**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Desinfecção de águas servidas através de tratamento térmico
utilizando coletor solar**

Ana Paula Alves Barreto Damasceno

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Ciências. Área de concentração:
Engenharia de Sistemas Agrícolas

**Piracicaba
2015**

Ana Paula Alves Barreto Damasceno
Engenheira Agrônoma

**Desinfecção de águas servidas através de tratamento térmico utilizando
coletor solar**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **TARLEI ARRIEL BOTREL**

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Ciências. Área de concentração:
Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2015

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Damasceno, Ana Paula Alves Barreto

Desinfecção de águas servidas através de tratamento térmico utilizando coletor solar / Ana Paula Alves Barreto Damasceno. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2015.

75 p: il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2014.

1. Águas residuárias 2. Coliformes totais 3. Tratamento térmico I. Título

CDD 628.3
D155d

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte -O autor"

A Jesus, fonte de toda inspiração, alvo ao qual me destino, provedor de toda Graça e Misericórdia as quais tanto necessito, merecedor de toda Honra e toda Glória.

Dedico

Aos meus pais, Antonia Alves Barreto e Américo Barreto Damasceno, por sempre cumprirem seus papéis de anjos em minha vida.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Pai, ao filho e ao Espírito Santo, todos os dias da minha vida, por ter chegado até aqui, por me encher de Graça, por me ouvir, por me ajudar a seguir, por não me abandonarem nunca.

Agradeço aos meus pais Antonia Alves Barreto e Américo Barreto Damasceno, que são minha base, meus exemplos, presentes de Deus em minha vida.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Tarlei Arriel Botrel, pela confiança, amizade, apoio, por ser essa pessoa iluminada e que, espero, brilhe cada dia mais.

Agradeço aos professores do programa por todo ensinamento propiciado durante o curso.

Agradeço à CAPES pela concessão da bolsa.

Agradeço aos amigos conquistados durante o decorrer da vida em Piracicaba; a maior conquista em nossa vida são as pessoas que passam a fazer parte dela e estou certa que cada um sabe o quanto é importante.

Agradeço aos colegas que fizeram e fazem parte dessa luta diária que vivemos.

Por fim, agradeço a todos que estiveram comigo, que torceram, acreditaram, oraram, nenhuma vitória real pode ser conquistada sozinha.

"Enquanto não estivermos compromissados, haverá hesitação, a possibilidade de recuar, e sempre a ineficácia.

Em relação a todos os atos de iniciativa e de criação, existe uma verdade elementar cuja ignorância mata inúmeros planos e ideias esplêndidas: que no momento em que, definitivamente, nos compromissamos, a providência divina também se põe em movimento...

Todos os tipos de coisas ocorrem para nos ajudar, que em outras circunstâncias nunca teriam ocorrido.

Todo um fluir de acontecimentos surge a nosso favor, como resultados da decisão, todas as formas imprevistas de coincidências, encontros e ajuda material, que nem um homem jamais poderia ter sonhado encontrar em seu caminho...

Qualquer coisa que você possa fazer ou sonhar, você pode e deve começar.

A coragem contém em si mesma, a força e a magia de realizar-se."

Goethe

O Senhor é o meu pastor; de nada terei falta.
Em verdes pastagens me faz repousar e me conduz a águas tranqüilas;
restaura-me o vigor. Guia-me nas veredas da justiça por amor do seu nome.
Mesmo quando eu andar por um vale de trevas e morte, não temerei perigo algum, pois tu estás
comigo; a tua vara e o teu cajado me protegem.
Preparas um banquete para mim à vista dos meus inimigos. Tu me honras, ungindo a minha
cabeça com óleo e fazendo transbordar o meu cálice.
Sei que a bondade e a fidelidade me acompanharão todos os dias da minha vida, e voltarei à
casa do Senhor enquanto eu viver.

Salmos 23:1-6

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	13
LISTA DE TABELAS	15
1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Águas residuárias.....	19
2.2 Importância do estudo.....	20
2.3 Legislação	21
2.4 Irrigação com águas residuárias	24
2.5 Indicadores microbiológicos	25
2.6 Desinfecção.....	28
2.7 Tipos de tratamentos.....	29
2.8 Tratamento térmico	32
2.8.1 Coletores solares	32
3 MATERIAL E MÉTODOS	35
3.1 Etapa Laboratorial	35
3.1.1 Teste de coliformes	35
3.1.2 Teste de ovos de helmintos.....	36
3.1.2.1 Coleta da água residuária	36
3.1.2.2 Análise de quantificação e viabilidade.....	38
3.1.2.3 Equipamentos, materiais e reagentes	38
3.1.2.4 Preparação das soluções	39
3.1.2.5 Procedimento	39
3.1.2.6 Expressão dos resultados	41
3.2 Etapa de Campo	42
3.2.1 Diferença de carga	42
3.2.2 Água residuária	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4.1 Testes de laboratório.....	45
4.1.1 Coliformes	45
4.1.2 Ovos de helmintos.....	46
4.2 Testes de campo.....	47
4.2.1 Diferença de carga	47
4.2.2 Avaliação da água residuária	51
5 CONCLUSÕES	53
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
REFERÊNCIAS.....	57
APÊNDICES.....	63
ANEXOS	71

RESUMO

Desinfecção de águas servidas através de tratamento térmico utilizando coletor solar

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema de desinfecção de águas oriundas de esgotos domésticos, no qual seja aproveitado o calor gerado pelo sol, mantendo na água suas características químicas úteis às plantas. O experimento foi desenvolvido em duas etapas, a fim de se verificar sua viabilidade. A primeira etapa foi realizada em laboratório, com amostras de água coletadas no Ribeirão Piracicamirim. Utilizando-se um regulador automático de temperatura, foram realizados testes com o objetivo de verificar a redução de coliformes, sob as temperaturas de 45, 50, 55 e 60°C. Para os testes de quantificação e viabilidade dos ovos de helmintos foi feita a coleta de água residuária, proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Piracicamirim. Ao ser encontrada a menor temperatura na qual ocorre a maior redução de coliformes, utilizou-se o mesmo regulador automático de temperatura e procederam-se os testes sob as temperaturas 60, 70, 80, 90 e 100°C, durante o período de 1 hora de exposição. A segunda etapa foi realizada em campo. Foi implantado um sistema composto por placa solar para o aquecimento da água e reservatórios, utilizando como princípio a diferença de altura de carga entre os reservatórios de entrada e saída para que a água atingisse a temperatura necessária. Nesta etapa, foram utilizados três reservatórios. No 3º reservatório, foi instalado um mecanismo que permitiu que o tubo conectado a caixa fosse movimentado de modo a ficar mais alto ou mais baixo, de acordo com a temperatura desejada. As amostras onde objetivou-se verificar presença e viabilidade de ovos de helmintos foram submetidas ao processo de separação de resíduos que permitiu posteriormente análise ao microscópio. Ao término do experimento foi realizada a comparação dos resultados e observou-se que nas temperaturas de 55°C e 60°C, o tempo de uma hora foi eficiente para eliminar tanto coliformes totais como *Escherichia coli* presentes nas amostras em comparação à amostra de caracterização da água testada. Diante disso, realizaram-se testes reduzindo o tempo de exposição das amostras, obtendo-se como resultado o tempo mínimo de 15 minutos à temperatura de 60°C para que fosse alcançado o mesmo resultado obtido com uma hora de exposição. Nas amostras que foram submetidas ao tratamento e incubadas, apenas na amostra submetida a 60°C foi possível a observação de um ovo de helminto, que se verificou infértil. Nas demais amostras correspondentes aos outros tratamentos, não foi possível a recuperação de ovos de helmintos nas lâminas observadas. É possível que durante o processo de limpeza para redução de resíduos nas amostras tenha ocorrido perda de material devido à desintegração da matéria orgânica presente. Diante dos resultados obtidos, pôde-se chegar à conclusão que, apesar do sistema de desinfecção não ter apresentado os resultados esperados, ele atendeu ao objetivo proposto. O sistema deve ser aprimorado para que se chegue a um modelo em que, possa ser utilizado de maneira segura o aproveitamento de águas residuárias para uso em diversos sistemas de irrigação para a agricultura.

Palavras-chave: Águas residuárias; Coliformes totais; Tratamento térmico.

ABSTRACT

Disinfection of wastewater by heat treatment using solar collector

The objective of this study was to develop a water disinfection system originated from domestic sewage, which is harnessed the heat generated by the sun, keeping the water their chemical characteristics useful to plants. The experiment was conducted in two stages, in order to verify its viability. The first step was performed in the laboratory, with water samples collected in Piracicamirim brook. Using an automatic temperature regulator, tests were performed in order to verify the reduction in coliform, at temperatures of 45, 50, 55 and 60°C. For the tests of quantification and viability of helminth eggs was made to collect wastewater from the Wastewater Treatment Station (WWTS) Piracicamirim. When found to be the lowest temperature at which happens the greatest reduction in coliform, we used the same automatic temperature regulator and the tests were carried at temperatures 60, 70, 80, 90 and 100°C for a period of 1 hour exposure. The second stage was conducted in the field. A system comprising solar panel to heat the water tank, using principle as the load height difference between the inlet and outlet reservoirs for the water to reach the required temperature has been deployed. In this step, three reservoirs are used. On the 3rd tank was installed a mechanism that allowed the tube to be connected to the box so as to be moved higher or lower, according to the desired temperature. Samples where the objective was to verify the presence and viability of helminth eggs were submitted to the waste separation process which subsequently allowed analysis under the microscope. At the end of experiment was performed to compare the results and it was observed that at temperatures of 55°C and 60°C, the time of one hour was effective to eliminate both total coliforms and *Escherichia coli* in the samples compared to the sample characterization of the test water. Therefore, tests were conducted by reducing the exposure time of the samples, obtaining as a result a minimum of 15 minutes at a temperature of 60°C time for which achieved the same result was obtained with a one hour exposure. In the samples that were subjected to treatment and incubated, only in the sample treated at 60°C was possible to observe a helminth egg it was found infertile. In the other samples corresponding to other treatments, recovery of helminth eggs in the observed blades was not possible. It is possible that during the cleaning process for waste reduction has occurred in the samples loss of material due to disintegration of the organic matter. Based on these results, we could conclude that despite the disinfection system not producing expected results, he met the objective. The system should be improved in order to arrive at a model that can be used safely harnessing wastewater for use in various irrigation systems for agriculture.

Keywords: Wastewater; Total coliforms; Heat treatment

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade média de coliformes totais sobreviventes (NMP) a cada 100 ml de amostra para o tempo de uma hora.	45
Tabela 2 - Quantidade média de coliformes totais sobreviventes (NMP) a cada 100 ml de amostra, para a temperatura de 60°C.	45
Tabela 3 - Quantidade média de coliformes totais sobreviventes (NMP) a cada 100 ml de amostra, para temperatura de 55°C.	46
Tabela 4 - Volume acumulado quando o tubo foi mantido a h=25,5cm durante o período de 3 horas no dia 22/01/2014.....	48
Tabela 5 - Volume acumulado quando o tubo foi mantido a h=25,5 cm durante o período de 3 horas no dia 23/01/2014.....	48
Tabela 6 - Volume acumulado quando o tubo foi mantido a h=25 cm durante o período de 3 horas no dia 18/02/2014.....	48
Tabela 7 - Volume acumulado quando o tubo foi mantido a h=25 cm durante o período de 3 horas no dia 19/02/2014.....	49
Tabela 8 - Volume acumulado quando o tubo foi mantido a h=24,5 cm durante o período de 3 horas no dia 10/02/2014.....	49
Tabela 9 - Volume acumulado quando o tubo foi mantido a h=24,5 cm durante o período de 3 horas no dia 11/02/2014.....	49
Tabela 10 - Volume acumulado quando o tubo foi mantido a h=24 cm durante o período de 3 horas no dia 12/02/2014.....	50
Tabela 11 - Volume acumulado quando o tubo foi mantido a h=24 cm durante o período de 3 horas no dia 13/02/2014.....	50

1 INTRODUÇÃO

O uso consciente da água é um assunto de conhecimento geral e que ganha cada vez mais importância. Uma vez que este é um recurso finito, devemos dar-lhe mais atenção e procurar sempre alternativas que propiciem melhor uso e maior economia, permitindo a melhor distribuição de acordo com a qualidade e o setor onde será empregado.

Dentre as alternativas que buscam a otimização no uso da água para uma irrigação mais sustentável, o reuso de águas servidas na agricultura, provindas de diversas atividades, é uma opção que tem tido grande aceitação, principalmente devido à redução de impactos ao meio ambiente. Essas águas apresentam como vantagem altos teores de nutrientes, que podem ser aplicados a diversas culturas por meio de diversos sistemas de irrigação, devendo em alguns casos ser feita apenas a complementação dos nutrientes de acordo com a cultura.

O fator mais restritivo para o aproveitamento dessas águas se deve a presença de microrganismos nocivos à saúde e/ou presença de metais pesados que possam causar toxidez. Isto limita sua aplicação em alguns sistemas e a escolha das culturas que podem ser irrigadas sem que haja danos futuros.

No caso específico da água proveniente de estações de tratamento de esgoto, o risco principal está relacionado à presença de microorganismos patogênicos pertencentes a diversas classes. No entanto, no que se refere ao tratamento, a maior dificuldade está na remoção de ovos de helmintos que causam diversos problemas de saúde. A eliminação, ou ao menos a redução, desse risco por meio de um tratamento que preserve os nutrientes ali presentes transformaria essa água em solução nutritiva pronta a ser aplicada.

Desta forma, o tratamento térmico se apresenta como uma solução viável, uma vez que o Sol é uma fonte de energia limpa e em abundância em todo o Brasil. O calor gerado com a utilização de um coletor solar pode inviabilizar o desenvolvimento de diversos organismos devido a desnaturação das camadas protéicas que envolvem a maioria das camadas que protegem os embriões nos ovos.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema de desinfecção de águas residuárias, no qual seja aproveitado o calor gerado pelo Sol, mantendo na água os elementos nutrientes dissolvidos úteis às plantas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Águas residuárias

O uso de águas residuárias, ou reuso de água, não é um conceito novo e tem sido praticado em todo o mundo há muitos anos (SANTOS, 1993).

Existem relatos de sua prática na Grécia Antiga, com a disposição de esgotos e sua utilização na irrigação. No entanto, a demanda crescente por água tem feito do reuso planejado da água um tema atual e de grande importância. Neste sentido, deve-se considerar o reuso de água como parte de uma atividade mais abrangente que é o uso racional ou eficiente da água, o qual compreende também o controle de perdas e desperdícios, e a minimização da produção de efluentes e do consumo de água (ALMEIDA, 2010).

Águas residuais ou residuárias são todas as águas descartadas que resultam da utilização para diversos processos. Exemplos disto são as águas residuais domésticas, provenientes de banhos, cozinhas e de lavagens de pavimentos domésticos. As águas residuais industriais resultantes de processos de fabricação. Há também as águas que resultam da infiltração nos coletores de água existentes nos terrenos e as águas urbanas, que resultam de chuvas, lavagem de pavimentos, regas, etc. (ALMEIDA, 2010).

As águas residuais transportam uma quantidade apreciável de materiais poluentes. Se não forem retirados podem, prejudicar a qualidade das águas dos rios, comprometendo toda a fauna e flora destes meios, e também todas as utilizações dadas a estes meios, tais como a pesca, a balneabilidade, a navegação, a geração de energia, etc. (ALMEIDA, 2010).

Sempre que possível, as águas de qualidade inferior, tais como os esgotos (particularmente os de origem doméstica), águas de drenagem agrícola e águas salobras, devem ser consideradas como fontes alternativas para usos menos restritivos. O uso de tecnologias apropriadas ao desenvolvimento dessas fontes, constitui-se hoje, em conjunção com a melhoria da eficiência do uso e o controle da demanda, na estratégia básica para a solução do problema da falta universal de água (HESPANHOL, 2002).

O reuso de água é uma ferramenta importante para o uso racional e eficiente dos recursos hídricos. Neste contexto, o esgoto tratado assume um papel

importante no planejamento e gestão sustentável dos recursos hídricos, uma vez que destina a água de boa qualidade exclusivamente para fins mais nobres (SANTOS, et. al., 2012).

2.2 Importância do estudo

Dentro do ciclo hidrológico a água se constitui em um recurso renovável. Quando reciclada através de sistemas naturais, é um recurso limpo e seguro que é deteriorada através da atividade antrópica. Entretanto, uma vez poluída, a água pode ser recuperada e reusada para fins benéficos diversos. A qualidade da água utilizada e o objeto específico do reuso, estabelecerão os níveis de tratamento recomendados, os critérios de segurança a serem adotados e os custos de capital, operação e manutenção associados (HESPANHOL, 1997).

O uso inadequado da água é uma forma primária de impacto ambiental, uma vez que se trata de um recurso natural que demanda grande quantidade de energia e infraestrutura apropriada para sua captação, tratamento e distribuição. Além disso, no caso de uso doméstico, proporciona o aumento do volume de esgotos gerados, que são efluentes de elevado potencial poluidor para o ambiente (COSTA & MATOS, 1997).

De todos os fenômenos poluidores da água, a eutrofização é o que apresenta as mais complexas características, em função de sua base essencialmente biológica. O conceito de eutrofização se relaciona com uma superfertilização do ambiente aquático, em decorrência da presença de nutrientes. Etimologicamente o termo *eutrófico* significa “muito alimentado” ou “alimentado em excesso”. A eutrofização é, portanto, o fenômeno que transforma um corpo d’água em um ambiente muito fertilizado ou muito alimentado, o que implica em um crescimento excessivo de plantas aquáticas. Em razão da presença de nutrientes em excesso, os organismos vegetais encontram condições favoráveis ao seu crescimento, que pode atingir grandes proporções (BRASIL, 2006).

A água residual pode ser uma importante fonte de água e de nutrientes para muitos agricultores em zonas áridas e semi-áridas. Por vezes, poderá ser a única fonte de água disponível para a agricultura. Quando o uso de água residual é bem gerido, promove a reciclagem dos nutrientes e da água, diminuindo conseqüentemente, os custos com fertilizantes (SANTOS, 2008).

O reuso da água reduz a demanda sobre mananciais de água bruta devido à substituição da água potável por uma água de qualidade inferior onde tal substituição for possível, tendo em vista a qualidade requerida para o consumo. Em muitos casos ocorre uma proteção natural das águas dos mananciais, uma vez que se eliminam as descargas de esgotos nas águas superficiais (SANTOS, 1993).

A aceitabilidade do reuso da água para fins específicos depende da sua qualidade física, química e microbiológica. Os fatores que afetam a qualidade da água para reuso incluem a qualidade na fonte geradora, o tratamento da água residuária, a confiabilidade no processo de tratamento, o projeto e a operação dos sistemas de distribuição (SANTOS, 1993).

2.3 Legislação

Em tese, todo o esgoto gerado em uma região teria potencial para ser utilizado na agricultura, devendo-se assegurar, no entanto, que as devidas medidas de controle fossem adotadas, para não resultar em danos à saúde pública e ao meio ambiente. Mesmo não existindo iniciativas planejadas para a utilização de esgotos sanitários na agricultura, ou que estas ainda estejam restritas às instituições de pesquisa, uma condição comum no Brasil é a utilização inconsciente de esgotos domésticos, com ou sem tratamento. A razão para isto é que a maior parcela dos esgotos sanitários coletados, tratados ou não, são lançados diretamente nos cursos d'água, muitos dos quais também são utilizados para captação de água utilizada na irrigação. Esta situação se constitui em condição de risco à saúde humana, especialmente quando a captação de água ocorre nas proximidades do ponto de lançamento dos esgotos, uma condição que pode ser encontrada em diversas regiões do país (MIERZWA, 2004).

Existem três abordagens principais para o estabelecimento de diretrizes e normas da qualidade microbiológica para a reutilização de águas residuais tratadas na agricultura, que têm objetivos diferentes como resultado (BLUMENTHAL et al., 2000): (i) a ausência de riscos potenciais (perigos), caracterizada pela ausência de organismos indicadores e, ou, patogênicos no efluente; (ii) a medida de risco atribuível à utilização de esgotos dentre uma população exposta; (iii) a estimativa do risco atribuível mediante o emprego de modelos probabilísticos.

Com respeito ao reuso da água, o Brasil ainda não dispõe de normatização técnica específica para os sistemas de reuso da água. Em geral são adotados padrões referenciais internacionais ou orientações técnicas produzidas por instituições privadas. Este é um fator que tem dificultado a aplicação desta prática no país, pois a falta de legislação e normatização específica dificulta o trabalho dos profissionais. Além disto, pode colocar em risco a saúde da população devido à falta de orientação técnica para a implantação dos sistemas de reuso das águas servidas e a respectiva fiscalização de tais sistemas (CREA-PR, 2010).

Também não existe uma legislação que estabeleça a quem cabe o controle da qualidade da água de reuso. Em São Paulo, com relação ao reuso agrícola, em que há a disposição do esgoto tratado no solo, existe a necessidade de uma avaliação por parte da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) (RIBEIRO, 2013).

Do ponto de vista do Centro de Vigilância Sanitária, a água de reuso é algo novo. A Vigilância, por sua vez, também não atua no controle direto disso. É preciso avançar para estabelecer normas, haja vista que temos hoje apenas resoluções genéricas (RIBEIRO, 2013).

Não somente no Brasil, mas em muitos países, a legislação sobre o reuso é inexistente, muito branda ou muito restritiva. Faltam estudos que evidenciem quais as taxas seguras de aplicação para cada cultura e quais os reais danos que cada contaminante pode ocasionar ao sistema solo – água – planta (RIBEIRO, 2013).

No Brasil não existem normas e padrões específicos para regulamentar e direcionar o reuso de águas e isto se deve à falta de tradição quanto à aplicação desta prática. A legislação apenas estabelece limites máximos de impureza para cada destino específico da água. Estes limites, chamados de padrões de qualidade, foram estabelecidos em 1986 pela Resolução nº 20 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). A Resolução classifica as águas como doces, salobras e salinas, e define quatro classes e mais uma especial para águas doces, estabelecendo parâmetros físico-químicos para cada classe dos corpos d'água, de acordo com a utilização que deve ser dada às mesmas. Apesar de a Resolução definir padrões para o lançamento de efluentes, vale ressaltar que as regras estabelecidas não satisfazem os problemas que eventualmente podem aparecer no reuso de águas residuárias (PASCHOLATO et al., 2004 apud ALMEIDA, 2011).

Somente em meados de 1971 a Organização Mundial da Saúde – (OMS) reconheceu efetivamente a importância dos aspectos de saúde relacionados com a reutilização de águas residuárias em irrigação, uma vez que os sistemas de reuso já apresentavam notável crescimento em diversos países que não possuíam meios para viabilizar a produção de efluentes com características microbiológicas apropriadas ao reuso, nem o controle de qualidade requerido, gerando graves riscos à saúde pública (PASCHOALATO et al., 2004).

A Resolução Conama nº357, de 2005 – que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições padrões de lançamento de efluentes trata de classificar as águas em quatro classes e estipula parâmetros de qualidade de acordo com estas classes – substituiu a Resolução nº20, porém, assim como esta, não contemplou o reuso (ALMEIDA, 2011). A Resolução Conama nº430, de 2011, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.

Em 1997, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) lançou a Norma 13.969, que dispõe sobre providências e cuidados, bem como fornece instruções a respeito do esgoto de origem doméstica. Esta Norma determina que esse tipo de esgoto deva ser reutilizado para fins em que não haja exigência de água potável, desde que seja sanitariamente segura. Devem ser considerados todos os usos que o usuário precisar, tais como lavagens de pisos, calçadas, irrigação de jardins e pomares, manutenção das águas nos canais e lagos dos jardins, nas descargas dos banheiros etc. Não deve ser permitido o uso, mesmo desinfetado, para irrigação das hortaliças e frutas de ramos rastejantes (por exemplo, melão e melancia). Admite-se seu reuso para plantações de milho, arroz, trigo, café e outras árvores frutíferas, via escoamento no solo, tomando-se o cuidado de interromper a irrigação pelo menos 10 dias antes da colheita (ABNT, 1997).

Outra lei importante é a nº 9.605, de 1998, a chamada Lei da Natureza ou dos Crimes Ambientais, cujo texto declara como crime o ato de causar poluição hídrica em cursos de água de abastecimento público. A Lei dos Crimes Ambientais forneceu o incentivo decisivo para o reuso, quando instituiu a obrigação de se tratar os efluentes (ALMEIDA, 2011).

Para que o reuso seja praticado de forma segura é imprescindível que especificações legais para a qualidade da água sejam determinadas por órgãos públicos, sejam eles de caráter internacional, nacional, regional ou local, conforme recomenda Escalera (1995) apud Almeida (2011).

Para uma prática segura de reuso, os padrões a serem estabelecidos devem englobar parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, os quais ainda podem sofrer influência de crenças e preconceitos que a população possa ter sobre a questão, o que pode até determinar negativamente a aceitação da água de reuso (ALMEIDA, 2011).

Mesmo não tendo critérios estabelecidos, nem legislações específicas para o reuso, pode-se dizer que no Brasil já existem ações que podem servir como base para a formulação de um aparato legal sobre o tema. As leis existentes sobre lançamento de esgotos e qualidade da água potável, bem como a divisão da água em classes podem balizar e fornecer subsídios para a elaboração de critérios, padrões e códigos de prática, adaptados às características nacionais (ALMEIDA, 2011).

2.4 Irrigação com águas residuárias

Como a agricultura utiliza grande quantidade de água e a atividade pode tolerar águas de qualidade inferior à necessária na indústria e no uso doméstico, é inevitável que exista uma tendência crescente para se encontrar na atividade agrícola a solução dos problemas relacionados com efluentes (TRENTIN, 2005).

No que se refere ao uso da água na agricultura, a irrigação só passa a ser fator de risco para as reservas de água quando não inclui, nas práticas de manejo, os cuidados necessários para a conservação do solo e da vegetação e quando não adota medidas preventivas para evitar a contaminação da água por defensivos agrícolas e fertilizantes (OLIVEIRA et al., 2002).

A irrigação com águas residuárias equivale à descarga controlada do efluente sobre o solo com a finalidade de favorecer o crescimento dos cultivos. Porém, tal prática deve ser precedida de adequado sistema de coleta e condução de vazões capaz de atender a área em questão e que não constitua ameaça ao meio ambiente e à saúde pública. Para tanto, na utilização da irrigação com águas

residuárias em determinada região devem ser avaliados aspectos referentes às condições climáticas, às características físicas, químicas e biológicas do solo e do efluente, bem como os métodos de irrigação mais adequados (TRENTIN, 2005).

É importante observar que a água pode ser apropriada para determinado uso, mas estar poluída para outro. Para a agricultura, por exemplo, é conveniente que o ambiente aquático seja rico em nutrientes, o que é indesejável para a água destinada ao abastecimento. A água com elevado teor salino é imprópria para uso agrícola, não havendo, no entanto, restrições para seu uso na geração de energia ou para navegação. Elevadas concentrações de ferro podem comprometer seu uso na geração de energia (deposição em turbinas), mas não afetam sua utilização em navegação ou recreação. Portanto, observa-se que determinados usos da água exigem um padrão de qualidade mais elevado, ao passo que outros não apresentam restrições neste sentido. Assim, é possível estabelecer de forma aproximada uma gradação de usos, em função da qualidade da água, abrangendo desde as utilizações mais nobres (abastecimento e irrigação) até aqueles menos exigentes (geração de energia e navegação) (VON SPERLING, 1997).

No Brasil, a prática do uso de esgotos - principalmente para a irrigação de hortaliças e de algumas culturas forrageiras – é, de certa forma, difundida. Entretanto, constitui-se em um procedimento não institucionalizado e até agora tem-se desenvolvido sem nenhuma forma de planejamento ou controle. Na maioria das vezes é totalmente inconsciente por parte do usuário, que utiliza águas altamente poluídas de córregos e rios adjacentes para irrigação de hortaliças e outros vegetais, ignorando que esteja exercendo uma prática danosa à saúde pública dos consumidores e provocando impactos ambientais negativos (ALMEIDA, 2010).

2.5 Indicadores microbiológicos

O maior grupo de organismos patogênicos presentes numa água residual tratada resultante de um tratamento secundário e terciário, inclui bactérias, vírus, ovos de helmintos e cistos de protozoários. Geralmente a presença de organismos patogênicos em águas residuais é monitorada através de análises a indicadores microbianos. Estes indicadores são utilizados para detectar a poluição

da água residual em nível de matéria fecal, indicando a presença de organismos patogênicos (SANTOS, 2008).

Dadas as dificuldades de isolamento rotineiro de organismos em amostras ambientais, desde os primórdios da Microbiologia Sanitária sugere-se que a indicação de contaminação seja determinada, prioritária e rotineiramente, através de indicadores microbiológicos da presença de material fecal no meio-ambiente. Há mais de um século, os organismos que melhor têm cumprido este papel são as bactérias do grupo coliforme, classicamente definidas como Coliformes totais (CT); grupo de bactérias, em forma de bacilos, gram-negativas, não-esporuladas, aeróbias ou anaeróbias facultativas, oxidase-negativas, que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído dentro de 24-48 horas à 35-37°C. Coliformes fecais (CF); bactérias do grupo coliforme que fermentam a lactose com produção de ácido e gás dentro de 24 horas à 44-45°C (BASTOS, 2000).

As bactérias do grupo coliforme habitam normalmente o intestino de homens e de animais, servindo, portanto, como indicadoras da contaminação de uma amostra de água por fezes. A maior parte das doenças associadas com a água é transmitida por via fecal, isto é, os organismos patogênicos eliminados pelas fezes atingem o ambiente aquático, podendo vir a contaminar as pessoas que se abastecem de forma inadequada dessa água. Assim, conclui-se que as bactérias coliformes podem ser usadas como indicadoras dessa contaminação. Quanto maior a população de coliformes em uma amostra de água, maior a chance de que haja contaminação por organismos patogênicos (BRASIL, 2006).

Outros agentes contaminantes de grande impacto em nosso país são os organismos patogênicos, isto é, transmissores de enfermidades, que ainda predominam de forma alarmante no Brasil, em decorrência da precária situação sanitária da maioria dos centros urbanos. Em países mais desenvolvidos, onde a maioria absoluta da população está isenta dessas enfermidades, a questão da contaminação por organismos patogênicos não é relevante (BRASIL, 2006).

Como já visto, o principal indicador da presença desses organismos são as bactérias coliformes, que habitam o intestino dos seres humanos e de animais de sangue quente. Por isso, na avaliação da qualidade de águas naturais, os coliformes totais têm valor sanitário limitado. Sua aplicação restringe-se praticamente à avaliação da qualidade da água tratada, onde sua presença pode indicar falhas no tratamento, uma possível contaminação após o tratamento ou,

ainda, a presença de nutrientes em excesso. Por exemplo, nos reservatórios ou nas redes de distribuição (BASTOS, 2000).

O emprego dos organismos indicadores deve partir do seguinte entendimento: a ausência do organismo indicador indicaria a ausência de patógenos, pela destruição ou remoção de ambos através dos processos de tratamento (BASTOS, 2000).

Para que um organismo cumpra o papel de indicador da eficiência do tratamento, é necessário que ele seja mais resistente aos processos de tratamento que os patógenos e que o mecanismo de ambos seja similar (BASTOS, 2000).

Vale lembrar que os organismos indicadores de contaminação, mais especificamente os coliformes e estreptococos fecais, são utilizados como parâmetros de monitoramento porque são fáceis de identificar e estão sempre presentes em grandes quantidades nas fezes de origem humana e de outros animais de sangue quente. Assim, a presença de coliformes e estreptococos fecais em uma amostra de água é um forte indicativo de que aquela água foi contaminada pelo lançamento de esgotos domésticos e deve, muito possivelmente, conter organismos patogênicos. Trata-se, portanto, de uma determinação indireta da presença de organismos causadores de doenças, uma vez que a vasta maioria dos organismos indicadores são habitantes do trato intestinal do homem e não são causadores de doenças (CHERNICHARO, et. al., 2001).

Em linhas gerais, bactérias e vírus são destruídos por desinfecção, enquanto protozoários (preponderantemente) e helmintos (quase exclusivamente) são removidos por filtração. Quanto à resistência aos agentes desinfetantes, também em linhas gerais, em ordem crescente apresentam-se as bactérias, vírus, protozoários e os helmintos, estes praticamente imunes (BASTOS, 2000).

Assim sendo, rigorosamente, os coliformes só se prestam como indicadores da remoção de bactérias patogênicas. Portanto, na aferição da qualidade bacteriológica da água tratada, a ausência dos coliformes totais é um indicador adequado e suficiente da eficiência do tratamento, uma vez que apresentam uma taxa de decaimento (inativação) similar ou superior à dos coliformes termotolerantes e da *E. coli* (OMS, 1995). No que toca à avaliação da qualidade virológica e parasitológica da água tratada, é necessário o emprego de indicadores complementares não-biológicos, a exemplo do cloro residual e da turbidez (BASTOS, 2000).

2.6 Desinfecção

A desinfecção refere-se à destruição seletiva de organismos causadores de doenças, sem que seja necessária a eliminação de todos os organismos. A desinfecção é usualmente conseguida com o uso dos seguintes agentes e meios: agentes químicos; agentes físicos; meios mecânicos; radiação (CHERNICHARO, et. al., 2001).

Os processos de desinfecção têm como objetivo a destruição ou inativação de organismos patogênicos, capazes de produzir doenças, ou de outros organismos indesejáveis. Esses organismos podem sobreviver na água por várias semanas, em temperaturas próximas a 21°C e, em alguns casos, por vários meses, em baixas temperaturas (CUBILLOS, 1981 apud MEYER, 1994).

A sobrevivência desses organismos na água depende da temperatura e de outros fatores ecológicos, fisiológicos e morfológicos, tais como: pH, turbidez, oxigênio, nutrientes, competição com outros organismos, resistência a substâncias tóxicas e habilidade na formação de esporos (ROSSIN, 1987 apud MEYER, 1994).

A desinfecção não implica, necessariamente, a destruição completa de todas as formas vivas (esterilização), embora muitas vezes o processo de desinfecção seja levado até o ponto de esterilização (MEYER, 1994).

No tratamento de água, existe a preponderância de dois mecanismos de desinfecção: a oxidação (ligada à ruptura da parede celular) e a difusão do agente desinfetante no interior das células (com o objetivo de interferir na atividade celular). Se a oxidação fosse o único mecanismo responsável pela desinfecção, os agentes oxidantes com maiores potenciais de oxidação seriam os desinfetantes escolhidos para o processo. Entretanto, outros fatores influenciam o processo de desinfecção, tais como: espécie e concentração do organismo a ser destruído, classe e concentração do desinfetante, tempo de contato, características químicas e físicas da água e grau de dispersão do desinfetante na água (GUIMARÃES & MANIERO, et. al., 2012).

Na prática não há um desinfetante ideal e que atenda a todos os requisitos independentemente da situação de uso. Cada agente desinfetante apresenta vantagens e desvantagens em função de condições específicas de sua utilização. A otimização de seus resultados depende tanto da qualidade da água a

ser desinfetada (características físicas, químicas, e grau de contaminação microbiológica) como das condições de projeto, operação e manutenção das unidades. Dessa forma, a seleção da tecnologia de desinfecção apropriada a cada realidade deve levar em conta esses aspectos e outros fatores que influenciam na confiabilidade, continuidade e eficiência do sistema (MONTEIRO et. al, 2005).

A presença e geração de enzimas dentro da célula bacteriana sugerem que o mecanismo de desinfecção implique, ao menos, em duas etapas: penetração do desinfetante através da parede celular e reação com as enzimas dentro da célula. Esta constatação está de acordo com a observação genérica de que as moléculas neutras são bactericidas mais efetivas que os íons, aparentemente devido ao seu poder de penetrar com mais rapidez nas paredes celulares carregadas negativamente. A passagem de ânions através das paredes celulares pode ser prejudicada pela repulsão eletrostática e as moléculas neutras podem difundir-se mais livremente (FAIR et al., 1968).

Os agentes químicos tais como ozônio, dióxido de cloro e cloro, capazes de oxidar os compostos orgânicos, podem atuar como desinfetantes por oxidação química direta da matéria celular. A aplicação direta de energia calorífica, irradiação por ondas curtas, ou destruição ultra-sônica causam a destruição física dos microrganismos. Isso mostra que um número considerável de compostos químicos (orgânicos e inorgânicos) e agentes físicos causam danos aos microrganismos patogênicos, principalmente por interação com as proteínas enzimáticas ou por alterações estruturais destrutivas dentro da célula (WEBER, 1979)

No quadro 1 (APÊNDICE A) são apresentadas as características de um desinfetante ideal. No quadro 2 (APÊNDICE B) são apresentadas distintas características dos principais microorganismos patogênicos.

2.7 Tipos de tratamentos

Vários agentes desinfetantes são atualmente utilizados no tratamento de água. Entre eles destacam-se o cloro (sob diversas formas), o ozônio e a radiação ultravioleta (UV). Em âmbito domiciliar, a fervura da água ainda ocupa lugar de destaque, apesar do elevado consumo de energia (MONTEIRO et. al, 2005).

A cloração é o sistema de desinfecção mais econômico. O cloro pode ser utilizado na forma de gás (Cl_2), na forma líquida (hipoclorito de sódio - NaClO) ou na forma sólida (pastilhas de hipoclorito de cálcio). Por um lado, este método é bastante eficiente na eliminação de bactérias, por outro lado, é ineficaz na eliminação dos vírus e os resíduos da cloração permanecem na corrente filtrada, com graves inconvenientes ambientais e de saúde pública (SANTOS, 2008).

O uso de cloro no tratamento da água pode ter como objetivos a desinfecção (destruição dos microorganismos patogênicos), a oxidação (alteração das características da água pela oxidação dos compostos nela existentes) ou ambas as ações ao mesmo tempo. A desinfecção é o objetivo principal e mais comum da cloração, o que muitas vezes acarreta no uso das palavras “desinfecção” e “cloração” como sinônimos (BAZZOLI, 1993 apud MEYER, 1994).

O cloro e seus compostos são fortes agentes oxidantes. Em geral, a reatividade do cloro diminui com o aumento do pH, e sua velocidade de reação aumenta com a elevação da temperatura (MEYER, 1994).

As principais características associadas ao cloro indicam que (METCALF & EDDY, 2003):

- o cloro é uma substância bastante tóxica, podendo pôr em risco a saúde dos operadores e do público em geral em caso de acidente;
- uma vez que o cloro é uma substância bastante tóxica, devem ser tomadas fortes medidas de proteção quanto ao seu acondicionamento e à sua neutralização;
- o cloro reage com compostos orgânicos presentes em águas residuais, formando subprodutos, muitos deles conhecidos como carcinogênicos e/ou mutagênicos;
- o cloro residual presente no efluente tratado é tóxico para a vida aquática;
- existem algumas preocupações quanto à descarga de compostos organoclorados no ambiente, pois os efeitos a longo prazo são desconhecidos.

A radiação UV é considerada um agente físico e não um agente químico desinfetante. A radiação penetra na parede celular do microorganismo e é absorvida pelos ácidos nucleicos, o que impede qualquer replicação ou promove até a morte celular (METCALF & EDDY, 2003). Outros designam a radiação UV como a melhor tecnologia disponível que não envolve custos excessivos, para desinfecção de águas residuais, sendo preferível à cloração ou à ozonização quando não se

pretende obter um residual de cloro e para casos onde o contato humano seja elevado ou médio nas aplicações de reutilização (BIXIO & WINTGENS, 2006).

A radiação UV insere-se no rol dos processos físicos de desinfecção de águas de abastecimento, dos quais fazem parte também a fervura e as radiações gama e solar. No emprego de agentes físicos, a ação preponderante do desinfetante é a interferência na biossíntese e reprodução celular, como consequência dos danos fotoquímicos causados a seus ácidos nucléicos. O ácido desoxirribonucléico (DNA) é o responsável pelo controle das funções e pela reprodução das células. Cada gene do DNA controla a formação do ácido ribonucléico (RNA), responsável pela formação de enzimas específicas e de proteínas estruturais (AGUIAR, 2002).

No Quadro 3 (APÊNDICE C) há um resumo das vantagens e desvantagens da radiação versus a cloração.

Hoje em dia o ozônio é considerado o oxidante mais eficiente aplicado no tratamento de águas para consumo humano. Até para os microrganismos mais difíceis de eliminar, como é o caso dos protozoários, o ozônio garante uma adequada inativação com doses e tempos de contato até menores que outros produtos. Outra grande vantagem do ozônio é a oxidação de compostos persistentes, tais como pesticidas, compostos farmacêuticos e disruptores endócrinos (BIXIO e WINTGENS, 2006).

O ozônio elimina os organismos patogênicos oxidando as paredes celulares (citólise), a estrutura das membranas celulares e ainda o material genético (SANTOS, 2008). No Quadro 4 (APÊNDICE D) há um resumo das vantagens e desvantagens da ozonização.

O sistema de Bio-reator de membrana (MBR) é uma tecnologia emergente, cujos custos vêm a diminuindo rapidamente, oferecendo uma alternativa viável de desinfecção para aplicações de reutilização de alta qualidade. Esta tecnologia é baseada na tecnologia de lodos ativados e filtração com membranas. Os microrganismos são eliminados por meio de uma separação física (BIXIO & WINTGENS, 2006).

A membrana atua como barreira física, através da qual apenas a água e substâncias dissolvidas podem passar. As vantagens e desvantagens desta tecnologia encontram-se resumidas no Quadro 5 (APÊNDICE E).

2.8 Tratamento térmico

O uso do calor é um dos métodos mais empregados para matar microrganismos. Estes são considerados mortos quando perdem, de forma irreversível, a capacidade de se multiplicar. Os microrganismos morrem pela desnaturação de proteínas na presença de calor úmido, ou por oxidação, quando se trata de calor seco. Quando uma população microbiana é aquecida, a redução do número de organismos viáveis ocorre de forma exponencial. Entretanto, há variações de resistência de organismo para organismo (ALTERTHUM, 2004).

O processo de desinfecção pela energia solar tem 2 componentes principais: a luz ultravioleta, que irradia os microrganismos e induz a formação de formas reativas de oxigênio; e a radiação infra-vermelha, que aquece a água (AMARAL et. al., 2006).

2.8.1 Coletores solares

A captação de energia solar em forma de energia térmica é feita utilizando-se dispositivos solares denominados coletores, que podem ser de placa plana ou de concentração. No caso dos coletores de concentração, as temperaturas atingidas podem ser bem superiores às dos coletores de placa plana. Entretanto, para muitas aplicações cotidianas, os coletores planos são interessantes devido à sua simplicidade de construção e operação, e ao seu baixo custo (FOGOLARI, 2011).

Um coletor solar plano fechado é constituído por: caixa externa, sistema de isolamento térmico, tubos para escoamento do fluido no interior do coletor, placa absorvedora pintada de preto fosco para melhor absorção da energia solar, cobertura transparente e sistema de vedação (PEREIRA et al., 2003).

De acordo com Garg e Prakash (2000), o coletor solar é o principal equipamento de qualquer projeto de sistema com energia solar para operação na faixa de baixa temperatura, desde a temperatura ambiente até 100°C. Sua função é transferir a energia da luz solar incidente para um fluido de trabalho, que pode ser água ou ar. Ele possui várias vantagens sobre outros tipos de coletores:

- Absorve radiação solar direta, difusa e refletida de outros componentes.

- São fixos em uma determinada inclinação de orientação, não necessitando seguir o deslocamento do sol durante o dia.
- São fáceis de fazer e possuem baixo custo de implantação.
- Têm custo de manutenção relativamente baixo e longa vida útil.
- Operam com eficiência relativamente alta.

O princípio de funcionamento de um aquecedor solar de água é bastante simples. A radiação solar atravessa o vidro de cobertura e ao encontrar uma superfície (geralmente preta) é absorvida e reemitida, sofrendo uma alteração (aumento) no seu comprimento de onda, o que a torna incapaz de atravessar de volta o vidro. A partir daí, tem origem uma reemissão desta radiação no sentido vidro/superfície/vidro.

Como o coletor encontra-se hermeticamente fechado, ocorre um fenômeno conhecido por efeito estufa, responsável pelo aumento progressivo da temperatura da superfície pintada de preto fosco, enquanto durar a ação da radiação solar. Sob a superfície preta e em contato direto com ela, são colocados tubos paralelos ligados nas extremidades por dois tubos de maior diâmetro, contendo água em seu interior (FIGURA 1).

Figura 1 Coletor solar em corte. Fonte: Vida Solar (2012).

Como a superfície está sendo aquecida pela radiação solar e a grade de tubos está em contato direto com ela, há uma transferência de calor para a grade de tubos e desta para a água que se encontra em seu interior. O coletor solar é ligado por meio de tubos a um tanque termicamente isolado, que armazena o volume de água a ser aquecido, situado sempre acima do coletor.

O aquecimento da água provoca o movimento convectivo natural, também conhecido como termo-sifão, que consiste na transferência da água de um local para outro devido à diferença de densidades entre a água quente (mais leve) e água fria (mais pesada). Isto ocorre até que a água existente no sistema solar de aquecimento (coletor e reservatório termicamente isolado) atinja o equilíbrio térmico. Se nesta situação certo volume de água quente for retirado para consumo, imediatamente um volume igual de água à temperatura ambiente entra no reservatório termicamente isolado, já que este está diretamente ligado à caixa de água local.

Como o coletor trabalha segundo a absorção da radiação solar, ele também é operacional nos dias nublados, pois o infravermelho atravessa as nuvens e aquece o coletor, em menor intensidade em relação aos dias ensolarados, porém o suficiente para produzir água quente. O sistema solar de aquecimento de água só não funciona em dias chuvosos, quando será necessário utilizar um sistema convencional, seja ele elétrico ou a gás (BEZERRA, 2001 apud BAPTISTA, 2006).

Vários fatores devem ser considerados para dimensionar um sistema de aquecimento solar tais como a insolação e a radiação solar média do local de instalação, as temperaturas, ambiente e de entrada da água, a orientação dos painéis e a incidência de sombras (BAPTISTA, 2006).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma área experimental do Departamento de Engenharia de Biosistemas, pertencente à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - USP, no município de Piracicaba-SP, situado nas coordenadas geográficas de 22° 42' de latitude Sul e 47° 38' de longitude Oeste, a uma altitude de 540 m.

Conforme a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa, subtropical úmido, com verão chuvoso e inverno seco. As temperaturas médias mensais variam de 24,8°C no verão e 17,1°C no inverno, sendo a média anual igual a 21,4°C. As chuvas são da ordem de 1.278 mm anuais, ocorrendo cerca de 1.000 mm de outubro a março e 278 mm de abril a setembro (SENTELHAS, 1998).

O experimento foi desenvolvido em duas etapas, uma de laboratório e outra de campo, a fim de se verificar sua viabilidade. Na primeira etapa foi testada a temperatura para eliminação de coliformes totais e inativação de ovos de helmintos. Na segunda etapa foi testado o sistema de desinfecção de água com um coletor solar.

3.1 Etapa Laboratorial

3.1.1 Teste de coliformes

A primeira etapa foi realizada no laboratório de Física do Solo e Qualidade da água. As amostras de água utilizadas foram coletadas no Ribeirão Piracicamirim, localizado na cidade de Piracicaba-SP, o qual é classificado como rio classe 3, de acordo com a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de Março de 2005, (SEMAE, 2002).

Utilizou-se um regulador automático de temperatura desenvolvido pelo Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ e foram realizados testes sob as temperaturas de 45, 50, 55 e 60°C. Tal dispositivo tem a função de medir em tempo real a temperatura em determinado meio, permitindo que esta seja controlada em um valor constante pré-estabelecido pelo usuário. Para isso, este regulador é composto, principalmente, de um circuito de aquisição, processamento e

acionamento; cinco sensores de temperatura; e um ebulidor mergulhinho aquecedor de água de resistência elétrica blindada em alumínio (FIGURA 2A ANEXO A).

Para se efetuar os ensaios foi utilizada uma bandeja de alumínio com dimensões de 0,28 x 0,18 x 0,04 m, e recipientes cilíndricos de alumínio com 0,06 m de diâmetro e 0,18 m de altura. Em cada ensaio a bandeja era preenchida com um volume de 1.500mL de água fornecida pelo sistema de tratamento urbano. O material alumínio foi escolhido por ser um bom condutor térmico.

Em cada recipiente foi colocado um volume de 200 mL da água de trabalho (amostra retirada do ribeirão Piracicamirim) e aquecida, no processo de banho-maria, pelo período de uma hora para todas as temperaturas. Foram utilizadas 5 repetições para cada temperatura e em todas se procederam às análises de coliformes totais. Após verificar qual a menor temperatura em que ocorreu a esterilização, foram realizados testes para verificar qual o menor tempo necessário para obter esse resultado. Para tanto, utilizou-se o tempo de 30 minutos, sendo este o intermediário. A partir dele realizou-se testes reduzindo ou aumentando o tempo em 5 minutos, com 5 repetições por temperatura, e em seguida procedeu-se as análises de coliformes totais.

Após os tratamentos as amostras de água (100 mL) foram misturadas ao meio de cultura (Colilert) e, após homogeneização, as misturas foram transferidas para cartelas Quanti-tray e seladas com seladora específica. As cartelas foram incubadas a 35°C por 24h e a seguir foi realizada a determinação do número de coliformes totais por meio da contagem das células com coloração amarela (que ocorre devido à reação entre os organismos vivos e o meio de cultura utilizado após o processo de incubação) e utilização de tabela própria que pode ser consultada nos quadros 5 e 6 (APÊNDICE E e F). O número de *E. coli* foi determinado pelo número de células que apresentaram fluorescência após incidirem-se raios UV sobre a cartela, utilizando-se a mesma tabela para coliformes totais.

3.1.2 Teste de ovos de helmintos

3.1.2.1 Coleta da água residuária

Para os testes de quantificação e viabilidade dos ovos de helmintos foi feita coleta de água residuária, proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto

(ETE) Piracicamirim, localizada em uma área de 3ha anexa ao campus da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” ESALQ-USP.

Segundo Santos et. al. (2012), na ETE Piracicamirim, é realizado um tratamento preliminar por meio de peneira rotativa e caixa de areia aerada. O tratamento secundário se dá por reatores UASB (Upflow anerobic sludge blanket – Reator anaeróbico de fluxo ascendente e manta de lodo), seguidos por lagoa aerada e decantadores secundários de lodo ativado. Os efluentes ainda são submetidos a um tratamento por filtro de areia pressurizado, com o objetivo de reter os sólidos em suspensão, cistos de protozoários e ovos de helmintos. Este filtro é constituído por um leito de areia com 15,0 cm de altura e granulometria de 0,8 mm a 2,0 mm. Em seguida, são submetidos à desinfecção por radiação ultravioleta que ocorre em um reator de secção retangular com lâmina líquida de 4,0 cm. Este reator é equipado com cinco lâmpadas UV, emersas, de 15 watts cada, com gás de mercúrio e baixa pressão. A dose média de radiação aplicada é igual a 2,76 wh.m³, a um fluxo contínuo de 2,0 m³/h, com tempo de exposição de 20 segundos.

A água foi coletada logo após a peneira, ou seja, logo após o tratamento primário de esgotos que tem por objetivo reter sólidos grosseiros, em recipiente com capacidade para 30 L e levada diretamente ao laboratório. Deste volume retirava-se a quantidade a ser utilizada no teste, que era iniciado logo que o material era trazido. Como não era possível realizar os testes com todas as temperaturas no mesmo dia, o restante do material era armazenado em geladeira à temperatura de 20°C. Sempre que foi necessário retirar uma alíquota, o recipiente era agitado para que o material decantado fosse re-suspenso, promovendo a homogeneização da alíquota amostrada.

Utilizando-se o mesmo regulador automático de temperatura procederam-se os testes sob as temperaturas de 60, 70, 80, 90 e 100°C, por um período de 1 hora de exposição. A quantidade amostrada total para cada temperatura foi de 1.500 mL, que foi distribuída em 5 recipientes com volume de 300 mL. Após o aquecimento iniciou-se os processos necessários para, posteriormente, ser feita a incubação para o teste de viabilidade dos ovos.

3.1.2.2 Análise de quantificação e viabilidade

Diversos métodos para a quantificação de ovos de helmintos em águas residuárias são descritos na bibliografia especializada, cada um com suas vantagens e desvantagens. Alguns apresentam uma elevada porcentagem de recuperação, mas demandam grande tempo de análise; muitos não foram publicados em detalhes para permitir sua aplicação, ou suas taxas de recuperação não são conhecidas; alguns demandam reagentes químicos de custo muito elevado ou não são adequados para o uso em laboratórios com limitações de equipamentos; enquanto outros são capazes de recuperar apenas um número limitado de espécies (ZERBINI & CHERNICHARO, ET. AL., 2001).

Para as análises realizadas neste trabalho, utilizou-se o método proposto por Santos & Torres (2010) que inseriu a fase de lavagem e retirada de impurezas do sedimento elaborada por Zerbini & Chernicharo (2001), na metodologia de análise de viabilidade de helmintos proposta por Mara e Cairncross (1989).

3.1.2.3 Equipamentos, materiais e reagentes

- Microscópio óptico comum, com objetivas de 10x e 40x
- Centrífuga para operar a 1.000 g
- Tubos de centrífuga
- Agitador Vortex
- Câmara de McMaster
- Pipetas de Pasteur
- Pipetas volumétricas
- Densímetro
- Béquer de 1 litro
- Balde de 10 litros
- Solução tampão aceto-acética (pH 4,5)
- Solução de sulfato de zinco (densidade 1,18)
- Solução Triton X-100 ou Tween 80
- Éter ou acetato de etila

3.1.2.4 Preparação das soluções

São os seguintes os principais procedimentos para a preparação das soluções necessárias ao desenvolvimento das análises de viabilidade em efluentes tratados:

- Solução 7X: pesar 34g de Fosfato monopotássico (KH_2PO_4) e completar a solução com água destilada para 1000mL, após a dissolução, adiciona-se 1mL de Triton-X, e o pH deve ser ajustado para 7 com Hidróxido de Sódio (NaOH).
- Solução tampão aceto-acética (pH 4,5): pesar 5 g de acetato de sódio cristalino ($\text{C}_2\text{H}_3\text{NaO}_2$), misturar em 3,6 mL de ácido acético glacial ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$) e completar o volume com água destilada até 1.000 mL. Corrigir o pH da solução para 4,5 com os próprios reagentes.
- Solução de ácido sulfúrico 0,1 N: adicionar 2,8 mL de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) em 1.000 mL de água destilada.

3.1.2.5 Procedimento

Para iniciar o processo de análise do material, seja a leitura direta para caracterização ou a incubação, era necessário um processo de limpeza, que teve por objetivo fazer a separação entre ovos e resíduos, que poderiam atrapalhar a visualização ao microscópio.

Nesse preparo do material, a amostra de 1.500mL foi homogeneizada e dividida em 5 partes de 300 mL, aos quais acrescentou-se 120 mL de solução 7X a 1% e deixado em repouso por um tempo mínimo de 4 horas. O sobrenadante foi aspirado por sifão e novamente adicionou-se a solução 7X, procedendo-se novamente a lavagem do sedimento até que este se apresentasse clarificado. Ao sedimento remanescente foi acrescentando-se 300 ml de solução 7X, lavando-se novamente por agitação magnética durante 5 minutos.

Terminado este processo, o sedimento foi coado em malha de 20 mesh, sobre um cálice de sedimentação, sempre lavando com água destilada para retirar todo o material remanescente. Ao material coado adicionou-se a solução 7X até completar o volume e manteve-se em repouso por 2 horas.

O sobrenadante foi aspirado e o material restante, distribuído em tubos de 15 mL, centrifugados por 5 minutos. O sobrenadante foi descartado e o sedimento re-suspenso, adicionando-se um volume de solução tampão aceto-acética (pH 4,5) equivalente ao dobro do sedimento. Nos casos em que o volume do sedimento foi inferior a 2 mL, adicionou-se solução tampão até completar um volume de 4 mL para facilitar o descarte do sobrenadante sem provocar a re-suspensão do sedimento contendo os ovos. A este conteúdo adicionou-se acetato de etila P.A. (Para Análise) correspondente também ao dobro do volume do sedimento.

O sedimento juntamente com a solução tampão aceto-acética e o acetato de etila foram homogeneizados no agitador vórtex e submetidos à centrifugação por 15 minutos, verificando-se a formação de três fases no interior do tubo; o sobrenadante foi descartado.

Para a caracterização da amostra bruta adicionou-se um volume de solução de sulfato de zinco (ZnSO_4) (com densidade de 1,18) igual a 10 vezes o volume do sedimento, sendo posteriormente homogeneizado no agitador vórtex; com auxílio de uma pipeta de Pasteur retirou-se uma alíquota bem homogeneizada, que foi colocada na câmara MacMaster e examinada no microscópio, em objetivas de 40x. Foram visualizadas 3 câmaras por amostra, sendo realizada tanto a contagem de ovos quanto a sua viabilidade, esta por meio da presença ou não de larva.

Completo-se o volume dos tubos com ZnSO_4 até a marca de 14 mL e centrifugou-se por 10 minutos, para que fosse analisado o restante do material que ficou nos tubos. Retirou-se os tubos da centrifuga cuidadosamente e completo-se o volume total com ZnSO_4 até a formação do menisco na superfície de abertura do tubo. Acrescentou-se o ZnSO_4 aos poucos, preferencialmente pelas bordas da abertura do tubo, evitando ao máximo o revolvimento do material suspenso. Colocou-se uma lamínula em cima do tubo e aguardou-se 10 minutos; retirou-se a lamínula com cuidado, e colocando-a sobre uma lâmina com uma gota de lugol, esta foi levada então, ao microscópio para que fosse feita a contagem dos ovos, bem como a verificação da presença ou não de larvas.

Ao material que foi incubado adicionou-se 4 mL de solução de ácido sulfúrico 0,1N. Os tubos foram então levados para estufa microbiológica com temperatura ajustada para 30°C por 3 semanas.

Segundo Zerbini (2000) os ovos são incubados durante um período 21 a 30 dias, a uma temperatura de 25 a 30 °C. Nesse período, as amostras devem ser mantidas em ambiente favorável ao desenvolvimento do embrião (compartimento escuro e com aeração intermitente). A principal desvantagem do método da incubação é o tempo de resposta, que demanda 3 semanas para o embrionamento dos ovos, sendo impraticável para o uso de rotina.

Em cada tubo foi marcado o nível de solução do ácido sulfúrico 0,1N e estes foram tampados com filme plástico perfurado para circulação de ar. Durante o período de incubação procedeu-se a aeração manual, retirando e agitando os tubos, verificando o nível de ácido sulfúrico e completando caso fosse necessário.

Passados 21 dias, retirou-se uma alíquota bem homogeneizada da amostra final, com auxílio de uma pipeta de Pasteur. A alíquota foi diluída em ZnSO₄ (densidade de 1,18) numa proporção de 5 vezes o valor da alíquota.

A amostra diluída foi transferida para a câmara MacMaster, e examinada ao microscópio, na objetiva de 40x. Foram visualizadas 3 câmaras por amostra, sendo realizada tanto a contagem quanto a viabilidade, esta por meio da presença ou não de larvas.

Para o restante da amostra presente procedeu-se a utilização de lamínulas como explicado anteriormente.

3.1.2.6 Expressão dos resultados

Os cálculos para a obtenção do número de ovos por litro na amostra são realizados por meio da Equação:

$$N_{(ovos/l)} = \frac{N_o \cdot V_C \cdot V_F}{A_P}$$

Onde:

N = Número de ovos por litro na amostra;

N_o = Número médio de ovos contados na câmara Mac Máster;

V_C = Volume da câmara em mL (câmara MacMaster com 0,5mL em cada grelha);

V_F = Volume final da amostra que tinha no tubo que foi para incubadora;

A_P = Amostra processada (1.500 mL).

Nota: Para se obter a quantidade de ovos viáveis faz-se uma regra de três relacionando o número total de ovos encontrados na câmara MacMaster, com o número de ovos viáveis observados no procedimento em que se utiliza a lamínula. O resultado pode ser expresso em porcentagem ou em ovos viáveis por litro.

3.2 Etapa de Campo

Após encontrar a temperatura e o tempo mínimo para a desinfecção (etapa laboratorial) iniciou-se a segunda etapa, na qual foi implantado um sistema composto por placa solar com dimensões de 2 m de altura por 1 m de largura para o aquecimento da água e reservatórios, utilizando como princípio a diferença de altura de carga entre os reservatórios de entrada e saída para que a água atingisse a temperatura necessária.

3.2.1 Diferença de carga

Nesta etapa, foram utilizados três reservatórios. O primeiro teve como função abastecer o segundo reservatório, que estava ligado diretamente à placa de aquecimento; a água aquecida era conduzida ao terceiro reservatório, onde foi instalado um mecanismo que permitiu que o tubo conectado à caixa fosse movimentado para ficar mais alto ou mais baixo, de acordo com a temperatura desejada. Devido à diferença de densidade a água flui no sentido da maior para a menor temperatura (FIGURAS 4 A, B e C ANEXO C).

O tubo em sua posição mais elevada tinha sua abertura a cerca de 25,5 cm do fundo da caixa e em sua posição mais baixa, a qual o deixava em equilíbrio com a caixa que abastecia a placa, ficava a 24 cm. A partir disso, o tubo foi rebaixado a cada 0,5 cm.

A água utilizada nessa fase era proveniente do sistema de abastecimento urbano.

Utilizou-se um datalogger, ao qual foram conectados dois sensores de temperatura. Um sensor media a temperatura da água na entrada da placa e o outro media a temperatura na saída. Os dados eram medidos a cada 30 segundos e armazenados em cartão de memória. Para a análise dos dados fez-se a média para

intervalos de 30 minutos, considerando o período em que as temperaturas foram mais elevadas.

Para o cálculo da vazão mediu-se o volume acumulado na caixa a cada uma hora no período de maior incidência solar. Para tanto utilizou-se uma proveta graduada, para obter melhor precisão.

3.2.2 Água residuária

Para a segunda fase do experimento foi feita coleta de água residuária, proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Piracicamirim.

A água foi coletada logo após a peneira, em recipientes com capacidade para 30 L, ao todo foram três recipientes. A água foi transportada até a área experimental e despejada em um recipiente do tipo 'tonel' plástico, no qual foi instalado um conjunto motobomba composto por duas eletrobombas de circulação, instaladas com altura positiva de sucção (na parte inferior do reservatório) e em série. Optou-se por essa configuração para atender a altura manométrica necessária para que a água chegasse até a caixa de abastecimento, cuja altura era superior a 2 m. As eletrobombas utilizadas tinham vazão de 1500 L h^{-1} , alimentadas com uma tensão de 220 V Ca, 60 Hz de frequência e corrente nominal de 2 A, com componentes internos em plástico para evitar danos pelo efeito corrosivo da água residuária.

Utilizou-se apenas a altura máxima de elevação do tubo e as coletas de amostras foram feitas logo após o período em que as temperaturas foram mais elevadas.

O volume coletado foi de 10 litros de água, segundo recomendação de Zerbini & Chernicharo (2001) para esgoto tratado o volume deve ser aumentado para que o método utilizado seja eficiente.

Para as análises procedeu-se como descrito anteriormente na fase de testes em laboratório.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Testes de laboratório

4.1.1 Coliformes

Na comparação dos resultados observou-se que, nas temperaturas de 55°C e 60°C, o tempo de uma hora foi eficiente para eliminar tanto coliformes totais como *Escherichia coli* presentes nas amostras em comparação à amostra de caracterização da água testada. Diante disso, realizaram-se testes reduzindo o tempo de exposição das amostras, obtendo-se como resultado o tempo mínimo de 15 minutos à temperatura de 60°C para que fosse alcançado o mesmo resultado obtido com uma hora de exposição.

Nas tabelas 1, 2 e 3 estão os resultados obtidos em laboratório para o teste de aquecimento. Na Figura 2 (B e C) (ANEXO A) é possível verificar a diferença entre a água sem tratamento e com tratamento com relação a presença de coliformes totais.

Tabela 1 - Quantidade média de coliformes totais sobreviventes (NMP) a cada 100 mL de amostra para o tempo de uma hora

Tempo = 1 hora					
Temperatura	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Caract.	>2419,6	>2419,6	>2419,6	>2419,6	-
45°C	>2419,6	>2419,6	>2419,6	>2419,6	>2419,6
50°C	686,7	116,2	410,6	344,8	-
55°C	<1,0	<1,0	<1,0	1,0	<1,0
60°C	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0

Tabela 2 - Quantidade média de coliformes totais sobreviventes (NMP) a cada 100 mL de amostra, para a temperatura de 60°C

Temperatura = 60°C					
Tempo (min)	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
*30	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
20	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
15	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
5	1,0	3,1	3,1	1,0	7,4

*Tempo médio adotado para verificar em qual temperatura os resultados obtidos com a exposição de 1 hora se repetiriam.

Tabela 3 - Quantidade média de coliformes totais sobreviventes (NMP) a cada 100 mL de amostra, para temperatura de 55°C

Tempo (min)	Temperatura = 55°C				
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
55	4,1	<1,0	<1,0	3,1	2,0
45	<1,0	<1,0	1,0	4,1	<1,0
*30	5,2	<1,0	2,0	5,2	<1,0

*Tempo médio adotado para verificar em qual temperatura os resultados obtidos com a exposição de 1 hora se repetiriam.

Rodrigues, (2011) realizou testes em laboratório com aquecimento gradativo da temperatura da água, simulando a pasteurização solar (SOPAS), e definiu qual a temperatura mais adequada para a inativação dos grupos de bactérias estudados: heterotróficas e coliformes (totais e fecais). Os resultados obtidos com o teste da tendência de inativação de bactérias do grupo coliformes totais e *Escherichia coli* demonstraram que *Escherichia coli* pôde ser inativada a partir de 60°C, e a partir de 50°C os coliformes totais, em ambos os tempos de detenção aplicados (15 e 30 minutos), mostrando o potencial de inativação dessas bactérias ao se utilizar a desinfecção térmica para tratamento microbiológico da água.

Javara (2005) utilizou um coletor solar plano e buscou uma temperatura ideal capaz de eliminar o maior número de patógenos existentes em água residuária coletada de um lago localizado na própria área experimental. O objetivo do ensaio foi propor um tratamento da água utilizada no meio agrícola, evitando-se, assim, o emprego de produtos químicos na purificação da mesma. De acordo com os resultados obtidos das análises microbiológicas da água, o tratamento com a energia solar para a desinfecção de água apresentou boa eficiência, pois em 99% dos casos a remoção de coliformes foi total para temperaturas maiores que 55°C durante 60 minutos, para 65°C durante 30 minutos e para 75°C durante 15 minutos.

4.1.2 Ovos de helmintos

Nas amostras que foram submetidas ao tratamento térmico utilizando o ebulidor e incubadas, apenas na amostra submetida a 60°C foi possível a observação de um ovo, que se verificou infértil (FIGURA 3A). No entanto, a análise é

inconclusiva, pois durante o processo de incubação a estufa sofreu variações de temperatura que podem ter afetado o desenvolvimento de embriões.

McGuigan et al., (1998) afirmou que o efeito biocida provocado pela luz solar é devido a processos ópticos e térmicos que ocorrem a temperaturas acima de 45°C.

A luz solar tem efeitos germicidas, pois proporciona tanto radiação ultravioleta (UV) quanto calor. O efeito combinado de temperaturas de 50-60° e radiações UV na faixa UVA (320-400 nm) e faixa de UVB (280 - 315 nm) do SODIS (Solar water disinfection – Desinfecção solar da água) é germicida e inativa, extensivamente, muitos microorganismos entéricos (SOBSEY e BARTRAM, 2002).

Segundo Sobsey e Bartram (2002), quando as temperaturas não chegam a 50°C sob condições de nebulosidade a redução de bactérias e esporos é muito menor. Essa redução é menor quando há calor sem a ação UV do que na presença de calor e radiação UV. Dessa forma, alcançar uma temperatura suficientemente alta (55°C ou superior, durante várias horas) é um fator importante para a inativação microbiana por sistemas de desinfecção solar.

Nas demais amostras correspondentes aos outros tratamentos, não foi possível a recuperação de ovos nas lâminas observadas. É possível que durante o processo de limpeza para redução de resíduos nas amostras tenha ocorrido perda de material devido à desintegração da matéria orgânica presente.

O aumento do volume amostrado ou talvez o uso de uma outra técnica de análise poderiam reduzir ou eliminar esse tipo de problema.

4.2 Testes de campo

4.2.1 Diferença de carga

Os dados foram insuficientes para elaborar um modelo que determinasse o comportamento da vazão e o volume acumulado em relação ao incremento de temperatura em que a água fluía de uma caixa até outra, para cada altura.

A seguir são apresentadas as tabelas com os valores no período em que as temperaturas foram mais altas e houve o maior acúmulo do volume de água.

Tabela 4 - Volume acumulado quando o tubo foi mantido a h=25,5cm durante o período de 3 horas no dia 22/01/2014

22/01/2014 h= 25,5cm					
Hora	Sensor Entrada (°C)	Sensor Saída (°C)	Δ (°C)	Q (L/30min)	Vacum (L)
11:00	51,2	84,3	33,1	1,925	1,925
11:30	42,2	76,4	34,3	1,925	3,850
12:00	42,7	75,4	32,7	1,925	5,775
12:30	40,1	66,9	26,9	2,000	7,775
13:00	41,2	71,3	30,2	2,000	9,775
13:30	41,7	73,1	31,4	2,000	11,775
14:00	46,3	81,5	35,3	2,000	13,775

Tabela 5 - Volume acumulado quando o tubo foi mantido a h=25,5 cm durante o período de 3 horas no dia 23/01/2014

23/01/2014 h= 25,5cm					
Hora	Sensor Entrada (°C)	Sensor Saída (°C)	Δ (°C)	Q (L/30min)	Vacum (L)
11:00	40,4	79,7	39,3	1,870	1,870
11:30	44,3	53,9	9,6	1,870	3,740
12:00	52,6	62,7	10,2	1,870	5,610
12:30	42,3	84,5	42,2	1,870	7,480
13:00	42,2	83,6	41,4	1,870	9,350
13:30	46,4	84,9	38,5	1,870	11,220
14:00	42,4	84,2	41,8	1,870	13,090

Tabela 6 - Volume acumulado quando o tubo foi mantido a h=25 cm durante o período de 3 horas no dia 18/02/2014

18/02/2014 h= 25 cm					
Hora	Sensor Entrada (°C)	Sensor Saída (°C)	Δ (°C)	Q (L/30min)	Vacum (L)
12:00	42,7	75,4	32,7	1,925	1,925
12:30	40,1	66,9	26,9	2,000	3,925
13:00	41,2	71,3	30,2	2,000	5,925
13:30	41,7	73,1	31,4	2,000	7,925
14:00	46,3	81,5	35,3	2,000	9,925
14:30	43,6	80,0	36,4	2,000	11,925
15:00	44,5	78,4	33,9	2,000	13,925

Tabela 7 - Volume acumulado quando o tubo foi mantido a h=25 cm durante o período de 3 horas no dia 19/02/2014

19/02/2014 h= 25cm					
Hora	Sensor Entrada (°C)	Sensor Saída (°C)	Δ (°C)	Q (L/30min)	Vacum (L)
12:00	52,6	62,7	10,2	1,870	1,870
12:30	42,3	84,5	42,2	1,870	3,740
13:00	42,2	83,6	41,4	1,870	5,610
13:30	46,4	84,9	38,5	1,870	7,480
14:00	42,4	84,2	41,8	1,870	9,350
14:30	43,1	73,3	30,2	1,870	11,220
15:00	44,0	69,6	25,6	2,340	13,560

Tabela 8 - Volume acumulado quando o tubo foi mantido a h=24,5 cm durante o período de 3 horas no dia 10/02/2014

10/02/2014 h=24,5 cm					
Hora	Sensor Entrada (°C)	Sensor Saída (°C)	Δ (°C)	Q (L/30min)	Vacum (L)
10:00	36,5	55,7	19,2	4,430	4,430
10:30	38,5	57,1	18,6	4,430	8,860
11:00	41,2	59,0	17,8	4,430	13,290
11:30	40,2	60,9	20,8	5,795	19,085
12:00	44,5	73,4	28,9	5,795	24,880
12:30	46,7	93,2	46,5	5,795	30,675
13:00	43,1	93,7	50,6	5,795	36,470

Tabela 9 - Volume acumulado quando o tubo foi mantido a h=24,5 cm durante o período de 3 horas no dia 11/02/2014

11/02/2014 h=24,5 cm					
Hora	Sensor Entrada (°C)	Sensor Saída (°C)	Δ (°C)	Q (L/30min)	Vacum (L)
10:00	44,0	66,7	22,7	2,050	2,050
10:30	44,0	69,4	25,4	2,385	4,435
11:00	46,7	81,0	34,3	2,385	6,820
11:30	45,5	87,2	41,7	1,363	8,183
12:00	44,8	91,1	46,3	1,363	9,545
12:30	50,7	80,6	29,9	1,363	10,908
13:00	45,8	54,2	8,3	1,363	12,270

Tabela 10 - Volume acumulado quando o tubo foi mantido a h=24 cm durante o período de 3 horas no dia 12/02/2014

12/02/2014 h=24,0 cm					
Hora	Sensor Entrada (°C)	Sensor Saída (°C)	Δ (°C)	Q (L/30min)	Vacum (L)
10:00	31,3	40,1	8,8	0,680	0,680
10:30	32,7	41,8	9,1	0,680	1,360
11:00	35,1	40,2	5,1	0,680	2,040
11:30	33,4	42,5	9,1	1,090	3,130
12:00	40,4	54,0	13,6	1,090	4,220
12:30	39,6	69,6	30,0	1,090	5,310
13:00	51,1	56,7	5,6	1,090	6,400

Tabela 11 - Volume acumulado quando o tubo foi mantido a h=24 cm durante o período de 3 horas no dia 13/02/2014

13/02/2014 h=24,0 cm					
Hora	Sensor Entrada (°C)	Sensor Saída (°C)	Δ (°C)	Q (L/30min)	Vacum (L)
10:00	46,1	62,6	16,4	0,910	0,910
10:30	42,7	71,0	28,3	1,365	2,275
11:00	46,2	72,6	26,4	1,365	3,640
11:30	42,5	86,2	43,7	1,365	5,005
12:00	48,0	89,8	41,8	1,500	6,505
12:30	46,8	87,3	40,5	1,500	8,005
13:00	42,5	92,2	49,8	1,500	9,505

Nas tabelas 8 e 9, apesar da carga e da temperatura serem próximas, verifica-se que o volume acumulado é bem superior no dia 10 de fevereiro em relação ao dia 11 de fevereiro. Em observações visuais nos dois dias, apesar de a temperatura estar alta, houve presença de nuvens, o que fazia com que a água parasse de fluir do tubo para a caixa, reduzindo o volume acumulado durante o período em que as temperaturas foram mais altas.

Também é possível que tenha havido obstrução da tubulação, pois nas tabelas 10 e 11 verifica-se redução do volume acumulado. Para atestar este fato, pode-se levar em consideração que nas tabelas citadas os dados correspondem a altura do tubo que nivela os dois reservatórios ligados a placa. Supõe-se que o volume acumulado deveria ter sido maior que o acumulado nos dias anteriores para alturas de carga maiores.

No período estudado, na maioria dos dias, verificou-se que a temperatura alcançada pela placa superou aquela necessária para inativação dos microrganismos estudados.

4.2.2 Avaliação da água residuária

Nas amostras retiradas da caixa que recebeu a água exposta ao aquecimento pela placa não foi possível verificar a presença de ovos. É possível que durante o tempo em que a água fluía de uma caixa até outra o material tenha decantado na caixa que manteve a água sem tratamento e dessa forma os ovos não foram transportados através da placa, não chegando à caixa com água tratada.

5 CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos, pôde-se chegar à conclusão que, apesar do sistema de desinfecção não ter apresentado os resultados esperados, ele atendeu ao objetivo proposto. O sistema deve ser aprimorado para que se chegue a um modelo em que, possa ser utilizado de maneira segura o aproveitamento de águas residuárias para uso em diversos sistemas de irrigação para a agricultura.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o estudo realizado foi possível verificar que a proposta apresentada pode ser uma solução para a desinfecção de águas residuárias, reduzindo custos e riscos que são encontrados em outros tipos de tratamento utilizados.

Para estudos futuros é necessário que sejam realizados ensaios por períodos maiores de exposição para cada altura utilizada e que a medição da vazão seja realizada em intervalos de tempo curtos. É necessário que sejam feitos estudos em períodos com presença constante de nuvens e em períodos chuvosos.

Devido à baixa vazão que ocorre no sistema, é possível que os resíduos mais pesados presentes na água tenham decantado e não tenham sido transportados através da placa, o que sugere que possa ter causado alguma obstrução durante o uso contínuo do sistema. Duas soluções para este problema é adotar um sistema de filtragem, sendo a escolha feita de acordo com as características da água a ser utilizada, e um sistema de agitação, que mantenha o material sólido em contínua suspensão e dissolvido na água.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, A.M. de S. Avaliação do emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de águas com turbidez e cor moderadas. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 37-47, jan/mar. 2002.

ALMEIDA R.G. de. Aspectos legais para a água de reuso. **VÉRTICES**, Campos dos Goytacazes, v. 13, n. 2, p. 31-43, maio/ago, 2011.

ALMEIDA, O.A. **Qualidade da Água de Irrigação**.Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. 227p.

ALTERTHUM, F. Controle de microrganismos. In: TRABULSI, L.R.; ALTERTHUM, F. (Ed.) **Microbiologia**. São Paulo: Editora Atheneu, 2004. cap. 7, p. 57-65.

AMARAL L. A.; NUNES, A.P.; CASTANIA, J.; LORENZON, C.S.; BARROS, L.S.S.; NADER FILHO, A. Uso da radiação solar na desinfecção da água de poços rasos. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 73, n. 1, p.45-50, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.969**:Tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos. Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997. 60p.

BAPTISTA, A.S.C. **Análise da viabilidade econômica da utilização de aquecedores solares de água em resorts no Nordeste do Brasil**. 2006. 158p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2006.

BASTOS, R.K.X.; BEVILACQUA, P.D.; NASCIMENTO, L.E.do; CARVALHO, G.R.M.; SILVA, C. V. da. Coliformes como indicadores da qualidade da água. Alcance e limitações. In:CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGIENERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 17., 2000. Porto Alegre. **TrabajosTécnicos...** Rio de Janeiro: ABES, 2000 (Anais eletrônicos).

BIXIO, D.; WINTGENS, T. (Ed.). **Water Reuse System Management Manual**. Brussels: AQUAREC, 2006. 680p.

BLUMENTHAL, U.J.; PEASEY, A.; RUIZ-PALACIOS, G.; MARA, D. D. **Guidelines for wastewater reuse in agriculture and aquaculture:**

recommended revisions based on new research evidence. Disponível em:
<<http://www.lboro.ac.uk/well>> Acesso em: 31 jul. 2014.

BRASIL. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 212p.

CHERNICHARO, C.A.L.; DANIEL, L. A.; SENS, M.; CORAUCCI FILHO, B. Pós-tratamento de efluentes anaeróbios por sistemas de desinfecção. In: CHERNICHARO, C.A.L. (Coord.) **Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios**. PROSAB, 2001. 2. 66p.

CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E AGRONOMIA DO PARANÁ. **Uso e reuso da água**. Curitiba, 2010. 32p.

COSTA, L.M. da; MATOS, A.T. de. Impactos da erosão do solo em recursos hídricos. In: SILVA, D. D.; PRUSKI, F.F. **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Brasília: UFV, 1997. p. 173-190.

DANIEL, L.A. (Coord.). **Água e doenças**. In: _____. Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável. PROSAB, 2001, cap 1, p. 1-23.

FAIR, G.M.; GEYER, J.C.; OKUN, D. A. **Water and Wastewater Engineering: Water Purification and Wastewater Treatment and Disposal**. 2nd ed. v. 2. John Wiley , 1968. 670p.

FERREIRA, M.U.; FORONDA, A.S.; SHUMAKER, T.T.S. **Fundamentos Biológicos da Parasitologia Humana**. 2003. Disponível em:
<<http://www.icb.usp.br/~livropar/img/capitulo9/2.html>> Acesso em: 08 ago 2014.

FOGOLARI, O. **Desinfecção de lodo de tanque séptico em reator com aquecimento solar**. 2011. 153p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

GARG, H.P.; PRAKASH, J. **Solar Energy: Fundamentals an Applications**. New Delhi: Tata McGraw-Hill, 2000.p. 46-111.

GUIMARÃES, J.R.; MANIERO, M.G.Tratamento de água e efluentes líquidos. In: ROSA, A. H.; FRACETO, L. F.; MOSCHINI-CARLOS, V. **Meio ambiente e sustentabilidade**. Porto Alegre: Bookman, 2012. cap. 14, p. 322-345.

HESPANHOL, I. **Esgotos como Recurso Hídrico** – pt.: Dimensões Políticas, Institucionais, Legais, Econômico-financeiras e Sócio-culturais. São Paulo: Instituto de Engenharia de São Paulo, nº. 523, 1997.

HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil: Agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Bento Gonçalves, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.

IDEXX Laboratories. **Insert and Most Probable Number (MPN) Table**. 2013. Disponível em: < <https://www.idexx.com/resource-library/water/quant-tray-2000-procedure-en.pdf> >

JAVARA, M.A.G. **Desinfecção da água utilizando aquecimento solar**. 2005. 68 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2005.

MARA, D.D. CAIRNCROSS, S. **Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture. Measures for public health protection**. United Nations Environment Programme. World Health Organization, Geneva, 1989.

McGUIGAN, K.G.; JOYCE, T.M.; CONROY, R.M.; GILLESPIE, J.B.; ELMORE-MEEGAN, M. Solar disinfection of drinking water contained in transparent plastic bottles: characterizing the bacterial inactivation process. **Journal of Applied Microbiology**, Chichester, v. 84, n. 6, p. 1138–1148, jun. 1998.

METCALF, G.; EDDY, H.; **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 4th. ed. New York: McGraw-Hill, 2003. 1878p.

MEYER, S.T. O Uso de Cloro na Desinfecção de Águas, a Formação de Trihalometanos e os Riscos Potenciais à Saúde Pública. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 10, p. 99-110, jan/mar, 1994.

MIERZWA, J.C. Uso de águas residuárias na agricultura – o caso do Brasil. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE O USO DA ÁGUA NA AGRICULTURA, 2004, Passo Fundo. **Anais...**Passo Fundo: UPF, 2004. 1 CD-ROM.

MONTEIRO, P.C.G.; BRANDÃO, C.C.S.; SOUZA, M.A.A. de. **Viabilidade do uso da radiação solar na desinfecção da água**. 2005. 20p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil. Brasília. Distrito Federal, 2005.

OLIVEIRA, R.A.; CAMPELO, P.L.G.; MATOS, A.T.; MARTINEZ, M.A.; CECON, P.R. Influência da aplicação de águas residuárias de suinocultura na capacidade de infiltração de um solo podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 263-267, 2002.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD-OMS. **Guías para la calidad del agua potable**. Ginebra: OMS, 1995. 195 p.

PASCHOALATO, C.F.P.R.; MELLIS, G.V.; CIRINO, T.M.A. O Enquadramento legal específico para o reuso de águas residuárias de ETE frente ao CONAMA 20. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 29., 2004, San Juan. **Anais...** San Juan: AIDIS, 2004. 1 CD-ROM.

PEREIRA, E.M.D.; DUARTE, L. O. M.; PEREIRA, L. T.; FARIA, C. F. da C. Energia Solar Térmica. In: TOLMASQUIM, M.T. (Org.). **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 516p.

RIBEIRO, J.C. **Reuso de efluentes na agricultura**. UNESP, 2013. Disponível em:
<<http://wwwp.feb.unesp.br/eduoliv/Seminarios2013/?pasta=L0phcXVlbGluZQ==>>
Acesso em 06 ago. 2014.

RODRIGUES, D. G. **Desinfecção da água por pasteurização solar (SOPAS) em comunidades rurais**. 2011. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

SANTOS, H.F. Critérios de qualidade da água para reuso. **Revista DAE**, São Paulo, n. 174, p. 10-18, dez. 1993.

SANTOS, J.G. dos; PIVELI, R.P.; CAMPOS, F.; SUNDEFELD, G.; SOUSA, T.S.; CUTOLO, S.A. Análise parasitológica em efluentes de estações de tratamento de águas residuárias. **Revista de Patologia Tropical**, Goiás, v. 41, n. 3, p. 319-336, jul./set. 2012.

SANTOS, M.M.C. dos. **Reutilização de águas residuais urbanas tratadas**. 2008. 100p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova Lisboa, Lisboa, 2008.

SANTOS, Y.; TORRES, D. Análise da viabilidade de ovos de helmintos em amostras do conteúdo de fossas e tanques sépticos. In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO

TECNOLÓGICO,5., 2010, Maceió. **Anais eletrônicos...** Maceió: CONNEPI, 2010. Disponível em: <
<http://connepi.ifal.edu.br/ocs/index.php/connepi/CONNEPI2010/paper/viewFile/1898/992>> Acesso em: 13 mar. 2013.

SENTELHAS, P.C. **Estimativa diária de evapotranspiração de referência com dados de estação meteorológica convencional e automática.** 1998. 97p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

SOBSEY, M.D.; BARTRAM, J. **Managing water in the home:** accelerated health gains from improved water supply. Geneva: WHO World Health Organisation, 2002. 83p.

TRENTIN, C.V. **Diagnóstico voltado ao planejamento do uso de águas residuárias para irrigação nos cinturões verdes da região metropolitana de Curitiba – PR.** 2005. 129p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Solos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

Vida solar. Coletores solares. 2012. Disponível em: <
<http://www.vidasolar.com.br/wp-content/uploads/2012/05/Coletor-Solar-em-Corte.jpg>>

Von SPERLING, E. Qualidade da água. In: SILVA, D.D. da; PRUSKI, F.F. **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura.** Brasília: UFV, 1997. p. 89 – 114.

WEBER, W.J. **Control de localidaddel agua procesos fisicoquímicos.** Spain: Reverté S.A., 1979. 654p.

ZERBINI, A.M. **Identificação e análise de viabilidade de ovos de helmintos em um sistema de tratamento de esgotos domésticos constituído de reatores anaeróbios e rampas de escoamento superficial.** 2000. 157p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.

ZERBINI, A.M.; CHERNICARO, C.A.L. Metodologias para quantificação, identificação e análise de viabilidade de ovos de helmintos em esgotos brutos e tratados. In: CHERNICARO, C.A.L. (Coord.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios.** Belo Horizonte- MG.:Projeto PROSAB. 2001. p. 71-107.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Quadro 1 – Características de um desinfetante ideal

Características	Propriedades
Disponibilidade	Deve estar disponível em grandes quantidades e a preços razoáveis
Capacidade de desodorização	Deve desodorizar enquanto desinfeta
Homogeneidade	A solução deve ter uma composição uniforme
Interação com materiais estranhos	Não deve ser absorvido por outra matéria orgânica que não células bacterianas
Não corrosivo e anti-manchas	Não deve corroer os metais ou manchar a roupa
Não tóxico para formas de vida superiores	Deve ser tóxico para microrganismos e não para os humanos e outros animais
Penetração	Deve ter capacidade de penetrar nas superfícies
Segurança	Deve ser seguro para transportar, armazenar, manusear e utilizar
Solubilidade	Deve ser solúvel em água ou tecidos celulares
Estabilidade	Deve ter baixa perda de ação germicida ao longo do tempo de contato
Toxicidade para microrganismos	Deve ser eficaz em grandes diluições
Toxicidade à temperatura ambiente	Deve ser eficaz à temperatura ambiente

Fonte: Santos (2008).

APÊNDICE B

Quadro 2. Principais microrganismos relacionados às doenças de veiculação hídrica.

Organismos	Principais doenças	Quantidade excretada por indivíduo infectado/g/fezes	Máxima sobrevivência na água (dias)	Dose infectante ^a
<i>Escherichia coli</i>	Gastroenterite	10^8	90	10^2 - 10^9
<i>Salmonella typhi</i>	Febre tifóide	10^6	—	—
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera	10^6	30	10^8
<i>Salmonella</i>	Salmonelose	10^6	60-90	10^6 - 10^7
<i>Cryptosporidium</i>	Criptosporidiose	10^2	—	1-30 ^c
<i>Entamoeba histolytica</i>	Disenteria amebiana	10^7	25	10-100
<i>Giardia lamblia</i>	Giardíase	10^5	25	1-10
Adenovírus (31 tipos)	Doenças respiratórias	10^6	—	—
Enterovírus (71 tipos) (polio, echo, coxsackie)	Gastroenterite, anomalias no coração, meningite etc.	10^7	90	1-72
Hepatite A	Hepatite infecciosa	10^6	5-27	1-10
Rotavírus	Gastroenterite	10^6	5-27	1-10
<i>Ascaris lumbricoides</i> ^b	Ascaridíase	10 - 10^4	365	2-5
<i>Taenia solium</i> (solitária)	Cisticercose	10^3	270	1
<i>Shistosoma mansoni</i>	Esquistossomose	—	—	—

^a Dose infectante que provoca sintomas clínicos em 50% dos indivíduos testados.

^b Modo de infecção: ingestão de ovos infectados, em água ou solo contaminado por fezes humanas ou ingestão de produtos crus contaminados.

^c Variável com o estado de saúde do indivíduo.

Fonte: Daniel (2001).

APÊNDICE C

Quadro 3 – Vantagens e desvantagens da desinfecção com radiações UV vs Cloragem.

Vantagens	Desvantagens
Não forma subprodutos; não é tóxico para a vida aquática; não altera as propriedades físico-químicas da água (não promove a diminuição do oxigênio nem aumenta a concentração de sólidos suspensos).	Grande investimento inicial.
Tempo de contato necessário muito curto; Periculosidade baixa e fácil manuseio (sem problemas de armazenamento; não corrosivo)	Pode ser necessário um programa de manutenção preventiva para controlar a sujeira no equipamento.
Boa ação bactericida. Desinfetante eficaz para Giardia e Cryptosporidium. Oxida eficazmente resíduos orgânicos quando combinado com um oxidante.	Fraca ação contra alguns tipos de vírus, sendo necessário outro desinfetante para a distribuição e armazenamento. A foto-reatividade poderá ser um problema ao serem usadas lâmpadas UV de baixa pressão se o sistema for dimensionado abaixo da dose mínima de UV necessária.
Desinfetante eficiente com efluente não nitrificado. Não confere odor nem sabor à água.	Eficácia dependente da qualidade da água. Não deixa residual de modo a monitorizar-se a sua eficiência.

Fonte: BIXIO & WINTGENS, (2006).

APÊNDICE D

Quadro 4 – Vantagens e desvantagens da desinfecção com radiações Ozônio.

Vantagens	Desvantagens
Desinfetante eficaz para bactérias vegetativas, vírus e Giardia.	Implica um investimento inicial elevado.
Remoção de sabores e odores desagradáveis, assim como a cor da água.	Envolve custos de operação e manutenção relativamente elevados.
Oxidante seletivo de substâncias persistentes (pesticidas, substâncias químicas industriais, etc.).	Produz carbono orgânico assimilável, o que faz com que haja risco de reaparecimento dos organismos.
Não requer armazenagem ou transporte de reagentes químicos tóxicos.	Tem que ser produzido localmente.
Dá origem apenas a pequenas quantidades de subprodutos da desinfecção.	Requer técnicos de manutenção especializados.
Estimula a coagulação.	É corrosivo e tóxico: é necessário material apropriado e fortes medidas de segurança.
Oxida o ferro, o manganês e os sulfitos.	
O tempo de contato necessário é curto.	

Fonte: BIXIO & WINTGENS, (2006).

Quadro 5 – Vantagens e desvantagens da tecnologia MBR.

Vantagens	Desvantagens
Sistema muito compacto.	A substituição das membranas é dispendiosa.
Produz um efluente de elevada qualidade.	Os custos de primeiro investimento apenas são competitivos para instalações de grande dimensão, pois os custos associados à construção civil dos MBR são muito inferiores aos custos de construção civil de um tratamento tradicional.
Redução da produção de lama (quando dimensionado para baixa carga).	
Grande flexibilidade para expansão do tratamento.	

Fonte: BIXIO & WINTGENS, (2006)

APÊNDICE E

Quadro 5 – Tabela Quanti-tray para determinação do número de coliformes totais e *Escherichia coli*.

# Large Wells Positive	IDEXX Quanti-Tray®/2000 MPN Table (per 100ml)																								
	# Small Wells Positive																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	<1	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.1	15.1	16.1	17.1	18.1	19.1	20.2	21.2	22.2	23.3	24.3
1	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.1	8.1	9.1	10.1	11.1	12.1	13.2	14.2	15.2	16.2	17.3	18.3	19.3	20.4	21.4	22.4	23.5	24.5	25.6
2	2.0	3.0	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1	9.2	10.2	11.2	12.2	13.3	14.3	15.4	16.4	17.4	18.5	19.5	20.6	21.6	22.7	23.7	24.8	25.8	26.9
3	3.1	4.1	5.1	6.1	7.2	8.2	9.2	10.3	11.3	12.4	13.4	14.5	15.5	16.5	17.6	18.6	19.7	20.8	21.8	22.9	23.9	25.0	26.1	27.1	28.2
4	4.1	5.2	6.2	7.2	8.3	9.3	10.4	11.4	12.5	13.5	14.5	15.6	16.7	17.8	18.8	19.9	21.0	22.0	23.1	24.2	25.3	26.3	27.4	28.5	29.6
5	5.2	6.3	7.3	8.4	9.4	10.5	11.5	12.6	13.7	14.7	15.8	16.9	17.9	19.0	20.1	21.2	22.2	23.3	24.4	25.5	26.6	27.7	28.8	29.9	31.0
6	6.3	7.4	8.4	9.5	10.6	11.6	12.7	13.8	14.9	16.0	17.0	18.1	19.2	20.3	21.4	22.5	23.6	24.7	25.8	26.9	28.0	29.1	30.2	31.3	32.4
7	7.5	8.6	9.6	10.7	11.8	12.8	13.9	15.0	16.1	17.2	18.3	19.4	20.5	21.6	22.7	23.8	24.9	26.0	27.1	28.2	29.3	30.4	31.5	32.6	33.7
8	8.6	9.7	10.8	11.9	13.0	14.1	15.2	16.3	17.4	18.5	19.6	20.7	21.8	22.9	24.1	25.2	26.3	27.4	28.6	29.7	30.8	32.0	33.1	34.3	35.4
9	9.8	10.9	12.0	13.1	14.2	15.3	16.4	17.6	18.7	19.8	20.9	22.0	23.2	24.3	25.4	26.6	27.7	28.9	30.0	31.2	32.3	33.5	34.6	35.8	37.0
10	11.0	12.1	13.2	14.4	15.5	16.6	17.7	18.9	20.0	21.1	22.3	23.4	24.6	25.7	26.9	28.0	29.2	30.3	31.5	32.7	33.8	35.0	36.2	37.4	38.6
11	12.2	13.4	14.5	15.6	16.8	17.9	19.1	20.2	21.4	22.5	23.7	24.8	26.0	27.2	28.3	29.5	30.7	31.9	33.0	34.2	35.4	36.6	37.8	39.0	40.2
12	13.5	14.6	15.8	16.9	18.1	19.3	20.4	21.6	22.8	23.9	25.1	26.3	27.5	28.6	29.8	31.0	32.2	33.4	34.6	35.8	37.0	38.2	39.5	40.7	41.9
13	14.8	16.0	17.1	18.3	19.5	20.6	21.8	23.0	24.2	25.4	26.6	27.8	29.0	30.2	31.4	32.6	33.8	35.0	36.2	37.5	38.7	39.9	41.2	42.4	43.6
14	16.1	17.3	18.5	19.7	20.9	22.1	23.3	24.5	25.7	26.9	28.1	29.3	30.5	31.7	33.0	34.2	35.4	36.7	37.9	39.1	40.4	41.6	42.9	44.2	45.4
15	17.5	18.7	19.9	21.1	22.3	23.5	24.7	25.9	27.2	28.4	29.6	30.9	32.1	33.3	34.6	35.8	37.1	38.4	39.6	40.9	42.2	43.4	44.7	46.0	47.3
16	18.9	20.1	21.3	22.6	23.8	25.0	26.2	27.5	28.7	30.0	31.2	32.5	33.7	35.0	36.3	37.5	38.8	40.1	41.4	42.7	44.0	45.3	46.6	47.9	49.2
17	20.3	21.6	22.8	24.1	25.3	26.6	27.8	29.1	30.3	31.6	32.9	34.1	35.4	36.7	38.0	39.3	40.6	41.9	43.2	44.5	45.9	47.2	48.5	49.8	51.2
18	21.8	23.1	24.3	25.6	26.9	28.1	29.4	30.7	32.0	33.3	34.6	35.9	37.2	38.5	39.8	41.1	42.4	43.8	45.1	46.5	47.8	49.2	50.5	51.9	53.2
19	23.3	24.6	25.9	27.2	28.5	29.8	31.1	32.4	33.7	35.0	36.3	37.6	39.0	40.3	41.6	43.0	44.3	45.7	47.1	48.4	49.8	51.2	52.6	54.0	55.4
20	24.9	26.2	27.5	28.8	30.1	31.5	32.8	34.1	35.4	36.8	38.1	39.5	40.8	42.2	43.6	44.9	46.3	47.7	49.1	50.5	51.9	53.3	54.7	56.1	57.6
21	26.5	27.9	29.2	30.5	31.8	33.2	34.5	35.9	37.3	38.6	40.0	41.4	42.8	44.1	45.5	46.9	48.4	49.8	51.2	52.6	54.1	55.5	56.9	58.4	59.9
22	28.2	29.5	30.9	32.3	33.6	35.0	36.4	37.7	39.1	40.5	41.9	43.3	44.8	46.2	47.6	49.0	50.5	51.9	53.4	54.8	56.3	57.8	59.3	60.8	62.3
23	29.9	31.3	32.7	34.1	35.5	36.8	38.3	39.7	41.1	42.5	43.9	45.4	46.8	48.3	49.7	51.2	52.7	54.2	55.6	57.1	58.6	60.2	61.7	63.2	64.7
24	31.7	33.1	34.5	35.9	37.3	38.8	40.2	41.7	43.1	44.6	46.0	47.5	49.0	50.5	52.0	53.5	55.0	56.5	58.0	59.5	61.1	62.6	64.2	65.8	67.3
25	33.6	35.0	36.4	37.9	39.3	40.8	42.2	43.7	45.2	46.7	48.2	49.7	51.2	52.7	54.3	55.8	57.3	58.9	60.5	62.0	63.6	65.2	66.8	68.4	70.0
26	35.5	36.9	38.4	39.9	41.4	42.8	44.3	45.9	47.4	48.9	50.4	52.0	53.5	55.1	56.7	58.2	59.8	61.4	63.0	64.7	66.3	67.9	69.6	71.2	72.9
27	37.4	38.9	40.4	42.0	43.5	45.0	46.5	48.1	49.6	51.2	52.8	54.4	56.0	57.6	59.2	60.8	62.4	64.1	65.7	67.4	69.1	70.8	72.5	74.2	75.9
28	39.5	41.0	42.6	44.1	45.7	47.3	48.8	50.4	52.0	53.6	55.2	56.9	58.5	60.2	61.8	63.5	65.2	66.9	68.6	70.3	72.0	73.7	75.5	77.3	79.0
29	41.7	43.2	44.8	46.4	48.0	49.6	51.2	52.8	54.5	56.1	57.8	59.5	61.2	62.9	64.6	66.3	68.0	69.8	71.5	73.3	75.1	76.9	78.7	80.5	82.4
30	43.9	45.5	47.1	48.7	50.4	52.0	53.7	55.4	57.1	58.8	60.5	62.2	64.0	65.7	67.5	69.3	71.0	72.9	74.7	76.5	78.3	80.2	82.1	84.0	85.9
31	46.2	47.9	49.5	51.2	52.9	54.6	56.3	58.1	59.8	61.6	63.3	65.1	66.9	68.7	70.5	72.4	74.2	76.1	78.0	79.9	81.8	83.7	85.7	87.6	89.6
32	48.7	50.4	52.1	53.8	55.6	57.3	59.1	60.9	62.7	64.5	66.3	68.2	70.0	71.9	73.8	75.7	77.6	79.5	81.5	83.5	85.4	87.5	89.5	91.5	93.6
33	51.2	53.0	54.8	56.5	58.3	60.2	62.0	63.8	65.7	67.6	69.5	71.4	73.3	75.2	77.2	79.2	81.2	83.2	85.2	87.3	89.3	91.4	93.6	95.7	97.8
34	53.9	55.7	57.6	59.4	61.3	63.1	65.0	67.0	68.9	70.8	72.8	74.8	76.8	78.8	80.8	82.9	85.0	87.1	89.2	91.4	93.5	95.7	97.9	100.2	102.4
35	56.8	58.6	60.5	62.4	64.4	66.3	68.3	70.3	72.3	74.3	76.3	78.4	80.5	82.6	84.7	86.9	89.1	91.3	93.5	95.7	98.0	100.3	102.6	105.0	107.3
36	59.8	61.7	63.7	65.7	67.7	69.7	71.7	73.8	75.9	78.0	80.1	82.3	84.5	86.7	88.9	91.2	93.5	95.8	98.1	100.5	102.9	105.3	107.7	110.2	112.7
37	62.9	65.0	67.0	69.1	71.2	73.3	75.4	77.6	79.8	82.0	84.2	86.5	88.8	91.1	93.4	95.8	98.2	100.6	103.1	105.6	108.1	110.7	113.3	115.9	118.6
38	66.3	68.4	70.6	72.7	74.9	77.1	79.4	81.6	83.9	86.2	88.6	91.0	93.4	95.8	98.3	100.8	103.4	105.9	108.6	111.2	113.9	116.6	119.4	122.2	125.0
39	70.0	72.2	74.4	76.7	78.9	81.3	83.6	86.0	88.4	90.9	93.4	95.9	98.4	101.0	103.6	106.3	109.0	111.8	114.6	117.4	120.3	123.2	126.1	129.2	132.2
40	73.8	76.2	78.5	80.9	83.3	85.7	88.2	90.6	93.3	95.9	98.5	101.2	103.9	106.7	109.5	112.4	115.3	118.2	121.2	124.3	127.4	130.5	133.7	137.0	140.3
41	78.0	80.5	83.0	85.5	88.0	90.6	93.3	95.9	98.7	101.4	104.3	107.1	110.0	113.0	116.0	119.1	122.2	125.4	128.7	132.0	135.4	138.8	142.3	145.9	149.5
42	82.6	85.2	87.8	90.5	93.2	96.0	98.8	101.7	104.6	107.6	110.6	113.7	116.9	120.1	123.4	126.7	130.1	133.6	137.2	140.8	144.5	148.3	152.2	156.1	160.2
43	87.6	90.4	93.2	96.0	99.0	101.9	105.0	108.1	111.2	114.5	117.8	121.1	124.6	128.1	131.7	135.4	139.1	143.0	147.0	151.0	155.2	159.4	163.8	168.2	172.8
44	93.1	96.1	99.1	102.2	105.4	108.6	111.9	115.3	118.7	122.3	125.9	129.6	133.4	137.4	141.4	145.5	149.7	154.1	158.5	163.1	167.9	172.7	177.7	182.9	188.2
45	99.3	102.5	105.8	109.2	112.6	116.2	119.8	123.6	127.4	131.4	135.4	139.6	143.9	148.3	152.9	157.6	162.4	167.4	172.6	178.0	183.5	189.2	195.1	201.2	207.5
46	106.3	109.8	113.4	117.2	121.0	125.0	129.1	133.3	137.6	142.1	146.7	151.5	156.5	161.6	167.0	172.5	178.2	184.2	190.4	196.8	203.5	210.5	217.8	225.4	233.3
47	114.3	118.3	122.4	126.6	130.9	135.4	140.1	145.0	150.0	155.3	160.7	166.4	172.3	178.5	185.0	191.8	198.9	206.4	214.2	222.4	231.0	240.0	249.5	259.5	270.0
48	123.9	128.																							

APÊNDICE F

Quadro 6 – Tabela Quanti-tray para determinação do número de coliformes totais e *Escherichia coli* (continuação).

# Large Wells Positive	IDEXX Quanti-Tray®/2000 MPN Table (per 100ml)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	# Small Wells Positive																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
0	25.3	26.4	27.4	28.4	29.5	30.5	31.5	32.6	33.6	34.7	35.7	36.8	37.8	38.9	40.0	41.0	42.1	43.1	44.2	45.3	46.3	47.4	48.5	49.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															

ANEXOS

ANEXO A

A.

B.

C.

Figura 2 - A. Esquema de aquecimento em laboratório. B. Cartelas com amostras brutas após 24h em estufa a 35°C. C. Cartelas com amostras que sofreram tratamento a 60°C, após 24h em estufa a 35°C

ANEXO B

A.

B.

Figura 3 - A.Ovo não larvado de *Ascaris lumbricóides* após incubação de 21 dias depois de submetido a tratamento de 60°C

B.Ovo fértil de *Ascaris lumbricóides* recém-eliminado. Fonte: FERREIRA (2003).

ANEXO C

A.

B.

C.

Figura 4 - A., B., C. Imagens de vários ângulos do experimento em campo