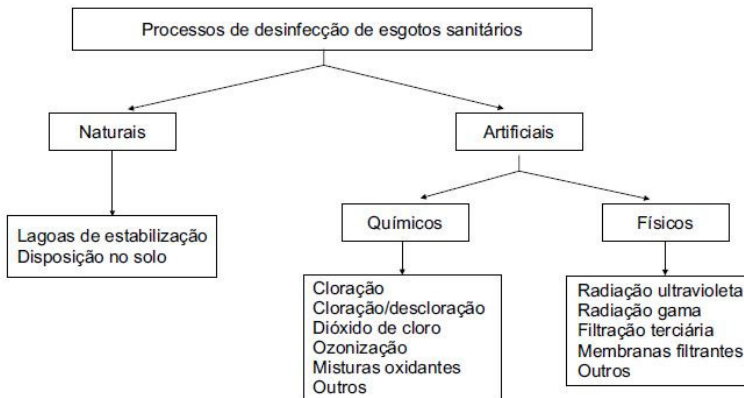


Figura 5: Processos de desinfecção de esgotos sanitários.

Fonte: GONÇALVES, 2003

Segundo Metcalf e Eddy (1991) os fatores mais relevantes a serem considerados para que se tenha uma desinfecção eficiente são: tempo de contato, concentração do agente desinfetante, tipo, intensidade e natureza dos agentes químico e físico, temperatura, número e tipo de microrganismos e natureza do líquido.

Portanto, antes de escolher um processo de desinfecção deve-se analisar todos esses aspectos, pois para cada tipo de efluente há um agente que melhor se adapta ao seu tratamento. Além disso, é importante analisar as vantagens técnicas e econômicas de cada processo. A Tabela 3 apresenta algumas comparações relacionadas a estes aspectos entre os processos de desinfecção mais utilizados.

Tabela 3: Comparação de características técnico-econômicas de algumas tecnologias de desinfecção.

Características/Critério	Cloração/ Descloração	Ultra- violeta	Ozônio	Micro Filtração
Segurança	+	+++	++	+++
Remoção de bactérias	++	++	++	+++
Remoção de vírus	+	+	++	+
Residual tóxico	+++	-	+	-
Custos Operacionais	+	+	++	+++
Custos de investimento	++	++	+++	+++
Legenda: “_” nenhum, “+” baixo, “++” médio, “+++” alto				

Fonte: LAZOROVA *et. al*, 1999 *apud* OLIVEIRA, 2003

3.6.1 Desinfecção por cloração

A desinfecção da água visa controlar as doenças de veiculação hídrica, permitindo uma melhora na qualidade de vida e os desinfetantes químicos têm ajudado a cumprir este objetivo.

De uso amplo, tanto por questões de custo competitivo, quanto pelo domínio da técnica de aplicação e controle e da disponibilidade, o cloro na forma de gás de hipoclorito de sódio ou hipoclorito de cálcio, é o desinfetante mais disseminado no Brasil e na maioria dos países (DANIEL, 2000).

O cloro e seus derivados apresentam alto poder oxidante e reagem com vários compostos presentes nos esgotos, ou neste caso, nas águas cinzas. A demanda de cloro, calculada pela diferença entre a dose inicial e o residual de cloro, é proveniente dessa variedade de reações nas quais o cloro é consumido por vários constituintes da água residuária e por decomposição. De modo simplificado, o cloro reage com a amônia para produzir uma série de compostos chamados cloraminas e, eventualmente, oxida a amônia em gás nitrogênio (N_2). O mecanismo de reação é complexo, e os produtos variam com o pH, razão entre o cloro adicionado e a amônia presente e o tempo de contato. A monocloramina (NH_2Cl) e a dicloramina ($NHCl_2$), denominadas cloro combinado, têm poder desinfetante, apesar deste ser inferior ao dos produtos resultantes da dissociação de qualquer forma de cloro na água, conhecidos como cloro livre ($HOCl$ e OCl^-). As reações com outros compostos inorgânicos como o sulfeto de hidrogênio (H_2S) ocorrem imediatamente após a aplicação do cloro (GONÇALVES, 2003).

A preocupação com o uso do cloro se deve a formação de subprodutos, pois seu uso na desinfecção é fortemente influenciado pelas características do efluente e muitos desses subprodutos gerados podem ser danosos às pessoas e ao meio. A Tabela 4 mostra os subprodutos da desinfecção química.

Tabela 4: Subprodutos da desinfecção química.

Compostos	Subprodutos
Compostos orgânicos halogenados	Trihalometanos, ácidos haloacéticos, halocetonas e outros resultantes da cloração.
Compostos orgânicos	Aldeídos, cetonas, carbono orgânico assimilável e carbono orgânico biodegradável, associados ao ozônio, ao cloro e os processos de oxidação avançada.
Compostos inorgânicos	Cloritos e cloratos, associados ao dióxido de cloro, gerado quando o dióxido de cloro é exposto à luz solar, e ao bromato, associado à ozonização

Fonte: DANIEL, 2001

Segundo DANIEL (2000), a formação de trihalometanos é proveniente da reação do cloro com substâncias húmicas e em menor proporção da reação do cloro com a matéria orgânica presente no esgoto sanitário. A formação deste subproduto é ainda mais preocupante quando se trata de água de abastecimento. Mesmo no ambiente não se sabe até que ponto estes compostos podem ser prejudiciais, se são resistentes, podendo atingir as ETA's persistindo até a água final ou se são cumulativos nos animais e vegetais podendo atingir os humanos que consumirem esses produtos.

As vantagens e desvantagens da cloração estão apresentadas na Tabela 5.

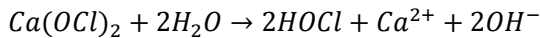
Tabela 5: Vantagens e desvantagens da desinfecção pelo método de cloração.

Vantagens	Desvantagens
Remoção da cor	Potencialidade de formação de subprodutos
Remoção de odor	Baixa inativação de esporos, cistos, alguns vírus, utilizando-se as dosagens recomendadas para remoção de coliformes fecais
Efetivo biocida	Se necessário, a descloração pode aumentar os custos entre 20 e 30%
Método de desinfecção fácil e barato	O cloro gasoso é perigoso e corrosivo
Método mais utilizado e mais conhecido	O hipoclorito de sódio degrada com o tempo e com exposição à luz
Relativamente segura à utilização na forma de hipoclorito de cálcio e sódio	A cloração é menos efetiva com pH elevado

Fonte: OLIVEIRA, 2003

Para desinfecção de águas residuárias, o cloro pode ser encontrado comercialmente nas formas gasosa (Cl_2), líquida (hipoclorito de sódio) e sólida (hipoclorito de cálcio). Também pode ser produzido no local a partir de salmoura ou reação controlada de produtos químicos (GONÇALVES, 2003).

Segundo Daniel (2002), o hipoclorito de cálcio é formado por um precipitado resultante da dissolução de cloro gasoso em solução de cal e hidróxido de sódio. A reação entre o hipoclorito de cálcio e a água, como mostra a equação abaixo, produz ácido hipocloroso e hidroxilas, fazendo com que o pH da água aumente.



Cloradores de pastilhas de hipoclorito de cálcio, com 60% de cloro ativo, têm sido testados com grande eficiência na desinfecção (DANIEL, 2001).

3.6.2 Desinfecção por ultravioleta

A fonte primária de radiação ultravioleta é o sol, mas também pode ser emitida por lâmpadas incandescentes e fluorescentes, solda elétrica, maçarico de plasma e equipamentos a laser. A absorção da radiação de comprimento de onda UV pelo ozônio da atmosfera protege a vida na terra. Mesmo assim os raios ultravioletas que atingem a superfície da terra têm energia suficiente para inativar os microrganismos menos resistentes (DANIEL, 1993).

O efeito germicida desse tipo de energia foi reportado pela primeira vez por Downs e Blunt em 1877. Entretanto, a radiação ultravioleta utilizada como alternativa para desinfecção é conhecida desde o início do século XX, mas, por problemas de confiabilidade de equipamento, tecnologia, entre outros, foi abandonada. Posteriormente, superada a maioria desses problemas, o método de desinfecção por radiação ultravioleta começou a ganhar popularidade, principalmente nos países europeus, e a pesquisa e o desenvolvimento desse método têm aumentado bastante (SANTOS, 2005).

Recentemente, o emprego de radiação ultravioleta se estende para diversos setores da atividade humana, com particular interesse por sua ação germicida. No tratamento de esgotos sanitários, a radiação UV mostra-se altamente competitiva com a cloração, nos casos em que a implantação de uma etapa adicional de descloração se faz necessária (GONÇALVES, 2003). A Tabela 6 apresenta algumas vantagens e desvantagens dos processos de desinfecção UV em relação aos demais processos disponíveis atualmente.

Tabela 6: Principais vantagens e desvantagens da aplicação da radiação ultravioleta na desinfecção.

Vantagens	Desvantagens
Eficaz na inativação da maioria dos microrganismos	Baixa dosagem não é eficiente na inativação de alguns microrganismos
Evita transporte e estoque de substâncias químicas tóxicas e corrosivas	Na falta da luz pode ocorrer reparação dos microrganismos
Não deixa residual de produtos prejudiciais ao homem e a água	Manutenção da lâmpada (limpeza e substituição)
Fácil operação	Turbidez e sólidos totais elevados podem tornar o sistema ineficaz
Tempo de contato pequeno em comparação com os desinfetantes químicos	Não tem custo competitivo com a cloração, mas são competitivos quando comparados com a cloração-descloração
Requer pouco espaço	

Fonte: Adaptado de Usepa, 1999.

A luz pode ser caracterizada como parte do espectro de ondas eletromagnéticas, que cobre grande faixa de comprimentos de ondas, desde ondas de rádio (comprimento de onda: $\lambda \geq 1$ m), até raios X ($\lambda \leq 10^{-9}$ m) (Figura 6). A radiação UV é um componente invisível da radiação solar. No espectro eletromagnético seu comprimento de onda situa-se entre o da luz visível e raios-X.

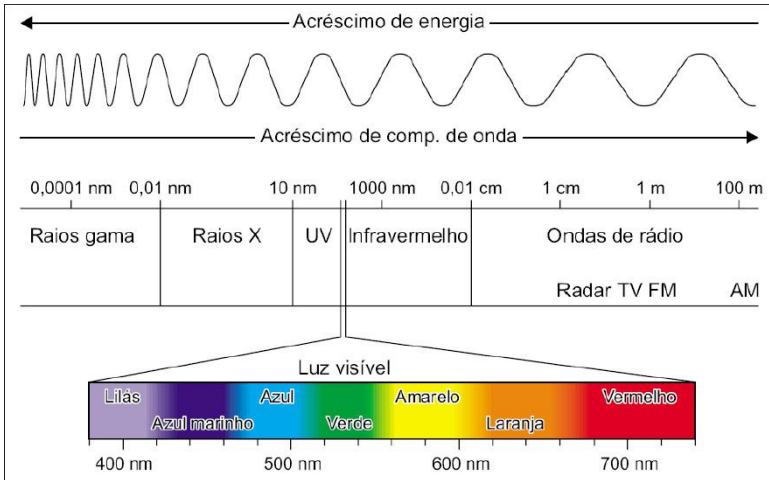


Figura 6: Espectro eletromagnético.

Fonte: RYER, 1997 apud GONÇALVES, 2003.

A radiação ultravioleta pode ser classificada pelo seus efeitos sobre os seres vivos conforme três faixas: UV-A, UV-B e UV-C

UV-A possui comprimento de onda entre 315 e 400 nm. É o tipo menos prejudicial e mais comumente encontrada de luz UV, porque tem a menor energia. Luz UV-A é geralmente chamada de luz negra e tem capacidade de causar fluorescência nos materiais. A maioria das cabines de bronzeamento e fototerapia utilizam esta faixa de luz (RYER, 1997).

UV-B possui comprimento de onda entre 280 e 315 nm. É tipicamente a forma mais destrutiva da luz UV, porque tem energia suficiente para danificar os tecidos biológicos. É conhecida por causar câncer de pele, uma vez que a maioria da luz UV-B extraterrestre é bloqueada pela atmosfera, uma pequena alteração na camada de ozônio poderia aumentar dramaticamente o perigo desta doença (RYER, 1997).

O curto comprimento de onda UV-C, que varia de 200 a 280 nm, é quase completamente absorvido no ar dentro de um algumas centenas de metros. Quando fótons de UV-C colidem com átomos de oxigênio, a troca de energia provoca a formação de ozônio. Esta luz é raramente observada na natureza, uma vez que é absorvida muito rapidamente. Lâmpadas germicidas de UV-C são muito utilizadas para purificar o ar e a água, devido à sua capacidade de matar as bactérias (RYER, 1997).

Segundo Okuno e Vilela (2005) anos de pesquisa permitiram desvendar o processo de indução de danos pela radiação UV. A estrutura de dupla hélice do DNA contém duas cadeias ou fitas constituídas de açúcar ou fosfato. As cadeias se ligam por um par de bases. As bases são de quatro tipos: duas grandes purinas – a adenina (A) e a guanina (G) – e duas pequenas pirimidinas – a timina (T) e a citosina (C). As ligações entre as bases são feitas por pontes de hidrogênio e as bases A só se ligam às T, da mesma forma que as bases C às G. A absorção de energia de um fóton da radiação UV pelo DNA, onde há duas bases pirimidinas adjacentes, induz à mutação. O processo começa pelo rompimento das ligações químicas em bases pirimidinas adjacentes, formando o que se chama de dímero. A formação dos dímeros causa danos à estrutura do DNA impedindo sua duplicação normal, e, conseqüentemente, a reprodução do microrganismo. Os dímeros de timina distorcem a dupla hélice do DNA e bloqueiam a replicação (HARRIS *et al*, 1987; LILTVED E LANDFALD, 2000). A Figura 7 apresenta um esquema da ação germicida provocada pela radiação UV em um microrganismo.

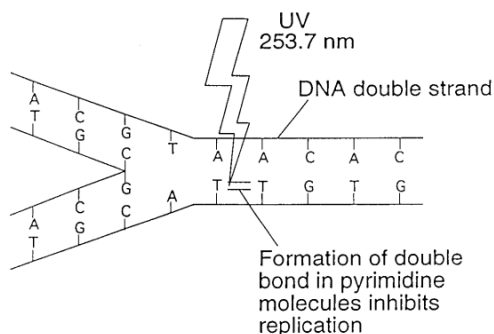


Figura 7: Inativação germicida causada pela radiação UV.

Fonte: Tchobanoglous, 1997 *apud* USEPA, 1999

Muitos fatores afetam a eficiência da irradiação ultravioleta, como concentração de sólidos suspensos e microrganismos, o envelhecimento e o revestimento da lâmpada, a turbidez da água e a densidade do fluido (GIESE e DARBY, 2000). A turbidez é um dos fatores fundamentais, segundo BURCH (1998) a turbidez é causada por material suspenso como pequenas partículas de matéria orgânica, matéria fecal ou coloides. Essas partículas podem refletir ou absorver radiação UV, prejudicando a eficiência da desinfecção. Essas partículas, principalmente os coloides ainda servem de abrigo para microrganismos, protegendo-os da ação da radiação UV e desinfetantes químicos.

- Lâmpadas Ultravioletas Germicidas

A radiação ultravioleta é proveniente da luz solar, porém, pode ser obtida artificialmente através de lâmpadas emissoras de radiação em comprimentos específicos.

De acordo com Di Bernardo e Dantas (2005), as lâmpadas UV funcionam de forma parecida à das lâmpadas fluorescentes. A radiação UV é emitida pelo fluxo de elétrons (em decorrência do arco voltaico aberto entre os eletrodos positivo e negativo) através de vapor de mercúrio ionizado na maioria das lâmpadas. A diferença entre os dois tipos de lâmpadas é que o bulbo da lâmpada fluorescente é recoberto com fósforo, que converte a radiação UV em luz visível. A lâmpada UV não é coberta e só transmite a radiação UV gerada pelo arco.

As lâmpadas de baixa e média pressão de vapor de mercúrio são as mais utilizadas nas unidades de desinfecção de água para consumo humano e no tratamento de esgoto sanitário, pois possuem alta emissão de radiação UV germicida por watt de energia elétrica consumida, mas possuem baixo campo de intensidade.

As lâmpadas de média pressão de vapor de mercúrio produzem alta emissão de radiação UV, entretanto, uma parte substancial dessa emissão é perdida na emissão de luz visível. As perdas de energia das lâmpadas de média pressão de vapor de mercúrio são superiores as perdas das lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio. Entretanto, há uma crescente popularização do uso das lâmpadas de média pressão de vapor de mercúrio devido ao fato de requererem reatores pequenos, o que é vantajoso em instalações maiores de desinfecção com radiação UV (HAVELAAR *et al.*, 1990).

- Reatores UV

Basicamente, a desinfecção com ultravioleta é conseguida pela exposição dos microrganismos presentes nos esgotos à radiação emitida por lâmpadas ultravioleta. Essa exposição dos esgotos à radiação UV é feita em canais ou em dutos sob pressão, denominados reatores fotoquímicos, fotorreatores ou simplesmente reatores UV (GONÇALVES, 2003).

Segundo Downey et al. (1998 *apud* OLIVEIRA, 2003) um reator de mistura completa seria indesejável para desinfecção UV. Sob este tipo de condição de fluxo, um volume do líquido pode entrar no reator e em uma pequena fração de tempo sair do sistema sem receber a dose adequada de UV, enquanto outras parcelas do líquido poderão permanecer no reator por períodos de tempo muito mais longos.

Um projeto desejável para reatores UV convencionais é o que trabalha com o fluxo em pistão, o que permitiria que cada elemento do líquido residisse no reator pelo mesmo período de tempo. No fluxo em pistão todas as partículas ao se moverem através do reator recebem uma dose equivalente de radiação em todos os pontos.

De acordo com Daniel e Campos (1992), as unidades de desinfecção de esgotos sanitários com radiação ultravioleta podem fundamentar-se em três concepções construtivas: lâmpadas imersas no líquido, lâmpadas instaladas externamente a tubos transparentes à radiação ultravioleta e lâmpadas instaladas sobre o efluente.

- Dosagem de radiação ultravioleta

A dose de radiação ultravioleta é dada pelo produto da intensidade da radiação e tempo de exposição, sendo expressa em mJ/cm^2 .

Segundo Bilotta (2000), o grau de inativação microbiana está associado principalmente à uniformidade de distribuição da radiação na lâmina líquida.

De acordo com Metcalf e Eddy (2003) baseando-se em outros autores, para que seja atingido até 4 log de inativação de bactérias são necessárias doses de irradiação que variam de 80 a 100 mWs/cm^2 , enquanto que para 4 log de inativação de vírus essa faixa cai para 70 a 90 mWs/cm^2 e para que se atinja 3 log de inativação de cistos de protozoários são necessários de 15 a 25 mWs/cm^2 .

Já Gonçalves (2003) diz que, de modo geral, bactérias e vírus são muito sensíveis a radiação UV, bastando doses efetivas da ordem de 20 mWs/cm² para inativar a maioria das espécies, com exceção de protozoários e ovos de helmintos, que possuem proteção natural permitindo sua sobrevivência mesmo em ambientes adversos. Este mesmo autor diz que a resistência à inativação dos diferentes organismos patogênicos por radiações UV varia de acordo com a espécie, sendo este um dos principais parâmetros de dimensionamento dos reatores UV. A Tabela 7 mostra uma compilação de doses de UV para inativação de diversos organismos, obtidas por ensaios em colimadores.

Tabela 7: Doses de radiação UV para inativação de bactérias, vírus, protozoários, helmintos, fungos e leveduras.

Bactéria	Dose UV (mWs/cm²)	Vírus	Dose UV (mWs/cm²)
<i>Agrobacterium lumefaciens</i>	8,5	Adenovírus Tipo III	4,5
<i>Bacillus anthracis</i>	8,7	Bacteriófagos	6,6
<i>Bacillus anthracis</i> (esporos de Antrax)	46,2	Coxsackie	6,3
<i>Clostridium tetani</i>	23,1	Hepatite A	3,7
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	6,5	Influenza	6,6
<i>Dysentery bacilli</i>	4,2	Mosaico de tabaco	440
<i>Eberthella typhosa</i>	4,1	Poliovírus	7,5
<i>Escherichia coli</i>	6,6	Rotavírus	24
Espécies de <i>Salmonella</i>	15,2	Protozoários e helmintos	Dose UV (mWs/cm²)
Esporos de <i>Bacillus subtilis</i>	22	Cistos de <i>Giardia lamblia</i>	100
<i>Legionella bozemanii</i>	3,5	<i>E. hystolytica</i>	84

<i>Leptospira interrogans</i>	6	Ovos de nematodos	40
<i>Micrococcus candidus</i>	12,3	Algas	Dose UV (mWs/cm²)
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	1,0	<i>Chorella vulgaris</i>	22
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (cepas ambientais)	10,5	Alga azul verde	420
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (cepas laboratoriais)	3,9	Fungos	Dose UV (mWs/cm²)
<i>Salmonella paratyphi</i> (febre entérica)	6,1	<i>Aspergillus amstelodami</i>	77
<i>Salmonella typhi</i> (febre tifóide)	7	<i>Penicillium digitatum</i>	88
<i>Sarcina lutea</i>	26,4	<i>Rhizopus nigricans</i>	220
<i>Shigella dysenteriae</i> - disenteria	4,2	Leveduras	Dose UV (mWs/cm²)
<i>Staphylococcus áureos</i>	6,6	Levedura do pão	8,8
<i>Streptococcus faecaila</i>	10	Levedura da cerveja	6,6
<i>Vibrio cholerae</i>	6,5	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	13,2

Fonte: Adaptado de GONÇALVES, 2003.

3.7 NORMAS E LEGISLAÇÕES PARA O REÚSO DE ÁGUAS CINZAS

O uso negligente de fontes alternativas de água ou a falta de gestão dos sistemas alternativos podem colocar em risco o consumidor e as atividades nas quais a água é utilizada, pelo uso inconsciente de água com padrões de qualidade inadequados (FIESP, 2005).

Diante deste problema é imprescindível que o reúso das águas cinzas esteja de acordo com uma legislação que estabeleça as técnicas mais apropriadas para a realização deste reúso e os padrões de qualidade da água aceitáveis para que esta possa ser reutilizada, mesmo que para fins não potáveis.

No Brasil poucas legislações contemplam a regularização do reúso de águas. A NBR 13969/1997 dispõe sobre os tanques sépticos, porém, seu item 5.6 trata sobre o reúso local do esgoto. Este item fala que no caso do esgoto de origem essencialmente doméstica ou com características similares, o esgoto tratado deve ser reutilizado para fins que exigem qualidade de água não potável, mas sanitariamente segura. Ainda diz que o reúso local de esgoto deve ser planejado de modo a permitir seu uso seguro e racional para minimizar o custo de implantação e de operação. Para que isto aconteça, devem ser definidos os usos previstos para o esgoto tratado, volume de esgoto a ser reutilizado, grau de tratamento necessário, sistema de reservação e distribuição e manual de operação e treinamento dos responsáveis. O grau de tratamento para uso múltiplo de esgoto tratado é definido, regra geral, pelo uso mais restritivo quanto à qualidade de esgoto tratado. A Tabela 8 apresenta as classes definidas por esta norma com seus respectivos usos e a Tabela 9 os valores de parâmetros para esgotos, conforme o reúso.

Tabela 8: Classes e finalidades destinadas ao reúso conforme a NBR 13969/97.

Classes	Usos
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 incluindo chafarizes
Classe 2	Lavagens de pisos, calçadas e irrigação de jardins, manutenção de lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes
Classe 3	Reúso nas descargas de vasos sanitários
Classe 4	Reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos

Fonte: ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 13969/1997

Tabela 9: Valores de parâmetros para esgotos estabelecidos pela NBR 13969/97 para as 4 classes de atividades não potáveis.

Parâmetros	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Turbidez (uT)	< 5	< 5	< 10	-
Coliformes Fecais (NMP/100mL)	< 200	< 500	< 500	< 5000
Sólidos Dissolvidos (mg.L⁻¹)	< 200	-	-	-
pH	Entre 6 e 8	-	-	-
Cloro Livre (mg.L⁻¹)	Entre 0,5 e 1,5	> 0,5	-	-
OD (mg.L⁻¹)	-	-	-	> 2,0

Fonte: ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 13969/1997

O manual publicado da ANA/FIESP e SindusCon/SP (2005) também define as águas de reúso em quatro classes, segundo os seguintes usos preponderantes:

- Classe 1: descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais (chafarizes, espelhos de água etc.), lavagem de roupas e de veículos;
- Classe 2: lavagem de agregados, preparação de concreto, compactação do solo e controle de poeira;
- Classe 3: irrigação de áreas verdes e rega de jardins;
- Classe 4: resfriamento de equipamentos de ar condicionado (torres de resfriamento).

A Tabela 10 apresenta os limites de concentração dos parâmetros que definem o padrão de qualidade das águas de reúso segundo o Manual da ANA/FIESP e SindusCon/SP (2005) para as classes 1, 2 e 3.

Tabela 10: Parâmetros requeridos para água de reúso de acordo com o Manual da ANA/FIESP & SindusCon/SP (2005).

Parâmetros	Classe 1	Classe 2	Classe 3
pH	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0
Cor (uH)	≤ 10,0	-	-
Turbidez (uT)	≤ 2,0	-	< 5,0
Óleos e Graxas (mg/L)	≤ 1,0	≤ 1,0	-
DBO (mg/L)	≤ 10,0	≤ 30,0	-
Coliformes Fecal (NMP/100mL)	Não detectáveis	≤ 1000	≤ 200
Compostos Orgânicos Voláteis	Ausentes	Ausentes	-
Nitrato (mg/L)	≤ 10,0	-	-
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	≤ 20,0	-	-
Nitrito (mg/L)	≤ 1,0	-	-
Fósforo Total (mg/L)	≤ 0,1	-	-
SST (mg/L)	≤ 5,0	30	< 20
SDT (mg/L)	≤ 500	-	-

Fonte: SINDUSCON – Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo em “Manual de conservação e reúso da água em edificações” (2005)

Vale ressaltar que o uso da água de reúso Classe 1 pode gerar problemas de sedimentação, o que causaria odores devido à decomposição de matéria orgânica, obstrução e presença de materiais flutuantes. Como solução cita-se a detecção de cloro residual combinado em todo o sistema de distribuição e controle de agentes tensoativos, devendo seu limite ser $\leq 0,5$ mg/L.

Ressalte-se ainda para a água de reúso Classe 3, que em sistemas de irrigação por aspersores, como a água incide diretamente sobre as folhas, algumas culturas mais sensíveis podem apresentar queimaduras. Esse efeito negativo, comum em países tropicais, é agravado em dias mais quentes, quando o cloro pode acumular-se nos tecidos, atingindo níveis tóxicos. Normalmente, concentrações de 1 mg/L, não causam problemas, porém algumas culturas mais sensíveis sofrem danos com concentrações de 0,5 mg/L.

Já o Conselho Nacional dos Recursos Hídricos (CNRH) formulou uma legislação específica sobre este assunto na Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005, estabelecendo modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água em todo território nacional. Através de seu Art. 3º o reúso direto não potável de água abrange as seguintes modalidades:

I – reúso para fins urbanos: utilização de água de reúso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana;

II – reúso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reúso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;

III – reúso para fins ambientais: utilização de água de reúso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;

IV – reúso para fins industriais: utilização de água de reúso em processos, atividades e operações industriais; e,

V – reúso na agricultura: utilização de água de reúso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos.

Porém, esta resolução não comenta sobre os parâmetros de qualidade e nem responsabilidades em relação ao reúso da água.

Alguns municípios brasileiros também possuem legislação referente ao reúso das águas, tais como Curitiba, Maringá, São Paulo e Porto Alegre. A Lei 10.785, de 18 de setembro de 2003 regulamenta a criação do Programa de Conservação e Uso Racional de Águas em Edificações (PURA) no município de Curitiba. Já no município de Maringá existe a Lei nº 6345, de 15 de outubro de 2003 que institui o programa de reaproveitamento de águas do município, além da Lei nº 6076, de 21 de janeiro de 2003 que regulamenta o reúso de água não potável. Em São Paulo, a Lei nº 13.309, de 01 de fevereiro de 2002 descreve a utilização, pela prefeitura municipal, de água não potável para a lavagem de ruas, praças e passeios públicos municipais e outros logradouros, bem como na irrigação de jardins, praças, campos esportivos e outros equipamentos. Já o município de Porto Alegre, em 2008, também criou a Lei nº 10.506, que institui o Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 LOCAL DA PESQUISA

Os experimentos de desinfecção foram realizados em escala laboratorial, no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC. No entanto, as águas cinzas que foram utilizadas para avaliar os métodos de desinfecção do presente trabalho são provenientes de uma propriedade rural localizada no município de Palhoça, onde foram implantados um sistema de tratamento e reúso de águas cinzas, um sistema de aproveitamento de água de chuva e um sistema de tratamento e disposição final/aproveitamento de águas negras, como parte de um projeto de pesquisa desenvolvido pelo GESAD. Na propriedade residem quatro moradores fixos, e as atividades rurais de subsistência praticadas são as criações de gado, aves, plantio de milho, mandioca, horta de verduras e hortaliças e plantas frutíferas.

A Figura 8 apresenta um esquema com o uso da água e manejo dos efluentes proposto e implantado na propriedade.



Figura 8: Esquema do uso da água e manejo dos efluentes na propriedade rural.

- Sistema de tratamento e reúso de águas cinzas

Com base na geração de efluentes e no uso da água na residência foram realizadas algumas intervenções. A instalação hidro sanitária foi adaptada de modo que os esgotos produzidos fossem segregados em águas cinzas e águas negras. As águas cinzas (compostas neste caso pelos efluentes do tanque e máquina de lavar roupas) são tratadas e reutilizadas no vaso sanitário, sendo o excedente infiltrado no solo.

O sistema de tratamento de águas cinzas implantado é composto por um tanque séptico seguido por um filtro plantado com macrófitas de fluxo horizontal e escoamento sub-superficial (Figura 9). Ressalta-se que atualmente não é feita a desinfecção da água cinza tratada antes do reúso, sendo assim, os resultados deste trabalho serão implantados neste sistema em escala real.

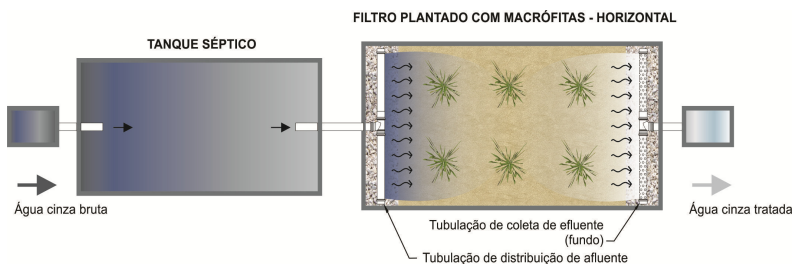


Figura 9: Representação do sistema de tratamento de águas cinzas instalado na propriedade.

Fonte: MAGRI, 2011

4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS CINZAS SEGREGADAS

Para realizar a caracterização qualitativa da água cinza segregada, foram coletadas e analisadas as amostras da água cinza proveniente da saída do tratamento por filtro plantado com macrófitas. Este efluente foi utilizado nos experimentos.

4.2.1 Parâmetros analisados

Após a coleta das amostras, as mesmas foram analisadas no laboratório do GESAD, na UFSC.

Os parâmetros analisados e os respectivos métodos para procedimentos estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Parâmetros analisados e metodologias aplicadas.

Parâmetro	Metodologia
DQO total (mg/L)	Digestão em refluxo fechado – método colorimétrico – Standard Methods 5220 D. (APHA, 1998). Leitura em espectrofotômetro HACH®
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	Seco a 103 – 105°C – Standard Methods 2540 D. (APHA, 1998)
pH	Eletrométrico – Standard Methods 4500 – H+ B. (APHA, 1998)
Cloro Livre (mg/L Cl ₂)	DPD Colorimétrico - Standard Methods 4500 G. (APHA, 1998)
Coliformes Totais (UFC/mL)	Placas 3M Petrifilm
<i>Escherichia coli</i> (UFC/mL)	Placas 3M Petrifilm
Turbidez (uT)	Nefelométrico– Standard Methods 2130 B (APHA, 1998)

4.3 EXPERIMENTOS DE DESINFECÇÃO DAS ÁGUAS CINZAS

4.3.1 Cloro

Para realizar a cloração das águas cinzas, foram utilizadas pastilhas de hipoclorito de cálcio (Figura 10). Foram utilizadas pastilhas de 200g com as características descritas na Tabela 12.

Estas pastilhas, de acordo com o rótulo do fabricante, possuem 94,4% de princípio ativo, sendo 86,6% de cloro ativo. Segundo Gonçalves (2003), a pastilha é relativamente estável na forma seca, apresentando uma perda aproximada de concentração igual a 0,013% ao dia.

O tempo de detenção hidráulica para contato deverá ser de no mínimo 30 minutos e o esgoto deve permanecer com uma concentração de pelo menos 0,5 mg/L de cloro residual livre (ABNT NBR:13969, 1997).



Figura 10: Pastilha de hipoclorito de cálcio utilizada.

Tabela 12: Características da pastilha de hipoclorito de cálcio.

Nome	Fornecedor	Características
Pace Tricloro (Cloro estabilizado em tablete)	Hth	Ingrediente ativo: Tricloro-S-Triazina-Triona
		Composição: Água, hidróxido de cálcio

Montagem dos experimentos

As amostras utilizadas para os experimentos foram obtidas a partir da coleta das águas cinzas após o tratamento realizado por filtros plantados por macrófitas.

Como a amostra coletada apresentava pouca concentração de coliformes totais e *Escherichia coli*, foi adicionada em algumas experiências uma porção de fezes ou uma solução concentrada de *E. coli* para que se pudesse observar o decaimento destas bactérias e avaliar melhor a eficiência da desinfecção.

As amostras foram depositadas em frascos diferentes para que se pudessem testar diferentes concentrações de cloro. Antes da adição da pastilha de hipoclorito de cálcio, cada amostra foi caracterizada pelos parâmetros citados anteriormente, na Tabela 11.

Após diferentes tempos de contato testados, as amostras com variadas concentrações de cloro foram caracterizadas segundo os parâmetros cloro residual livre, através dos reagentes DPD-Cloro Livre da Alfacit e coliformes totais e *Escherichia coli*, através das Placas 3M Petrifilm.

Antes do início do experimento foram realizados alguns testes preliminares. No dia 14/11/12 foi realizado o primeiro teste com a pastilha de hipoclorito de cálcio, o Teste 1, para verificar a quantidade de cloro residual livre que seria obtida após o tempo de contato de 30 minutos, a partir de determinadas concentrações de cloro.

Foram coletadas três amostras de 1L de água cinza para que se pudesse testar três concentrações diferentes de cloro, de 1 mg/L, 10 mg/L e 12 mg/L. Estas concentrações referem-se a quantidade de cloro ativo contido nas pastilhas de hipoclorito de cálcio, que foi calculado de acordo com as informações contidas no rótulo do produto. Para adicionar a quantidade necessária de pastilha nas amostras, a mesma foi triturada e pesada em balança de precisão.

No dia 05/12/12 foi realizado outro experimento com uma concentração superior de cloro ativo, o Experimento 1. Primeiramente, quatro amostras de 1L de água cinza foram contaminadas com 5 g de fezes, cada uma. Em seguida, estas amostras foram caracterizadas e testou-se quatro concentrações diferentes de cloro, de 15 mg/L, 80 mg/L, 150 mg/L e 200 mg/L. As quatro amostras foram analisadas em quatro tempos de contato diferentes. Ao final do experimento, ou seja, após uma hora, foi medida novamente a DQO de todas as amostras. Para garantir a segurança do usuário, foi realizado no dia seguinte a análise de coliformes totais e *E. coli* das quatro amostras para constatar se houve o recrescimento de bactérias.

Outra experiência com a pastilha de hipoclorito de cálcio foi realizada no dia 11/12/12, o Experimento 2. Desta vez, as amostras coletadas foram contaminadas com uma solução de *Escherichia coli* concentrada. A intenção era aumentar a quantidade dessas bactérias, porém, sem aumentar muito a DQO das amostras, como aconteceu no Experimento 1. Escolheu-se uma solução de *E. coli* por esta ser um bom indicativo de contaminação. Nesta experiência foram preparadas três amostras com as três primeiras concentrações utilizadas na experiência anterior, ou seja, 15 mg/L, 80 mg/L e 150 mg/L. No dia seguinte também foi realizado o teste de recrescimento de bactérias.

4.3.2 Ultravioleta

A desinfecção por radiação ultravioleta foi realizada através de uma lâmpada germicida de 25 watts, que possui uma vida útil de 9000 horas (aproximadamente um ano), que está inserida em uma câmara de aço inox, eletro-polidada internamente. O reator UV (Figura 11) é da marca Sterilight, modelo SSM-24, que possui consumo de energia nominal de 30 W. O comprimento de onda utilizado foi de 254 nm, correspondente a faixa UV-C.



Figura 11: Reator UV.

Montagem dos experimentos

As amostras utilizadas para a realização deste experimento foram obtidas da mesma forma que as utilizadas para a cloração. Para esta experiência também foi adicionada uma solução concentrada de *Escherichia coli* para melhor avaliar a eficiência da desinfecção.

A água cinza coletada foi, primeiramente, caracterizada segundo os parâmetros da Tabela 11. Em seguida, foi transferida para o reator UV montado em bancada, que tem capacidade de armazenar 1 L e 100 mL de líquido. Após encher o reator com a amostra, a mesma ficou exposta à diferentes doses de UV, que são obtidas a partir de diferentes tempos de exposição do efluente à radiação. A cada tempo de exposição testado, eram feitas análises de coliformes totais e *E. coli* das águas cinzas.

No dia 12/12/12 foi realizado o Experimento 3, com o reator UV. Primeiramente, a água cinza coletada foi contaminada com a mesma solução de *Escherichia coli* concentrada que foi utilizada na experiência com o cloro, pela mesma justificativa dada anteriormente. Em seguida, encheu-se o reator com 1 L e 100 mL com esta água cinza contaminada e ligou-se o reator. Depois de ligado o reator, foram coletadas amostras em 5, 15 e 60 segundos.

Alguns autores afirmam que a lâmpada UV demora certo tempo para estabilizar a emissão de radiação e atingir a intensidade máxima. Segundo estudos realizados por Oliveira (2003), após cinco minutos de funcionamento a lâmpada já atinge a intensidade máxima, porém a temperatura só se estabiliza após 10 minutos.

Portanto, no dia 13/12/12 foi realizada a última experiência, o Experimento 4. Neste experimento, antes de encher o reator com a água cinza contaminada com a solução de *Escherichia coli*, como no Experimento 3, deixou-se aquecer a lâmpada UV por 10 minutos. Em seguida, encheu-se o reator com 1 L e 100 mL de água cinza, ligou-se o reator e retirou-se quatro amostras em quatro tempos de contato diferentes, 15, 30, 60 e 90 segundos.

Vale lembrar que antes de realizar os Experimentos 3 e 4 foi realizada a limpeza da lâmpada UV com água potável e água destilada, pois o bom estado de limpeza da lâmpada afeta diretamente o desempenho da desinfecção, já que a sujeira pode bloquear ou reduzir a penetração dos raios UV no efluente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 RESULTADOS DA DESINFECÇÃO POR CLORAÇÃO

O Teste 1, realizado de acordo com a metodologia, apresentou os resultados descritos na Tabela 13.

Tabela 13: Concentração de cloro residual após 30 minutos.

Amostra	Cloro residual (mg/L Cl₂) após 30 minutos
Amostra 1 (1 mg/L)	0,14
Amostra 2 (10 mg/L)	0,33
Amostra 3 (12 mg/L)	0,44

Através deste teste foi possível constatar o rápido consumo de cloro livre. Este consumo pode ser atribuído ao material orgânico presente na amostra de água cinza e possivelmente o cloro livre aplicado transformou-se em formas de cloro combinado, que possui poder desinfetante inferior ao cloro livre.

Portanto, conclui-se que com estas concentrações não foi possível atingir a quantidade de cloro residual estabelecida pela NBR 13969 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1997), já que os valores encontram-se abaixo de 0,5 mg/L.

Considerando que no teste realizado a quantidade de cloro não foi suficiente para deixar um residual adequado na amostra, foi realizado o Experimento 1 com uma concentração superior de cloro ativo.

A Tabela 14 apresenta os resultados da caracterização da água cinza contaminada utilizada no Experimento 1.

Tabela 14: Caracterização da água cinza contaminada com fezes.

Parâmetros	Água cinza contaminada
pH	6,53
DQO (mg/L)	1288
Coliformes totais (UFC/mL)	1x10 ⁸
<i>Escherichia coli</i> (UFC/mL)	1x10 ⁶

Através da avaliação dos dados desta tabela, conclui-se que a contaminação com as fezes fez com que a DQO da água cinza aumentasse significativamente. Como esperado, também foram encontradas diversas colônias de bactérias de coliformes totais e *E. coli*.

A Tabela 15 apresenta os valores de coliformes totais, *E. coli* e cloro residual das quatro amostras em quatro tempos de contato diferentes. A maioria das amostras foram analisadas em tempos menores do que 30 minutos para que se pudesse identificar o decaimento das bactérias ao longo do tempo. O parâmetro cloro residual só foi analisado a partir do tempo de 30 minutos, que é o tempo de contato mínimo exigido pela NBR 13969.

Tabela 15: Resultados obtidos dos parâmetros analisados durante uma hora de tempo de contato do cloro com a água cinza – Experimento 1.

Tempo	Parâmetro	Amostra 1 (15 mg/L Cl)	Amostra 2 (80 mg/L Cl)	Amostra 3 (150 mg/L Cl)	Amostra 4 (200 mg/L Cl)
5 min	Coli total (UFC/mL)	120	6	0	0
	<i>E. coli</i> (UFC/mL)	15	0	0	0
10 min	Coli total (UFC/mL)	34	0	0	0
	<i>E. coli</i> (UFC/mL)	6	0	0	0
30 min	Coli total (UFC/mL)	33	0	0	0
	<i>E. coli</i> (UFC/mL)	3	0	0	0
	Cloro residual (mg/L Cl ₂)	0,79	1,6	1,73	1,75
60 min	Coli total	4	0	0	0

	(UFC/mL)				
	<i>E. coli</i> (UFC/mL)	1	0	0	0
	Cloro residual (mg/L)	0,8	1,42	1,82	1,59

Através desta tabela, pode-se observar um decaimento da quantidade de coliformes totais e *E. coli* na Amostra 1 ao longo do tempo, que está melhor representada na Figura 12. Na Amostra 2 também foi possível identificar o decaimento de coliformes totais com o tempo de contato de cinco minutos, que está ilustrado na Figura 13. Além disso, observou-se que as concentrações testadas deixaram uma quantidade de cloro residual superior a 0,5 mg/L após o tempo de contato de 30 minutos, estando de acordo com a NBR 13969.

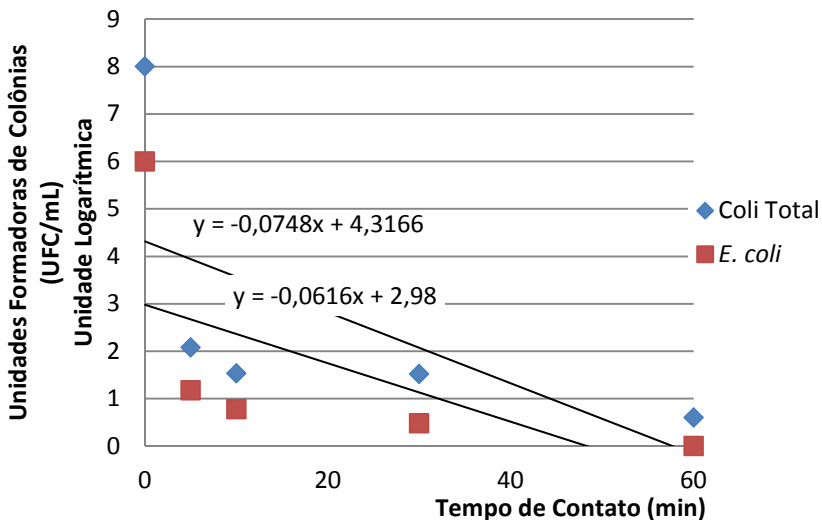


Figura 12: Decaimento de coliformes totais e *E. coli* na Amostra 1 durante 60 minutos.

Através dos pontos inseridos no gráfico, traçou-se uma linha de tendência linear e pela equação de cada reta descobriu-se o valor de k (coeficiente de inativação). Com o valor de k , calculou-se o tempo necessário para inativação de 1 log (t_{90}) de coliformes totais e *E. coli*, que resultou em 13 e 16 minutos, respectivamente.

De acordo com a NBR 13969, para reúso classe 1, que é a forma de reúso mais restrita, a água de reúso não pode conter mais que 200 NMP/100mL de coliformes fecais, já o Manual da ANA/FIESP & SindusCon/SP (2005), para esta mesma classe de reúso, não tolera a detecção destes coliformes.

Portanto, para que a legislação seja cumprida, deve haver a remoção completa de *E. coli*, que representa os coliformes fecais. Para que aconteça esta remoção com a concentração de cloro utilizada na Amostra 1, seria necessário um tempo de contato de 96 minutos.

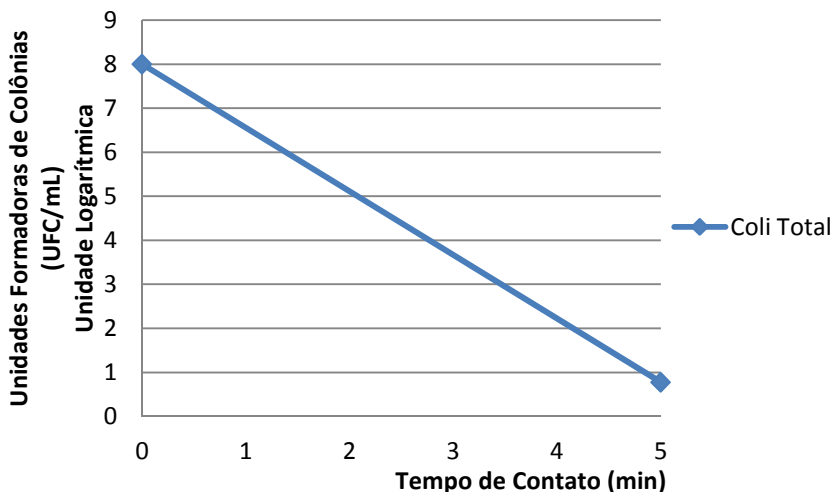


Figura 13: Decaimento de coliformes totais na Amostra 2 durante 5 minutos.

Pelo gráfico apresentado na Figura 13, é possível observar o rápido decaimento de coliformes totais que a Amostra 2 apresentou.

A Tabela 16 apresenta os valores de DQO obtidos para cada amostra no final do experimento, ou seja, após uma hora.

Tabela 16: Resultados obtidos de DQO após o tempo de contato de uma hora do cloro com a água cinza – Experimento 1.

Amostra	DQO (mg/L)
Amostra 1 (15 mg/L Cl)	1332
Amostra 2 (80 mg/L Cl)	1295
Amostra 3 (150 mg/L Cl)	1229
Amostra 4 (200 mg/L Cl)	1262

A partir destes valores foi possível identificar a variação da carga orgânica nas quatro amostras com concentrações diferentes de cloro. Nas primeiras amostras, com menores concentrações de cloro, a DQO aumentou e nas últimas amostras a DQO diminuiu. Portanto, conclui-se que uma hora de contato com cloro ativo nestas concentrações não altera significativamente o valor de DQO das águas cinzas.

A Tabela 17 apresenta os valores da análise de recrescimento de bactérias em cada amostra, que foi realizado 24 horas após o Experimento 1.

Tabela 17: Resultados da análise de recrescimento de coliformes totais e *E. coli*.

Amostra	Coliformes Totais (UFC/mL)	<i>Escherichia coli</i> (UFC/mL)
Amostra 1 (15 mg/L Cl)	7	0
Amostra 2 (80 mg/L Cl)	6	0
Amostra 3 (150 mg/L Cl)	6	0
Amostra 4 (200 mg/L Cl)	2	0

Através da análise dos resultados, pode-se perceber que não houve recrescimento de *E. coli*, somente de coliformes totais. Porém, a quantidade de coliformes totais não é significativa para inviabilizar a utilização destas concentrações de cloro, já que é normal o aparecimento destes coliformes, principalmente pela facilidade de ocorrer contaminação no ambiente de laboratório.

No Experimento 2 foram preparadas três amostras com as três primeiras concentrações utilizadas na experiência anterior, porém, contaminadas com uma solução concentrada de *Escherichia coli*. A Tabela 18 apresenta a caracterização da água cinza contaminada com a solução de *E. coli*.

Tabela 18: Caracterização da água cinza contaminada com a solução concentrada de *E. coli*.

Parâmetros	Água cinza contaminada
pH	6,96
DQO (mg/L)	190
<i>Escherichia coli</i> (UFC/mL)	34×10^4

Através desta tabela é possível observar que o valor da DQO em relação ao Experimento 1, cuja água cinza foi contaminada com fezes, foi bem inferior.

A Tabela 19 apresenta os valores de coliformes e cloro residual das três amostras em três tempos de contato diferentes.

Tabela 19: Resultados obtidos dos parâmetros analisados durante 30 minutos de tempo de contato do cloro com a água cinza – Experimento 2.

Tempo	Parâmetro	Amostra 1 (15 mg/L Cl)	Amostra 2 (80 mg/L Cl)	Amostra 3 (150 mg/L Cl)
5 min	<i>E. coli</i> (UFC/mL)	0	0	0
15 min	<i>E. coli</i> (UFC/mL)	0	0	0
30 min	<i>E. coli</i> (UFC/mL)	0	0	0
	Cloro residual (mg/L Cl ₂)	0,65	0,87	1,06

Através desta tabela, foi possível concluir que com a redução do valor de DQO a desinfecção apresentou uma eficiência muito maior. A Amostra 1 do Experimento 1, levou 16 minutos para remover um log de *E. coli*, já a Amostra 1 do Experimento 2, que continha a mesma concentração de cloro, removeu toda *E. coli* (5 logs) em cinco minutos de tempo de contato. Esta diferença na eficiência pode ser justificada pela maior reação do cloro com a matéria orgânica contida nas águas cinzas no Experimento 1, já no Experimento 2, cuja água cinza possuía carga orgânica bem menor, o cloro reagiu mais diretamente na inativação dos microrganismos.

Também foi possível observar que nesta experiência a concentração de cloro residual encontrou-se dentro da permitida pela NBR 13969.

No dia seguinte desta experiência também foi feita análise de *E. coli* para verificar o recrescimento destas bactérias. O resultado desta análise foi negativo, ou seja, não foi constatado o reaparecimento de *E. coli* na amostra coletada.

5.2 RESULTADOS DA DESINFECÇÃO POR RADIAÇÃO UV

O Experimento 3, iniciou-se com a caracterização da água cinza e apresentou os resultados descritos na Tabela 20.

Nesta experiência também foram analisados os parâmetros sólidos suspensos totais e turbidez, pois eles estão diretamente relacionados com o desempenho da desinfecção por radiação UV, já que as partículas em suspensão podem refletir ou absorver radiação, prejudicando a eficiência da desinfecção. Essas partículas ainda podem servir de abrigo para microrganismos, protegendo-os da ação da radiação UV e desinfetantes químicos.

Tabela 20: Caracterização da água cinza contaminada com uma solução concentrada de *E. coli*.

Parâmetros	Água cinza contaminada
pH	6,8
DQO (mg/L)	182
<i>Escherichia coli</i> (UFC/mL)	8×10^4
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	72
Turbidez (uT)	101

Analisando esta tabela, percebe-se que o valor de sólidos suspensos totais e turbidez é elevado. A literatura recomenda a desinfecção ultravioleta para efluentes com SST menor que 30 mg/l (USEPA, 1999).

A Tabela 21 apresenta os valores de *E. coli* das três amostras retiradas em três tempos de contato diferentes.

Tabela 21: Resultados obtidos de *E. coli* durante o tempo de exposição de um minuto à radiação UV – Experimento 3.

Amostra	<i>Escherichia coli</i> (UFC/mL)
Amostra 1 (t= 5s)	$1,20 \times 10^4$
Amostra 2 (t= 15s)	$1,26 \times 10^3$
Amostra 3 (t= 60s)	$1,64 \times 10^2$

Analisando a tabela, é possível observar o decaimento de *E. coli* ao longo do tempo de exposição da amostra à radiação UV. Na Amostra 1 foi verificada uma inativação de 85,00% de *E. coli*, na Amostra 2, 98,42% e na Amostra 3, 99,79%. Este decaimento pode ser melhor visualizado na Figura 14.

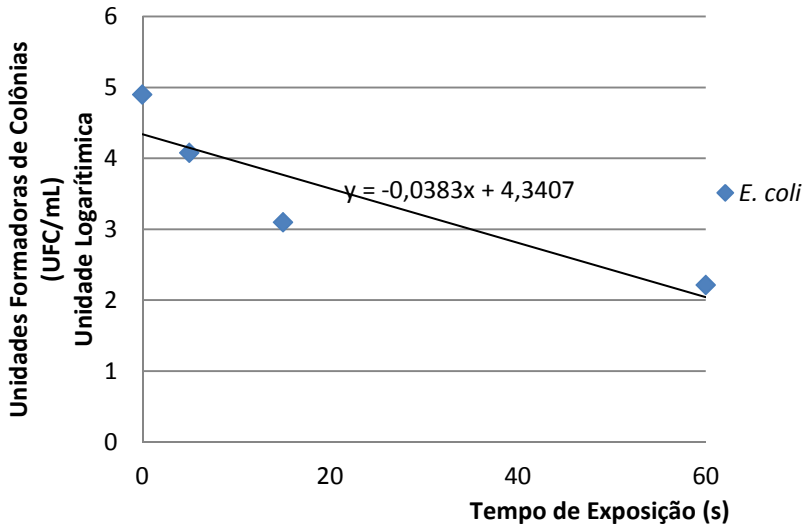


Figura 14: Decaimento de *E. coli* na amostra de água cinza por um tempo de exposição à radiação UV de 60 segundos.

Através desse gráfico foi possível descobrir que o t_{90} para esta equação de reta é de 26 segundos.

Portanto, para que a legislação seja cumprida e haja a remoção total de *E. coli* (4,9 logs), seria necessário um tempo de exposição da água cinza à radiação UV de 127 segundos.

O valor de DQO obtido ao final do experimento, ou seja, após o tempo de exposição de um minuto à radiação UV, foi de 117 mg/L. Portanto, mesmo que o valor tenha sido menor do que o inicial, conclui-se que a desinfecção por este método e por este período de tempo, também não altera significativamente o valor da carga orgânica contida nas águas cinzas.

Para comprovar que o aquecimento da lâmpada por alguns minutos antes da exposição ao efluente aumenta a eficiência da desinfecção, foi realizado o Experimento 4.

A água cinza utilizada para este experimento foi coletada no mesmo dia da utilizada no Experimento 3, portanto, os parâmetros pH, DQO, coliformes totais, sólidos suspensos totais e turbidez foram considerados os mesmos. Foi medido somente o parâmetro *E. coli* para poder obter mais precisamente a curva de decaimento das bactérias, que resultou em $5,6 \times 10^5$ UFC/mL.

A Tabela 22 apresenta os valores de *Escherichia coli* das quatro amostras retiradas nos quatro tempos de contato diferentes.

Tabela 22: Resultados obtidos de *E. coli* nas amostras com o pré-aquecimento da lâmpada por dez minutos – Experimento 4.

Amostra	<i>Escherichia coli</i> (UFC/mL)
Amostra 1 (t= 15s)	$2,2 \times 10^3$
Amostra 2 (t= 30s)	$7,0 \times 10^2$
Amostra 3 (t= 60s)	$3,8 \times 10^1$
Amostra 4 (t= 90s)	2

Bem como na experiência anterior, através desta tabela, foi possível construir um gráfico que ilustra o decaimento de *Escherichia coli* durante o tempo de exposição à radiação UV de 90 segundos (Figura 15). Na Amostra 1 foi verificada uma inativação de *E. coli* de 99,61 %, na Amostra 2, 99,87 %, na Amostra 3, 99,99 % e finalmente, na Amostra 4, praticamente 100 % de inativação.

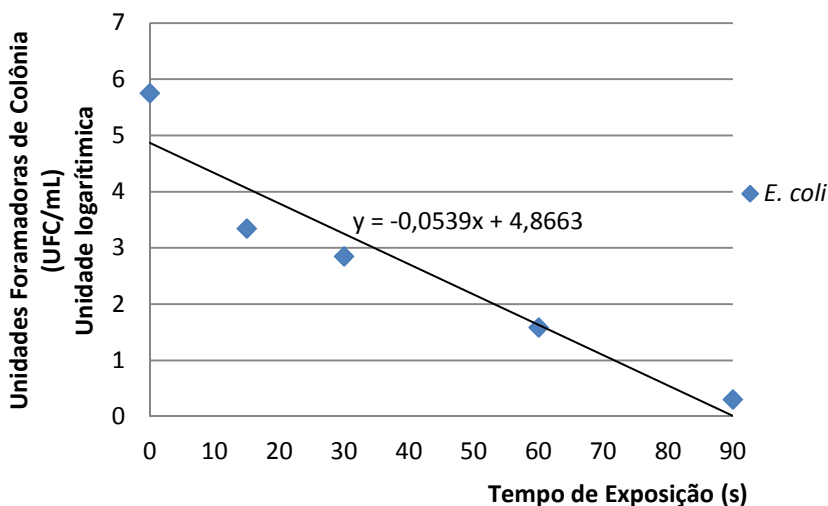


Figura 15: Decaimento de *E. coli* na amostra de água cinza por um tempo de exposição à radiação UV de 90 segundos.

Através desse gráfico foi possível determinar o t_{90} para esta equação de reta, que resultou em 19 segundos. Portanto, observou-se que com o pré-aquecimento de dez minutos da lâmpada UV, foi possível reduzir em sete segundos o tempo de remoção de um log de *E. coli* nas águas cinzas para este comprimento de onda.

Portanto, para que houvesse a remoção total de *E. coli* seria necessário um tempo de exposição da água cinza à radiação UV de 109 segundos.

6 CONCLUSÕES

Concentrações de cloro menores que 12 mg/L deixam uma concentração de residual de cloro livre nas águas cinzas menores que 0,5 mg/L, que é o mínimo exigido pela NBR 13969.

Já concentrações de cloro em águas cinzas de 15 mg/L podem ser utilizadas com um tempo de contato mínimo de uma hora e 36 minutos para inativação de seis logs de *E. coli*, para que esteja de acordo com o Manual da ANA/FIESP & SindusCon/SP.

Por outro lado, concentrações de cloro em águas cinzas iguais ou superiores a 80 mg/L são capazes de realizar a desinfecção de seis logs de *E. coli* em um tempo de contato de até 5 minutos.

Portanto, conclui-se que dependendo da necessidade do usuário, como comprimento da tubulação de água cinza tratada ou distância do ponto de desinfecção até o ponto de utilização da água de reúso, podem ser utilizadas concentrações menores, como de 15 mg/L de cloro, ou concentrações maiores do que esta, quando as condições de reúso exigirem um curto tempo de contato com o cloro.

A análise das águas cinzas 24 horas após o tratamento com cloro mostrou que não houve recrescimento significativo de *E. coli* e coliformes totais. Este resultado viabiliza a utilização destas concentrações de cloro para desinfecção de águas cinzas tratadas em sistemas de reúso, pois garante a qualidade da água desinfetada mesmo quando a mesma não for utilizada instantaneamente.

A redução no valor do parâmetro DQO acarretou em um aumento significativo na eficiência da desinfecção por cloração.

Em relação aos resultados obtidos no Experimento 3, pode-se dizer que o reator UV apresentou boa eficiência, já que não operou com as condições ideais para um bom desempenho deste sistema de desinfecção, pois as amostras de água cinza apresentaram altos valores de sólidos suspensos totais e turbidez. Para que a amostra utilizada neste experimento pudesse ser utilizada como água de reúso, segundo o Manual da ANA/FIESP & SindusCon/SP, seria necessário um tempo de exposição das águas cinzas à radiação UV de dois minutos e sete segundos.

Já o Experimento 4 mostrou que o aquecimento da lâmpada UV por um tempo de 10 minutos antes de encher o reator com o efluente, aumenta em 27 % a eficiência da desinfecção. Aplicando este procedimento seria possível inativar toda a *E. coli* em um minuto e 49 segundos.

Através dos Experimento 1 e 3, pode-se observar que as concentrações testadas de cloro com o tempo de contato de uma hora com as águas cinzas e o tempo de exposição de um minuto do efluente à radiação UV não foram suficientes para alterar significativamente os valores de DQO das amostras.

Vale lembrar que mesmo com a inativação total de coliformes totais e *E. coli* pelo método de desinfecção por radiação UV, é essencial para o usuário que utilizar este método adicionar uma pequena concentração de cloro nas águas de reúso, já que é possível que haja contaminações ao longo da tubulação de distribuição da água desinfetada no sistema.

Contudo, é possível afirmar que estes dois métodos de desinfecção são eficientes para serem utilizados em sistemas de reúso de água para fins não potáveis, desde que sejam adequados às características das águas residuárias e que sejam respeitadas suas limitações.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA, FIESP e SindusCon-SP. **Conservação e Reúso de água em Edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica, 2005.

APHA – American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 19. ed. Washington: APHA, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação**: NBR 13969. Rio de Janeiro, 1997.

BAZZARELLA, B. B. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações**. 2005. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2005.

BILOTTA, P. **Estudo comparativo da ação do ozônio e radiação UV na desinfecção de esgoto sanitário**. 2000. 96 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2000.

BORN, R.H. (2000). **Seguridade hídrica, comitês de bacia hidrográfica e cidadania**. Revista CEJ. Brasília, n. 12, p. 63-70, set./dez. 2000

BURCH J.; THOMAS, K. **Water disinfection for developing countries and potential for solar thermal pasteurization**. Solar Energy, v. 64, n. 1-3, p. 87-97, 1998.

CHRISTOVA-BOAL, D.; EDEN, R. E.; MACFARLANE, S. (1996). **An investigation into greywater reuse for urban residential properties**. Desalination. v.106, n. 1-3, p. 391-397.

COUTO, E.A. **Avaliação do reúso de águas cinza em ambientes aeroportuários**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2012.

DANIEL L. A. **Aternativas para desinfecção de esgotos sanitários.** Anais do I Seminário Nacional de Microbiologia Aplicada ao Saneamento, Vitória-Espírito Santo. 54-59, 2000.

DANIEL L. A. **Desinfecção de esgotos com radiação ultravioleta fotorreativação e obtenção de parâmetros cinéticos.** 1993. Tese (Doutorado em Engenharia Civil: Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos. 1993

DANIEL, L. A. **Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável.** Rio de Janeiro: ABES, 2001. 155 p.

DANIEL, L. A.; CAMPOS, J. R. **Fundamentos a aspectos de projetos de sistemas de desinfecção de esgoto sanitário com radiação ultravioleta.** Revista DAE-Sabesp. v. 163, n. 7, p. 5-11, jan/fev. 1992.

DI BERNARDO, L. & DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** Volume 1. São Carlos: RIMA, 2005. 784 p.

Do VAL, P. T. *et al.* **Reúso de água e suas Implicações Jurídicas.** São Paulo: Navegar Editora, 2004. p.116.

DOWNEY, D.; GILES, D; DELWICHE, M. J. **Finite element analysis of particle and liquid flow through an ultraviolet reactor.** Computers and Electronics in agriculture, 21, p. 81-105, 1998.

ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; MOGENS, H. LEDIN, A. (2002) - **Characteristics of grey wastewater.** Urban Water. v. 4, n.1, p. 58-104.

ESREY, S. *et al.* (1998). **Ecological sanitation.** SIDA – Swedish International Cooperation Agency, Stockholm.

FIORI, S.; FERNANDES, V. M. C.; PIZZO, H. **Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinzas em edificações.** Revista Ambiente Construído. Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 19-30, jan./mar. 2006.

GANROT, Z. **Urine processing for efficient nutrient recovery and reuse in agriculture.** Goteborg: Goteborg University, 2005. 170 p. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy.

GIESE, N.; DARBY, J. **Sensitivity of organisms to different wavelengths of uv light**: Implications on modeling of medium pressure uv systems. *Water Research*, v. 34, n. 16, p. 4007-4013, 2000.

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.

GONÇALVES, R. F. (2003) - (coordenador). **Desinfecção de efluentes sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, Rima, 438p.

GONÇALVES, Ricardo Franci (Coord.). **Uso racional da água em edificações**. ABES. Rio de Janeiro, Sermograf, 2006.

HARRIS, G. D.; ADAMS, D. SORENSEN, D. L. DUPONT, R. R. **The influence of the photoreactivation and water quality on ultravioleta disinfection of secondary municipal wastewater**. *J. Water Pollution Control Federation, EUA*, v. 59, n.8, p.781-787, aug.1987

HAVELAAR, A.H.; MEULEMANS, C.E.E, POT-HOGEBOOM, W. M.; KOSTER, J. **Inactivation of bacteriophage MS2 in wastewater effluent with monochromatic and polychromatic ultraviolet light**. *Water Research*, v.24, n.11, p. 1387-1990, jun 1990

IDEC (2002) - **Consumo sustentável**: Manual de educação. Brasília: Consumers International/ MMA/IDEC. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/publicacao8.pdf>>. Acesso: 22 jun. 2012.

JERFFERSON, B.; LAINE, A.; PARSONS, S.; STEPHERSON, T.; JUDD, S. (1999). **Technologies for domestic wastewater recycling**. *Urban Water*. v. 1, n. 4, p. 285-292, 1999.

LAZOROVA, Z., *et al.* **Advanced wastewater disinfection technologies**: Short and long term efficiency. *Water Science and Tecnology*. v. 38, n. 12, p. 109-117, 1999.

LI, F., WICHMANN, K., OTTERPOHL, R. **Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses**. *Science of the Total Environment*, 407. p. 3439 – 3449. 2009.

LILTVED, H., LANDFALD, B. **Effects of high intensity light on ultravioleta-irradiated and non-irradiated fish pathogenic bacteria.** Water Research, v.34, n.2, p. 481-486, 2000.

MAGRI, M. E. ; LEMOS E. ; KLAUS G. ; FRANCISCO T. G. Z. ; PHILIPPI, L. S. **Desempenho de um Sistema Tipo Tanque Séptico Seguido de Filtro Plantado com Macrófitas no Tratamento de Águas Cinzas.** 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011, Porto Alegre.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reúso de água.** Barueri-SP: Manole, 2003.

MANILA, C. F. **Ecological Sanitation** – An Introduction to the Philippines. Philippines, 2003.

MAY, S. **Caracterização, tratamento e reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações.** 2009. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2009.

MENDONÇA, P. A. O. **Reúso de água em edifícios públicos:** O caso da escola politécnica. Salvador. 2004. 164 f. Dissertação (Mestrado em gerenciamento e tecnologias ambientais no processo produtivo) – Universidade Federal da Bahia, Bahia. 2004.

METCALF L.; EDDY; H.; TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F. L. **Wastewater engineering:** treatment, disposal, and reuse. 3rd.ed. New York: McGraw-Hill, 1991. 1334p.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering:** Treatment and Reuse. 4th ed. New York: Mc Graw Hill, 2003.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE / CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução Nº 54, de 28 de nov. 2005.** Diário Oficial da União. Brasília, 09 mar. 2006.

MIWA, F.P. **Análise da problemática do reúso da água cinza em edificações residenciais.** Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2011.

OKUNO, E. & VILELA, M. A. C. **Radiação Ultravioleta: Características e Efeitos.** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005. 78 p.

OLIVEIRA, E. C. M. **Desinfecção de efluentes sanitários tratados através da radiação ultravioleta.** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2005.

PETERS, M.R. **Potencialidade de uso de fontes alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2006.

PIZZOLATTI, B. S. **Avaliação dos métodos de desinfecção: Cloração e radiação ultravioleta, com a finalidade de utilização da água de chuva em escala residencial.** 2007. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2007.

RASMUSSEN, G. JENSSEN, P.D. WESTLIE, L. **Greywater Treatment Options.** Environmental Research Forum. v. 5-6, p. 215-220, 1996.

RIBEIRO, H; GUNTHER, W. M. R. **A integração entre a educação ambiental e o saneamento ambiental como estratégia para a promoção da saúde e do meio ambiente sustentado.** São Paulo, 2002.

RYER, A. D. **Light measurement handbook.** 2. ed. Newburyport: Technical Publications International Light Inc., 1997. 64 p.

SANTOS, D. C.; FROEHNER, S. **Qualidade da água pluvial e da água cinza nas edificações: estudo comparativo.** In: Simpósio Nacional de Sistemas Prediais, 10., 2007, São Carlos. Anais...São Carlos: UFSCar, 2007.

SANTOS, M. S.; MELO, H.; CHIAVONE FILHO, O.; Nascimento, C. A. O.; MORAES, J. E. F.; TEIXEIRA, A. C. S. C.; MELO, J. **Desinfecção de Efluente Doméstico Tratado em Reator Anaeróbio Usando Radiação Ultravioleta Artificial.** In: XXI Chemical Engineering Inter-American Congress (CEIC), 2005, Lima. CDROM/Libro de Resúmenes. Lima: Confederación Interamericana de Ingeniería Química, 2005. p. 1-5

SASSE, A. **Sanitation Concepts for Separate Treatment of Urine, Faeces and Greywater.** Task 8, Fertilizer usage. Berlim ,2005.

SILVA, G.S. **Programas permanentes de uso racional da água em Campi Universitários:** Programa de uso racional da água da Universidade de São Paulo. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Departamento da Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2004

USEPA – United States Environmental Protection Agency. **Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual.** – EPA 815-R-99-014, Office of Water, 1999.