



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA  
MESTRADO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

MARIA ELIDAYANE DA CUNHA

**MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO SOCIOAMBIENTAL DE SISTEMA  
COMPACTO PARA TRATAMENTO E USO AGRÍCOLA DE ÁGUA CINZA**

MOSSORÓ

2018

MARIA ELIDAYANE DA CUNHA

**MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO SOCIOAMBIENTAL DE SISTEMA  
COMPACTO PARA TRATAMENTO E USO AGRÍCOLA DE ÁGUA CINZA**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Manejo de Solo e Água do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Impactos Ambientais pelo Uso do Solo e da Água

Orientador: Prof. Dr. Rafael Oliveira Batista.

MOSSORÓ  
Janeiro de 2018

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Catalogação de Publicação na Fonte. UFERSA - BIBLIOTECA CENTRAL ORLANDO

TEIXEIRA - CAMPUS MOSSORÓ

Setor de Informação e Referência

C972m Cunha, Maria Elidayane da.  
MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO SOCIOAMBIENTAL DE  
SISTEMA COMPACTO PARA TRATAMENTO E USO AGRÍCOLA  
DE ÁGUA CINZA / Maria Elidayane da Cunha. - 2018.  
88 f. : il.

Orientador: Rafael Oliveira Batista.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal  
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em  
Manejo de Solo e Água, 2018.

1. Escassez hídrica. 2. Reúso da água. 3.  
Legislação ambiental. 4. Aceitação do reúso. I.  
Batista, Rafael Oliveira, orient. II. Título.

MARIA ELIDAYANE DA CUNHA

**MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO SOCIOAMBIENTAL DE SISTEMA  
COMPACTO PARA TRATAMENTO E USO AGRÍCOLA DE ÁGUA CINZA**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Manejo de Solo e Água do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

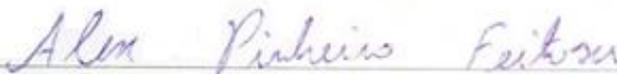
Linha de Pesquisa: Impactos Ambientais pelo Uso do Solo e da Água

Defendida em: 19 / 01 / 2018.

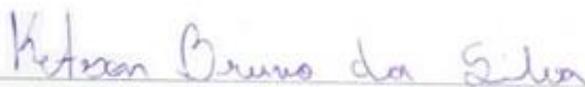
**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Dr. Rafael Oliveira Batista (UFERSA)  
Presidente



Prof. Dr. Alex Pinheiro Feitosa (UFERSA)  
Membro Examinador



Dr. Ketson Bruno da Silva (PREFEITURA MUNICIPAL DO ASSÚ)  
Membro Examinador

*In memoriam* a meus amados familiares que, mesmo tendo partido, sempre estiveram presentes nesta longa jornada. A meu avô **Francisco Rodrigues da Cunha**, a minhas tias **Maria Lucia da Cunha** e **Maria Aparecida da Cunha** e, a meus tios **José Lázaro da Cunha**, **João Maria da Cunha** e **Marcos Antônio da Cunha** que sempre torceram, aconselharam e encorajaram a seguir por este caminho.

A **Deus**, que é merecedor e principal responsável por esta vitória, a quem devo todas as palavras de graça e louvor, o dom da vida, a força nos momentos de dificuldade, a sabedoria e, as muitas vezes que me reergueu durante esta longa trajetória.

A meus pais, **Elias Cândido da Cunha** e **Maria da Paz da Cunha**, que com simplicidade, souberam me educar, ensinar a lutar pela vida e a buscar meus interesses, mesmo quando esses pareciam ser “inalcançáveis”.

A minha irmã, **Ana Elidarly da Cunha**, pela companhia e, principalmente, pelas descontrações nos momentos de estresse, superados, na maioria das vezes, vendo séries e animes e, jogando um bom game.

A meu noivo, **Francisco Canindé da Cunha e Silva**, pela paciência, apoio, companheirismo, amor e carinho durante todos esses anos.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que com toda a sua glória e misericórdia me manteve viva e em condições de ter chegado tão longe para poder desfrutar de mais esta conquista, alcançada com muito esforço e dedicação, celebrada com enorme alegria que se faz presente não só em mim, mas em toda a minha família e, também, pela oportunidade de ter conhecido e convivido com pessoas maravilhosas ao longo destes anos de curso.

Aos meus pais, Elias Candido da Cunha e Maria da Paz da Cunha, principais responsáveis pela conclusão de mais esta etapa alcançada em minha vida, conquistada através de muito choro, estresse, conselhos, incentivo, amor e esforço, destes que sempre deram tudo de si para que eu e minha irmã tivéssemos a oportunidade de estudar e crescer na vida.

A minha irmã, Ana Elidarly da Cunha, pela paciência, doação e companhia nos primeiros anos de estadia em Mossoró/RN, estes que, se não fossem pelo seu apoio e presença, teriam se tornado bem mais difíceis e, principalmente, pelas descontrações nos momentos de estresse, superados, na maioria das vezes, virando madrugadas vendo séries e animes e, jogando um bom game, momentos que, felizmente, se tornarão mais constantes com a sua volta à casa. “*Yōkoso, watashi no ai*”!

Ao meu noivo, Francisco Canindé da Cunha e Silva pelo seu amor, paciência, dedicação, atenção e companheirismo durante todos estes anos, pelas idas ao cinema, cruciais para desopilar da rotina, às vezes, estressante de estudo, pelas palavras de incentivo e por nunca desistir de mim, levantando, muitas vezes, minha autoestima e me fazendo acreditar que era capaz.

A meus familiares, em geral, que contribuíram positivamente ao longo desta caminhada, sempre acreditando na minha capacidade. Em especial, a minha tia Maria Selma da Cunha que, mesmo distante, me motivava dizendo “tudo vai dar certo”; a meu avô José Candido da Cunha e minhas avós Tereza Maria de Jesus Cunha e Maria Solidade da Cunha pela preocupação e afago nas minhas voltas para casa; ao meu tio Francisco Arimatéias da Cunha e, tia Maria Rivaneide de Souza Cunha pela preocupação e descontrações; a minhas primas Ana Karolaynn, Ana Karolynne, Rocheli Laysa, Ariene e Rebeca pelo carinho e momentos de bagunça, cruciais nos períodos de estresse e; a meu sogro Damião Morais e, sogra Maria de Fátima pelo carinho, confiança, conversas e por acreditarem na minha capacidade.

Aos amigos conquistados pelo amor aos animes como Robert Patrick, a quem afetuosamente chamo de taichou, pelas conversas e spoilers dos episódios e, também, aqueles conquistados pela internet e que, conseqüentemente, estão mais distantes, mas que compõem a amada família TGS como, Marcos Antônio, a quem chamo carinhosamente de doidão, pelas conversas, carinho, brincadeiras e companhia nos games, Leandro Vaneti – a quem carinhosamente chamo de nego, pela parceria, brincadeiras e horas de turnos e missões suicidas no nosso bom e velho RPG.

Aos amigos conquistados dentro da Universidade como Ayslann Todayochy que, em meu último período de disciplinas, trilhou comigo essa jornada, retomando nossa parceria de graduação; Jacques Filho e Álisson Gomes, grandes amigos que contribuíram significativamente nessa jornada, seja nos momentos de estudo ou de descontrações, vividos dentro e fora da Universidade; Everaldo Guimarães, Ricardo Rebolças, Antônio Carlos e Valdívia, amigos preciosos que tive o prazer de conhecer e conviver.

As minhas mais novas irmãs Rutilene Rodrigues da Cunha, com quem venho convivendo e trilhando esta trajetória a anos, e Lunara Gleika da Silva Rêgo, a mais nova integrante da família, grandes amigas (*Bigas Pepa Pig*), cúmplices e companheiras de estudo e incessantes dias nos laboratórios. Estas por quem, apesar das “brigas”, adquiri grande apreço e carinho. “*Watashi wa anata o aishiteimasu, shimai!*”!

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido e ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água (PPGMSA) pela oportunidade de realizar este curso de mestrado, bem como a todo o corpo docente da UFERSA com quem tive o prazer de conviver e que me acompanharam e repassaram seus conhecimentos ao longo do curso, Francismar de Medeiros, Neyton Miranda, Luís César de Aquino Lemos Filho e Carolina Malala, pelo profissionalismo e humildade, ensinamentos, viagens, presteza e incentivo ao longo do curso e, em especial, a José Espínola Sobrinho, pessoa maravilhosa, carismática, humilde e um profissional exemplar, com quem não tive o prazer de estudar, mas que acabou virando um grande e querido amigo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) pelo apoio financeiro ao longo da trajetória de curso.

A meu orientador Rafael Oliveira Batista, exemplo de humildade e profissionalismo, a quem, desde a graduação, durante a disciplina de Poluição e Impacto Ambiental, visionei como meu orientador e com quem, novamente, tive o enorme prazer de conviver e trabalhar durante o mestrado. Este com quem tanto me identifiquei e que me fez amar e admirar, ainda mais, a área ambiental e a consolidar a ideia de que suas riquezas carecem e podem ser preservadas. Pela disponibilidade, preocupação e auxílio realizado sempre com simpatia, paciência, competência e presteza na execução das atividades necessárias para o andamento e normatização deste trabalho.

À banca examinadora, composta por Alex Pinheiro Feitosa e Ketson Bruno da Silva, por aceitar o convite como membros da banca examinadora desta defesa, disponibilizando um pouco do seu tempo, tão corrido, para oferecer suas valiosas contribuições para com este trabalho.

*Arigatou gozaimasu mina!!*

*“Na vida, não vale tanto o que temos, nem tanto importa o que somos. Vale o que realizamos com aquilo que possuímos e, acima de tudo, importa o que fazemos de nós”, pois “a explicação que procuramos, as perguntas que fazemos, são fortemente influenciadas pelo conhecimento teórico existente, o qual condiciona nosso aprendizado.”*

Chico Xavier e Dijkerman (1974)

## RESUMO

O reúso da água é necessário às atividades industriais, comerciais e domésticas, sendo uma realidade em diversos países, mas ainda não difundida no Brasil. A implantação desta prática para fins agrícolas, tem sido vista como um eficiente instrumento para a gestão dos recursos hídricos e minimização da escassez hídrica no semiárido brasileiro. Este trabalho objetiva monitorar e realizar uma análise socioambiental de uma estação compacta de tratamento e uso agrícola de água cinza, instalada em assentamento rural do semiárido potiguar, composta por tanque séptico, filtro anaeróbio e reator ultravioleta artificial, cuja instalação deu-se em área experimental da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró/RN. No período de outubro a dezembro de 2017, avaliou-se o desempenho do tratamento do sistema por meio de análises físico-químicas (Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, pH, condutividade elétrica, turbidez, N, P, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, Ni, Pb, Al, As, Ba e Cr) e microbiológicas (Coliformes totais e *Escherichia coli*) da água cinza com e sem tratamento, de forma a atender aos padrões estabelecidos para reúso da água para fins agrícola e florestais. A avaliação socioambiental desta tecnologia consistiu na aplicação de 20 questionários, com questões relacionadas ao reúso da água na agricultura, com os moradores do Projeto de Assentamento Monte Alegre I, Upanema/RN, onde estão instalados três sistemas de tratamento e uso agrícola de água cinza, com características semelhantes aos do presente estudo. Os resultados indicaram que o sistema mostrou eficiência na remoção das variáveis estudadas e consequente enquadramento nos padrões máximos permissíveis, com exceção para a turbidez, potássio, carbonato e *Escherichia coli*. A percepção socioambiental acerca das formas e finalidades do reúso da água, bem como do consumo de alimentos a partir dele irrigados, deu-se de forma positiva, denotando aspectos econômicos e de sustentabilidade, como vantagens e, em poucos casos, divergência para consumo atrelada aos riscos de contaminação e características do efluente.

**Palavras-chave:** Escassez hídrica. Reúso da água. Legislação ambiental. Aceitação do reúso.

## ABSTRACT

The water reuse has been shown necessary for industrial, commercial and domestic activities, it has being reality in many countries, but not very widespread in Brazil. The implementation of this practice for agricultural purposes has been seen as an efficient instrument for the management of water resources and the minimization of water scarcity in the Brazilian semi-arid region. This study aims to monitor and perform a socioenvironmental analysis of a compact treatment station and agricultural use of gray water, installed in rural settlement of the semi-arid region, composed of septic tank, anaerobic filter and artificial ultraviolet reactor, whose installation took place in experimental area of the Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró/RN. In the period from October to December 2017, the performance of the system treatment was evaluated by physicochemical analysis (Biochemical Oxygen Demand, Chemical Oxygen Demand, pH, electrical conductivity, turbidity, N, P, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Al, As, Ba e Cr) and microbiological (Total Coliforms and *Escherichia coli*) of gray water with and without treatment, in order to meet the established standards for reuse of water for agricultural and forestry purposes. The socioenvironmental evaluation of this technology consisted of the application of 20 questionnaires, with questions related to the of water reuse in agriculture, to the residents of the Projeto de Assentamento Monte Alegre I, located at Upanema/RN, where three systems of treatment and agricultural use of gray water, with characteristics similar to those of the present study are running. The results indicated that the system showed efficiency in the removal of the studied variables, consequently attending in the maximum permissible standards in the legislation, except for turbidity, potassium, carbonate and *Escherichia coli*. The socioenvironmental perception about the forms and purposes of water reuse, as well as the consumption of food irrigated with this kind of water, occurred in a positive way, denoting economic and sustainability aspects, as advantages. Although, in a few cases, it had been shown divergence for consumption of this kind of food because of contamination risks as well as the effluent characteristics.

**Keywords:** Water shortage. Reuse of water. Environmental legislation. Acceptance of reuse.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Mapas do Brasil e do Rio Grande do Norte, com enfoque no Município de Mossoró/RN (A) e imagem de satélite da UFERSA campus Mossoró (B)....	41
Figura 2	– Imagens da área experimental (A) e da residência (B) que recebeu o sistema de tratamento e uso agrícola de água cinza, no CEMAS da UFERSA, Mossoró/RN .....	42
Figura 3	– Esquema do sistema de tratamento e reúso agrícola da água cinza, implantado no CEMAS, destacando o tanque de equalização (1), o tanque séptico com duas câmaras (2), o filtro anaeróbio de fluxo ascendente (3), o reator ultravioleta artificial (4), a vala de infiltração (5) e, a área destinada à atividade da irrigação (6).....	46
Figura 4	– Mapa do Estado do Rio Grande do Norte, destacando o município de Upanema e uma das residências do assentamento Monte Alegre I, onde foi instalado um sistema de tratamento e uso agrícola de água cinza.....	54
Figura 5	– Esquema da estrutura básica do questionário socioambiental e forma de aplicação.....	55
Figura 6	– Formas de reúso citadas pelos entrevistados .....	64
Figura 7	– Finalidades dadas ao reúso da água cinza gerada .....	65
Figura 8	– Motivos pelos quais não se é efetivado o tratamento da água cinza gerada ..	67
Figura 9	– Consumo de alimentos irrigados com a água cinza gerada .....	68
Figura 10	– Motivos apresentados para o não consumo de alimentos irrigados com água cinza .....	69
Figura 11	– Vantagens de se irrigar com água cinza.....	70
Figura 12	– Opiniões sobre a importância de se reaproveitar a água cinza.....	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Características físico-químicas da água cinza produzida em Mossoró, Israel, Jordânia e Inglaterra-Bedfordshire .....	24
Tabela 2	– Características microbiológicas da água cinza produzida em Mossoró, Israel, Jordânia e Inglaterra-Bedfordshire.....	25
Tabela 3	– Parâmetros e respectivos valores para reúso da água em atividades urbanas, irrigação paisagística, agrícola e florestal.....	31
Tabela 4	– Concentração de alguns elementos traços contidos nos esgotos sanitários sem tratamento, após tratamento primário, secundário, níveis permissíveis para uso na irrigação e consumo humano.....	32
Tabela 5	– Classificações, atividades e seus respectivos padrões para reúso, bem como recomendações para tratamentos.....	33
Tabela 6	– Padrões microbiológicos de monitoramento de águas residuárias domésticas e dejetos humanos para uso agrícola.....	34
Tabela 7	– Parâmetros microbiológicos de água residuária tratada para fins de irrigação, mediante categorias de reúso.....	35
Tabela 8	– Atributos físico-químicos da água de abastecimento que deu origem à cinza, utilizada nos ensaios experimentais.....	52
Tabela 9	– Datas e horários das avaliações e valores das lâminas e da vazão de água cinza no sistema compacto.....	56
Tabela 10	– Atributos físico-químicos e microbiológicos da água cinza, em suas respectivas datas de coleta, antes e após o tratamento com radiação ultravioleta artificial.....	57
Tabela 11	– Valor médio e desvio padrão dos atributos físico-químicos e microbiológicos da água cinza coletada no tanque de equalização (ETE) e no reator ultravioleta (ERU), comparação com a legislação ambiental e percentuais de remoção alcançados como o tratamento.....	58

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Al	Alumínio
ANA	Agência Nacional de Águas
As	Arsênio
Ba	Bário
Ca <sup>2+</sup>	Cálcio
CAERN	Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte
Cd	Cádmio
CEMAS	Centro de Multiplicação de Animais Silvestres
Cl <sup>-</sup>	Cloreto
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Carbonato
COEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Cr	Cromo
CT	Coliformes Totais
Cu	Cobre
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
ERU	Efluente do Reator Ultravioleta
ETE	Efluente do Tanque de Equalização
Fe	Ferro
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Bicarbonato
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
K <sup>+</sup>	Potássio
Mg <sup>2+</sup>	Magnésio
Mn	Manganês
Na <sup>+</sup>	Sódio
NBR	Norma Brasileira
Ni	Níquel
NMP	Número Mais Provável

OMS	Organização Mundial de Saúde
P	Fósforo
Pb	Chumbo
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNAMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PPGMSA	Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água
PVC	Policloreto de vinil
RAS	Razão de Adsorção de Sódio
SCTAC	Sistema Compacto de Tratamento de Água Cinza
SST	Sólidos Suspensos Totais
ST	Sólidos Totais
TB	Turbidez
TEMP	Temperatura
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido
UFV	Universidade Federal de Viçosa
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura
NTU	Unidade Nefelométrica de Turbidez
UV	Radiação Ultravioleta
Zn	Zinco

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1</b>	<b>Escassez hídrica .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2</b>	<b>Esgotamento sanitário .....</b>	<b>21</b>
2.2.1	No Brasil .....	21
2.2.2	No semiárido brasileiro .....	22
2.2.3	No semiárido Potiguar .....	23
<b>2.3</b>	<b>Conceito e caracterização da água cinza .....</b>	<b>23</b>
<b>2.4</b>	<b>Origem dos atributos físico-químicos e microbiológicos.....</b>	<b>25</b>
<b>2.5</b>	<b>Impactos causados pela falta de tratamento e disposição inadequada de fluente .....</b>	<b>28</b>
<b>2.6</b>	<b>Legislação voltada ao reúso da água .....</b>	<b>29</b>
<b>2.7</b>	<b>Tratamento de águas residuárias .....</b>	<b>35</b>
<b>2.8</b>	<b>Eficiência dos sistemas de tratamento .....</b>	<b>37</b>
<b>2.9</b>	<b>Água residuária e seus benefícios como fonte hídrica e de nutrientes ...</b>	<b>38</b>
<b>2.10</b>	<b>Avaliação da percepção socioambiental quanto a importância do reúso da água .....</b>	<b>39</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>41</b>
<b>3.1</b>	<b>Caracterização da área onde foi instalada a estação compacta de tratamento e uso agrícola de água cinza .....</b>	<b>41</b>
<b>3.2</b>	<b>Descrição da estação compacta de tratamento e reúso agrícola de água cinza .....</b>	<b>42</b>
<b>3.3</b>	<b>Monitoramento do sistema de tratamento e aproveitamento de água cinza .....</b>	<b>46</b>
3.3.1	Descrição das análises físico-químicas e microbiológicas da água cinza .....	47
3.3.2	Medição da vazão da estação de tratamento e reúso.....	53
<b>3.4</b>	<b>Aplicação do questionário socioambiental para avaliar a percepção da população rural quanto ao reúso da água cinza .....</b>	<b>53</b>
<b>3.5</b>	<b>Delineamento experimental e análise estatística .....</b>	<b>55</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>56</b>
<b>4.1</b>	<b>Vazão do sistema de tratamento e uso agrícola de água cinza .....</b>	<b>56</b>

<b>4.2</b>	<b>Análise da qualidade da água cinza .....</b>	<b>56</b>
<b>4.3</b>	<b>Percepção socioambiental quanto a importância do reúso da água .....</b>	<b>64</b>
4.3.1	Conhecimento prático dos entrevistados.....	64
4.3.2	Consumo dos alimentos irrigados com a água cinza produzida .....	68
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>74</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>75</b>
	<b>ANEXO A – QUADROS PARA DIMENSIONAMENTO .....</b>	<b>83</b>
	<b>APÊNDICE A – ROTEIRO DE ENTREVISTA .....</b>	<b>85</b>
	<b>APÊNDICE B – FOTOS DO EXPERIMENTO .....</b>	<b>87</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, fatores como o crescimento populacional e industrial desordenado e, o aumento na produção e consumo de produtos, cujo descarte é realizado de forma inadequada no ambiente, tem inviabilizado muitos mananciais no referente ao consumo e impactado várias regiões, devido à falta de conscientização e combate ao desperdício. No Brasil, a carência por maiores investimentos na área de saneamento básico, bem como uma gestão integrada dos recursos hídricos e, mais compromisso por parte da população e das empresas, públicas e privadas, tem distanciado a efetivação de medidas conservadoras da qualidade ambiental.

Dados da UNESCO (2012), revelam que cerca de 86% da água existente é consumida por pouco menos de um bilhão de pessoas, tornando-a, assim, insuficiente para outros 1,4 bilhões, seguido de mais dois bilhões que não dispõem de água tratada, contribuindo para o surgimento de 85% das doenças ocasionadas por águas residuárias domésticas. Jacobi e Grandisoli (2017), mencionam, também, que apenas um litro de água contaminada é suficiente para poluir oito litros de água pura, ato que contribui para a inviabilidade e consequente escassez qualitativa dos recursos hídricos que, de acordo com estimativas, chegue a afetar, mundialmente, cerca de cinco bilhões de pessoas em 2032.

Problemas de escassez hídrica, juntamente com a ineficiência do esgotamento sanitário, evidente em várias regiões do Brasil, tem despertado o interesse para o desenvolvimento de diversas tecnologias para tratamento de efluentes, visando sua adequação na legislação vigente. Na região semiárida, estudos vêm sendo desenvolvidos envolvendo o monitoramento de sistemas para tratamento de águas residuárias domésticas para posterior reúso em fins agrícolas e florestais, a partir de tecnologias simples e de baixo custo relativo, tais como tanque séptico, filtro anaeróbio de fluxo ascendente e reator ultravioleta artificial.

O uso agrícola ou florestal das águas residuárias possibilita vantagens como o reúso da água e redução do uso de fertilizantes minerais, a partir da aplicação de matéria orgânica e nutrientes, via sistemas de irrigação e, a diminuição na utilização de águas de boa qualidade, minimizando o seu potencial poluidor ao ambiente. Todavia, quando mau manejadas, acarreta impactos ambientais negativos ao sistema solo-planta (Erthal et al., 2010; Rodrigues et al., 2011).

Embora o reúso se apresente como uma boa estratégia econômica e ambiental, para que a agricultura irrigada com águas residuárias proporcione resultados positivos, a aceitação

por parte do consumidor, para com os produtos assim cultivados, se torna estritamente necessária. A rejeição dessa prática pode estar associada a fatores como a falta de informação, dificuldades de implantação e inexistência de projetos implantados na área, bem como, também, a de maiores percepções acerca da qualidade dos serviços e produtos oferecidos (Salgot, 2008), sendo, por isso, importante que as pesquisas nessa área, se tornem mais frequentes, a fim de se obter uma maior credibilidade nos resultados, passando, em consequência, mais confiança a sociedade no referente ao consumo destes produtos, sendo preciso, para isto, contar com processos educativos e de mobilização social pautados na educação ambiental, em prol da formação de uma sociedade consciente das questões ambientais, com perspectivas desencadeadas em um amadurecimento de ideias e despertar de novos valores, sociais e culturais, para com a preservação do meio.

Para isto, a ação conjunta entre escolas, poder público e sociedade, desempenha papel fundamental na construção de maior compromisso e comportamento ético, incitando práticas cotidianas pautadas na educação ambiental que, por consequência, transmitam, futuramente, retornos positivos, principalmente em locais onde a escassez é mais incidente.

Neste sentido, é preciso tornar as pesquisas envolvendo o reúso da água ainda mais constantes, a fim de que se possam aperfeiçoar as técnicas de tratamento, aplicação e manejo de águas residuárias. Diante disto, este trabalho teve como objetivo geral analisar o desempenho de uma estação de tratamento e uso agrícola de água cinza e realizar uma análise socioambiental deste tipo de tecnologia em assentamento rural do semiárido. Como objetivos específicos, apresentam-se: a) verificar se a água cinza tratada atende aos padrões de reúso para fins agrícolas e florestais; b) avaliar se o tempo de exposição à radiação ultravioleta foi eficaz na desinfecção da água cinza; e c) averiguar a percepção de assentados do semiárido, quanto à tecnologia de tratamento da água cinza e ao reúso da água para fins agrícolas e florestais.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Escassez hídrica

A água, recurso natural renovável e essencial à sobrevivência dos seres vivos, é um bem finito e de uso comum, tido como um dos mais importantes recursos ambientais que compõe 70% do planeta. Porém, mesmo se tratando de um recurso tão abundante, o percentual disponível para o consumo é inferior à 3%, cuja distribuição é realizada desigualmente entre os 193 países existentes (ANA, 2015).

A falta de responsabilidade e consciência ambiental continuam sendo fortes empecilhos para o desenvolvimento sustentável e, conseqüentemente, para o alastre de problemas tangentes a inadequação qualitativa dos recursos. Em pouco tempo, a escassez hídrica tornar-se-á uma problemática determinante para o desenvolvimento de países que insistam em modelos tecnológicos fundamentados na exploração dos recursos naturais, sujeitando-os, neste caso, a posteriores dificuldades de cunho econômico, político e social (Olive & Ishiki, 2014).

O Brasil, possuidor de uma área de 8.574.761 km<sup>2</sup>, é reconhecido como o país detentor da maior disponibilidade hídrica (com cerca de 13% da água doce disponível) e recursos naturais do mundo, possuindo uma vazão média de 182.633 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, demandada para a efetivação de atividades humana, animal, de irrigação e industrial (com 384, 115, 1.344 e 299 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, respectivamente). Todavia, apesar da grande responsabilidade em conferir medidas conservadoras, o país é o que menos investe no tratamento e disposição adequada de seus resíduos que, na maioria dos casos, são lançados de forma inadequada no ambiente, comprometendo, assim, os ecossistemas e toda sua biota, bem como, também, a população que dele faz uso (ANA, 2002; ANA, 2015; Jacobi & Grandisoli, 2017).

Entre as regiões do país, o Norte, dotado de 45,3% do território nacional e 7,6% da população, é a mais rica em água, porém a menos ocupada e desenvolvida industrialmente, enquanto o Nordeste, com 18,2% do território e 28,1% da população, detém a maior parte da zona semiárida do Brasil, com 685.303 km<sup>2</sup> de região hidrográfica costeira do Nordeste Oriental, onde a vazão média chega de 2.937 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, demandando, para as atividades humana, animal, de irrigação e industrial, 78, 14, 118 e 53 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, respectivamente (ANA, 2002).

O semiárido brasileiro, composto por uma área de 982.563,3 km<sup>2</sup> subdividida entre os Estados da Bahia (BA), Pernambuco (PE), Minas Gerais (MG), Piauí (PI), Sergipe (SE),

Alagoas (AL), Paraíba (PB), Ceará (CE) e Rio Grande do Norte (RN), é a região que mais sofre com a escassez hídrica. Caracterizada por longos períodos de estiagem, altas temperaturas e baixos índices pluviométricos, com precipitações inferiores a 1.000 mm por ano e evapotranspirações médias de 2.500 mm anuais (IBGE, 2010; UNESCO, 2012; Jacobi & Grandisoli, 2017).

## **2.2 Esgotamento sanitário**

De acordo com o Artigo 3º da Política de Saneamento Básico, Lei 11.445 de 2007, o esgotamento sanitário é uma das ações do saneamento básico, constituído pelas atividades infraestruturas e de instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequada dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente (Brasil, 2007).

No Artigo 4º, incisos VII e XIV, das Resoluções do CONAMA Nº 430/2011 e COEMA Nº 02/2017, respectivamente, esgotos e efluentes sanitários estão definidos como “despejos líquidos residenciais, comerciais, águas de infiltração na rede coletora, os quais podem conter parcela de efluentes industriais e efluentes não domésticos” (Brasil, 2011; Ceará, 2017).

De acordo com o United Nations World Water Assessment Programme, mais de 80% das águas residuárias em todo o mundo, ainda não passam pelo sistema de coleta ou tratamento, antes de serem lançadas no ambiente (WWAP, 2015).

### **2.2.1 No Brasil**

A distribuição qualitativa de água no país ainda é feita de forma desigualitária, denotando a precariedade dos sistemas. Dentre as causas da má qualidade dos corpos d'água nos centros urbanos, está a falta e o ineficaz atendimento das redes coletoras de esgoto, normalmente limitadas a cerca de 54% da população brasileira, estando os outros 46% desta, desprovidos deste benefício (redes de coleta e tratamento de esgoto) e sujeitos ao lançamento direto em corpos d'água sem prévio tratamento. No país, o percentual de esgoto tratado em relação ao coletado é de cerca de 70%. No entanto, quando levado em conta o tratamento deste em referência à água consumida, tal porcentagem equivale a 39%, denotando em um déficit de tratamento de 61% (Jordão, 2015).

Em 2014, o Brasil obteve uma média, para os índices de atendimento total e urbano com rede de abastecimento de água, de 83 e 93,2%, respectivamente, enquanto que para a coleta de esgotos, estes valores representaram 49,8 e 57,6%, concomitantemente. Já no referente ao índice de tratamento de esgotos, o país aparece com médias de 40,8% dos esgotos gerados e 70,9% dos coletados (Brasil, 2016).

### 2.2.2 No semiárido brasileiro

No semiárido brasileiro, a produção estimada de esgoto bruto alcançou 423,3 milhões de  $m^3$  ano<sup>-1</sup>, contabilizando, desse total, um volume coletado de apenas 116,9 milhões de  $m^3$  ano<sup>-1</sup>, cujo tratamento limitou-se a 89,1 milhões de  $m^3$  ano<sup>-1</sup>. Nesta região, existem cerca de 1.135 sedes municipais, todavia, deste valor apenas 243 delas possuem sistema de coleta de esgoto (sendo que 82 destas não tinham informações sobre o fato de atenderem ou não ao sistema de esgotamento sanitário) atendendo a uma população de 3.221.845 habitantes, enquanto que o sistema de coleta e tratamento de esgoto, voltado a 2.771.941 habitantes, é realizado por 192 delas. Considerando a efetivação das duas atividades, tem-se que o melhor grau de cobertura dos serviços ocorreu nos Estados do Ceará (42,7%), Minas Gerais (34,1%) e Rio Grande do Norte (25,2%), enquanto que os piores percentuais deram-se na Bahia (12,4%) e Piauí (1,6%) (Medeiros et al., 2014).

Medeiros et al. (2014), avaliaram o índice de tratamento de esgoto obtido entre o volume tratado e coletado, constatando percentual de 76,3%. Todavia, considerando o volume total produzido (423,3 milhões de  $m^3$  ano<sup>-1</sup>), diagnosticaram que este percentual de tratamento não supera os 21,1%, ato que denota a precariedade do sistema de esgotamento sanitário. No que condiz a cada um dos estados semiáridos, notaram que Alagoas, Rio Grande do Norte, Bahia, Ceará e Paraíba apresentaram percentuais de tratamento de esgoto acima da média registrada para a região, com valores correspondentes a 94,4, 89, 82,3, 78,5 e 77%, respectivamente, enquanto que para os demais (Pernambuco, Minas Gerais, Piauí e Sergipe), estes valores foram inferiores a 69%.

Os referidos autores mencionam, ainda, que das 243 sedes municipais atendidas, 68,7% dos serviços são prestados pelas Companhias Estaduais de Saneamento com atuação regional, atendendo a uma população de 2,2 milhões de habitantes e, 31,3% possuem abrangência local (Prefeituras Municipais e Serviços Autônomos), beneficiando 947.823 habitantes. Dentre as 192 sedes que desempenhavam serviços de coleta e tratamento de esgoto

na região, 21,9% destas contavam com um único tipo de sistema de tratamento, enquanto que 25,5% e 12,0% utilizavam, pelo menos, dois e três tipos diferentes, respectivamente e, 5,7% empregam mais de três tipos de sistema de tratamento, envolvendo o uso de lagoas (facultativa, maturação, anaeróbia, aeróbia, mista e aerada), filtro biológico, fossa séptica, entre outros.

Do volume total de esgoto produzido (423,3 milhões de  $\text{m}^3 \text{ano}^{-1}$ ) nas áreas urbanas da região semiárida, somente 27,1% são coletados pelas redes separadoras convencionais, sendo a maior parte (72,9%) destinada às fossas, sumidouros, valas a céu aberto e/ou lançada, diretamente, nos corpos hídricos. Menos de 80% dos 116,9 milhões de  $\text{m}^3$  de esgoto coletado anualmente, passam por algum tipo de tratamento antes de ser lançado a céu aberto e/ou nos corpos hídricos. Todavia, vale ressaltar que, na maioria dos casos, a qualidade do efluente não atende aos padrões exigidos pela legislação vigente (Medeiros et al., 2014). A Resolução Nº 357/2005 do CONAMA, considera que o enquadramento dos corpos de água deve estar baseado nos níveis de qualidade de modo a atender às necessidades da comunidade e garantir a saúde e o bem-estar humano, bem como o equilíbrio ecológico aquático (Brasil, 2005).

### 2.2.3 No semiárido Potiguar

No que concerne ao semiárido potiguar, Medeiros et al. (2014), mencionam que das 147 sedes municipais existentes, apenas 40 são atendidas com sistema de coleta de esgotamento sanitário e, deste total, 37 fazem o tratamento do efluente coletado. Dos 423,3 milhões de  $\text{m}^3 \text{ano}^{-1}$  de esgoto produzido no semiárido, o Rio Grande do Norte é responsável por 37.022 milhões de  $\text{m}^3/\text{ano}$ , sendo, deste total, coletados 10.733 milhões de  $\text{m}^3 \text{ano}^{-1}$  e tratados 9.551 milhões de  $\text{m}^3 \text{ano}^{-1}$ . Considerando as sedes existentes, o estado ocupa o terceiro lugar (com 25,2%) entre os estados do semiárido que possuem o melhor grau de cobertura dos serviços de coleta e tratamento de esgoto, apresentando percentuais de tratamento entorno dos 89%.

## 2.3 Conceito e caracterização da água cinza

As águas cinza representam 67% do volume total das águas residuárias domésticas e são definidas como aquelas não provenientes de vasos sanitários, mas sim de residências, estabelecimentos comerciais, instituições ou edificações que contenham lavatórios, chuveiros,

banheiras, pias de cozinha, máquina de lavar roupa e tanque. Em geral as águas cinza são compostas por 30% de fração orgânica e de 9 a 20% de nutrientes, repercutindo, quando adequadamente manejadas, em boa fonte nutricional às plantas, mas que acarretam, quando lançadas sem o devido tratamento, poluição, alterações e desequilíbrio ao meio ambiente e a saúde humana, através de doenças de veiculação hídrica (Eriksson, 2002; Ottoson & Stenström, 2003; Feitosa et al., 2011; Leal, et al., 2011; von Sperling, 2011; Chanakya & Khuntia, 2014; Fountoulakis et al., 2016). Além disso, as indústrias alimentícias, também, se destacam por serem responsáveis pela geração de grandes volumes de águas cinza em todos os países (Incera et al., 2017).

De acordo com Nolde (1999), a qualidade deste efluente, varia em função de fatores ligados a localidade e nível de ocupação da residência; faixa etária; estilo de vida; classe social e costumes dos habitantes, bem como também pela atividade geradora, seja ela por meio de lavatórios, chuveiros, máquina de lavar e outros; juntamente com a qualidade da água de abastecimento e o tipo de rede de distribuição usado para ambas (Eriksson et al., 2002).

Na Tabela 1, estão dispostos os resultados de algumas características físico-químicas de águas cinza produzidas a partir da mistura daquelas provenientes do chuveiro, pia de cozinha, lavatório e lavanderia.

**Tabela 1.** Características físico-químicas da água cinza produzida em Mossoró, Israel, Jordânia e Inglaterra-Bedfordshire.

Local	Características físicas		Características químicas		
	Turbidez NTU	SST	P	DBO	DQO
Mossoró	819,6	337,25	19,76	380,6	706,4
Israel	-	85 - 285	17,2 - 27	280 - 688	-
Jordânia		845		1056	2568
Inglaterra-Bedfordshire	19,6 - 67,4	29 - 93	-	20 - 164	87 - 495

**Nota:** Turbidez (TB), sólidos totais (ST), fósforo (P), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO).

**Fonte:** Gross et al. (2007); Halalshah et al. (2008); Winward et al. (2008); Feitosa et al. (2011).

Na Tabela 2, estão dispostos os resultados de algumas características microbiológicas para a água cinza gerada em residências de Mossoró, Israel, Jordânia e Inglaterra-Bedfordshire, obtidos a partir da mistura das águas provenientes do chuveiro, pia de cozinha, lavatório e lavanderia.

**Tabela 2.** Características microbiológicas da água cinza produzida em Mossoró, Israel, Jordânia e Inglaterra-Bedfordshire.

Local	Características microbiológicas		
	CT	CF	<i>E. Coli</i>
Mossoró	0,29x10 <sup>6</sup> NMP100mL <sup>-1</sup>	0,86x10 <sup>3</sup> NMP100mL <sup>-1</sup>	-
Israel	-	9x10 <sup>4</sup> a 1x10 <sup>8</sup> UFCmL <sup>-1</sup>	-
Jordânia	1x10 <sup>7</sup> NMP100mL <sup>-1</sup>	3x10 <sup>5</sup> NMP100mL <sup>-1</sup>	2x10 <sup>5</sup> NMP100mL <sup>-1</sup>
Inglaterra-Bedfordshire	-	-	1x10 <sup>2</sup> a 6x10 <sup>3</sup> NMP100mL <sup>-1</sup>

**Nota:** Coliformes totais (CT), coliformes fecais (CF), *Escherichia Coli* (*E. Coli*), NMP (Número Mais Provável), UFC (unidades formadoras de colônias).

**Fonte:** Gross et al. (2007); Halalshah et al. (2008); Winward et al. (2008); Feitosa et al. (2011).

## 2.4 Origem dos atributos físico-químicos e microbiológicos

As atividades domésticas desempenhadas, seja no processo de limpeza ou de higienização, contribuem, juntamente com o tipo de material utilizado nessas atividades, direta e significativamente para a geração e conseqüente composição da água cinza, dotada de características físico-químicas e microbiológicas específicas.

No que tange as características físicas do efluente em estudo, Eriksson et al. (2002), mencionam a importância do conhecimento de parâmetros como temperatura, cor e turbidez para a avaliação da água cinza que tem na elevação da temperatura, fator favorecedor do crescimento microbiano e, na turbidez, forte influenciador na redução da eficiência do tratamento que depende do teor de partículas sólidas e coloides (sólidos suspensos) presentes na água, cuja composição oferece resíduos corporais e de alimentos, óleos e gorduras e, materiais de limpeza (Feitosa et al., 2011). Outro fator observado, diz respeito à altura da lâmina de água adotada no processo de tratamento que influencia diretamente na penetração de radiação e, conseqüente atuação sobre os microrganismos que acabam sendo protegidos (Torrice & Fuentes, 2005).

No referente às características químicas, o pH, nas águas cinza, sofre dependência do pH e alcalinidade da água de abastecimento, muito embora a utilização de alguns produtos químicos oriundos das lavanderias possam contribuir para seu aumento, informando, ainda, a partir de medidas de alcalinidade e dureza (similarmente às de turbidez e sólidos suspensos), sobre o risco de entupimento de tubulações. Outro atributo muito comum em águas residuárias, neste caso de caráter doméstico, é o fósforo, cuja principal fonte é advinda de

detergentes, principalmente em locais onde se é permitido o uso destes com composição fosfatada (Eriksson et al., 2002).

Os autores ainda relatam, a respeito da DBO e DQO, que a determinação de seus valores ajudam a indicar o risco de depleção de oxigênio, dado pela degradação da matéria orgânica. Quanto à fonte de procedência, tem-se para a DQO a derivação de produtos químicos utilizados nas residências, como aqueles oriundos do processo de limpeza e utilização de detergentes.

A avaliação da qualidade da água de irrigação, pode ser definida a partir de três critérios básicos que fazem menção a salinidade, sodicidade e toxicidade, visando avaliar os efeitos do acúmulo de sais no solo e nos tecidos das plantas, cuja consideração deve atribuir-se a um conjunto de parâmetros para posterior definição acerca de sua adequação, ou não, na atividade em questão, cuja composição de elementos envolve variáveis como  $K^+$  (potássio),  $Na^+$  (sódio),  $Ca^{2+}$  (cálcio),  $Mg^{2+}$  (magnésio),  $Cl^-$  (cloro),  $CO_3^{2-}$  (carbonato) e  $HCO_3^-$  (bicarbonato) que tem como fontes principais sua liberação mediante o processo de meteorização química (hidrólise, hidratação, oxidação, carbonatação e outros) das rochas e, consequente transporte através das águas superficiais e/ou subterrâneas. A procedência destas características podem provir de: solos calcários, apresentando baixo conteúdo de sais solúveis,  $CO_3^{2-}$  e  $Mg^{2+}$ , bem como ser ricas em  $HCO_3^-$  e  $Ca^{2+}$ ; solos gípsico (com gesso), exibindo alto conteúdo de  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  variável e valores de normais a baixos de  $HCO_3^-$ ,  $Cl^-$  e  $Na^+$ ; solos argilosos, com baixo conteúdo de sais solúveis e altos valores para  $HCO_3^-$ ,  $Cl^-$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  e; solos arenosos, apresentando, também, baixo conteúdo em sais solúveis,  $Na^+$  e  $K^+$  e, altos para  $HCO_3^-$  e  $Cl^-$ , com variação para  $Mg^{2+}$  (Almeida, 2010).

A condutividade elétrica (CE) é um atributo químico que matem relação com a concentração iônica da solução, estando diretamente relacionada com as características geoquímicas e com as condições climáticas do local, cuja alteração, na água, está associada aos elementos de sódio, cálcio e magnésio, também influenciadores da razão de adsorção de sódio (RAS) que, juntamente com a salinidade da água, tende a influenciar as taxas de infiltração e ocasionar toxicidade por íons específicos, como  $Na^+$  e  $Cl^-$ , por exemplo, alterando a produtividade (Almeida Neto et al., 2009; von Sperling, 2011).

No referente aos metais pesados - compostos principalmente por elementos químicos como Ag (prata), As (arsênio), Cd (cádmio), Co (cobalto), Cr (cromo), Cu (cobre), Hg (mercúrio), Ni (níquel), Pb (chumbo), Sb (antimônio), Se (selênio), e Zn (zinco), são encontrados no solo em condições naturais e insuficientes para promoção de toxicidade aos

seres vivos. Todavia, em determinadas concentrações e tempo de exposição, tendem a oferecer risco ambiental e ao bem-estar humano. Sua presença em esgotos, associasse, principalmente, ao despejo, por parte das indústrias de galvanoplastia, formulação de compostos orgânicos e inorgânicos, curtumes, farmacêutica, fundição, lavanderias, petróleo, e formulação de corantes e pigmentos, em redes públicas coletoras (Lins, 2010).

No ambiente, é natural a presença de metais como o bário (Ba), cromo (Cr) e chumbo (Pb) em pequenas quantidades, seja em águas, com concentrações de Ba que variam entre 0,0007 a 0,9 mg L<sup>-1</sup>, ou na crosta terrestre. Todavia, a ação antrópica tem propiciado aumentos significativos destes no meio, devido a: disposição de resíduos oriundos da produção de fogos de artifício, pigmentos, vidros, uso de defensivos agrícolas e, em lamas de perfuração de poços, para o Ba; processos de galvanoplastia (cromações), fabricação de produtos químicos utilizados como pigmentos em curtumes, siderurgia, indústrias de cimento, pilhas, lixões, aterros industriais ou sanitários, incineradores, disposição de resíduos de lodos de curtume, bem como fertilizantes nitrogenados, fosfatados e superfosfatados, para o cromo e; descargas de efluentes industriais de acumuladores (baterias), eletrodeposição e metalurgia, bem como ao uso indevido de tintas e tubulações e, materiais de construção a base de chumbo (CETESB, 2007).

Já a presença de alumínio (Al), também ocorrente de forma natural no solo, água e ar, pode ter aumento ligado a uma variedade de componentes atmosféricos, em particular pode-se citar as poeiras do solo e partículas derivadas da combustão do carbono, outras fontes também podem ser atreladas a mineração e conseqüente processamento de minérios, centrais elétricas alimentadas a carvão e, por incineradoras. Enquanto que o ferro (Fe), advém de efluentes industriais através da remoção da camada oxidada (ferrugem) das peças antes de seu uso (decapagem) e, do emprego de coagulantes a base de ferro provocando sua elevação (Sezerino & Bento, 2005).

No que diz respeito às características microbiológicas, tem-se na *Escherichia coli*, pertencente ao grupo dos coliformes termotolerantes ou fecais, uma das principais bactérias encontradas nessas águas cinza, cuja presença, comumente, indica contaminação fecal, mesmo não possuindo contribuições dos vasos sanitários. Sua detecção na água pode ser explicada a partir de atividades como limpeza das mãos, após o uso do toalete, e de alimentos fecalmente contaminados, lavagem de roupas ou o próprio banho (Ottoson & Stenström, 2003).

## **2.5 Impactos causados pela falta de tratamento e disposição inadequada de efluente**

Os recursos hídricos são diariamente comprometidos pelo uso inconsequente da água e descarte inadequado de efluentes, afetando significativamente o abastecimento de várias regiões brasileiras devido a fatores ligados ao crescimento da demanda, desperdício e urbanização descontrolada (Carvalho et al., 2014).

A carência de sistemas envolvendo a coleta, tratamento e destinação de esgotos sanitários no Brasil, tem resultado em formas inadequadas de disposição dos resíduos líquidos que, quando lançados sem prévio tratamento no ambiente, acarretam poluição hídrica; produção de odores, através da decomposição da matéria orgânica existente; estética desagradável; aumento de plantas aquáticas e; dissipação do oxigênio pela sedimentação dos sólidos nos corpos hídricos, causando a sua depleção e, conseqüentemente, a mortandade da vida aquática (Jordão, 2015).

Embora necessárias ao crescimento, mantimento e desenvolvimento socioeconômico, algumas atividades desempenhadas pelo homem, sejam elas urbanas ou rurais, utilizam grandes quantidades de água, geradoras de efluentes potencialmente poluidores que, se lançados no ambiente, acarretam poluição hídrica, seja por meio da geração e destinação de esgotos urbanos e, efluentes industriais e comerciais sem tratamento, ou pela produção agropecuária e agrícola, responsáveis por 70% do consumo hídrico, em meio ao desmatamento de áreas para pastagem e assoreamento dos rios pela remoção da mata ciliar, propiciando a erosão e, despejo de agrotóxicos, cuja introdução de compostos podem, a depender do nível de industrialização ou período de carência respeitado, vir a apresentar características carcinogênicas ou mutagênicas (Vieira, 2006; Dorigon & Tessaro, 2010).

A poluição gerada nos mananciais próximos aos grandes centros urbanos, conduz a situações deletérias na água, devido aos lançamentos pontuais ou difusos de efluentes, principalmente nas épocas de estiagem, período em que as condições sanitárias se tornam essencialmente críticas em razão da diminuição das vazões naturais e constância das cargas poluidoras. Em épocas de maior pluviosidade, ruas e campos são intensamente lavados, repercutindo em difusas fontes de poluição que majoram a carga poluidora e geram pior qualidade destas águas. Vale ressaltar que, em ambos os casos, estes impactos são gerados pela ineficiência e, na maioria dos casos, deficiência dos sistemas de saneamento para com às redes de coleta e tratamento de esgotos (Jordão, 2015).

Outras fontes de poluição hídrica estão ligadas a crescente prática de aplicação de fertilizantes na agricultura, bem como o despejo de efluentes sem tratamento nos mananciais que, também, contribuem para o aumento da carga poluidora e predominância de grande quantidade de material suspenso, provocando a eutrofização do corpo aquático pelo aumento na proliferação de algas, devido ao excesso de nitrogênio e fósforo, por exemplo; reflexão da radiação, dificultando a passagem dos raios solares pela água; intensificação da sedimentação e; diminuição do oxigênio dissolvido, em razão da proliferação das bactérias, acarretando na mortandade da vida aquática, devido a insuficiência da aeração e atividade fotossintética (von Sperling, 2011).

A significativa poluição e a intensificação do uso e manejo inadequado do solo e da irrigação, causados pelas práticas agrícolas insustentáveis, tem provocado a depleção de aquíferos e redução do fluxo dos rios, bem como, também, causado a salinização de cerca de 20% da área total irrigada e degradação dos habitats naturais, repercutindo em perspectivas futuras preocupantes (Jacobi & Grandisoli, 2017).

Perante a isto, a utilização de técnicas e medidas adequadas em prol da promoção e o uso eficiente da água, devem ser feitas conjuntamente com os governantes e a otimização da produção agrícola, de forma a proporcionar ganhos simultâneos para com a população e produtividade, com base nas respostas das culturas, de forma a evitar impactos ao sistema solo-planta e o desperdício no consumo de água, medidas que, devido ao problema da carência hídrica no planeta, tornaram-se fundamentais para o gerenciamento dos recursos hídricos (Dorigon & Tessaro, 2010).

## **2.6 Legislação voltada ao reúso da água**

De acordo com a Lei Nº 6.938/81, em seu Artigo 2º, a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) objetiva a “preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana”, através da proteção dos ecossistemas, “controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras”, “incentivos ao estudo e pesquisa de tecnologias para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais”, acompanhamento do estado da qualidade ambiental (Incisos I, IV, VI e VII) e, de ações voltadas a preservação e restauração dos recursos ambientais, a fim de manter o equilíbrio ecológico (Artigo 4º, Inciso VI), entre outros (Brasil, 1981).

Neste sentido, a Resolução N° 357/2005 do CONAMA, considera que o enquadramento dos corpos hídricos deve estar baseado nos níveis de qualidade, de modo a atender às necessidades da comunidade e garantir a saúde e o bem-estar humano, bem como o equilíbrio ecológico aquático (Brasil, 2005).

A Resolução N° 430/2011 do CONAMA que “dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores” (Artigo 1º), menciona, em seu Artigo 3º, que os efluentes, oriundos de qualquer fonte poluidora, só poderão ser lançados nos corpos receptores após o devido tratamento, obedecendo às condições, padrões e exigências impostas por ela e outras normas aplicáveis. Com relação ao solo (Artigo 2º), a disposição destes não está sujeita aos parâmetros e padrões de lançamento nela dispostos, todavia, este ato não deve causar poluição ou contaminação das águas superficiais e subterrâneas (Brasil, 2011).

A utilização dos resíduos líquidos, provenientes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários, mesmo se tratando de uma alternativa viável e promissora, requer o atendimento de algumas condições e padrões de lançamento, conceituados, de acordo com o Artigo 4º, inciso XXVII do COEMA N° 02 de 2017, como “valor máximo permitido, atribuído a cada parâmetro passível de controle, para lançamento de efluentes líquidos, a qualquer momento, direta ou indiretamente, em corpo hídrico receptor” (Ceará, 2017).

Diante do cenário de escassez hídrica e dos problemas de esgotamento sanitário no semiárido, é imprescindível o desenvolvimento de tecnologias de tratamento que possibilitem o reúso da água de forma a atender a legislação vigente (Tabela 1).

**Tabela 3.** Parâmetros e respectivos valores para reúso da água em atividades urbanas, irrigação paisagística, agrícola e florestal, e ambiental.

<b>Finalidade do Reúso</b>	<b>Artigo</b>	<b>Parâmetros</b>		<b>Valor</b>
<b>Urbano</b>	38	Coliformes termotolerantes (CT)		Até 5000 CT 100 mL <sup>-1</sup>
		Ovos helmintos		Até 1 ovo L <sup>-1</sup> de amostra
		Condutividade elétrica (CE)		Até 3,0 dS m <sup>-1</sup>
		potencial Hidrogeniônico (pH)		Entre 6,0 e 8,5
<b>Irrigação paisagística</b>	38 Parag. Único	Coliformes termotolerantes (CT)		Até 1000 CT 100 mL <sup>-1</sup>
		Ovos helmintos		Até 1 ovo L <sup>-1</sup> de amostra
		Condutividade elétrica (CE)		Até 3,0 dS m <sup>-1</sup>
		potencial Hidrogeniônico (pH)		Entre 6,0 e 8,5
<b>Agrícola e Florestal</b>	39	Coliformes Termotolerantes	Culturas consumidas cruas com parte consumida em direto com a água de irrigação	Não Detectado (ND)
			Demais culturas	Até 1000 CT 100 mL <sup>-1</sup>
		Ovos de helmintos	Culturas consumidas cruas com parte consumida em direto com a água de irrigação	Não Detectado (ND)
			Demais culturas	Até 1 ovo L <sup>-1</sup> de amostra
	Condutividade elétrica (CE)		Até 3,0 dS m <sup>-1</sup>	
	potencial Hidrogeniônico (pH)		Entre 6,0 e 8,5	
	Razão de adsorção de sódio (RAS)		(15 mmolL <sup>-1</sup> ) <sup>0,5</sup>	
	<b>Ambiental</b>	40	Coliformes termotolerantes (CT)	
Ovos helmintos			Até 1 ovo L <sup>-1</sup> de amostra	
Condutividade elétrica (CE)			Até 3,0 dS m <sup>-1</sup>	
potencial Hidrogeniônico (pH)			Entre 6,0 e 8,5	

**Fonte:** Adaptado da Resolução N° 02/2017 do COEMA (Ceará, 2017).

Ainda buscando fornecer subsídios comparativos em prol da segurança para com o reúso dos efluentes, estão dispostas, na Tabela 4, as faixas e médias contidas nas águas residuárias de origem doméstica brutas, após tratamentos primário e secundário, bem como os níveis permissíveis para sua utilização na irrigação e consumo humano.

**Tabela 4.** Concentração de alguns elementos traços contidos nos esgotos sanitários sem tratamento, após tratamento primário, secundário, níveis permissíveis para uso na irrigação e consumo humano.

Elem.	Esgoto bruto		Efluente primário		Efluente secundário		Critério para Irrigação <sup>1</sup>		Consumo humano
	Faixa	Média	Faixa	Média	Faixa	Média	Longo tempo	Curto tempo <sup>2</sup>	
<b>mg L<sup>-1</sup></b>									
Al	-	-	-	-	-	-	5,0	-	5,0
As	< 0,0003–1,9	0,085	< 0,005–0,03	< 0,005	< 0,005–0,023	< 0,005	0,1	10,0	0,2
Be	-	-	-	-	-	-	0,1	-	0,1
B	< 0,123–20,0	-	< 0,01–2,5	1,0	< 0,1–2,5	0,7	0,75	2,0	5,0
Cd	< 0,0012–2,1	0,024	< 0,02–6,4	< 0,02	< 0,005–0,15	< 0,005	0,01	0,05	0,05
Cr	< 0,008–83,3	0,400	< 0,05–6,8	< 0,05	< 0,005–1,2	0,02	0,1	20,0	1,0
Co	-	-	-	-	-	-	0,05	-	1,0
Cu	< 0,001–36,5	0,420	< 0,02–5,9	0,10	< 0,006–1,3	0,04	0,20	5,0	0,5
F	-	-	-	-	-	-	1,0	-	2,0
Fe	-	-	-	-	-	-	5,0	-	-
Pb	0,001–11,6	0,120	< 0,02–6,0	< 0,2	0,003–0,35	0,008	5,0	20,0	0,1
Li	-	-	-	-	-	-	2,5	-	-
Mn	-	-	-	-	-	-	0,2	-	0,05
Hg	< 0,0001–3,0	0,110	0,0001–0,125	0,0009	< 0,0002–0,001	0,0005	-	-	0,01
Mo	< 0,0011–0,9	-	< 0,001–0,02	0,007	0,001–0,0018	0,007	0,01	0,05	-
Ni	0,002–111,4	0,230	< 0,1–1,5	< 0,1	0,003–0,6	0,004	0,2	2,0	-
Se	< 0,002–10,0	0,041	< 0,005–0,02	< 0,005	< 0,005–0,002	< 0,005	0,02	0,05	0,05
Va	-	-	-	-	-	-	0,1	-	0,1
Zn	< 0,001–28,7	0,52	< 0,02–2,0	0,12	0,004–1,2	0,04	2,0	10,0	24,0

**Nota:** Elem. – elementos; Al – alumínio; As – arsênio; Be - berílio; B - boro; Cd – cádmio; Cr – cromo; Co - cobalto; Cu – cobre; F - flúor; Fe – ferro; Pb – chumbo; Li - lítio; Mn – manganês; Hg - mercúrio; Mo - molibdênio; Ni – níquel; Se - selênio; Va – vanádio; Zn – zinco; <sup>1</sup>A máxima concentração é baseada numa taxa de aplicação de água residuária de 1200 mm ano<sup>-1</sup>. Em casos de taxas maiores deve-se reduzir as concentrações máximas; <sup>2</sup>Para uma aplicação em solos de textura fina.

**Fonte:** Feigin et al. (1991).

Na Tabela 5, constam os padrões e tipos de reúso da água estabelecidos na NBR 13.969/1997 (ABNT, 1997), bem como as recomendações de tratamento que viabilizem os reúsos propostos.

**Tabela 5.** Classificações, atividades e seus respectivos padrões para reúso, bem como recomendações para tratamentos.

Classes	Reúso	Atributos	Padrões	Unid.	Tratamentos/ Recomendações
1	Lavagem de carros e outros que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis, incluindo chafarizes.	TB	< 5,0	NTU	Tratamento aeróbio (filtro aeróbio submerso ou LAB); Filtração convencional (areia e carvão ativado) e; Cloração.
		CF	< 200	NMP 100 mL <sup>-1</sup>	
		SST	< 200	mg L <sup>-1</sup>	
		pH	6,0 – 8,5	-	
2	Lavagens de pisos, calçadas e irrigação de jardins; manutenção de lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes.	TB	< 5,0	NTU	Tratamento biológico aeróbio (filtro aeróbio submerso ou LAB); Filtração de areia e; Desinfecção.
		CF	< 500	NMP 100 mL <sup>-1</sup>	
		CR	> 0,5	mg L <sup>-1</sup>	
3	Descarga de vasos sanitários	TB	< 10	NTU	Para as águas de enxágue da máquina de lavar, o padrão é normalmente, satisfeito, sendo necessário apenas uma cloração. Em casos gerais, tratamento aeróbio; filtração e; desinfecção.
		CF	< 500	NMP 100 mL <sup>-1</sup>	
4	Pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e, outros cultivos através de escoamento superficial ou sistema de irrigação pontual.	CF	< 5000	NMP 100 mL <sup>-1</sup>	As aplicações devem ser interrompidas, pelo menos, 10 dias antes da colheita.
		OD	> 2,0	mg L <sup>-1</sup>	

**Nota:** TB - turbidez; NTU - Nephelometric Turbidity Unit; CF - coliformes fecais; SST – sólidos suspensos totais; pH – potencial Hidrogeniônico; CR - cloro residual; OD – oxigênio dissolvido.

**Fonte:** Adaptado da ABNT (1997).

Segundo a WHO (2006b), a presença de concentrações consideráveis de compostos orgânicos facilmente degradáveis nas águas cinza, favorece o surgimento de bactérias patogênicas. Por isso, é importante que se estabeleçam valores de monitoramento dos níveis populacionais de bactérias patogênicas e ovos de helmintos em águas cinza e dejetos humanos a serem utilizadas para fins agrícolas, como apresentado nas Tabelas 6 e 7.

**Tabela 6.** Padrões microbiológicos de monitoramento de águas residuárias domésticas e dejetos humanos para uso agrícola.

Agricultura	Parâmetros de monitoramento <sup>a</sup> da água de reúso	
	<i>E. coli</i> por 100 mL <sup>b</sup>	Ovos de helmintos por litro <sup>b</sup>
<b>Irrigação irrestrita</b>		
Cultivo de raízes (tubérculos)	$\leq 10^3$	$\leq 1$
Cultivos de folhas	$\leq 10^4$	$\leq 1$
Irrigação por gotejamento e cultivo elevado	$\leq 10^5$	
<b>Irrigação restrita</b>		
Agricultura com uso intensivo de mão-de-obra	$\leq 10^4$	$\leq 1$
Agricultura altamente mecanizada	$\leq 10^5$	
Tanque séptico	$\leq 10^6$	

**Nota:** <sup>a</sup> O monitoramento deve ser realizado no local de utilização ou no ponto de descarga de efluentes, de acordo com a frequência de monitoramento em: áreas urbanas - uma amostra a cada duas semanas para *E. coli* e uma amostra por mês para ovos de helmintos; zonas rurais - uma amostra a cada mês para *E. coli* e uma amostra a cada 2 meses para ovos de helmintos; amostras compostas de cinco litros são necessários para ovos de helmintos preparados a partir de amostras simples tomadas seis vezes ao dia. O monitoramento de ovos de nematóides é difícil, devido à falta de procedimentos padronizados. A inativação de ovos de nematóides deve ser avaliada como parte da validação do sistema; <sup>b</sup> Para dejetos humanos, os pesos podem ser utilizados em vez de volumes, dependendo do tipo de excremento: 100 ml de águas residuárias é equivalente a 1-4 g de sólidos totais; 1 litro = 10-40 g de sólidos totais.

**Fonte:** WHO (2006a).

**Tabela 7.** Parâmetros microbiológicos de água residuária tratada para fins de irrigação, mediante categorias de reúso.

<b>Tipo de irrigação</b>	<b>Opção<sup>(1)</sup></b>	<b>Tratamento e remoção de patógenos (log10)<sup>(2)</sup></b>	<b><i>E.coli</i> (100 mL)<sup>(3)</sup></b>
Irrestrita	A	4	$\leq 10^3$
	B	3	$\leq 10^4$
	C	2	$\leq 10^5$
	D	4	$\leq 10^3$
	E	6 ou 7	$\leq 10^1$ ou $\leq 10^0$
Restrita	F	4	$\leq 10^4$
	G	3	$\leq 10^5$
	H	0,5	$\leq 10^6$

**Nota:** <sup>1</sup>Combinação de medidas de proteção à saúde; A - cultivo de raízes e tubérculos; B - cultivo de folhosas; C - irrigação localizada de plantas, onde o produto agrícola está afastado do nível do solo; D - irrigação localizada de plantas que se desenvolvem rentes ao solo; E - qualidade de efluentes alcançável com o emprego de técnicas de tratamento (secundário + coagulação + filtração + desinfecção) e avaliada com o emprego de indicadores complementares (turbidez, SST, cloro residual, por exemplo); F - agricultura de baixo nível tecnológico e mão de obra intensiva; G - agricultura de alto nível tecnológico e altamente mecanizada; H - técnicas de tratamento com reduzida capacidade de remoção de patógenos (tanques sépticos ou reatores anaeróbios de fluxo ascendente) associada a técnicas de irrigação com elevado potencial de minimização da exposição (irrigação subsuperficial); <sup>2</sup>Remoção de vírus que, associada a outras medidas de proteção à saúde, corresponderia a uma carga de doenças virais tolerável ( $\leq 10^{-6}$  DALY ppa) e riscos menores de infecções bacterianas e por protozoários; <sup>3</sup>Qualidade do efluente correspondente à remoção de patógenos, indicada em “2”.

**Fonte:** Adaptado de WHO (2006b).

## 2.7 Tratamento de águas residuárias

A sociedade tem sofrido, desde os primórdios da humanidade, mudanças visíveis em seus aspectos comportamentais, vivência e, principalmente, de consumo. Junto com essas mudanças, houve, também, a evolução do tratamento dos esgotos sanitários que mesmo tendo passado por consideráveis alterações tecnológicas, ainda oferece contínuo desafio para com seu gerenciamento (Lofrano & Brown, 2010).

Nunes (2010), define tratamento de águas residuárias como uma combinação de processos artificiais responsáveis pela depuração, remoção de poluentes e adequação dos parâmetros presentes no efluente para posterior destinação final, visando à preservação da qualidade dos corpos hídricos receptores.

De acordo com von Sperling (2011), o tratamento dos esgotos domésticos urbanos envolve quatro tipos de operações que são de ordem: preliminar, etapa inicial do tratamento que envolve mecanismos de remoção de partículas grosseiras tais como grade e desarenador; primária, também composta por um mecanismo físico que envolve o uso de tanques de decantação para a remoção de sólidos sedimentáveis e em suspensão; secundária, que empregam processos biológicos de tratamento, utilizando lagoas de estabilização, reatores

aeróbios e anaeróbios, processos de disposição sobre o solo e lodos ativados, responsáveis pela remoção de sólidos não sedimentáveis, demanda bioquímica de oxigênio solúvel e em suspensão; e terciária, composta por mecanismos físico, químico e biológico que envolvem o uso de lagoas de estabilização, sistemas de disposição controlada no solo, lagoa de maturação, radiação ultravioleta, cloração e ozonização para a remoção de organismos patogênicos, bem como, também, compostos não biodegradáveis, metais pesados e sólidos inorgânicos dissolvidos e em suspensão remanescente.

A utilização em série de tanque séptico e filtro anaeróbio favorece a utilização de reatores ultravioletas em etapas subsequentes, devido principalmente à elevada remoção de sólidos, que potencializa, assim, a inativação dos organismos patogênicos pela radiação ultravioleta (Moura et al., 2011). Além disso, o uso conjunto de tanque séptico e filtro orgânico no tratamento de águas cinza se destaca pela boa eficiência na remoção de poluentes e pelo baixo custo de instalação e operação em áreas rurais do semiárido (Brasil, 2016).

O tanque séptico é uma unidade com dois ou mais compartimentos contínuos, dispostos sequencialmente no sentido do fluxo do líquido e interligados adequadamente, nos quais devem ocorrer, conjunta e decrescentemente, processos de flotação, sedimentação e digestão (ABNT, 1993). Já o filtro anaeróbio é um reator biológico com esgoto em fluxo ascendente, composto de uma câmara inferior vazia e uma câmara superior preenchida de meio filtrante submersos, onde atuam microrganismos facultativos e anaeróbios, responsáveis pela estabilização da matéria orgânica (ABNT, 1997). Os reatores ultravioletas são tanques retangulares ou quadrados fechados, dotados internamente de lâmpadas germicidas de 254 nm para a inativação de microrganismos patogênicos (Feitosa, 2016).

O efeito germicida das lâmpadas ultravioletas está relacionado à energia associada ao comprimento de onda 254 nm ( $472,3 \text{ kJ mol}^{-1}$ ), responsável por provocar alterações (ácido desoxirribonucleico) no DNA e (ácido ribonucleico) RNA dos microrganismos atingidos (Bilotta & Daniel, 2012). Segundo Bitton (1994), as lesões por radiação ultravioleta que ocorrem no RNA são menos expressivas e são reversíveis. Enquanto que lesões no DNA por radiação ultravioleta, são muitas vezes irreversíveis devido à dimerização de bases nitrogenadas, as quais podem originar organismos afetados e não hábeis à sua replicação e sobrevivência, aumentando a eficiência de inativação de patógenos, tanto no tratamento de água de abastecimento quanto esgoto (US EPA, 1999; Bilotta & Daniel, 2012).

## 2.8 Eficiência dos sistemas de tratamento

Em relação ao desempenho do conjunto tanque séptico mais filtro anaeróbio, a NBR 13.969 apresenta remoções de 40 a 75%, 40 a 70%, 70% ou mais, 20 a 50% para os atributos demanda bioquímica de oxigênio ( $DBO_{5,20}$ ), demanda química de oxigênio (DQO), sólidos sedimentáveis e fosfato, respectivamente; já para o conjunto tanque séptico mais vala de infiltração as remoções são de 50 a 80%, 40 a 75%, 100%, 50 a 80%, 30 a 70%, 30 a 70% e 99,5% ou mais para  $DBO_{5,20}$ , DQO, sólidos sedimentáveis, nitrogênio amoniacal, nitrato, fosfato e coliformes fecais, concomitantemente. Esta norma, também, apresenta a eficiência de remoção de poluentes para outros sistemas de tratamento acoplado a tanque séptico, como filtros de areia e aeróbio e, lagoas com plantas (ABNT, 1997).

Especificamente no semiárido brasileiro, alguns pesquisadores estão desenvolvendo sistemas compactos de tratamento e uso agrícola de águas residuárias domésticas (Feitosa et al., 2011; Moura et al., 2011; Batista et al., 2012a; Batista et al., 2013a).

Feitosa et al. (2011), em seu trabalho intitulado de avaliação de sistema para tratamento e aproveitamento de água cinza em áreas rurais do semiárido brasileiro, trabalharam com uma vazão média semanal de efluente de  $2,33 \text{ L h}^{-1}$ , tratado a partir de caixa de gordura, tanque anaeróbio, filtro inorgânico, sistema alagado construído e sumidouro, e obtiveram remoções que variaram de 50 a 83%, 64 a 93%, 80 a 88%, 46 a 83%, 5 a 88%, 17 a 69% e, 90 a 99,99% para a DQO,  $DBO_{5,20}$ , sólidos suspensos, fósforo total, nitrogênio total, nitrato e coliformes totais (CT), respectivamente.

No trabalho de Moura et al. (2011), foi avaliado o desempenho de sistema para tratamento e aproveitamento de esgoto doméstico em áreas rurais do semiárido brasileiro, composto por tanque de equalização, tanque séptico, filtro anaeróbio, reator solar e vala de infiltração. Este sistema operou com vazão média semanal de  $16,07 \text{ L h}^{-1}$  e alcançou remoções de 76,60 a 81,40%, 65,65 a 88,33%, 71,13 a 87,64%, 9,76 a 86,23%, 14,93 a 77,16%, 13,76 a 65,54% e 99,99 a 99,99%, para os atributos DQO, DBO, SS,  $P_{\text{total}}$ ,  $N_{\text{total}}$ ,  $\text{NO}_3$  e CT, respectivamente.

Estudos realizados por Batista et al. (2012a) e Batista et al. (2013a), empregando-se radiação ultravioleta artificial na desinfecção de esgoto doméstico, tratado em conjunto tanque séptico mais filtro anaeróbio operando com vazões médias oscilando de 10,15 e  $14,80 \text{ L h}^{-1}$ ; proporcionou reduções significativas para com os níveis de coliformes totais e

termotolerantes, alcançando os níveis de segurança permissíveis para a fertirrigação de cultivos agrícolas não consumidos crus.

Em Anápolis-GO, Colares & Sandri (2013), avaliaram o desempenho de um conjunto de três tanques sépticos compartimentados e três leitos cultivados, com Taboa (*Typha* sp.), de fluxo subsuperficial horizontal; e obtiveram ao final do ensaios experimentais remoções de DBO<sub>5,20</sub>, DQO, sólidos totais, sólidos suspensos totais, coliformes totais, *E. coli* e turbidez da ordem de 79, 65, 60, 87, 92, 96 e 82%, respectivamente.

Em relação a radiação ultravioleta artificial, oscilação entre 206 e 254 nm, atua de forma positiva no processo de degradação de compostos organometálicos, micro poluentes farmacêuticos, inibidores de corrosão, biocidas e microrganismos patogênicos (Hallmich & Gehr, 2010; Zhao et al., 2011; De La Cruz et al., 2012). Os referidos autores, ainda, citam que a formação de substâncias carcinogênicas (trihalometanos) é favorecida pela cloração dos esgotos provenientes das residências, cujo resultado dá-se em função da reação do cloro residual livre com substâncias orgânicas.

Frente a isso, alternativas visando à inativação de microrganismos patogênicos a partir do uso de radiação ultravioleta artificial de 254 nm, são desenvolvidas com o propósito de se eliminar o surgimento de substâncias carcinogênicas que comprometam a saúde dos seres humanos e a qualidade ambiental (Guo et al., 2009; Batista et al., 2013a).

## **2.9 Água residuária e seus benefícios como fonte hídrica e de nutrientes**

Para Leoneti et al. (2011), investimentos em saneamento e tratamento do esgoto doméstico, são alternativas eficazes e economicamente viáveis, uma vez que as águas tratadas possuem grande variedade de aplicações como irrigação, descarga de banheiros, lavagem de automóveis, limpeza da casa e, entre outras que contribuirão para a diminuição do uso de água potável para estes fins e, ao mesmo tempo, para a geração de externalidades positivas sobre a saúde e o meio ambiente, prevenindo a poluição e garantindo a qualidade da água para consumo, ao mesmo tempo em que controla a proliferação de vetores.

Ferreira et al. (2014), relataram que a escassez hídrica em regiões áridas e semiáridas é fator limitante para a produção agrícola, incentivando a busca por alternativas que garantam a sobrevivência humana, animal e a sustentabilidade da produção. O uso de águas residuárias tratadas como incremento à produção agrícola é uma boa possibilidade para fins de irrigação, em prol da produção de culturas prioritárias, possibilitando, assim, vantagens econômicas e

ambientais por meio do fornecimento de matéria orgânica, nutrientes e água ao sistema solo-planta; melhoria da qualidade do solo, desde que manejada adequadamente e; minimização da poluição hídrica em meio à utilização de sistemas de tratamento de efluente, evitando, assim, o lançamento desses nos mananciais, tornando-se, ainda, uma ferramenta estratégica para o gerenciamento dos recursos hídricos nessas regiões.

O uso de águas residuárias quando associado a novas tecnologias implantadas nas áreas irrigadas, possibilita vantagens como o reúso e redução do uso de fertilizantes minerais a partir da aplicação de matéria orgânica e nutrientes, via sistemas de irrigação às culturas e, a diminuição na utilização de águas de boa qualidade, reduzindo seu potencial poluidor ao ambiente e, desvantagens como a ocorrência de impactos ambientais negativos ao sistema solo-planta, através da contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas e, toxicidade às plantas (Erthal et al., 2010; Rodrigues et al., 2011).

## **2.10 Avaliação da percepção socioambiental quanto a importância do reúso da água**

Como resposta aos crescentes problemas de escassez hídrica, a exploração de alternativas tangentes ao reúso de águas, tem se tornado cada vez mais evidentes e encaradas como práticas de elevado potencial para com o enfrentamento de pressões globais sobre os recursos hídricos, em prol do gerenciamento do ciclo da água e apoio a economia, desde que vencidos os desafios impostos pela aceitação populacional (van der Bruggen, 2010; Wang, 2016; Smith et al., 2018).

A importância de se buscar inquirir sobre a percepção social para com o reúso destas águas, fator que tornar-se-á determinante para uma melhor aceitação, por parte da população, e viabilidade da atividade (reúso), reflete, de acordo com Baggett et al. (2006), Hespanhol (2008) e Smith et al. (2018), diretamente na confiança populacional para com as instituições responsáveis por seu gerenciamento e a forma como a informação é apresentada a sociedade, uma vez que a maneira como esta é repassada e a confiança aplicada nos interlocutores, bem como sua percepção e convivência com a escassez, tornar-se-ão quesitos fundamentais neste processo de aquiescência.

Hartley (2006), identificou por meio de revisões literárias, fatores contribuintes para o grau de aceitação pública no que tange o reúso, o qual é melhor visto quando há: menor grau de contato humano; proteção da saúde pública e do meio ambiente; conservação da água; razoável custo de tecnologias e sistemas de tratamento e distribuição; baixa percepção do uso

de águas residuárias como fonte de água recuperada; alta conscientização sobre problemas de abastecimento na comunidade; claro papel da água recuperada sob o esquema geral de abastecimento; alta percepção para com a qualidade da água recuperada e; elevada confiança na gestão local de utilidades públicas e tecnologias.

Em regiões com incidência de maiores problemas de escassez hídrica, a receptividade populacional acerca do reúso tende a ser maior, uma vez que esse tipo de vulnerabilidade, geralmente, torna as pessoas mais abertas à aquisição de fontes alternativas de água (Hurlimann & Dolnicar, 2016; Smith et al., 2018), independentemente, ainda, de questões culturais, o que facilita a perceptibilidade para com os benefícios de implantações de projetos voltados ao reúso de águas que, embora trate-se de uma atividade bastante comum na região nordeste, tem no reúso não planejado uma prática sistemática ligada a condições socioeconômicas e ambientais, cuja regulamentação, embora legislativamente inaplicada, implicará no saneamento ambiental, viabilizando a sustentabilidade e, conseqüente, preservação dos mananciais (Schaer-Barbosa et al., 2014).

O impedimento para com a aquisição da prática e dos produtos originados a partir dela, normalmente estão ligados a fatores como crença, preconceitos, falta de informação, medo e desconfiança, justificados, na maioria das vezes, pelo mau gerenciamento ou inexistência de sistemas de saneamento, estudos epidemiológicos, falta de convergência de interesses e, conseqüentemente, de implantação de projetos, fator este que diminui a aquisição de dados necessários ao fornecimento de maior credibilidade ao projeto, dificultando a percepção para com a qualidade dos serviços e produtos resultantes do processo (Salgot, 2008; Schaer-Barbosa et al., 2014).

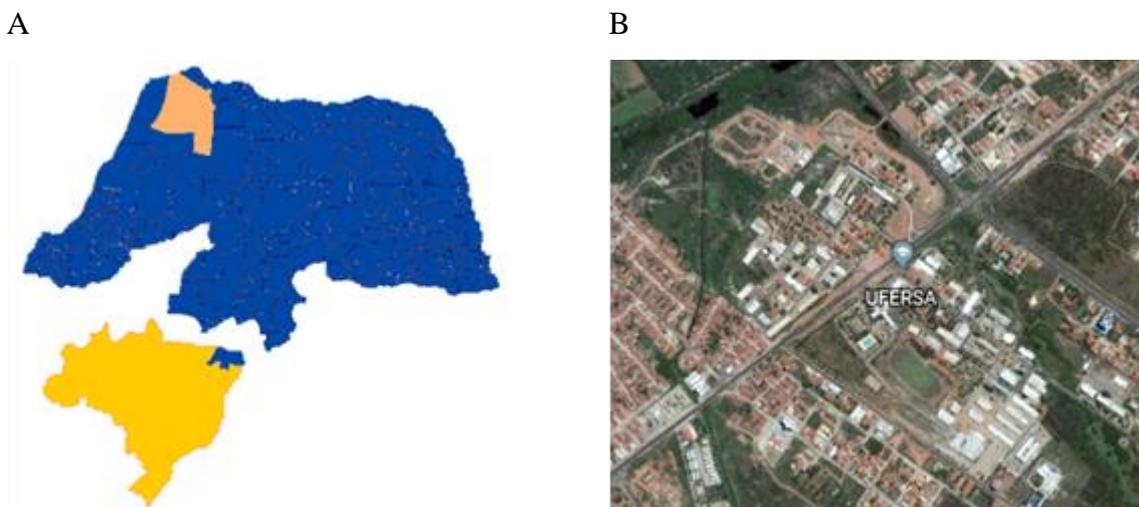
Para Vasco & Zakrzewski (2010), a compreensão da relação entre homem e ambiente deve estar focada em estudos voltados a percepção ambiental, criando meios de subsidiar estratégias minimizadoras dos problemas socioambientais, onde a participação da sociedade irá possibilitar maior eficiência nas etapas de planejamento e implementação de possíveis projetos (Pinheiro et al., 2011). Para isto, a ação conjunta entre escolas, poder público e sociedade, tornar-se-á papel fundamental para a construção de maior compromisso e comportamento ético, incitando práticas cotidianas pautadas na educação ambiental que, por conseqüência, transmitam, futuramente, retornos positivos, principalmente em locais onde a escassez é mais incidente.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da área onde foi instalada a estação compacta de tratamento e uso agrícola de água cinza

Na Figura 1, estão apresentados os mapas do Brasil, do Rio Grande do Norte e do município de Mossoró, bem como uma imagem de satélite da UFERSA campus Mossoró.

**Figura 1.** Mapas do Brasil e do Rio Grande do Norte, com enfoque no Município de Mossoró/RN (A) e imagem de satélite da UFERSA campus Mossoró (B).



**Nota:** Amarelo - mapa do Brasil; azul - mapa do Rio Grande do Norte; rosa - mapa de Mossoró.

**Fonte:** Acervo pessoal (2018) e Google Earth (2017).

Para a realização deste projeto de pesquisa, foi instalado um sistema de tratamento e reúso agrícola de água cinza em uma residência, com quatro habitantes, localizada no Centro de Multiplicação de Animais Silvestres (CEMAS), situado na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró/RN, entre as coordenadas geográficas 5°12'45,68" S, 37°18'36,47" O e 40 m de altitude.

Considerando a classificação climática de Koppen, o clima da região é classificado como BSh, semiárido, quente e seco, com domínio morfoclimático de Caatinga, precipitação pluviométrica anual média menor que 650 mm e temperatura anual média maior que 26,5°C (Alvares et al., 2013).

Na Figura 2, estão apresentadas imagens de satélite da área onde foi implantada a estação compacta de tratamento e reúso agrícola de água e, da residência a ser utilizada como unidade experimental.

**Figura 2.** Imagens da área experimental (A) e da residência (B) que recebeu o sistema de tratamento e uso agrícola de água cinza, no CEMAS da UFERSA, Mossoró/RN.



**Fonte:** Google Earth (2017) e acervo pessoal (2018).

A criação do CEMAS foi efetivada pela Portaria ESAM N° 154/89 de 12 de setembro de 1989, objetivando a fomentação de pesquisas envolvendo à conservação e manutenção de espécies silvestres criadas em cativeiro, bem como, também, a criação de tecnologias capazes de produzir proteína animal de baixo custo.

Nas proximidades da residência do CEMAS, existe área suficiente para a instalação da estação compactada de tratamento e uso agrícola de água cinza, dotada de tubulações que conduzem as águas do chuveiro, das pias do banheiro e cozinha e, do tanque de lavagem de roupas.

### **3.2 Descrição da estação compacta de tratamento e reúso agrícola de água cinza**

A estação compacta de tratamento e reúso agrícola de água cinza foi dimensionada para atender uma vazão de  $400 \text{ L d}^{-1}$  de águas cinza, gerada por quatro pessoas em condições de baixo padrão, conforme consta no Quadro 1 do ANEXO A, seguindo as diretrizes da NBR 7.229 (ABNT, 1993) e da NBR 13.969 (ABNT, 1997).

O tanque de equalização foi instalado para reunir, em um único local, as tubulações em PVC que coletam as águas cinza oriundas do chuveiro, pias do banheiro e cozinha e, tanque de lavagem de roupas, possibilitando a equalização e lançamento destas dentro do

tanque séptico, bem como a sua coleta para posterior análises. Esta foi construída nas dimensões de 0,30 m de lado por 0,30 m de profundidade, em alvenaria de tijolos e revestida com argamassa. Para minimizar as infiltrações, aplicou-se ao revestimento material impermeabilizante.

O tanque séptico foi empregado na coleta e tratamento do lodo e da gordura, cujas dimensões foram realizadas conforme as recomendações da NBR 7.229 (ABNT, 1993), empregando-se a equação 1. O mesmo possui duas câmaras e uma parede divisória posicionada a 2/3 do comprimento do tanque, dotada de três aberturas posicionadas na metade da profundidade. Cada abertura conta com 0,10 m de largura por 0,20 m de altura. Cada câmara possui uma abertura para inspeção e coleta de amostras dos efluentes com 0,30 m de lado.

$$V_u = \frac{1000 + N \cdot (C \cdot T + K \cdot Lf)}{1000} \therefore V_u = \frac{1000 + 4 \cdot (100 \cdot 1 + 217 \cdot 1)}{1000} \therefore V_u = 2,27 \text{ m}^3 \quad (1)$$

Em que:

$V_u$  - Volume útil do tanque séptico,  $\text{m}^3$ ;

1000 - Fator de segurança, L;

$N$  - Número de contribuições, habitante;

$C$  - Contribuição de despejo,  $\text{L hab}^{-1} \text{ d}^{-1}$  (Quadro 1 do ANEXO A);

$T$  - Tempo de detenção hidráulica, d (Quadro 2 do ANEXO A);

$K$  - Taxa de acúmulo de lodo digerido, adimensional (Quadro 4 do ANEXO A) e;

$Lf$  - Contribuição de lodo fresco,  $\text{L hab}^{-1} \text{ d}^{-1}$  (Quadro 1 do ANEXO A).

Considerando uma profundidade de 1,40 m (Quadro 3 do ANEXO A, para o volume útil do tanque séptico de  $2,27 \text{ m}^3$ ) e largura interna de 0,95 m, tem-se o seguinte valor de comprimento para o tanque séptico (equação 2):

$$V_u = C_p \cdot L \cdot h \therefore C_p = \frac{V_u}{L \cdot h} \therefore C_p = \frac{2,27}{0,95 \cdot 1,40} \therefore C_p = 1,70 \text{ m} \quad (2)$$

Em que:

$V_u$  - Volume útil do tanque séptico,  $m^3$ ;

$C_p$  - Comprimento interno do tanque séptico, m;

L - Largura interna do tanque séptico, m e;

h - Profundidade útil do tanque séptico, m (Quadro 3 do ANEXO A).

O tanque séptico foi construído nas dimensões internas de 1,70 m de comprimento, 0,95 m de largura e 1,4 m de profundidade, utilizando alvenaria de tijolos, laje pré-moldada e revestimento interno impermeabilizante.

O filtro anaeróbio de fluxo ascendente foi utilizado para a remoção dos sólidos suspensos totais e da Demanda Bioquímica de Oxigênio, empregando-se as equações 3, 4 e 5, conforme a NBR 13.969 (ABNT, 1997). Este dispositivo possui dimensões internas de 1,0 m de lado e 1,40 m de profundidade, tendo como elemento filtrante a brita gnaisse nº 1, com construção feita alvenaria de tijolos, dotada de revestimento impermeabilizado.

$$V_u = \frac{1,60 \cdot N \cdot C \cdot T}{1000} \therefore V_u = \frac{1,60 \cdot 4,00 \cdot 100 \cdot 1,00}{1000} \therefore V_u = 0,64 \text{ m}^3 \quad (3)$$

$$S = \frac{V}{1,40} \therefore S = \frac{0,64}{1,40} \therefore S = 0,46 \text{ m}^2 \quad (4)$$

$$L = \sqrt{S} \therefore L = \sqrt{0,46} \therefore S = 0,70 \text{ m} \cong 1,00 \text{ m} \quad (5)$$

Em que:

$V_u$  - Volume útil do filtro anaeróbio de fluxo ascendente,  $m^3$ ;

N - Número de unidades de contribuição, habitante;

C - Contribuição de despejos,  $L \text{ hab}^{-1} \cdot d^{-1}$  ou  $L \text{ unid.}^{-1} d^{-1}$  (Quadro 1 do ANEXO A);

T - Tempo de detenção hidráulico, d (Quadro 2 do ANEXO A);

S - Área de seção horizontal,  $m^2$  e;

L - Lado do filtro, m.

O reator ultravioleta artificial foi utilizado na redução do nível populacional de *Escherichia coli* da água cinza, proveniente do filtro anaeróbio de fluxo ascendente, de forma a possibilitar o reúso seguro da água para fins agrícolas e florestais, conforme as recomendações de Feitosa (2016). Neste dispositivo, foram utilizadas duas lâmpadas (modelo

G30WT8 da HALOTECH e vida útil de 8000 h) de radiação ultravioleta com potência de 30 W, cada, fixadas em um aparato de madeira, que não recebeu pintura, para evitar seu contato com o efluente e absorção da radiação. Estas trabalham com vapor de mercúrio de baixa pressão, emitindo comprimentos de onda curta com pico de radiação de 254 nm (UVC) para ação germicida. Este dispositivo foi construído com seção quadrada de 1,94 m de lado e 0,43 m de profundidade, possuindo, internamente, uma régua de 0,43 m, com precisão de 1 cm, para auxiliar na medição da vazão do sistema. O mesmo foi pintado com tinta alumínio a fim de evitar a absorção da radiação e, em consequência, promover uma maior dissipação desta em seu interior. Neste, foi mantida uma lâmina entre 0,045 e 0,065 m de água cinza para potencializar a desinfecção com a radiação ultravioleta artificial. O tempo de exposição à radiação ultravioleta artificial foi de 1 h, conforme recomendado por Feitosa (2016), resultando na dose de 96 mW s cm<sup>-2</sup>.

A vala de infiltração, para disposição final, no solo, do efluente tratado sem risco de obstrução dos poros, foi dimensionada utilizando a equação 6 da NBR 13.969 (ABNT, 1997) e um valor de 130 L m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> para o coeficiente de infiltração, sendo construída com 0,50 m de largura, 6,0 m de largura e 0,50 m de profundidade, possuindo, internamente, uma tubulação em PVC com diâmetro nominal de 100 mm, dotado de perfurações de diâmetro de 0,01 m. Para evitar entupimento destas perfurações, foi realizado o envelopamento da tubulação com brita gnaisse nº1.

$$A_s = \frac{N \cdot C}{C_i} \therefore A_s = \frac{4 \cdot 100}{130} \therefore A_s = 3 \text{ m}^2 \quad (6)$$

Em que:

$A_s$  - Área superficial do sumidouro, m<sup>2</sup>;

$N$  - Número de unidades de contribuição, habitante;

$C$  - Contribuição de despejos, L hab<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> e;

$C_i$  - Coeficiente de infiltração, L m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>.

O tanque de equalização, o tanque séptico, o filtro anaeróbio e o reator ultravioleta artificial foram interligados por uma tubulação em PVC de 100 mm, enquanto o reator ultravioleta artificial e a vala de infiltração, unidos por tubulação de 40 mm. Na Figura 3, está apresentado o esquema do sistema de tratamento e reúso agrícola da água cinza, instalado no CEMAS e elaborado no Google SketchUp Free (2012).

**Figura 3.** Esquema do sistema de tratamento e reúso agrícola da água cinza, implantado no CEMAS, destacando o tanque de equalização (1), o tanque séptico com duas câmaras (2), o filtro anaeróbico de fluxo ascendente (3), o reator ultravioleta artificial (4), a vala de infiltração (5) e, a área destinada à atividade da irrigação (6).



**Fonte:** Acervo pessoal (2018) e Google SketchUp Free (2012).

### 3.3 Monitoramento do sistema de tratamento e aproveitamento de água cinza

Para a caracterização da água cinza sem (Ponto 1 - Água cinza coletada no tanque de equalização) e com (Ponto 2 - Água cinza coletada no reator ultravioleta artificial) tratamento, foram realizadas três amostragens nos dias 17 de outubro, 7 de novembro e 29 de novembro de 2017, no intervalo de tempo entre às 07:30 e 08:30 horas.

As amostras foram coletadas em frascos esterilizados, com os seguintes volumes: frascos de 60 mL para análises microbiológicas e frascos de 1L para a caracterização físico-química das águas cinza.

No processo de coleta, as amostras foram preservadas em caixas isotérmicas com gelo, à temperatura de 4 °C, até sua entrada nos laboratórios para posterior realização das análises físico-químicas e microbiológicas.

Ao todo, foram coletadas seis amostras de água cinza para caracterização físico-química e microbiológica, sendo três delas sem e as outras três com tratamento para permitir a avaliação do desempenho da estação compacta proposta neste trabalho.

### 3.3.1 Descrição das análises físico-químicas e microbiológicas da água cinza

Parte das análises físico-químicas da água cinza, sem e com tratamento, foram realizadas no Laboratório de Solo, Água e Planta (LASAP) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e no Laboratório de Espectrofotometria Atômica do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa (UFV), compreendendo parâmetros como o potencial hidrogeniônico (pH), obtido através de um peagâmetro de bancada; condutividade elétrica (CE), medida com um condutivímetro de bancada; sódio ( $\text{Na}^+$ ) e potássio ( $\text{K}^+$ ), determinados com um fotômetro de chama; cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) e bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) obtidos por titulação; razão de adsorção de sódio (RAS), através da equação 7; fósforo (P) determinado por um espectrofotômetro; cobre (Cu), zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn), cádmio (Cd), níquel (Ni), chumbo (Pb), alumínio (Al), arsênio (As), bário (Ba) e cromo (Cr), determinados em um espectrofotômetro de absorção atômica (EMBRAPA, 2009).

- pH (potencial Hidrogeniônico): determinado a partir da retirada de 25 mL da amostra, alocada em copo descartável, para posterior leitura no pHmetro, marca TECNAL 3MP.

- CE (Condutividade Elétrica): indicada a partir da retirada de 25 mL da amostra, alocada em copo descartável, para posterior leitura no condutivímetro.

-  $\text{Na}^+$  (Sódio) e  $\text{K}^+$  (Potássio): determinados a partir da retirada de 20 mL da amostra, alocada em copo descartável, para que, após passar pela curva de calibração, seja feita a leitura no fotômetro de chama. Vale salientar que, quando necessária, a diluição é feita em meio a utilização de uma pequena parte da amostra e água deionizada.

-  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  (Cálcio + Magnésio): indicados a partir da retirada de 25 mL da amostra, alocada em copo descartável, 4 mL de coquetel (solução tampão de pH 10) e uma pitada do indicador negro de ericromo, obtendo-se coloração rosa. Em seguida, é feita a titulação, com a solução de EDTA, até obter o ponto de viragem (coloração azul).

-  $\text{Ca}^{2+}$  (Cálcio): determinado a partir da retirada de 25 mL da amostra, alocada em copo descartável, 3 mL da solução KOH a 10% e uma pitada do indicador calcon, obtendo-se coloração rosa. Em seguida, é feita a titulação, com a solução de EDTA, até obter o ponto de viragem (coloração azul).

-  $\text{Mg}^{2+}$  (Magnésio): seu valor é determinado a partir da diferença entre os resultados de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $((\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - \text{Ca}^{2+})$ .

- RAS (Razão de adsorção de sódio): determinada a partir das concentrações de Na<sup>+</sup> (Sódio), Ca<sup>2+</sup> (Cálcio) e Mg<sup>2+</sup> (Magnésio), conforme descrito na equação 7.

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{\left( \sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}} \right)} \quad (7)$$

Em que:

RAS - Razão de adsorção de sódio, mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>;

Na<sup>+</sup> - Concentração de sódio, mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>;

Ca<sup>2+</sup> - Concentração de cálcio, mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> e;

Mg<sup>2+</sup> - Concentração de magnésio, mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>.

- Cl<sup>-</sup> (Cloreto): indicado a partir da retirada de 25 mL da amostra, alocada em copo descartável, e 3 gotas de cromato de potássio. Em seguida, é feita a titulação, com a solução de nitrato de prata (AgNO<sub>3</sub>), até obter o ponto de viragem (coloração avermelhada – tom de telha).

- CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> (Carbonato): determinado a partir da retirada de 50 mL da amostra, alocada em copo descartável e 3 gotas de fenolftaleína, observando, com esta ação, se ocorrerá, ou não, a presença de tonalidade rosa na amostra. Caso ocorra mudança de coloração, será feita a titulação com a solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 0,0025 M, até que esta fique, novamente, incolor. Contrariamente, implicará na ausência deste elemento.

- HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Bicarbonato): indicado a partir da retirada de 50 mL da amostra, alocada em copo descartável e 3 gotas de alaranjado de metila. Na mesma amostra submetida a análise de CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, é feita a titulação com a solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 0,0025 M, até obter o ponto de viragem (coloração de cenoura).

- P (Fósforo): determinado a partir da retirada de 5 mL da amostra, alocada em copo descartável, 10 mL da solução ácida de molibdato (MoO<sub>4</sub><sup>-</sup>) de amônio diluída e uma pitada de ácido ascórbico, agitando em seguida. Esperam-se 30 minutos para efetivação da leitura no espectrofotômetro UV – VIS, a 660 nm.

- Cu (Cobre), Zn (Zinco), Fe (Ferro), Mn (Mangânês), Cd (Cádmio), Ni (Níquel) e Pb (Chumbo) indicados a partir da inserção de cerca de 10 mL da amostra em copo descartável para que após o ajuste do espectrofotômetro de absorção atômica, conforme manual do

equipamento, seja efetivada a leitura das soluções padrão, que estimam a curva analítica, e, logo em seguida, da amostra.

As análises de Cromo (Cr), Alumínio (Al), Arsênio (As) e Bário (Ba) (feitas com um espectrofotômetro de absorção atômica), foram feitas conjuntamente nos Laboratórios de Matéria Orgânica e Resíduos e de Espectrofotometria Atômica, ambos do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa (UFV), seguindo as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Rice et al., 2012).

No Laboratório de Saneamento Ambiental (LASAM) da UFRSA, foram realizadas as análises microbiológicas, bem como parte das análises físico-químicas da água cinza sem e com tratamento. As análises compreenderam a determinação dos sólidos totais (ST) e suspensos totais (SST), pelo método gravimétrico; da turbidez (TB), determinada com o auxílio de um turbidímetro de bancada; Demanda Química de Oxigênio (DQO), pelo método do refluxo fechado – Colorimétrico; Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), pelo método iodométrico (processo Winkler) e; identificação e quantificação dos níveis populacionais coliformes totais (CT) e *Escherichia coli* pelo método do colilert, seguindo as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Rice et al., 2012).

- TB (Turbidez): indicada a partir do método nefelométrico que consiste na retirada de, aproximadamente, 10 mL da amostra bem homogeneizada para alocação em cubeta. Posteriormente, é feita a calibração do turbidímetro com a solução padrão e limpeza da cubeta para inserção no equipamento para leitura.

- ST (Sólidos Totais) e SST (Sólidos Suspensos Totais): indicados a partir da pesagem de cápsulas e filtros, antes e depois da adição da amostra. Nas cápsulas foram adicionados 100 mL da amostra e nos filtros 20 e 50 mL - acoplados em um sistema de filtração, interligado a uma bomba a vácuo, para retirada da água e fixação do material suspenso nos mesmos. Depois deste processo, ambos (cápsulas e filtros dotados de material) foram levados a estufa para secagem e, no dia seguinte, pesados para obter a diferença e conseqüente quantidade de material ( $\text{mg L}^{-1}$ ), conforme apresentado na equação 8.

$$\text{ST / SST} = \frac{\left( \frac{\text{P2} - \text{P1}}{1000} \right)}{\left( \frac{\text{V}}{1000} \right)} \quad (8)$$

Em que:

ST/ST – Concentração de sólidos totais ou suspensos na água cinza, mg L<sup>-1</sup>;

P1 - Peso da capsula cerâmica/papel filtro, g;

P2 - Peso da capsula cerâmica/papel filtro mais os sólidos totais ou suspensos após 24 h de secagem em estufa a 105°C e;

V - Volume da amostra de água cinza, mL.

- DQO (Demanda Química de Oxigênio): determinada a partir do método do refluxo fechado – Colorimétrico. Para isso, foi utilizada uma solução de digestão (1,5 mL), preparada para valores de DQO nas faixas de 100 a 600 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> e menores que 90 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>, inseridas nos frascos junto com a amostra (2,5 mL) e o reagente de ácido sulfúrico (3,5 mL) e levadas para o bloco digestor, à 150 °C, por duas horas. Depois de frios, os mesmos são colocados no rack. Após, é liberado o ar contido no interior dos frascos e misturado seu conteúdo. Depois de limpos, é medida a absorvância das amostras nos comprimentos de onda de 420 (até 90 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>) e 600 nm (DQO entre 100 e 600 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>) em espectrofotômetro microprocessado. A DQO foi calculada empregando-se a equação 9.

$$DQO = (MA - MB) \cdot D \cdot C \quad (9)$$

Em que:

DQO - Demanda Química de Oxigênio da água cinza, mg L<sup>-1</sup>;

MA - Média de leituras da amostra de água cinza no espectrofotômetro, nm;

MB - Média de leituras do branco no espectrofotômetro, nm;

D - Fator de diluição, adimensional e;

C – Coeficiente da curva gerada pelo espectrofotômetro, nm;

- DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio): indicada a partir do método iodométrico (processo Winkler). Para tal, foi utilizada água (solução) com adição de nutrientes, minerais e tampões (FeCl<sub>3</sub>, CaCl<sub>2</sub>, MgSO<sub>4</sub> e tampão de fosfato para cada litro de água destilada) e, após 30 minutos de aeração, parte da amostra, homogeneizada, foi transferida para o frasco que é completado com a solução. Após, foi feita a medição do Oxigênio Dissolvido (OD) que é repetida 5 dias depois para obtenção do OD final, conforme equação 10.

$$DBO_{5,20} = \frac{OD_{\text{inicial}} - OD_{\text{final}}}{P} \quad (10)$$

Em que:

$DBO_{5,20}$  - Demanda Bioquímica de Oxigênio,  $\text{mgO}_2 \text{ L}^{-1}$ ;

$OD_{\text{inicial}}$  - Oxigênio dissolvido inicial,  $\text{mgO}_2 \text{ L}^{-1}$ ;

$OD_{\text{final}}$  - Oxigênio dissolvido final,  $\text{mgO}_2 \text{ L}^{-1}$  e;

P - Fração volumétrica decimal de amostra (volume de amostra/volume do frasco), adimensional.

- Coliformes Totais (CT) e *Escherichia coli* (*E. coli*): determinados a partir do método do colilert, em meio a adição da amostra, em frascos estéreis com capacidade mínima de 100 mL, e do meio de cultura. Depois de dissolvidos os grânulos, o material é despejado em cartelas, que são levadas a uma seladora, posteriormente direcionadas a incubação em estufa de cultura por 24 horas, a uma temperatura de 35 °C. Após, é feita a interpretação dos resultados, em meio a observação de mudança de coloração das divisórias da cartela, para CT e *E. coli*, através da câmara ultravioleta (366 nm de comprimento de onda). Para esta foi empregada a equação 11.

$$CT / E.coli = \frac{VL}{D} \quad (11)$$

Em que:

CT/*E.coli* - Nível populacional de coliformes totais (CT) e de *Escherichia coli* (*E. coli*), Número Mais Provável - NMP 100  $\text{mL}^{-1}$ ;

VL - Contagem do número de poços grande e pequenos da cartela Quantitray, NMP 100  $\text{mL}^{-1}$  e;

D - Fator de diluição, adimensional.

Durante o período experimental realizou-se a medição da temperatura da água cinza, empegando-se termômetro com escala de -5 a 264°C e precisão de 2°C, tanto no tanque de equalização quanto no reator ultravioleta artificial.

Após a realização das análises físico-químicas e microbiológicas da água cinza, sem e com tratamento, efetuou-se a determinação da remoção de cada atributo, empregando-se a equação 12.

$$R = \left(1 - \frac{C2}{C1}\right) \cdot 100 \quad (12)$$

Em que:

R - Remoção dos atributos físico-químicos e microbiológicos ocorridas na estação compacta, %;

C2 - Valores dos atributos físico-químicos e microbiológicos das amostras coletadas no reator ultravioleta artificial e;

C1 - Valores dos atributos físico-químicos e microbiológicos das amostras coletadas no tanque de equalização.

A água de abastecimento utilizada na residência do CEMAS/UFERSA e que gerou a água cinza, foi oriunda de um poço gerenciado pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN). Na Tabela 2, estão apresentados os atributos físico-químicos da água de abastecimento que deu origem à água cinza.

**Tabela 8.** Atributos físico-químicos da água de abastecimento que deu origem à cinza, utilizada nos ensaios experimentais.

pH	CE (dS cm <sup>-1</sup> )	K <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	Na <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	Ca <sup>2+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	Mg <sup>2+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	Cl <sup>-</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )
8,45	0,4	0,55	7,55	0,44	0,38	2,4	0,4
RAS (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	P (mg L <sup>-1</sup> )	Cu (mg L <sup>-1</sup> )	Mn (mg L <sup>-1</sup> )	Fe (mg L <sup>-1</sup> )	Ni (mg L <sup>-1</sup> )	Cd (mg L <sup>-1</sup> )	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )
11,8	1,75	0,0	0,005	0,018	0,021	0,0	2,4
Al (mg L <sup>-1</sup> )	As (mg L <sup>-1</sup> )	Ba (mg L <sup>-1</sup> )	Cr (mg L <sup>-1</sup> )	Pb (mg L <sup>-1</sup> )	Zn (mg L <sup>-1</sup> )		
0,000	0,000	1,101	0,039	0,0	0,0025		

**Nota:** pH - Potencial hidrogeniônico; CE - Condutividade elétrica; K<sup>+</sup> - Potássio; Na<sup>+</sup> - Sódio; Ca<sup>2+</sup> - Cálcio; Mg<sup>2+</sup> - Magnésio; Cl<sup>-</sup> - Cloreto; CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> - Carbonato; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> - Bicarbonato; RAS - Razão de adsorção de sódio; P - Fósforo; Cu - Cobre; Mn - Manganês; Fe - Ferro; Ni - Níquel; Cd - Cádmiu; Pb - Chumbo; Zn - Zinco; Al - Alumínio; As - Arsênio; Ba - Bário; Cr - Cromo.

**Fonte:** Acervo pessoal (2018).

### 3.3.2 Medição da vazão da estação de tratamento e reúso

A determinação da vazão média da estação de tratamento e aproveitamento agrícola de águas cinza, foi obtida por meio do método gravimétrico. A vazão média foi quantificada dividindo-se o volume de água cinza, gerado diariamente na residência, pelo respectivo tempo de geração de efluente. Este volume foi quantificado através do reator ultravioleta, que possui, internamente, uma régua para leitura do nível do efluente, cujo valor foi multiplicado pela área de seção do reator (3,76 m<sup>2</sup>), conforme apresentado na equação 13. Para a quantificação do volume de efluente produzido, foram feitas, a cada 21 dias, três leituras, durante os dois meses de ensaio experimental.

$$V = \frac{A \cdot H}{T \cdot 1000} \therefore V = \frac{3,76 \cdot H}{T \cdot 1000} \quad (13)$$

Em que:

V - Vazão, m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>;

A - Área de seção do reator ultravioleta, 3,76 m<sup>2</sup>;

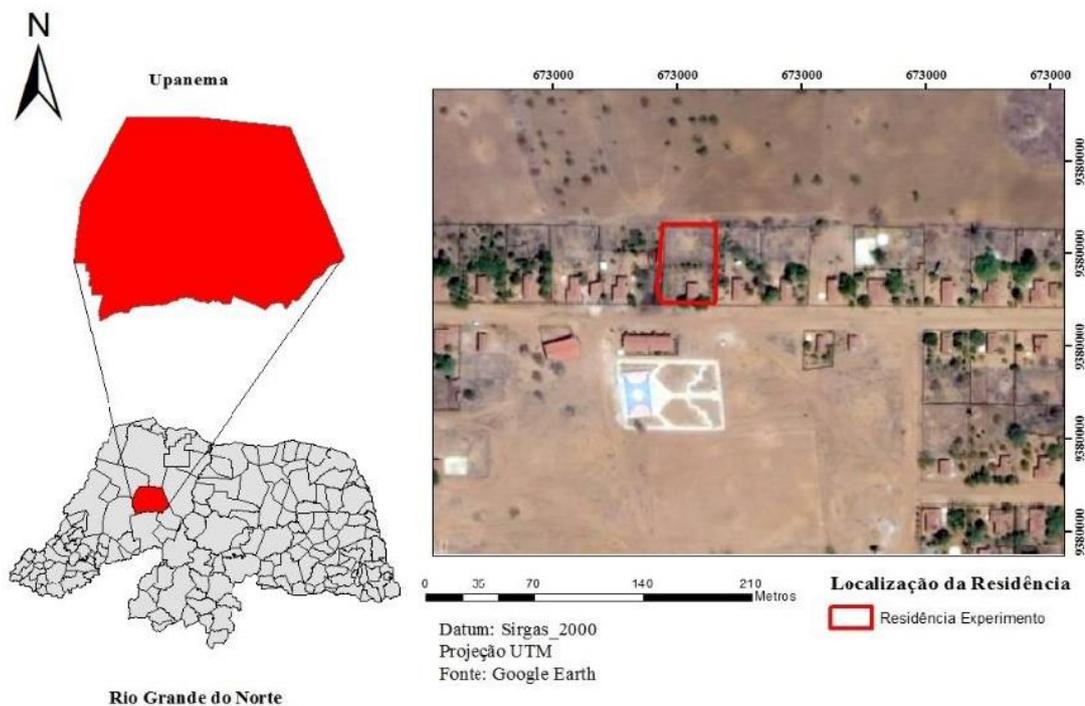
H - Altura de lâmina de água cinza tratada armazenada no reator ultravioleta, m e;

T - Período de tempo onde ocorre a geração de água cinza na residência, h.

### 3.4 Aplicação do questionário socioambiental para avaliar a percepção da população rural quanto ao reúso da água cinza

A equipe de pesquisa da UFERSA, referente ao projeto BRAMAR (Desenvolvimento de estratégias e tecnologias inovadoras para mitigação dos efeitos da escassez de água no nordeste brasileiro), elaborou um questionário para avaliar a percepção dos produtores rurais do Projeto de Assentamento Monte Alegre I (5° 30'13 S e 37°27'O), quanto a importância do reúso da água para fins agrícolas e florestais no semiárido potiguar. Na Figura 4, consta um mapa do Estado do Rio Grande do Norte, destacando o município de Upanema e uma das residências do assentamento Monte Alegre I, onde foi instalado um sistema de tratamento e uso agrícola de água cinza.

**Figura 4.** Mapa do Estado do Rio Grande do Norte, destacando o município de Upanema e uma das residências do assentamento Monte Alegre I, onde foi instalado um sistema de tratamento e uso agrícola de água cinza.

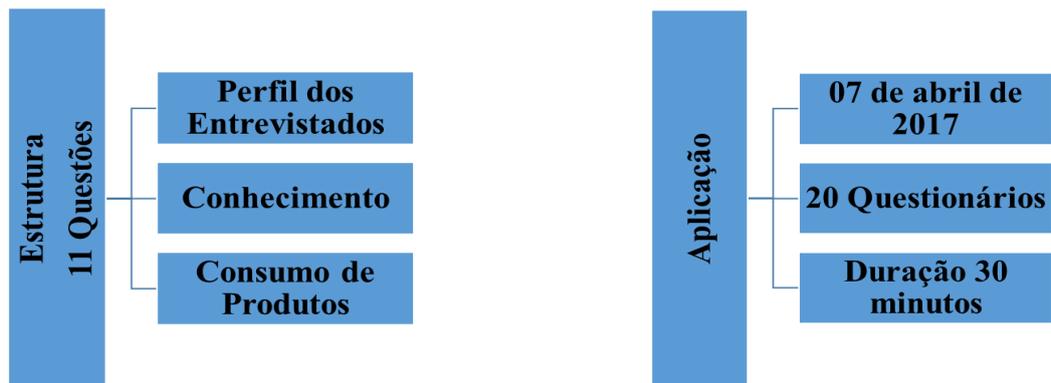


**Fonte:** Feitosa (2016).

Foram aplicados, no dia 07 de abril de 2017, 20 questionários no Projeto de Assentamento Monte Alegre I, no município de Upanema/RN, com 20 moradores locais, pela equipe de pesquisa da UFERSA/BRAMAR, no turno da manhã, com iniciação feita por volta das 08:00h. Cada entrevista teve duração aproximada de 30 minutos.

A estrutura básica do questionário foi composta por onze questões objetivas que discriminavam sobre o perfil dos entrevistados, conhecimento prático acerca do tratamento e aproveitamento da água residuária e, consumo de produtos irrigados com esta água, opinando sobre o fato destas poderem ou não contaminar os alimentos e causar doenças, mencionando, ainda, se consumiriam ou não, o alimento irrigado com a mesma, explicando, em caso negativo, o motivo pelo qual não o fazer, bem como, também, se há vantagens em se aproveitar essas águas na irrigação de plantas. O questionário, na íntegra, encontra-se no apêndice B. Na Figura 5, está apresentado um esquema da estrutura básica do questionário socioambiental e de sua forma de aplicação.

**Figura 5.** Esquema da estrutura básica do questionário socioambiental e forma de aplicação.



Fonte: Acervo pessoal (2018).

### 3.5 Delineamento experimental e análise estatística

O experimento foi montado no delineamento inteiramente casualizado com três repetições no tempo, tendo os pontos de coleta P1 (Água cinza coleta no tanque de equalização) e P2 (Água cinza coleta no reator ultravioleta artificial) como tratamentos.

Os dados foram submetidos à estatística descritiva, obtendo a média e o desvio-padrão dos atributos físico-químicos e microbiológicos da água cinza sem e com tratamento.

Para coliformes totais e *Escherichia coli* (*E. coli*), utilizou-se o cálculo da média geométrica proposto por von Sperling (2001).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Vazão do sistema de tratamento e uso agrícola de água cinza

Na Tabela 9, constam as datas e horários das avaliações de vazão do sistema, bem como os valores das leituras de lâminas de água cinza no reator ultravioleta artificial e da vazão de água cinza.

**Tabela 9.** Datas e horários das avaliações e valores das lâminas e da vazão de água cinza no sistema compacto.

<b>Datas das avaliações</b>	<b>Horários das avaliações</b>	<b>Lâminas no reator ultravioleta (m)</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>)</b>
17/10/2017	08h:25 min.	Lâmina de 0,045	0,17
07/11/2017	08h:08 min.	Lâmina de 0,064	0,24
29/11/2017	08 h:30 min.	Lâmina de 0,065	0,25

Fonte: Acervo pessoal (2018).

Percebeu-se, ao longo do período experimental, que a vazão de água cinza tratada no sistema variou de 0,17 a 25 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>, sendo a média de 0,22 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>. Este resultado difere do apresentado por Feitosa (2016), onde uma estação composta por tanque séptico e filtro orgânico operou com vazão oscilando de 0,40 a 0,81 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>, tendo 0,55 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> como valor médio.

### 4.2 Análise da qualidade da água cinza

Durante o período experimental, foram verificados vários atributos presentes na água cinza estudada, cujos valores correspondentes a suas características físico-químicas e microbiológicas, juntamente com suas respectivas datas de coleta e representação da situação do efluente coletado no tanque de equalização (ETE) e no reator ultravioleta (ERU), ou seja, antes e após o tratamento com desinfecção ultravioleta artificial (Tabela 10).

De posse dos dados, os resultados dos atributos físico-químicos da água cinza, sem e com tratamento, foram submetidos à estatística descritiva para obtenção das médias e do desvio-padrão. Estes resultados estão apresentados na Tabela 11, juntamente com os padrões oferecidos pela legislação ambiental, normas técnicas e outros autores e, percentuais de remoção alcançados como o tratamento.

**Tabela 10.** Atributos físico-químicos e microbiológicos da água cinza, em suas respectivas datas de coleta, antes e após o tratamento com radiação ultravioleta artificial.

Atributos	Unidade	17/10/2017		07/11/2017		29/11/2017	
		ETE	ERU	ETE	ERU	ETE	ERU
Temperatura	°C	30	30	24	23	28	26
Turbidez	UNT	393	80,5	144	112	208	184
ST	mg L <sup>-1</sup>	11601	873	3422	647	4995	820
SST	mg L <sup>-1</sup>	5688	68	1678	47	1543	47
pH	-	5,16	7,62	8,76	8,17	5,52	7,7
DQO	mg L <sup>-1</sup>	11946	262	4880	69	8312	78
DBO	mg L <sup>-1</sup>	3871	83	1949	60	2100	125
CE	dS m <sup>-1</sup>	1,25	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16
K <sup>+</sup>	mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	0,81	0,86	0,78	0,70	0,86	0,78
Na <sup>+</sup>	mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	6,45	7,60	5,54	5,54	6,15	7,51
Ca <sup>2+</sup>	mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	2,65	1,84	1,59	1,92	1,02	1,19
Mg <sup>2+</sup>	mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	1,30	0,76	1,56	0,46	0,54	0,16
Cl <sup>-</sup>	mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	6,00	4,40	4,80	3,80	4,00	3,60
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	0,10	0,30	1,00	0,60	0,00	0,40
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	7,60	6,60	5,90	5,00	4,60	4,00
RAS	(mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> ) <sup>1/2</sup>	4,60	6,70	4,40	5,10	7,00	9,10
P	mg L <sup>-1</sup>	2,89	0,99	7,20	1,06	2,45	0,95
Cu	mg L <sup>-1</sup>	0,1120	0,0900	0,0090	0,0020	0,0030	0,0080
Mn	mg L <sup>-1</sup>	0,3380	0,1530	0,1480	0,1020	0,1000	0,1040
Fe	mg L <sup>-1</sup>	4,7670	1,1230	0,6880	0,1720	0,5230	0,2430
Ni	mg L <sup>-1</sup>	0,0300	0,0020	0,0200	0,0370	0,0220	0,0340
Cd	mg L <sup>-1</sup>	0,0140	0,0080	0,0000	0,0070	0,0000	0,0090
Pb	mg L <sup>-1</sup>	0,0160	0,1130	0,0500	0,0000	0,0000	0,0600
Zn	mg L <sup>-1</sup>	0,9260	0,2360	0,1665	0,0307	0,0609	0,0454
Al	mg L <sup>-1</sup>	5,223	0,564	7,764	0,413	8,763	0,845
As	mg L <sup>-1</sup>	0,024	0,006	0,042	0,028	0,056	0,026
Ba	mg L <sup>-1</sup>	8,985	3,089	2,953	0,475	2,026	0,522
Cr	mg L <sup>-1</sup>	0,023	0,015	0,053	0,049	0,052	0,047
CT	NMP 100 mL <sup>-1</sup>	5,59x10 <sup>8</sup>	>2,42x10 <sup>5</sup>	7,68x10 <sup>7</sup>	1,55x10 <sup>6</sup>	6,04x10 <sup>7</sup>	1,55x10 <sup>7</sup>
<i>E. coli</i>	NMP 100 mL <sup>-1</sup>	4,26x10 <sup>6</sup>	1,36x10 <sup>3</sup>	1,88x10 <sup>6</sup>	3,64x10 <sup>4</sup>	1,15x10 <sup>6</sup>	6,78x10 <sup>4</sup>

**Nota:** ECP - Efluente do tanque de equalização; ERU – Efluente do reator ultravioleta; UNT – Unidade nefelométrica de turbidez; ST – Sólidos totais; SST – Sólidos suspensos totais; pH - Potencial hidrogeniônico; DBO - Demanda bioquímica de oxigênio; DQO - Demanda química de oxigênio; CE – Condutividade elétrica; K<sup>+</sup> – Potássio; Na<sup>+</sup> – Sódio; Ca<sup>2+</sup> – Cálcio; Mg<sup>2+</sup> – Magnésio; Cl<sup>-</sup> – Cloreto; CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> – Carbonato; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> – Bicarbonato; RAS - Razão de adsorção de sódio; P – Fósforo; Cu – Cobre; Mn – Manganês; Fe – Ferro; Ni – Níquel; Cd – Cádmiio; Pb – Chumbo; Zn – Zinco; Al – Alumínio; As – Arsênio; Ba – Bário; Cr – Cromo; CT – Coliformes totais; *E.Coli* - *Escherichia coli*; NMP – Número mais provável.

**Fonte:** Acervo pessoal (2018).

**Tabela 11.** Valor médio e desvio padrão dos atributos físico-químicos e microbiológicos da água cinza coletada no tanque de equalização (ETE) e no reator ultravioleta (ERU), comparação com a legislação ambiental e percentuais de remoção alcançados como o tratamento.

Atributos	Unidade	Média e desvio padrão de ECP	Média e desvio padrão de ERU	Padrões	Remoção (%)
Temperatura	°C	27 ± 3,06	26 ± 3,51	40°C <sup>(2)</sup>	-
Turbidez	UNT	248 ± 129	126 ± 53	5,0 <sup>(4)</sup>	49
ST	mg L <sup>-1</sup>	6673 ± 4340	780 ± 118	-	88
SST	mg L <sup>-1</sup>	2970 ± 2355	54 ± 12	100 <sup>(2)</sup>	98
pH	-	6,48 ± 1,98	7,83 ± 0,30	6,0 – 8,5 <sup>(1)</sup>	-
DQO	mg L <sup>-1</sup>	8379 ± 3533	136 ± 109	200 <sup>(3)</sup>	98
DBO	mg L <sup>-1</sup>	2025 ± 1069	89 ± 33	120 <sup>(2)</sup>	96
CE	dS m <sup>-1</sup>	1,19 ± 0,05	1,16 ± 0,00	3,0 <sup>(1)</sup>	2
K <sup>+</sup>	mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	0,82 ± 0,04	0,78 ± 0,08	0,05 <sup>(5)</sup>	4
Na <sup>+</sup>	mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	6,05 ± 0,46	6,88 ± 1,16	40 <sup>(5)</sup>	-14
Ca <sup>2+</sup>	mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	1,75 ± 0,83	1,65 ± 0,40	20 <sup>(5)</sup>	6
Mg <sup>2+</sup>	mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	1,13 ± 0,53	0,46 ± 0,30	5,0 <sup>(5)</sup>	59
Cl <sup>-</sup>	mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	4,93 ± 1,01	3,93 ± 0,42	30 <sup>(5)</sup>	20
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	0,37 ± 0,55	0,43 ± 0,15	0,1 <sup>(5)</sup>	-18
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	6,03 ± 1,50	5,20 ± 1,31	10 <sup>(5)</sup>	14
RAS	(mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> ) <sup>1/2</sup>	5,33 ± 1,45	6,97 ± 2,01	15 <sup>(1)</sup>	-31
P	mg L <sup>-1</sup>	4,18 ± 2,62	1,00 ± 0,06	2 <sup>(5)</sup>	76
Cu	mg L <sup>-1</sup>	0,04 ± 0,06	0,03 ± 0,05	5,0 <sup>(6)</sup>	19
Mn	mg L <sup>-1</sup>	0,20 ± 0,13	0,12 ± 0,03	0,2 <sup>(6)</sup>	39
Fe	mg L <sup>-1</sup>	1,99 ± 2,40	0,51 ± 0,53	5,0 <sup>(6)</sup>	74
Ni	mg L <sup>-1</sup>	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,02	5,0 <sup>(6)</sup>	-1
Cd	mg L <sup>-1</sup>	0,00 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,05 <sup>(6)</sup>	-71
Pb	mg L <sup>-1</sup>	0,02 ± 0,03	0,06 ± 0,06	20 <sup>(6)</sup>	-162
Zn	mg L <sup>-1</sup>	0,38 ± 0,47	0,10 ± 0,11	10 <sup>(6)</sup>	73
Al	mg L <sup>-1</sup>	7,25 ± 1,83	0,61 ± 0,22	5,0 <sup>(6)</sup>	92
As	mg L <sup>-1</sup>	0,04 ± 0,02	0,02 ± 0,01	0,1 <sup>(6)</sup>	51
Ba	mg L <sup>-1</sup>	4,65 ± 3,78	1,36 ± 3,78	5,0 <sup>(3)</sup>	71
Cr	mg L <sup>-1</sup>	0,04 ± 0,02	0,04 ± 0,02	0,1 <sup>(6)</sup>	13
CT*	NMP 100 mL <sup>-1</sup>	1,37x10 <sup>8</sup> ±3,39	1,80x10 <sup>6</sup> ±8,03	-	99
<i>E. coli</i> *	NMP 100 mL <sup>-1</sup>	2,10x10 <sup>6</sup> ±1,94	1,50x10 <sup>4</sup> ±8,17	10 <sup>3</sup> <sup>(1)</sup>	99

**Nota:** ETE - Efluente do tanque de equalização; ERU – Efluente do reator ultravioleta; UNT – Unidade nefelométrica de turbidez; ST – Sólidos totais; SST – Sólidos suspensos totais; pH - Potencial hidrogeniônico; DBO - Demanda bioquímica de oxigênio; DQO - Demanda química de oxigênio; CE – Condutividade elétrica; K<sup>+</sup> – Potássio; Na<sup>+</sup> – Sódio; Ca<sup>2+</sup> – Cálcio; Mg – Magnésio<sup>2+</sup>; Cl<sup>-</sup> – Cloreto; CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> – Carbonato; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> – Bicarbonato; RAS - Razão de adsorção de sódio; P – Fósforo; Cu – Cobre; Mn – Manganês; Fe – Ferro; Ni – Níquel; Cd – Cádmiio; Pb – Chumbo; Zn – Zinco; Al – Alumínio; As – Arsênio; Ba – Bário; Cr – Cromo; CT – Coliformes totais; *E.Coli* - *Escherichia coli*; NMP – Número mais provável; \*Média e desvio padrão geométrico; <sup>(1)</sup>Resolução COEMA n° 2/2017, referente a critérios para fins agrícolas e florestais; <sup>(2)</sup>Resolução COEMA n° 2/2017, referente a critérios de reúso externo de efluentes sanitários em copos hídricos; <sup>(3)</sup>Resolução COEMA n° 2/2017, referente ao lançamento direto de efluentes não sanitários em copos hídricos; <sup>(4)</sup>NBR 13.969/97 referente ao reúso da água para irrigação de jardins; <sup>(5)</sup>Almeida (2010); e <sup>(6)</sup>Feigin et al. (1991).

**Fonte:** Acervo pessoal (2018) e adaptado de outros autores, resoluções e normas técnicas.

A temperatura média da água cinza após o tratamento, apresentou-se dentro da faixa de 40°C, com 26°C, obedecendo ao critério estabelecido pela Resolução do COEMA nº 2/2017, Artigo 11, acerca das condições e padrões de lançamento direto de efluentes não sanitários em corpo receptores (Ceará, 2017), corroborando com os resultados obtidos por Feitosa (2016), em seu experimento com avaliação de sistema de tratamento da água cinza e reúso da água no semiárido brasileiro, que encontrou médias na faixa de 20 a 30 °C.

Para a turbidez, o valor médio foi de 126 UNT e o percentual de remoção de 49%. A NBR 13.969/1997 (ABNT, 1997), define alguns valores de parâmetros para esgotos em quatro classes, conforme o tipo de reúso a ser utilizado (Classe 1 - lavagem de carros ou outros que requerem contato direto; Classe 2 - lavagens de pisos, irrigação de jardins e fins paisagísticos; Classe 3 - descargas dos vasos sanitários e; Classe 4 - irrigação de pomares, forragens e pastagens). Comparando os valores encontrados nas análises da água cinza com os oferecidos pela referida norma, no referente à utilização para a irrigação. Observou-se que a variável em estudo não apresentou enquadramento, uma vez que se encontra acima de 5 UNT.

Autores como Feitosa (2016) e Moura et al. (2011) avaliaram sistemas de tratamento e uso agrícola de água residuária doméstica, detectando, oscilações da turbidez do efluente de 30 a 57 UNT, apresentando melhor eficiência na remoção de turbidez em relação ao sistema do presente estudo.

Para as variáveis sólidos totais e sólidos suspensos totais, foram verificados valores médios de 780 e 54 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente, e concomitante redução de 88 e 98%. O COEMA nº 2/2017, em seu Artigo 12, que menciona sobre os padrões de lançamento de efluentes sanitários tratados em corpo hídrico, estabelece para os sólidos suspensos totais valor de até 100 mg L<sup>-1</sup> (Ceará, 2017).

A NRB 13.969 estabelece um padrão de até 200 mg L<sup>-1</sup> para os sólidos suspensos totais, enquadrando o efluente estudado, para este atributo, nas atividades de classe 1 que envolve o reúso em lavagem de carros e outras requerentes de contato direto do usuário com a água (ABNT, 1997).

Batista et al. (2013b), trabalharam com remoção de sólidos suspensos e totais em biofiltros operando com esgoto doméstico primário para reúso na agricultura, encontrando concentrações que oscilaram de 23 a 68 mg L<sup>-1</sup> e de 924 a 988 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente, com concomitante redução de 82 e 46%. Comparando os resultados para ambos os trabalhos, constatou-se que o sistema compacto de tratamento mostrou melhor desempenho na redução destas variáveis. Os autores mencionam que concentrações excessivas destes atributos no

aproveitamento agrícola, podem prejudicar o desempenho do sistema de aplicação, por meio da obstrução de emissores e poros do solo, denotando em redução da infiltração e condutividade hidráulica de efluente no solo.

Leal et al. (2011) atribuíram a acumulação de sólidos em fossas sépticas e outros sistemas de tratamento anaeróbios, a hidrólise lenta dos componentes da água cinza, necessitando, neste caso, de mais espaço para melhorar a sua eficiência.

Segundo a Resolução do COEMA nº 2/2017 (Ceará, 2017), em seu Artigo 39 - inciso III, o valor médio de pH obtido com o tratamento (7,83), encontra-se dentro da faixa de 6 a 8,5 estabelecida para reúso externo de efluentes sanitários para fins agrícolas e florestais e, na classe 1, estabelecida pela ABNT (1997), para reúso em lavagem de carros e demais atividades que exijam contato direto com o efluente.

Já no referente à demanda química de oxigênio (DQO) média da água cinza tratada, o valor correspondeu a 136 mg L<sup>-1</sup>, sendo menor que o limite da Resolução do COEMA nº 2/2017, apresentado em seu Artigo 11, inciso XII, tratante sobre o lançamento direto de efluentes não sanitários em corpos hídricos, a qual estabelece um valor de 200 mg L<sup>-1</sup> (Ceará, 2017). O percentual de remoção encontrado para este atributo, correspondeu a 98%, mostrando-se relativamente superior ao encontrado por Batista et al. (2011), com os biofiltros preenchidos com resíduo sólido urbano compostado operando com esgoto doméstico primário, que apresentou remoções da oscilaram de 60 a 80%.

Leal et al. (2011), em seu trabalho sobre a caracterização e biodegradabilidade anaeróbia de águas cinzas, constataram concentrações totais de demanda química de oxigênio de 724 ± 150 mg L<sup>-1</sup>, mencionando, para este atributo, que altas concentrações podem estar associadas ao baixo consumo de água, citando os problemas de escassez como possível fator.

Com relação à demanda bioquímica de oxigênio (DBO) média da água cinza tratada, obteve-se valor correspondente a 89 mg L<sup>-1</sup>, apresentando inferioridade ao determinado pelas Resoluções do COEMA nº 2/2017, em seu Artigo 12, inciso IV, e, do CONAMA nº 430/2011, em seu Artigo 21, inciso I (alínea d), que tratam sobre o lançamento direto de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários em corpos receptores, as quais estabelecem um valor de 120 mg L<sup>-1</sup> (Brasil, 2011; Ceará, 2017). O percentual de remoção encontrado para este atributo correspondeu a 96%. Quando comparado ao percentual obtido por Batista et al. (2011), que trabalharam com biofiltros preenchidos com resíduo sólido urbano compostado e operaram com esgoto doméstico primário, constataram-se remoções variando de 65 a 80%, inferiores a obtido no presente estudo.

Para a condutividade elétrica média da água cinza tratada, obteve-se valor correspondentes a  $1,16 \text{ dS m}^{-1}$ , enquadrado dentro do estabelecido pela resolução CONEMA n° 2/2017 (admitindo  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ ), Artigo 39, inciso II (Ceará, 2017). Para este se alcançou, ainda, percentual de redução pouco expressivo da ordem de 2%. Este resultado difere do encontrado por Batista et al. (2012b), em seu estudo com biofiltros operando com esgoto sanitário, onde foram constatadas remoções de condutividade elétrica de até 59%.

Na água cinza estudada, os valores médios de  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  e  $\text{HCO}_3^-$ , correspondentes a 0,78; 6,88; 1,65; 0,46; 3,93; 0,43 e; 5,20  $\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$ , apresentaram percentuais de redução de 4, -14, 6, 59, 20, -18 e 14%, respectivamente; segundo Almeida (2010), os padrões de aceitação dos elementos supracitados para fins de irrigação são de 0,05, 40, 20, 5, 30, 0,1 e 10  $\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$ . Comparando os resultados encontrados com os limites apresentados por Almeida (2010), percebeu-se que todas as variáveis, com exceção do  $\text{K}^+$  e  $\text{CO}_3^{2-}$ , apresentaram enquadramento para utilização na irrigação de cultivos agrícolas.

Quando comparados os valores obtidos, após o tratamento, para os atributos  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Na}^+$ , com os estabelecidos por Ayers & Westcot (1999), para a irrigação de cultivos agrícolas ( $3,0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ ), observou-se médias até duas vezes maiores. Leal, et al. (2011) encontraram concentrações de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  de  $144 \pm 26$ ,  $30 \pm 11$  e  $10 \pm 1,4 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente.

De acordo com o inciso IV do Artigo 39 da Resolução COEMA n°2/20017 (Ceará, 2017), que estabelece para a razão de adsorção de sódio um padrão de  $15 (\text{mmol}_c \text{ L}^{-1})^{1/2}$ , obteve-se com o tratamento um total de  $6,97 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ , apresentando percentuais de redução de -31% e enquadramento para reúso externo de efluentes sanitários para fins agrícolas e florestais.

No que se refere ao fósforo, o valor médio obtido foi de  $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ , com 76% de redução. Almeida (2010), determina um valor máximo admissível de  $2 \text{ mg L}^{-1}$  para água de irrigação contendo este atributo. Comparando ambos, se é possível denotar o enquadramento deste atributo no padrão estabelecido pelo autor. Feitosa et al (2011), encontraram para este atributo, em sua pesquisa com sistema para tratamento e aproveitamento agrícola de água cinza, um valor de  $5,8 \text{ mg L}^{-1}$ .

Em relação aos atributos químicos Cd, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb, Al, As e Cr, foram verificados valores médios, após o tratamento, de 0,01; 0,12; 0,51; 0,02; 0,03; 0,10; 0,06; 0,61; 0,02; e  $0,04 \text{ mg L}^{-1}$ , com reduções de -71, 39, 74, -1, 19, 73, -162, 92, 51 e 13%, respectivamente. Feigin et al. (1991), estudaram as concentrações de alguns elementos contidos em esgotos domésticos brutos e tratados, definindo níveis permissíveis para uso

desta na irrigação, determinando para as variáveis supracitadas, valores de 0,1 mg L<sup>-1</sup> para o As e Cr, 0,05 e 0,2 mg L<sup>-1</sup> para o Cd e Mn, 5 mg L<sup>-1</sup> para o Fe, Ni, Cu e Al, 10 e 20 mg L<sup>-1</sup> para o Zn e Pb. Ayers & Westcot (1999), estudaram as concentrações máximas permitidas para alguns elementos químicos presentes em águas residuárias para aplicação em culturas agrícolas, e determinaram padrões de 5 mg L<sup>-1</sup> para Fe e Pb, 0,20 mg L<sup>-1</sup> para Mn, Ni e Cu e 2,00 mg L<sup>-1</sup> para Zn, denotando o enquadramento, em ambas as literaturas, da água cinza em estudo para fins de irrigação.

No trabalho de Leal et al. (2011), estão apresentados valores limite para os atributos Cd, Cr, Pb, Ni, Sn e Se de 0,05 mg L<sup>-1</sup> para uso agrícola de águas residuárias. Karvelas et al. (2003), relataram que o tratamento biológico pode reduzir, significativamente, as concentrações de metais como o Cu e Mn, em até 70% em meio a adsorção pelo lodo, bem como em até 50% para o Cd, Cr, Pb, Fe, Ni e Zn.

Para o atributo bário, encontrou-se média de 1,36 mg L<sup>-1</sup>, com redução de 71%. Comparando o resultado com o padrão estabelecido pela Resolução COEMA n° 2/2017 (5 mg L<sup>-1</sup>), em seu Artigo 11, inciso XVI que estabelece valores máximos admissíveis para algumas substâncias, se constata o enquadramento deste para o lançamento direto de efluentes não sanitários em corpos hídricos.

A resolução CONAMA n° 430/2011, estabelece, em seu Artigo 16, padrões máximos permitidos para lançamento de efluentes tratados em corpos hídricos, para com os atributos Cd, Pb, Fe, Ni e Zn que, quando comparados com os valores encontrados no tratamento da água cinza em estudo, apresentaram-se abaixo dos valores mencionados na referida resolução que são de 0,2; 0,5; 1,0 mg L<sup>-1</sup> (para Cu e Mn); 15; 2,0; 5,0 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente (Brasil, 2011).

Para os coliformes totais, obteve-se, após o tratamento, um valor médio correspondente a 1,80x10<sup>6</sup> NMP 100 m L<sup>-1</sup>, com remoção de 99%. Feitosa (2016), encontrou valor de redução do nível de coliformes totais, para uma lâmina de 10 cm, de 72 NMP 100 mL<sup>-1</sup>, em um tempo exposição à radiação ultravioleta de 4 h.

Quanto ao valor médio de *E. coli*, obtido após o tratamento com radiação ultravioleta, este correspondeu a 1,50x10<sup>4</sup> NMP 100 m L<sup>-1</sup>, com percentual de redução de 99%. A Resolução do CONEMA n° 2/2017 (Ceará, 2017), em seu Artigo 39 - inciso I, estabelece uma faixa de até 1x10<sup>3</sup> NMP 100 m L<sup>-1</sup>, para reúso externo de efluentes sanitários para fins agrícolas e florestais. Efetivando um comparativo entre o valor obtido e estabelecido pela

referida legislação, observa-se superioridade para com o valor experimental, denotando o não enquadramento do efluente neste quesito.

A Organização Mundial de Saúde estabeleceu parâmetros de monitoramento da qualidade da água para com o desempenho microbiano, indicando padrões para a variável *E. coli* por 100 mL no que tange o uso em irrigações restritas e irrestritas, os quais discriminam para as atividades tangentes a agricultura altamente mecanizada, tanque séptico e irrigação por gotejamento e cultivo elevado, respectivamente, valores de até  $10^5$  e  $10^6$  (WHO 2006a), enquadrando o efluente em estudo, na efetivação destas atividades.

A mesma ainda cita para as atividades que envolvem o uso da água em irrigação localizada de plantas que se desenvolvem distantes nível do solo, agricultura de alto nível tecnológico e altamente mecanizada e técnicas de tratamento com reduzida capacidade de remoção de patógenos, valores padrão para a *E. coli* por 100 mL, de até  $10^5$  e  $10^6$  (WHO 2006b), enquadrando, também, o uso do efluente tratado nas atividades supracitadas.

Autores explicam que a elevada turbidez presente nas águas, juntamente com a altura da lâmina a ser tratada, pode causar a diminuição da inativação bacteriana devido a insuficiência de penetração da radiação, podendo, ainda, facilitar seu recrescimento. Desta forma, recomenda-se que a mesma não exceda  $30 \text{ mg L}^{-1}$  para que o microrganismo possa ser mais facilmente atingido (US EPA, 1999; Kehoe et al., 2001; SODIS, 2002; Torrico; Fuentes, 2005; Feitosa et al., 2011). Diante disto, este resultado pode ser explicado pelo alto valor de turbidez encontrado que remeteu na ineficiência da desinfecção por radiação ultravioleta, devido à presença de partículas sólidas que impediram a penetração dos raios ultravioleta e, conseqüentemente, protegeram os microrganismos dos efeitos letais desta, bem como um menor tempo de exposição ao processo de desinfecção.

Vale salientar que os percentuais de redução negativos estão ligados ao processo de bioacumulação/acumulação destes atributos, ao longo do sistema de tratamento, contribuindo para o aumento e/ou remoções negativas.

### 4.3 Percepção socioambiental quanto a importância do reúso da água

#### 4.3.1 Conhecimento prático dos entrevistados

Dos vinte entrevistados, 55% encontram-se na faixa etária de 20 a 40 anos e 45% na de 40 a 60, dos quais 77% pertencem à classe agricultora, 9% a classe doméstica e auxiliares de serviço geral e 5% a agente comunitário de saúde. O maior percentual de idade (de 20 a 40 anos) dos entrevistados, pode ser atrelado ao fato das entrevistas terem sido realizadas junto aos responsáveis pelas residências, o que, na ótica do presente trabalho, promoveria maior facilidade nas discussões para com as questões apresentadas. O fator idade, também, pode atrelar-se a profissão desempenhada pelos mesmos, uma vez que a agricultura, normalmente, é uma atividade majoritariamente desenvolvida, nessas comunidades, por pessoas com maior idade, devido à vivência herdada pelos pais.

Quando questionados acerca de conhecer alguma forma de reúso de efluentes, todos os entrevistados (100%) responderam que sim, sendo citadas as seguintes: filtros, irrigação, vizinhos que possuem sistema e tanques que representaram 30, 25, 20 e 10%, respectivamente, sendo as demais, aproveitamento em casa, cisternas e no sistema de tratamento e uso agrícola de águas cinza denominado “Água Viva”, com 5% (Figura 6).

**Figura 6.** Formas de reúso citadas pelos entrevistados.



**Fonte:** Acervo pessoal (2018).

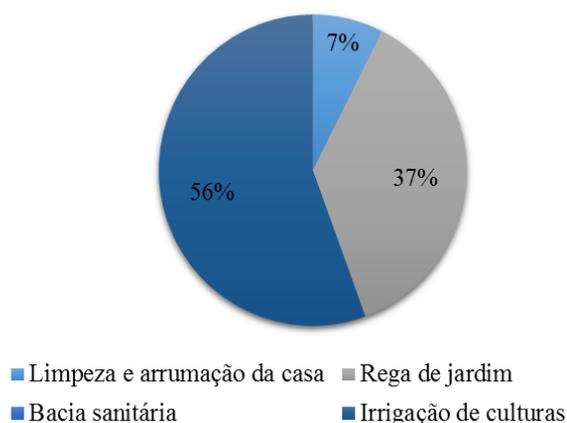
Em suas respostas, os entrevistados mostraram dotar de algum conhecimento sobre as formas de reúso, mencionando a agricultura e aproveitamento em casa. Porém, percebe-se que

a maioria, ainda, mostra certa confusão entre o ato de reutilizar, as formas de tratamento e armazenamento da água, quando mencionam o uso de filtros, tanques e cisternas. Mesmo tratando-se de uma prática antiga, com relatos, ainda, na Grécia antiga, dada a partir da disposição e reutilização de esgotos na irrigação (Santos, 1993), o conceito acerca do reúso de água, ainda, é pouco difundido, remetendo a ocorrência deste tipo de confusão.

O reúso de águas residuárias e pluviais tem atuado como redutores dos impactos sobre o ambiente, minimizando a quantidade de poluentes transferidos às vias navegáveis e baías (James et al., 2015; Ferguson et al., 2013). Autores citam a reutilização sobre quatro diferentes tipos de esquemas, os quais envolvem usos em: irrigação de terras agrícolas e espaços abertos ao público; residências e propriedades comerciais para usos não potáveis (rega de jardim, lavagem de roupa e outros), a partir de sistemas de dupla tubulação; reutilização direta para fins potáveis, operantes em cidades como a Califórnia, Texas, Namíbia e Singapura e; liberação em vias navegáveis, os quais envolvem o uso de efluentes tratados, cujas características se equiparem as águas pluviais (Ferguson et al., 2013; Gerrity et al., 2013; Luthy et al., 2015; Furlong et al., 2016; Lee & Tan, 2016).

Indagando-os acerca de ter, ou não, ouvido falar sobre Estação de Tratamento de Efluente (ETE), apenas 15% responderam que sim. Todavia, 80% dos entrevistados efetivam o uso da água cinza, cuja finalidade é dada para irrigação de culturas, rega de jardim e limpeza da casa, com percentuais de 56, 37 e 7%, concomitantemente (Figura 7).

**Figura 7.** Finalidades dadas ao reúso da água cinza gerada.



**Fonte:** Acervo pessoal (2018).

Frente às respostas obtidas, percebe-se que há pouca disponibilização de informação acerca das formas de tratamento de efluente. Todavia, os resultados mostraram que este fator

não denotou impedimento para a efetivação da prática. Costa et al. (2016), em seu trabalho sobre a percepção do uso da água em instituição de ensino: Estudo de caso no colégio estadual Santo Antônio, no distrito de Xerém, Duque de Caxias-RJ, verificaram um prévio conhecimento sobre a temática, exemplificada pelos respondentes como aproveitamento das águas oriundas de vazamentos dos bebedouros e banho para a lavagem do pátio, cozinha, banheiros e irrigação, conhecimento também corroborado por Lisboa et al. (2011).

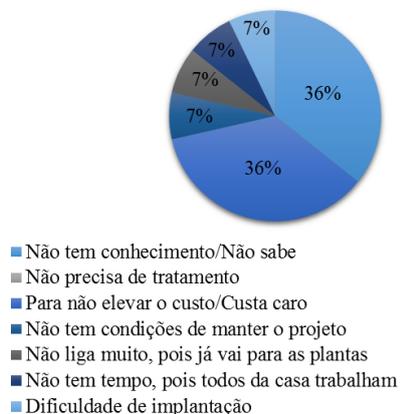
Autores como Hartley (2006), Lazarova et al. (2013) e Ormerod & Scott (2013), mencionam a compreensão pública como um "fator chave" no sucesso, ou não, dos esquemas de reúso, uma vez que apresenta-se como uma "barreira primária" para o sucesso de implementação de projetos de reutilização de água, atuando como um desafio maior até que o próprio andamento técnico, devido a asserções ligadas a falhas ou abandonos de projetos decorrentes de respostas públicas negativas (Khan & Gerrard, 2006), fator que repercute em um carecimento contínuo para com o desenvolvimento de pesquisas em campo.

Diante disto, é preciso tornar as pesquisas envolvendo o reúso da água, ainda, mais constantes, a fim de que se possa aperfeiçoar as técnicas de tratamento, aplicação e manejo de águas residuárias (Batista et al., 2014), para que esta possa se tornar uma prática cada vez mais viável, conhecida e, conseqüentemente, utilizada pela maioria.

No que se refere a realização, ou não, de algum tipo de tratamento da água cinza produzida nas residências, 68% dos moradores entrevistados responderam que não. Os 32% efetivadores de deste processo, dividiram-se na utilização de filtros e tanques, com 63 e 37%, respectivamente. Na região semiárida, estudos vêm sendo desenvolvidos envolvendo o monitoramento de sistemas para tratamento de águas residuárias domésticas visando o seu uso em atividades agrícolas e florestais, a partir de tecnologias simples e de baixo custo, tais como tanque séptico, filtro anaeróbio de fluxo ascendente e reator ultravioleta artificial (Feitosa, 2016).

Dentre os motivos apresentados para a não efetivação desta prática, mencionaram o fato de não ter conhecimento ou não saber e, a questão econômica, mencionando a não elevação dos custos que representaram, ambos, 36% e os demais motivos, não possuir tempo e condições de mater o projeto, dificuldade de implantação e não dar muita importância, uma vez que a água já é direcionada as plantas, com percentuais em torno dos 7%, respectivamente (Figura 8).

**Figura 8.** Motivos pelos quais não se é efetivado o tratamento da água cinza gerada.



**Fonte:** Acervo pessoal (2018).

A prática do reúso da água, comumente, oferece benefícios associados a redução de impactos ambientais; garantia de fornecimento à espaços públicos e rega de jardins e; benefícios econômicos regionais pelo fornecimento as culturas e obras de construção, cuja ligação, para todos os benefícios citados, atrela-se a redução da pressão sobre o uso de águas de abastecimento (Hernández-Sancho et al., 2015).

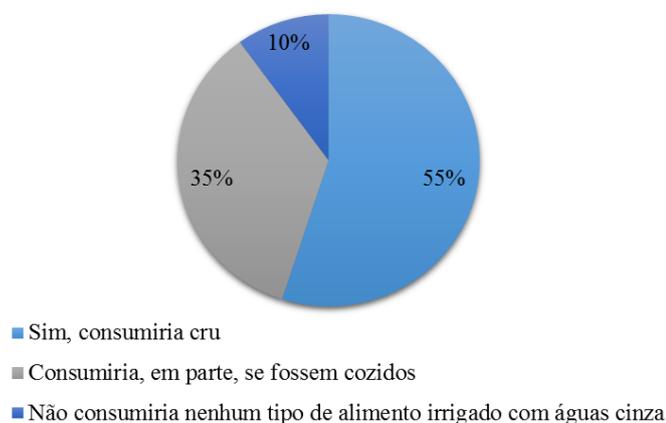
Morais et al. (2016), detectaram respostas tangentes a reutilização da água em atividades como irrigação de capim elefante para alimentação animal da comunidade. Já no referente à percepção destes quanto à qualidade dos experimentos irrigados com a água tratada do esgoto, todos relataram a presença de boas a excelentes características.

Batista et al. (2014), mencionaram, ainda, resultados positivos para com o reúso das águas cinza (oriundas de pias e do banho) para usos não diretos, bem como nas descargas sanitárias, mostrando entendimento acerca do potencial desta nas operações do cotidiano domiciliar individual sanitário e coletivo. Apresentaram-se, também, percepções negativas, justificadas por ideologias referentes a possíveis riscos à saúde, mesmo depois de apresentadas e discutidas estratégias bem sucedidas e isentas de perigo à saúde e a ambiência.

#### 4.3.2 Consumo dos alimentos irrigados com a água cinza produzida

No referente ao uso de águas cinza na irrigação poder, ou não, contaminar os alimentos e causar doenças, 70% dos entrevistados responderam que não, afirmando, 55% deles, que consumiriam os alimentos irrigados com este efluente. Os demais dividiram-se em respostas como consumiriam, em parte, caso fossem cozidos (35%) e não ingeririam nenhum tipo de alimento na condição imposta (10%), conforme apresentado na Figura 9.

**Figura 9.** Consumo de alimentos irrigados com a água cinza gerada.

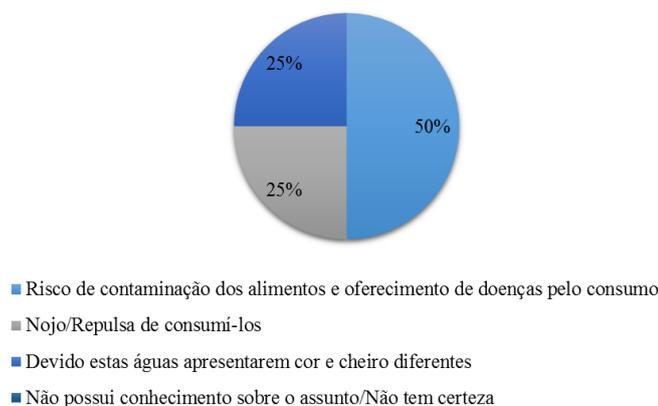


**Fonte:** Acervo pessoal (2018).

Os motivos apresentados pelos mesmos para a não efetivação do consumo, voltaram-se a apresentação de riscos de contaminação dos alimentos e oferecimento de doenças, compreendendo 50% do total, nojo ou repulsa e, devido a água utilizada apresentar odor e cor diferenciada, ambos com 25% do percentual obtido (Figura 10).

A oferta de água cinza tem se tornado uma eficiente alternativa no combate a escassez, cujo tratamento promove positividade em relação ao avanço ambiental e saúde pública, devido à minimização de problemas tangentes a degradação ambiental e contaminação de alimentos, propiciando, assim, o crescimento dos quintais na geração de alimentos para consumo e de renda nos agroecossistemas. Para isso, a implantação, adequação e monitoramento de projetos, como o Bioágua Familiar, por exemplo, junto a famílias agricultoras do território do Sertão do Apodi/RN, tem atuado como atividade de potencial importância para a produção de alimentos de consumo familiar no semiárido (Bioágua Familiar, 2012).

**Figura 10.** Motivos apresentados para o não consumo de alimentos irrigados com água cinza.



**Fonte:** Acervo pessoal (2018).

De acordo com Friedler & Lahav (2006), o grau de aceitação do reúso da água no que tange as finalidades para irrigação, irá variar de acordo com a cultura, dependendo do tipo de consumo a que o produto irrigado será direcionado, ou seja, ao consumo de alimentos crus ou cozidos, bem como ao processamento (lavagem, descamação e outros) do alimento antes do consumo.

Os riscos inerentes ao reúso de águas, sejam elas residuais ou pluviais, apresentam-se devido a fatores como: não potabilidade, ocasionando risco de segurança em caso de ingestão; financeiro para utilitários, em caso do não uso; rejeição, devido a suas características; ambientais, através da inicialização, mau manejada, ou interrompimento da prática (Toze, 2006; Dolnicar & Schäfer, 2009; Luthy et al., 2015).

Schaer-Barbosa (2014), mencionaram estes riscos percebidos a partir de dois grupos, os que veem relevância nos riscos à saúde, como também os fatores subjetivos e culturais que podem levar à rejeição do reúso. Entretanto, o que a literatura tem demonstrado é que os riscos à saúde são considerados contornáveis, dependendo do nível de conhecimento da população, treinamento técnico e manejo adequado do reúso de água. Os fatores subjetivos e culturais dependem, também, da correta abordagem da população acerca do reúso, bem como da elucidação dos processos, benefícios e riscos envolvidos nessa prática.

Batista et al. (2014), avaliaram a percepção socioambiental de moradores condominiais da cidade de Campina Grande/PB acerca do reúso das águas residuárias, e observaram baixa aceitabilidade para com as questões de ordem econômica e ideológica. Porém, outros participantes se indispuseram a reutilizar essas águas em seus apartamentos e

áreas coletivas, devido desconhecimento e preconceitos sobre a aplicabilidade dos resíduos pós-tratados.

O impedimento para com a aquisição da prática e dos produtos originados a partir dela, normalmente estão ligados a fatores como crença, preconceitos, falta de informação, medo e desconfiança, justificados, na maioria das vezes, pelo mau gerenciamento ou inexistência de sistemas de saneamento, estudos epidemiológicos, falta de convergência de interesses e, conseqüentemente, de implantação de projetos, fator este que diminui a aquisição de dados necessários ao fornecimento de maior credibilidade ao projeto, dificultando a percepção para com a qualidade dos serviços e produtos resultantes do processo (Salgot, 2008; Schaer-Barbosa et al., 2014).

Dentre as principais vantagens de se utilizar as águas cinza para a irrigação de culturas anunciadas pelos moradores entrevistados, tiveram-se a economia financeira, com 41%, repercutindo em menores gastos com água e custos em geral; sustentabilidade ambiental, com 32%, mostrando uma maior preocupação destes para com o ambiente e; fertirrigação, com 27%, denotando em um prévio conhecimento dos mesmos para com a carga nutricional presente neste efluente (Figura 10).

**Figura 11.** Vantagens de se irrigar com água cinza.



**Fonte:** Acervo pessoal (2018).

Mesmo apesar do grande avanço tecnológico, o descarte inadequado de efluentes industriais, principalmente os do ramo alimentício, responsável pelo consumo e geração de grandes volumes, tem se mostrado como um fator atrelado ao desperdício e perda econômica, uma vez que este, se reutilizado como componente de uma produção mais limpa, pode

melhorar a qualidade da água e a eficiência energética, gerando benefícios ambientais e econômicos (Incera et al., 2017).

A água cinza detém de grande potencial para reúso em aplicações não potáveis como irrigação e limpeza, devido a seu baixo potencial poluidor, com características que variam de acordo com a qualidade da água da fonte e atividades domésticas, sendo sua caracterização essencial para o conhecimento do conteúdo, definição do melhor tratamento a ser aplicado e a finalidade a ser dada ao reúso (Leal et al., 2011).

Frente a isto, são vários os benefícios da água de reúso para agricultura, podendo-se mencionar: a possibilidade de substituição parcial de fertilizantes químicos, diminuição do impacto ambiental em função da redução da contaminação dos mananciais hídricos, aumento significativo na produção, economia da quantidade de água tratada direcionada para a irrigação e conseqüente aumento desta para o abastecimento público. Nesse sentido, o reúso de água deve ser considerado como parte de uma atividade mais abrangente de gestão integrada atrelada ao seu uso racional e eficiente, compreendendo o controle de perdas e desperdícios, bem como a minimização da produção de efluentes e do consumo de água (Bernardi, 2003; Batista et al., 2012a; Batista et al., 2013a; Ferreira et al., 2014).

Por fim, buscando-se obter maiores informações sobre a opinião dos moradores do Projeto de Assentamento Monte Alegre I, no município de Upanema/RN, acerca do porquê julgavam importante reaproveitar as águas cinza, respostas do tipo é importante reaproveitar, geração de economia de água, minimização de problemas relacionados ao mau cheiro, lameiro e mosquitos, bem como combate a escassez e excelente alternativa para a irrigação, apresentaram-se com percentuais de 32, 20, 12, e 10%, respectivamente, enquanto que outros 5% alegaram ser uma atividade que ajudaria o meio ambiente e preferiram não contribuir devido não terem experiência no assunto. Fatores como fornecer nutrientes para as plantas e melhorar a saúde, foram mencionados por 3% dos entrevistados (Figura 12).

**Figura 12.** Opiniões sobre a importância de se reaproveitar a água cinza.



**Fonte:** Acervo pessoal (2018).

Morais et al. (2016), estudaram os aspectos socioeconômicos e ambientais do reúso de águas residuárias em uma comunidade rural localizada no município de Apodi/RN e, verificaram respostas positivas acerca das mudanças percebidas após a implementação do saneamento básico no assentamento, do tipo: houve diminuição de insetos e doenças, ausência do esgoto a céu aberto escorrendo água no meio da rua, eliminação do mau cheiro, melhorias na paisagem da comunidade, ausência da fossa séptica e o reaproveitamento da água do esgoto.

Desta forma, tem-se no reúso planejado de águas residuárias domésticas uma medida capaz de atenuar os problemas de escassez hídrica nas regiões áridas e semiáridas, onde a disponibilidade hídrica é reduzida, visando sua destinação, desde que atendente aos padrões legislativos de reúso, para finalidades agrícolas, construções prediais, lavagem de áreas públicas, etc., obtendo, assim, benefícios econômicos, ambientais e sociais, desde que efetivadas ações conjuntas entre escolas, poder público e sociedade, atuantes em prol da construção de maior compromisso e comportamento ético, incitando práticas cotidianas pautadas na educação ambiental (Morais et al., 2016).

Todavia para que este processo de aquiescência se torne cada vez mais incidente, Smith et al. (2018), sugere que seja realizado o repasse de uma visão pautada não na necessidade de reutilização em prol das resoluções dos problemas de escassez hídrica vivenciados em uma dada região, mas sim, em uma consciência fundamentada nesta prática como uma atividade normal a ser realizada como outra rotineira qualquer.

## 5 CONCLUSÕES

O sistema compacto de tratamento apresentou eficiência na remoção da maioria das variáveis estudadas, atendendo aos padrões internacionais para reúso agrícola.

A desinfecção de *Escherichia coli* pode ser melhorada com o aumento na remoção da turbidez e/ou da dose de radiação ultravioleta artificial para atender aos padrões nacionais de reúso da água para fins agrícolas.

A percepção socioambiental dos moradores do Projeto de Assentamento Monte Alegre I, mostrou-se de forma positiva através da apresentação de seu senso comum acerca das formas e finalidades dadas ao reúso, em alguns casos realizado sem tratamento, cujas vantagens citadas denotaram aspectos envolvendo economia e sustentabilidade.

Quando ligado ao consumo de alimentos irrigados com água cinza, a maioria dos entrevistados demonstraram boa aceitação, estando a divergência de opinião ligada aos riscos de contaminação e características do efluente.

Se faz necessária maior divulgação quanto aos processos, vantagens e benefícios oferecidos pela prática do reúso, para possibilitar uma melhor percepção e consequente aceitação populacional para com sua aquisição.

## REFERÊNCIAS

- Agência Nacional das Águas - ANA. A Evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil. Brasília: ANA, 2002. 68 p.
- Agência Nacional das Águas - ANA. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe 2014. Encarte especial sobre a crise hídrica. Brasília: ANA, 2015. 31 p.
- Almeida Neto, O. B.; Matos, A. T.; Abrahão, W. A. P.; Costa, L. M.; Duarte, A. Influência da qualidade da água de irrigação na dispersão da argila de Latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 1571-1581, 2009.
- Almeida, O. A. Qualidade da água de irrigação. 1 ed. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. 227p.
- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M.; Sparovek, G. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, p. 711-728, 2013.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 13.969. Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997, 60p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 7229. Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993. 15p.
- Ayers, R. S.; Westcot, D. W. A qualidade da água na agricultura. Traduzida por Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F.; Damaceno, F. A. V. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p. (Estudos FAO 29, 1999).
- Baggett, S., Jeffrey, P., Jefferson, B. Risk perception in participatory planning for water reuse. *Desalination*, v. 187, p.149-158, 2006.
- Batista, R. O.; Sartori, M. A.; Soares, A. A.; Moura, F. N.; Costa, P. M. R. Potencial da remoção de poluentes bioquímicos em biofiltros operando com esgoto doméstico. *Revista Ambiente & Água*, v. 6, p.152-164, 2011.
- Batista, R. O.; Gomes, S. L. M.; Silva, J. B. A.; Costa, M. S.; Costa, A. K. Uso da radiação ultravioleta no tratamento de esgoto doméstico para fertirrigação agrícola por gotejamento. *Global Science and Technology*, v. 5, p.23-35, 2012a.
- Batista, R. O.; Barreto, H. B. F.; Alves, S. M. C.; Santos, W. O.; Freire, F. G. C. Remoção de nitrato e condutividade elétrica em biofiltros operando com esgoto doméstico primário. *Global Science and Technology*, v. 5, p.59-69, 2012b.
- Batista, R.O.; Santos, E. B. S.; Silva, J. B. A.; Costa, M. S.; Santos, D. B. Efeito da radiação ultravioleta artificial na desinfecção de microrganismos em lâminas de esgoto doméstico. *Enciclopédia Biosfera*, v. 9, p.122-134, 2013a.

- Batista, R. O.; Soares, A. A.; Santos, D. B.; Bezerra, J. M.; Oliveira, A. F. M. Remoção de sólidos suspensos e totais em biofiltros operando com esgoto doméstico primário para reuso na agricultura. *Revista Ceres, Viçosa*, v. 60, p.007-015, 2013b.
- Batista, F. G. A.; Queiroz, F. R. P.; Oliveira, D. S. Percepção socioambiental do reuso das águas residuárias em condomínios verticais da cidade de Campina Grande – PB. *Holos*, v. 6, 2014.
- Bernardi, C. C. Reuso de água para irrigação. Brasília: ISAE - FGV, 2003. 63p. Monografia.
- Bioágua Familiar: Reuso de água cinza para produção de alimentos no Semiárido. Ed. 22. Recife: Projeto Dom Helder Camara, 2012. 13p.
- Bilotta, P.; Daniel, L. A. Utilização de lâmpadas germicidas na desinfecção de esgoto sanitário. *Revista Ambiente & Água*, v. 7, p. 120-129, 2012.
- Bitton, G. *Wastewater microbiology*. New York: John Wiley & Sons, 1994. 280p.
- Brasil. Lei Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, 1981. 47p.
- Brasil. Resolução CONAMA Nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005. 27p.
- Brasil. Lei Nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. Brasília, 2007.
- Brasil. Resolução CONAMA Nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357/2005. Brasília, 2011. 89p.
- Brasil. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2014. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2016. 212p.
- Carvalho, N. L.; Hentz, P.; Silva, J. M.; Barcellos, A. L. Reutilização de águas residuárias. *Revista Monografias Ambientais*, v. 14, p. 3164-3171, 2014.
- Ceará. Resolução COEMA Nº 2 de 2 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as Portarias SEMACE nº 154, de 22 de julho de 2002 e nº 111, de 05 de abril de 2011, e altera a Portaria SEMACE nº 151, de 21 de fevereiro de 2017. *Diário Oficial do Estado do Ceará*, Fortaleza, 2002.
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. Relatório de qualidade de águas subterrâneas no Estado de São Paulo 2004-2006. São Paulo: CETESB, 2007. 199p.

- Chanakya, H. N.; Khuntia, H. K. Treatment of gray water using anaerobic biofilms created on synthetic and natural fibers. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 92, p. 186-192, 2014.
- Colares, C. J. G.; Sandri, D. Eficiência do tratamento de esgoto com tanques sépticos seguidos de leitos cultivados com diferentes meios de suporte. *Revista Ambiente & Água*, v. 8, p. 172-185, 2013.
- Costa, W. O.; Ohnuma Júnior, A. A.; Sousa, J. G. P. Percepção do uso da água em instituição de ensino: Estudo de caso no colégio estadual Santo Antônio, no distrito de Xerém, Duque de Caxias (RJ). *Revista brasileira de educação ambiental*, v.11, p. 139-150, 2016.
- De La Cruz, N.; Giménez, J.; Esplugas, S.; Grandjean, D.; Alencastro, L. F.; Pulgarín, C. Degradation of 32 emergent contaminants by UV and neutral photo-fenton in domestic wastewater effluent previously treated by activated sludge. *Water Research*, v. 46, p. 1947-1957, 2012.
- Dolnicar, S.; Schäfer, A. I. Desalinated versus recycled water: public perceptions and profiles of the accepters. *Journal of Environmental Management*, v. 90, p. 888-900, 2009.
- Dorigon, E. B.; Tessaro, P. Caracterização dos efluentes da lavagem automotiva em postos de atividade exclusiva na região AMAI – Oeste catarinense. *Unoesc & Ciência*, v. 1, p. 13-22, 2010.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Manual de análises químicas de solo, plantas e fertilizantes. Brasília: EMBRAPA, 2009. 20p.
- Eriksson, E.; Auffarth, K.; Henze, M.; Ledin, A. Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, v.4, p. 85-104, 2002.
- Erthal, V. J. T.; Ferreira, P. A.; Pereira, O. G.; Matos, A. T. Características fisiológicas, nutricionais e rendimento de forrageiras fertirrigadas com água residuária de bovinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, p. 458-466, 2010.
- Feigin, A.; Ravina, I.; Shalhevet, J. Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 224p.
- Feitosa, A. P. Avaliação de sistema de tratamento da água cinza e reúso da água no semiárido brasileiro. Mossoró: UFERSA, 2016. 94p. Tese Doutorado.
- Feitosa, A. P.; Lopes, H. S. S.; Batista, R. O.; Costa, M. S.; Moura, F. N. Avaliação de sistema para tratamento e aproveitamento de água cinza em áreas rurais do semiárido brasileiro. *Engenharia Ambiental*, v. 8, p. 196-206, 2011.
- Ferguson, B. C.; Brown, R. R.; Frantzeskaki, N. The enabling institutional context for integrated water management: lessons from Melbourne. *Water Research*, v. 47, p. 7300-7314, 2013.

- Ferreira, A. C.; Silva, V. F.; Lima, V. L. A.; Baracuhy, J. G. V. Tratamento de água de lavanderia para produção agrícola no semiárido. In: Workshop Internacional Sobre Água no Semiárido Brasileiro, 1, 2014, Campina Grande, Anais... Campina Grande: UEPB, 2014.
- Friedler, E.; Lahav, O. Centralised urban wastewater reuse: what is the public attitude? *Water Science Technology*, v. 54, p. 423-430, 2006.
- Fountoulakis, M. S.; Markakis, N.; Petousi, I.; Manios, T. Single house on-site grey water treatment using a submerged membrane bioreactor for toilet flushing. *Science of the Total Environment*, v. 551, p. 706-711, 2016.
- Furlong, C.; Silva, S.; Guthrie, L. Planning scales and approval processes for IUWM infrastructure. *Water Policy*, v. 18, p. 783-802, 2016.
- Gerrity, D.; Pecson, B.; Trussell, R. S.; Trussell, R. R. Potable reuse treatment trains throughout the world. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, v. 62, p. 321-338, 2013.
- Google. Google Earth. Version 7.3.0.3832. 2017. Editora: Google Inc. Mossoró/RN. Disponível em: <<http://www.baixaki.com.br/download/google-earth.htm>>. Acesso em: 23 Fev. 2018.
- Google. Google SketchUp Free. Versão 8.0.16846. 2012. Editora: Google Inc. Mossoró/RN. Disponível em: <<http://www.baixaki.com.br/mac/download/google-sketchup-free.htm>>. Acesso em: 23 Fev. 2018.
- Gross, A.; Shmueli, O.; Ronen, Z.; Raveh, E. Recycled vertical flow constructed wetland (RVFCW) a novel method of recycling grey water for irrigation in small communities and households. *Chemosphere*, v. 66, p. 916-923, 2007.
- Guo, M.; Hu, H.; Liu, W. Preliminary investigation on safety of post-UV disinfection of wastewater: bio-stability in laboratory-scale simulated reuse water pipelines. *Desalination*, v. 239, p. 22-28, 2009.
- Halalsheh, M.; Dalahmeh, S.; Sayed, M.; Suleiman, W.; Shareef, M.; Mansour, M.; Safi, M. Grey water characteristics and treatment options for rural areas in Jordan. *Bioresource Technology*, v. 99, p. 6635-6641, 2008.
- Hallmich, C.; Gehr, R. Effect of pre- and post-UV disinfection conditions on photoreactivation of fecal coliforms in wastewater effluents. *Water Research*, v 44, p.2885-2893, 2010.
- Hartley, T. W. Public perception and participation in water reuse. *Desalination*. v. 187, p. 115-126, 2006.
- Hernández-Sancho, F.; Molinos-Senante, M.; Sala-Garrido, R. Pricing for reclaimed water in Valencia, Spain: externalities and cost recovery. In: *Water Pricing Experiences and Innovations*. Springer International Publishing, v. 9, p. 431-442, 2015.

- Hespanhol, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. *Estudos Avançados*, v. 22, p.131-158, 2008.
- Hurlimann, A.; Dolnicar, S. Public acceptance and perceptions of alternative water sources: a comparative study in nine locations. *Journal International Journal of Water Resources Development*, v. 32, p. 650-673, 2016.
- Incera, A. C.; Avelino, A. F. T.; Solís, A. F. Gray water and environmental externalities: International patterns of water pollution through a structural decomposition analysis. *Journal of Cleaner Production*, v. 165, p. 1174-1187, 2017.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cadastro de municípios localizados na região semiárida do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. 28p.
- Jacobi, P. R.; Grandisoli, E. Água e sustentabilidade: desafios, perspectivas e soluções. 1. ed. São Paulo: IEE-USP e Reconnectta, 2017. 110p.
- James, E.; Breen, P.; Browne, D. Stormwater reuse to mitigate impacts from increased runoff frequency and volume. In: Barton, 9th International Water Sensitive Urban Design Conference. Barton, ACT: Engineers Australia, p. 223-232, 2015.
- Jordão, E. P. O Tratamento de esgotos e a crise hídrica no Brasil. Rio de Janeiro: ABES, 2015. 15 p.
- Karvelas, M.; Katsoyiannis, A.; Samara, C. Occurrence and fate of heavy metals in the wastewater treatment process. *Chemosphere*, v. 53, p. 1201-1210, 2003.
- Kehoe, S. C.; Joyce, T. M.; Ibrahim, P.; Gillespie, J. B.; Shahar, R. A.; McGuigan, K. G. Effect of agitation, turbidity, aluminium foil reflectors and container volume on the inactivation efficiency of batch-process solar disinfectors. *Water Research*, v. 35, p. 1061-1065, 2001.
- Khan, S. J.; Gerrard, L. E. Stakeholder communications for successful water reuse operations. *Desalination*, v. 187, p. 191-202, 2006.
- Lazarova, V.; Asano, T.; Bahri, A.; Anderson, J. Milestones in Water Reuse: the Best Success Stories. 1. ed. London: IWA Publishing, 2013, 375p.
- Leal, L. H.; Temmink, H.; Zeeman, G.; Buisman, C. J. N. Characterization and anaerobic biodegradability of grey water. *Desalination*, v. 270, p. 111-115, 2011.
- Lee, H.; Tan, T. P. Singapore's experience with reclaimed water: NEWater. *International Journal of Water Resources Development*, v. 32, p. 611-621, 2016.
- Leoneti, A. B.; Prado, E. L.; Oliveira, S. V. W. B. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. *Revista de Administração Pública*, v. 45, p. 331-348, 2011.
- Lins, G. A. Impactos ambientais em estações de tratamento de esgotos (ETEs). Rio de Janeiro: UFRJ, 2010. 285p. Dissertação de Mestrado.

- Lisboa, A. D.; Lisboa, F. M.; Knoechelmann, C. M.; Oliveira, G. R. F. Percepção de alunos do ensino fundamental da escola Francisco de Souza Ramos, quanto à preservação e economia de água. *Agroecossistemas*, v.3, p. 73-77, 2011.
- Lofrano, G.; Brown, J. Wastewater management through the ages: A history of mankind. *Science of the Total Environment*, v. 408, p. 5254-5264, 2010.
- Luthy, R. G.; Sedlak, D. L.; Plumlee, M. H.; Austin, D.; Resh, V. H. Wastewater-effluent-dominated streams as ecosystemmanagement tools in a drier climate. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 13, p. 477-485, 2015.
- Medeiros, S. S.; Salcedo, I. H.; Santos, D. B.; Batista, R. O.; Santos Júnior, J. A.; Lima, R. C. C.; Marin, A. M. P. Esgotamento sanitário: panorama para o semiárido brasileiro. Campina Grande: INSA, 2014. 63p.
- Morais, M. A.; Silva, G. F.; Sizenando Filho, F. A.; Santos, A. A.; Ismael, L. L. Aspectos socioeconômicos e ambientais do reuso de águas residuárias em uma comunidade rural localizada no município de Apodi-RN. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.11, p. 142-147, 2016.
- Moura, F. N.; Batista, R. O.; Silva, J. B. A.; Feitosa, A. P.; Costa, M. S. Desempenho de sistema para tratamento e aproveitamento de esgoto doméstico em áreas rurais do semiárido brasileiro. *Engenharia Ambiental*, v. 8, p. 264-276, 2011.
- Nolde, E. Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-story buildings – over ten years experience in Berlin. *Urban Water*, v. 1, p. 275-284, 1999.
- Nunes, J. A. Tratamento biológico de águas residuárias: tratamento de água. 2. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2010. 265 p.
- Olivo, A. M.; Ishiki, H. M. Brasil frente à escassez de água. *Colloquium Humanarum*, v. 11, p.41-48, 2014.
- Ormerod, K. J.; Scott, C. A.; Drinking wastewater: public trust in potable reuse. *Science Technology Human*, v. 38, p. 351-373, 2013.
- Ottoson, J.; Stenström, T. A. Faecal contamination of greywater and associated microbial risks. *Water Research*, v. 37, p. 645-655, 2003.
- Pinheiro, I. F. S.; LIMA, V. L.A.; FREIRE, E. M. X.; MELO, A. A. A percepção ambiental de uma comunidade da caatinga sobre o turismo: visões e perspectivas para o planejamento turístico com vistas à sustentabilidade. *Sociedade & Natureza*, v. 23, p. 467-482, 2011.
- Rice, E. W.; Baird, R. B.; Clesceri, A. D. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22. ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 2012. 1496p.
- Rodrigues, M. B.; Vilas Boas, M. A.; Sampaio, S. C.; Reis, C. F.; Gomes, S. D. Efeitos de fertirrigações com águas residuárias de laticínio e frigorífico no solo e frigorífico no solo e na produtividade da alface. *Engenharia Ambiental*, v. 8, p. 173-182, 2011.

- Salgot, M. Water reclamation, recycling and reuse: implementation issues. *Desalination*, v. 218, 2008. 190-197 p.
- Santos, H. F. Critérios de qualidade da água para reúso. *Revista DAE*, v. 174, p. 10-18, 1993.
- Schaer-Barbosa, M.; Santos, M. E. P.; Medeiros, Y. D. P. Viabilidade do reúso de água como elemento mitigador dos efeitos da seca no semiárido da Bahia. *Ambiente & Sociedade*, v. 17, p. 17-32, 2014.
- Sezerino, P. H.; Bento, A. P. Qualidade da água e controle de poluição. Florianópolis: UFSC, 2005. 109p.
- Smith, H. M.; Brouwer, S.; Jeffrey, P.; Frijns, J. Public responses to water reuse e Understanding the evidence. *Journal of Environmental Management*, v. 207, p. 43-50, 2018.
- SODIS. Solar water disinfection: a guide for the application of SODIS. Dübendorf: EAWAG/SANDEC Regula Meierhofer, 2002. 88p. (SANDEC Report nº. 06/2002).
- Torrico, A; Fuentes, I. Influencia de los parámetros físicos en la inactivación de coliformes termotolerantes por lá desinfección solar del agua y evaluación del potencial de sodis em Cochabamba y Bolivia. In: Alha, O. C. Desinfección solar del agua, de la investigación a la aplicación. Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental – Facultad de Ciencias y Tecnología, v.1, p. 45-55, 2005.
- Toze, S. Water reuse and health risksdreal vs. perceived. *Desalination*, v. 187, p. 41-51, 2006.
- UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. The united nations world water development report 4: managing water under uncertainty and risk. Paris: Un Waters Reports, 2012. 909p.
- United Nations World Water Assessment Programme - WWAP. The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World. UNESCO, Paris. 2015. 139p.
- US EPA - United States Environmental Protection Agency. Alternative disinfectants and oxidants guidance manual. Washington: USEPA, 1999. 346p.
- van der Bruggen, B. The global water recycling situation. In: Escobar, I.; Schafer, A. Sustainable water for the future: water recycling versus desalination. Sustainability Science and Engineering. Amsterdam: Elsevier, v. 2, p. 41-62, 2010.
- Vasco, A. P.; Zakrzewski, S. B. B. O estado da arte das pesquisas sobre percepção ambiental no Brasil. *Perspectiva*, v. 34, p. 17-28, 2010.
- Vieira, A. R. Cadernos de educação ambiental água para vida, água para todos: livro das águas. Brasília: WWF-Brasil, 2006. 72p.

- von Sperling, M. Coliformes e pH – médias aritméticas, médias geométricas e medianas. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 21, 2001, João Pessoa, Anais... João Pessoa: ABES, 2001. CDRom.
- von Sperling, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3.ed. Belo Horizonte: UFMG, 2011. 452p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 1).
- Wang, X. C.; Zhang, C.; Ma, X.; Luo, L. A new paradigm of wastewater reuse and safety control. China: SpringerBriefs in Water Science and Technology, 2016. 98p.
- Winward, G. P.; Avery, L. M.; Frazer-Williams, M. P.; Jeffrey, P.; Stephenson, T.; Jefferson, B. A study of the microbial quality of grey water and an evaluation of treatment technologies for reuse. Ecological engineering, v. 32, n. 2, p. 187-197, 2008.
- World Health Organization - WHO. Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater: Policy and regulatory aspects. Genebra: WHO, v. 1, 2006a, 100p.
- World Health Organization - WHO. Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater: Wastewater use in agriculture. Genebra: WHO, v. 2, 2006b, 196p.
- Zhao, Y. J.; He, J. C.; Chen, Q.; He, J.; Hou, H. Q.; Zheng, Z. Evaluation of 206nm UV radiation for degrading organometallics in wastewater. Chemical Engineering Journal, v. 167, p. 22-27, 2011.

## ANEXO A – QUADROS PARA DIMENSIONAMENTO

**Quadro 1.** Contribuição diária de esgoto (C) e de lodo fresco (Lf) por tipo de prédio e de ocupante.

Prédio	Unidade	Contribuição de esgotos (C) e lodo fresco (Lf)	
1. Ocupantes permanentes:			
- residência			
padrão alto;	pessoa	160	1
padrão médio;	pessoa	130	1
padrão baixo.	pessoa	100	1
- hotel (exceto lavanderia e cozinha)	pessoa	100	1
- alojamento provisório	pessoa	80	1
2. Ocupantes temporários:			
- fábrica em geral	pessoa	70	0,30
- escritório	pessoa	50	0,20
- edifícios públicos ou comerciais	pessoa	50	0,20
- escolas (externatos) e locais de longa permanência	pessoa	50	0,20
- bares	pessoa	6	0,10
- restaurantes e similares	refeição	25	0,10
- cinemas, teatros e locais de curta permanência	lugar	2	0,02
- sanitários públicos	bacia sanitária	480	4,0

Fonte: NBR 7229 (ABNT, 1993).

**Quadro 2.** Período de detenção dos despejos, por faixa de contribuição diária.

Contribuição diária (L)	Tempo de detenção	
	Dias	Horas
Até 1500	1,00	24
De 1501 a 3000	0,92	22
De 3001 a 4500	0,83	20
De 4501 a 6000	0,75	18
De 6001 a 7500	0,67	16
De 7501 a 9000	0,58	14
Mais que 9000	0,50	12

Fonte: NBR 7229 (ABNT, 1993).

**Quadro 3.** Profundidade útil mínima e máxima, por faixa de volume útil.

<b>Volume útil (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Profundidade útil mínima (m)</b>	<b>Profundidade útil máxima (m)</b>
Até 6,0	1,20	2,20
De 6,0 a 10,0	1,50	2,50
Mais que 10,0	1,80	2,80

Fonte: NBR 7229 (ABNT, 1993).

**Quadro 4.** Taxa de acumulação total de lodo (K), em dias, por intervalo entre limpezas e temperatura do mês mais frio.

<b>Intervalo entre limpezas (anos)</b>	<b>Valores de K por faixa de temperatura ambiente (t), em °C</b>		
	<b>t ≤ 10</b>	<b>10 ≤ t ≤ 20</b>	<b>t &gt; 20</b>
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137
4	214	185	177
5	254	225	217

Fonte: NBR 7229 (ABNT, 1993).

## APÊNDICE A – ROTEIRO DE ENTREVISTA

### 1-Perfil do entrevistado:

#### 1.1 Idade

0-20 anos       20-40anos       40-60 anos

Mais de 60 anos

1.1 Profissão: \_\_\_\_\_

### 2-Quanto ao conhecimento da prática:

2.1 Você conhece ou já ouviu falar em alguma maneira de aproveitar água de esgoto (reúso)?

Sim       Não

Caso tenha respondido **sim**, qual? \_\_\_\_\_

2.2 Você já ouviu falar em estação de tratamento de efluentes (ETE)?

Sim       Não

2.3 Em sua casa, você aproveita as águas da lavanderias, pias e chuveiros?

Sim       Não

2.4 Se respondeu **sim**, o aproveitamento ocorre com qual finalidade?

(Pode marcar mais de uma opção)

Limpeza e arrumação da casa       Rega de jardim

Bacia sanitária       Irrigação de culturas

2.5 Você faz algum tratamento desta água?

Sim       Não

Caso tenha respondido **sim**, qual tratamento? \_\_\_\_\_

2.6 Caso **não** realize algum tratamento, explicar o porquê?

Não tem conhecimento/não sabe

Não precisa de tratamento

Para não elevar o custo/ custa caro

Outro: \_\_\_\_\_

### 3 - Quanto ao consumo de produtos irrigados com água de reúso/reaproveitamento:

3.1 Você acha que águas da lavanderia, pia e chuveiro, quando usadas nas plantas, podem contaminar (frutas e verduras) e causar doenças?

Sim       Não       Não tenho conhecimento sobre o assunto

3.2 Quanto aos alimentos irrigados com águas da lavanderia, pia e chuveiro, você:

**Sim**, consumiria alimentos crus regados com águas da lavanderia, pia e chuveiro.

( ) **Em parte**, consumiria os alimentos regados com águas da lavanderia, pia e chuveiro. Apenas se os alimentos fossem cozidos.

( ) **Não**, não consumiria nenhum tipo de alimento irrigado com águas da lavanderia, pia e chuveiro.

3.3 Caso sua resposta tenha sido “**NÃO consumiria nenhum tipo de alimento irrigado com águas da lavanderia, pia e chuveiro**”, explicar o motivo:

( ) Risco das águas da lavanderia, pia e chuveiro, ao serem utilizadas nas plantas, **contaminar os alimentos** e causar doenças a quem os consome.

( ) “Nojo”/Repulsa de consumir um alimento que foi irrigado com águas da lavanderia, pia e chuveiro.

( ) Pelo fato das águas da lavanderia, pia e chuveiro apresentarem contaminantes, cor e cheiro diferentes.

( ) Não tenho conhecimento sobre o assunto/não tenho certeza.

( ) Outro motivo. Qual? \_\_\_\_\_

3.4 Qual a principal vantagem em aproveitar essas águas nas plantas?

( ) Economia financeira/menor gasto com água e custos em geral.

( ) Sustentabilidade Ambiental/Preocupação com o meio ambiente.

( ) Fertirrigação/Estas águas contém nutrientes para as plantas.

*De acordo com sua experiência, o que você teria a dizer sobre o reaproveitamento das águas da lavanderia, pia e chuveiro.*

---

---

---

---

## APÊNDICE B – FOTOS DO EXPERIMENTO

**Figura 13.** Componentes do sistema de tratamento – Tanque de equalização (A) e Tanque séptico (B).



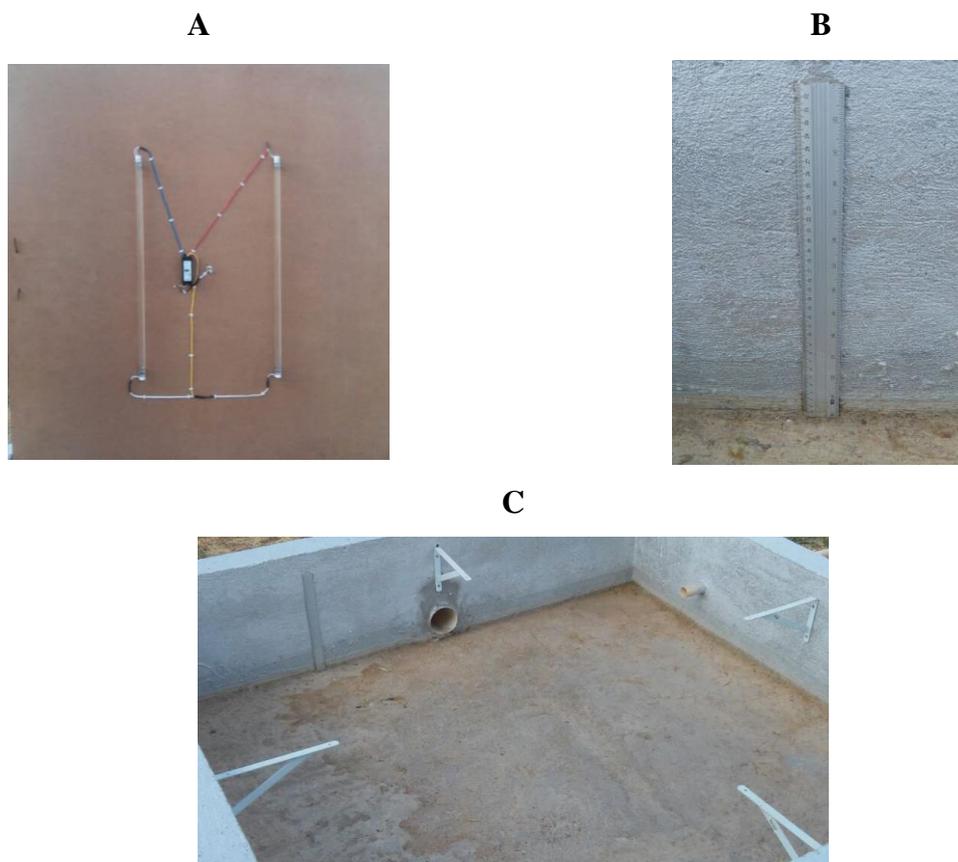
**Fonte:** Acervo pessoal (2018).

**Figura 14.** Componentes do sistema de tratamento – Filtro anaeróbio de fluxo ascendente (A) e Reator ultravioleta (B).



**Fonte:** Acervo pessoal (2018).

**Figura 15.** Componentes do reator ultravioleta – Suporte de madeira com lâmpadas UV (A), régua para medição da lâmina (B) e suportes para aparato de madeira (C).



**Fonte:** Acervo pessoal (2018).

**Figura 16.** Sistema compacto de tratamento e aproveitamento agrícola de água cinza, dimensionado para o semiárido potiguar – Sem (A) e com (B) a aplicação do tratamento com radiação UV.



**Fonte:** Acervo pessoal (2018).