



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS E TECNOLÓGICAS  
CURSO: ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

EMANOELA MAGNA DA CUNHA

**MONITORAMENTO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO E APROVEITAMENTO  
AGRÍCOLA DE ÁGUA CINZA EM ASSENTAMENTO RURAL**

MOSSORÓ-RN

2015

EMANOELA MAGNA DA CUNHA

**MONITORAMENTO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO E APROVEITAMENTO  
AGRÍCOLA DE ÁGUA CINZA EM ASSENTAMENTO RURAL**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, para obtenção do título de Engenheira Agrícola e Ambiental.

Orientador: Profº. D. Sc. Rafael Oliveira Batista – UFERSA.

MOSSORÓ-RN

2015

**O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade de seus autores**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)  
Setor de Informação e Referência**

C972m Cunha, Emanoela Magna da

Monitoramento de estação de tratamento e aproveitamento agrícola de água cinza em assentamento rural / Emanoela Magna da Cunha -- Mossoró, 2015.

55f.: il.

Orientador: Prof. D. Sc. Rafael Oliveira Batista

Monografia (Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Graduação.

1. Água residuária. 2. Estação de tratamento - água. 3. Reuso. 4. Água – aproveitamento agrícola. I. Título.

RN/UFERSA/BCOT/054-15

CDD: 628.162

Bibliotecária: Vanessa Christiane Alves de Souza Borba  
CRB-15/452

EMANOELA MAGNA DA CUNHA

**MONITORAMENTO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO E APROVEITAMENTO  
AGRÍCOLA DE ÁGUA CINZA EM ASSENTAMENTO RURAL**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – Ufersa, para obtenção do título de Engenheira Agrícola e Ambiental.

APROVADA EM: 30/01/2015

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. D. Sc. Rafael Oliveira Batista – Ufersa  
Presidente

---

M. Sc. Alex Pinheiro Feitosa  
Primeiro Membro

---

M. Sc. Fabrícia Gratyelli Bezerra Costa  
Segundo Membro

Dedico, com todo o meu amor, este trabalho aos meus avós maternos Dioclecio Tertuliano da Cunha (*In Memoriam*) e Joana Tertulino da Cunha (*In Memoriam*) e avós paternos Manoel Teodoro da Cunha (*In Memoriam*) e Expedita Maria da Cunha (*In Memoriam*), que mesmo não se fazendo presente fisicamente, irá está sempre comigo no meu pensamento e no meu coração.

Aos meus pais Manoel Teodoro da Cunha Filho e Maria Salete da Cunha por terem me concedido a vida e por estarem sempre presentes, me dando força, apoio e incentivo nos momentos mais difíceis da vida. E agora compartilhando comigo desse momento, considerado como uma grande vitória.

A eles a minha gratidão e o meu muito obrigada.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela sua infinita misericórdia, pelo seu amor, por está sempre ao meu lado me possibilitando força e coragem para persistir diante de tantos obstáculos, obrigada Senhor por tudo;

Aos meus pais, por serem o meu porto seguro, o meu refúgio, por acreditarem em mim e por sonharem junto comigo;

A todos os meus familiares, que mesmo indiretamente se mostraram dispostos a me ajudar no que fosse preciso para que eu pudesse chegar até aqui;

A segunda família que tive em Mossoró/RN, nas pessoas de José Alves e Luzinete, por todo carinho, atenção, compreensão, por tudo que fizeram por mim durante esses três anos, sou muito grata a todos;

Aos meus amigos, pela cumplicidade, pelo apoio e pelo compartilhamento dos mais diversos momentos vivenciados durante esses anos, especialmente Andrezza Grasielly Costa e Vanessa Tainara da Cunha que além de amigas foram irmãs;

Aos queridos professores, que além de transmitir conhecimentos foram verdadeiros amigos;

Ao meu orientador Prof<sup>o</sup>. D. Sc. Rafael Oliveira Batista, um exemplo de pessoa e de profissional, por ter se disponibilizado a me ajudar na realização desse trabalho, por toda a assistência dedicada, pelas palavras de incentivo e por ter acreditado no meu potencial;

Aos membros da banca de defesa, Alex Pinheiro Feitosa e Fabrícia Gratyelli Bezerra Costa por terem aceitado o convite e pela contribuição no meu trabalho científico;

A senhora Maria Alvani Pereira, por ceder parte de sua residência para o desenvolvimento em campo do meu trabalho;

A toda a equipe do Complexo de Laboratório de Solo, Água e Planta, na pessoa da Prof<sup>a</sup>. D. Sc. Jeane Cruz Portela, por todo o seu carinho, atenção e por ter me proporcionado muitas experiências e aprendizados que eu irei levar por toda a vida;

A toda equipe UFERSA;

E a todas as pessoas que me conhecem e torce pelo meu bem estar;

A todos, os meus sinceros agradecimentos.

“Eu segurei muitas coisas em minhas mãos, e eu perdi tudo; mas tudo que eu coloquei nas mãos de Deus eu ainda possuo”.

Martin Luther King

## RESUMO

O esgotamento sanitário inadequado promove situações de vulnerabilidade socioambiental, sobretudo em áreas ocupadas por segmentos sociais mais pobres, como áreas rurais, onde a contaminação dos recursos hídricos, afeta a saúde das populações. O presente trabalho objetivou monitorar uma estação de tratamento e aproveitamento agrícola de água cinza em área rural do semiárido com relação à qualidade do efluente tratado e ao desempenho hidráulico do sistema de irrigação por gotejamento. Para isso, montou-se um protótipo constituído de caixa de passagem, tanque séptico, filtro orgânico, reservatório e sistema de irrigação por gotejamento em uma residência do Assentamento Monte Alegre I em Upanema-RN. Ao longo do período experimental foram realizadas três avaliações da qualidade do efluente tratado, bem como do desempenho hidráulico do sistema de irrigação por meio da determinação da vazão média e dos coeficientes de variação da vazão (CVQ), de uniformidade de distribuição (CUD) e uniformidade estatístico (Us). Os resultados indicaram que a água cinza apresenta potencial de obstrução de gotejadores, onde as características pH, magnésio e bicarbonato apresentaram risco severo de entupimento; e a aplicação da água cinza tratada, durante 42 dias, propiciou ligeira redução nos valores de vazão, de CUD e Us, enquanto acarretou aumento no valor do CVQ, em função do entupimento parcial dos gotejadores.

**Palavras-chave:** Reuso. Água residuária. Desempenho.

## ABSTRACT

Inadequate sanitation promotes environmental vulnerabilities, especially in areas occupied by the poorest social groups, including rural areas where the contamination of water resources, affect the health of populations. This study aimed to monitor a treatment plant and agricultural use of gray water in rural areas of the semiarid region with the quality of the treated effluent and the hydraulic performance of the drip irrigation system. For this, was mounted a prototype consisting of passage box, septic tank, organic filter, reservoir and drip irrigation system in a residence of the Assentamento Monte Alegre I in Upanema-RN. During the experimental period there were three quality assessment of the treated effluent and the hydraulic performance of irrigation system through the determination of the average flow rate and coefficients of variation (CVQ), distribution uniformity (CUD) and statistical uniformity (Us). The results indicated that the gray water has drip obstruction potential, where the pH characteristics, magnesium and bicarbonate showed severe risk of clogging, and the application of gray water treated for 42 days led to a slight reduction in flow rates of CUD and Us, while not increase the value of the CVQ, due to the partial clogging of emitters.

**Keywords:** Reuse. Wastewater. Performance.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema de caixa de passagem .....	21
<b>Figura 2.</b> Esquema de tanque séptico .....	21
<b>Figura 3.</b> Esquema de filtro orgânico .....	22
<b>Figura 4.</b> Ilustração da caixa de passagem .....	27
<b>Figura 5.</b> Ilustração do tanque séptico .....	29
<b>Figura 6.</b> Ilustração do filtro orgânico .....	29
<b>Figura 7.</b> Ilustração do reservatório .....	30
<b>Figura 8.</b> Ilustração do canteiro .....	31
<b>Figura 9.</b> Comportamento da vazão média ( $Q$ ) dos gotejadores do sistema de irrigação por gotejamento que operou com água cinza tratada, ao longo do período de avaliação .....	38
<b>Figura 10.</b> Comportamento do Coeficiente de variação de vazão ( $CVQ$ ) do sistema de irrigação por gotejamento que operou com água cinza tratada, ao longo do período de avaliação .....	39
<b>Figura 11.</b> Comportamento do coeficiente de uniformidade de distribuição ( $CUD$ ) do sistema de irrigação por gotejamento que operou com água cinza tratada, ao longo do período de avaliação .....	40
<b>Figura 12.</b> Comportamento do coeficiente de uniformidade estatístico ( $Us$ ) do sistema de irrigação por gotejamento que operou com água cinza tratada, ao longo do período de avaliação .....	41

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Exemplos de reuso de água .....	25
<b>Tabela 2.</b> Gotejador utilizado nos ensaios experimentais, destacando o fabricante (F), o dispositivo de autocompensação (DA), a vazão nominal (Q), o coeficiente de vazão (k), expoente da vazão que caracteriza o regime de escoamento (x), a área de filtragem (A), o comprimento do labirinto (L), o coeficiente de variação de fabricação ( $CV_f$ ), a faixa de pressão recomendada (P) e o espaçamento entre emissores (EE) .....	30
<b>Tabela 3.</b> Valor médio e desvio padrão das características físico-químicas e microbiológicas da água cinza tratada coletada ao longo do período experimental .....	35
<b>Tabela 4.</b> Contribuição diária de esgoto (C) e de lodo fresco (Lf) por tipo de prédio e de ocupante .....	54
<b>Tabela 5.</b> Período de detenção dos despejos, por faixa de contribuição diária .....	54
<b>Tabela 6.</b> Profundidade útil mínima e máxima, por faixa de volume útil .....	55
<b>Tabela 7.</b> Taxa de acumulação total de lodo (K), em dias, por intervalo entre limpezas e temperatura do mês mais frio .....	55

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
1.1	OBJETIVOS .....	15
1.1.1	<b>Objetivo Geral</b> .....	15
1.1.2	<b>Objetivos Específicos</b> .....	15
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	16
2.1	A IMPORTÂNCIA DO ESGOTAMENTO SANITÁRIO .....	16
2.2	A IMPORTÂNCIA DAS ÁGUAS CINZA .....	17
2.3	POLUIÇÃO DA ÁGUA .....	18
2.4	OS IMPACTOS AMBIENTAIS DAS ÁGUAS CINZA .....	19
2.5	SISTEMAS DE TRATAMENTO PARA ÁGUAS CINZA .....	20
2.5.1	<b>Caixa de passagem</b> .....	20
2.5.2	<b>Tanque séptico</b> .....	21
2.5.3	<b>Filtro orgânico</b> .....	22
2.6	REUSO DE ÁGUA .....	23
2.7	DESEMPENHO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO COM ÁGUAS RESIDUÁRIAS .....	25
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	27
3.1	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL .....	27
3.2	CONSTRUÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO E APROVEITAMENTO AGRÍCOLA DE ÁGUA CINZA .....	27
3.3	MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA CINZA TRATADA PARA FINS DE IRRIGAÇÃO .....	31
3.4	MONITORAMENTO DO DESEMPENHO HIDRÁULICO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO .....	32
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	35
4.1	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICAS DA ÁGUA CINZA TRATADA PARA FINS DE IRRIGAÇÃO .....	35
4.2	ANÁLISE DO DESEMPENHO HIDRÁULICO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO OPERANDO COM ÁGUA CINZA TRATADA .....	38
4.2.1	<b>Vazão média dos gotejadores (Q)</b> .....	38
4.2.2	<b>Coefficiente de variação de vazão (CVQ)</b> .....	39
4.2.3	<b>Coefficiente de uniformidade de distribuição (CUD)</b> .....	40
4.2.4	<b>Coefficiente de uniformidade estatístico (Us)</b> .....	41
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	43
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	44
	<b>APÊNDICE A – Plantas da Estação de Tratamento e Aproveitamento Agrícola de Água Cinza no Assentamento em estudo</b> .....	50
	<b>ANEXOS</b> .....	53

## 1 INTRODUÇÃO

Diante da escassez hídrica no semiárido nordestino, onde se constata condições socioeconômicas desfavoráveis e grande quantidade das habitações, ainda, se caracterizam pela inexistência de serviços de água potável e, sobretudo, de esgotamento sanitário, o reuso da água consiste em uma alternativa viável, tanto para melhoria da qualidade de vida das populações, como para potencializar a produção agrícola.

O esgotamento sanitário inadequado promove situações de vulnerabilidade socioambiental, sobretudo em áreas ocupadas por segmentos sociais mais pobres, como áreas rurais, onde a contaminação dos recursos hídricos, afeta a saúde das populações. Dentre as doenças relacionadas ao esgotamento sanitário deficiente destacam-se as diarreias, hepatite, cólera, parasitoses intestinais e febre tifoide.

As águas cinza são aquelas geradas nas residências rurais e urbanas provenientes de chuveiros, lavatórios, pias de cozinha, tanques e máquinas de lavar roupas. Em sua composição encontram-se elementos provenientes do uso de sabões ou de limpeza em geral, sendo isenta da contribuição dos efluentes do vaso sanitário.

Para se definir qual tipo de tratamento a ser aplicado nas águas cinza, deve-se levar em consideração a grande biodegradabilidade e a enorme variação na vazão do sistema de tratamento em certos espaços de tempo.

No tratamento das águas cinza diversas técnicas são recomendadas, porém o uso conjunto de tanque séptico e filtro orgânico destaca-se pela boa eficiência na remoção de poluentes e pelo baixo custo de instalação e operação para assentamentos rurais (FUNASA, 2007).

Após o tratamento a água deve ser destinada para algum uso, entre eles, se destacam o uso na agricultura, como por exemplo, na irrigação de hortaliças e frutíferas, através do método de irrigação por gotejamento, em que a água é depositada diretamente na raiz da planta, não tendo contato direto com o produto agrícola, apesar de tratada não é aconselhável o contato, devido ao nível populacional considerável de microrganismos patogênicos.

Segundo a Organização Mundial de Saúde (WHO, 2006), o aproveitamento agrícola de águas residuárias deve seguir padrões microbiológicos, tais como: a)  $\leq 1,0$  ovo de helminto por litro e  $\leq 1000$  coliformes termotolerantes por 100 mL para fertirrigação de culturas consumidas cruas, de campos esportivos e de jardins públicos, quando a água residuária for tratada em série de lagoas de estabilização, no caso de exposição de trabalhadores, consumidores e público; b)  $< 1,0$  ovo de helminto por litro e nenhuma restrição para

coliformes termotolerantes para fertirrigação de culturas de cereais, industriais, forrageiras e árvores frutíferas, quando a água residuária for tratada em lagoas de estabilização por 8 a 10 dias, no caso de exposição de trabalhadores; e c) nenhuma restrição quanto a ovos de helmintos e coliformes termotolerantes para fertirrigação de culturas de cereais, industriais, forrageiras e árvores frutíferas, quanto a água residuária, quando os trabalhadores nem o público estão expostos, necessitando pelo menos de tratamento preliminar e primário.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Monitorar uma estação de tratamento e aproveitamento agrícola de água cinza em área rural do semiárido com relação à qualidade do efluente tratado e ao desempenho hidráulico do sistema de irrigação por gotejamento.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Analisar as alterações físico-químicas e microbiológicas da água cinza para fins de irrigação em alface e coentro; e determinar, ao longo do período experimental, os valores da vazão dos gotejadores, bem como dos coeficientes de variação de vazão (CVQ), uniformidade de distribuição (CUD) e de uniformidade estatística (Us).

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A IMPORTÂNCIA DO ESGOTAMENTO SANITÁRIO

De acordo com Batista et al. (2013a), o esgotamento sanitário é apenas uma das cinco ações do saneamento básico, tendo este, o objetivo de promover a saúde, melhorar a qualidade de vida da população e preservar o meio ambiente. Segundo Brasil (2007), o “esgotamento sanitário é constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente”.

Entre os serviços de saneamento básico, o esgotamento sanitário é o que tem menor presença nos municípios brasileiros. Em relação às zonas rurais, esse déficit é atribuído, entre outros aspectos, a dificuldade de acesso ao conhecimento e aos profissionais especializados, necessários à implantação de tecnologias e soluções em tratamento de águas residuárias domésticas, garantindo a qualidade de vida às famílias.

Um dos grandes desafios do Brasil refere-se à melhoria do saneamento básico fornecido a sua população. Dados do IBGE (2010a), evidenciaram que 24 milhões de brasileiros não possuem rede de abastecimento de água em seus domicílios e que 34,8 milhões de brasileiros residem em residências sem rede coletora de água residuária doméstica.

Este problema se estende a todas as regiões do país e a população rural é a mais afetada (IBGE, 2010a). A região nordeste é a mais penalizada com estes indicadores negativos, sendo que dos 34,8 milhões de brasileiros não contemplados com rede coletora de água residuária doméstica, 15,3 milhões residem no nordeste do Brasil (IBGE, 2010a). E ainda de acordo com IBGE (2010a), dos 33 municípios sem rede geral de abastecimento de água, 21 estão localizados na região nordeste.

Ainda, segundo IBGE (2010a), 73% dos domicílios sem água potável estão localizados em áreas rurais, sendo a incidência de domicílios sem banheiro ou sanitários três vezes maior nas áreas rurais em relação às áreas urbanas. Na região nordeste existe 1.165.684 domicílios sem a existência de banheiro ou sanitário (IBGE 2010b).

O lançamento de esgotos sem tratamento nos corpos hídricos acarreta o surgimento de impactos ambientais negativos, como os apontados por Mota e Botto (2008):

Devido ao lançamento de efluentes de esgoto sem tratamento, com elevada carga de poluição, nos recursos hídricos e suas proximidades, a população

está sujeita a captar água de poços ou de mananciais superficiais, imprópria sanitariamente para consumo humano.

Isso ocorre quando os municípios não possuem os serviços de esgotamento sanitário adequado, e até mesmo um saneamento básico ativo, a partir daí surgem diversos tipos de doenças ocasionados por veiculação hídrica, como, diarreias, hepatite, cólera, parasitoses intestinais e febre tifoide. Segundo a FUNASA (2007), para cada R\$ 1,00 investido no setor de saneamento, economiza-se R\$ 4,00 na área de medicina curativa.

Neste contexto Batista et al. (2013a) relataram que “o saneamento rural é muito importante, tanto para a qualidade de vida das populações que vivem no campo, quanto para a preservação do ambiente, devendo ser tratado com a mesma prioridade do saneamento urbano”.

## 2.2 A IMPORTÂNCIA DAS ÁGUAS CINZA

É importante destacar com base nos relatos de May e Hespanhol (2008), que a água disposta na natureza é essencial à vida do planeta Terra; porém, o volume desta água encontra-se cada vez mais escasso, em detrimento do crescimento da demanda e do crescimento populacional ambos, acentuado e desordenado.

Observa-se ainda nas evidências de Costa (2010b) que:

O crescimento populacional, associado aos processos de degradação da qualidade da água, vem acarretando sérios problemas de escassez, quantitativa ou qualitativa, e conflitos de uso até mesmo em regiões com excelentes recursos hídricos, que tendem a exigir, cada vez mais, enormes esforços para reduzir o déficit crônico de abastecimento de água e o esgotamento sanitário adequado (2010).

No entanto, para controlar este volume de água é necessário inserir nas atividades diárias outro tipo de água para o uso, segundo May e Hespanhol (2008) “sistemas de uso de águas cinza são utilizados em países que incentivam a conservação de água potável, devido à sua escassez, como a Alemanha, Estados Unidos e o Japão”.

As águas cinza são definidas como águas residuárias urbanas, incluindo as águas de banheiras, chuveiros, lavatórios, máquinas de lavar, lava-louças e pias de cozinha (FEITOSA et al., 2011). Segundo Chanakya e Khuntia (2014), a água cinza é um componente das águas residuárias domésticas sem a presença de fezes humanas, representando cerca de 67% do volume total das águas residuárias domésticas geradas.

As águas cinza tratadas podem substituir o uso da água potável na irrigação, combate a incêndios, descarga do vaso sanitário e lavagem de pisos, atividades estas que não demandam água com elevada qualidade.

No trabalho realizado por Li et al. (2009), constatou-se que o volume típico de água cinza gerado, diariamente, por uma pessoa oscilou de 90 a 120 L, dependendo do estilo de vida, estruturas populacionais (idade, sexo), costumes e hábitos, instalações de água e da disponibilidade de água. No entanto, em comunidades de baixa renda e com escassez hídrica ou que se utilizem a captação da água pluvial, o volume de águas cinza reduz para uma faixa de geração de 20 a 30 L por pessoa por dia.

“Uma das vantagens de se fazer o uso das águas cinza é sua disponibilidade (cerca de 70% do esgoto doméstico) e baixa concentração de poluentes, comparada ao esgoto doméstico sem tratamento” (LEAL, 2007 apud MERGULHÃO E EMERY, 2011). May (2008), também afirmou que o grande potencial de utilização das águas cinza pode ser atribuído ao seu baixo teor de poluentes, quando comparado as demais águas residuárias domésticas.

Segundo Bernardi (2003), fazer uso de água residuária propicia diversas vantagens, entre elas destacam-se: incentivar o uso sustentável dos recursos hídricos, estimular o uso racional de águas de boa qualidade, possibilitar a economia de dispêndios com fertilizantes e matéria orgânica, provocar aumento da produtividade agrícola e gerar aumento da produção de alimentos, desse modo, consegue-se minimizar o uso de água potável, conseqüentemente aumenta a quantidade de água de boa qualidade disponível.

### 2.3 POLUIÇÃO DA ÁGUA

Costa (2010a) afirmou que a água modifica suas qualidades de acordo com a alteração do seu grau de pureza. De acordo com Matos (2010), “poluição pode ser definida como todo e qualquer tipo de alteração no meio decorrente da introdução, pelo homem, de substâncias ou energia, de modo a danificar ou prejudicar suas características originais”.

Matos (2010), ainda evidenciou que:

Apesar de se saber que a poluição é indesejável e de alto custo para a sociedade e o meio ambiente como um todo, é fundamental que se tenha consciência de que ela é inevitável, sendo inerente ao processo de sobrevivência da população, especialmente da vivente em grandes comunidades e dependente de tecnologia.

No entanto, é necessário realizar o controle ou a retirada da impureza da água, que segundo Costa (2010a) “tem por objetivo preservar o meio ambiente, evitando ações deletérias nos corpos d’água”. Vale salientar, que a água só se enquadra nos padrões de potabilidade, quando as impurezas seguem os valores exigidos pelo Ministério da Saúde encontrado na Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011 (BRASIL, 2011a). E só se enquadra nos padrões de lançamento em corpos hídricos quando seguem os valores exigidos pelo Ministério do Meio Ambiente, contidos na Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2011b).

#### 2.4 OS IMPACTOS AMBIENTAIS DAS ÁGUAS CINZA

Estudos realizados no Brasil e no exterior evidenciaram que as águas cinza contêm elevados valores de turbidez, matéria orgânica, sulfatos, bem como moderada contaminação por material fecal (OTTOSON; STENSTRÖM, 2003; FEITOSA et al., 2011), o que causa consideráveis impactos negativos ao ambiente. Além disso, Jordão e Pessoa (2011) comprovaram, também, a presença de compostos orgânicos biodegradáveis na composição das águas cinza.

Mesmo não possuindo contribuições dos vasos sanitários, o conteúdo de matéria orgânica e inorgânica presente nas águas cinza é bastante significativo em relação às demais águas residuárias domésticas. As águas cinza possuem em sua composição resíduos de alimentos, óleos e gorduras, resíduos corporais, materiais de limpeza de utensílios domésticos e roupas e materiais de higienização pessoal (FEITOSA et al., 2011). Já a matéria inorgânica provém, principalmente, dos produtos químicos e detergentes utilizados para limpeza. Em alguns casos específicos, as concentrações de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e da Demanda Química de Oxigênio (DQO) podem até superar as concentrações características das águas residuárias domésticas concentradas (JORDÃO; PESSOA, 2011).

No que diz respeito às características microbiológicas, embora as águas cinza não possuam contribuições dos vasos sanitários, de onde provém a maior parte dos microrganismos patogênicos, algumas atividades como limpeza das mãos, após o uso do toalete, lavagem de roupas ou o próprio banho são algumas das possíveis fontes desses agentes microbiológicos nas águas cinza (OTTOSON; STENSTRÖM, 2003).

A elevada concentração de cloretos, alcalinidade e sólidos suspensos nas águas cinza podem causar malefícios ao meio ambiente, tais como: danificação da estrutura do solo e degradação dos corpos d’água (LEUCK, 2008).

## 2.5 SISTEMAS DE TRATAMENTO PARA ÁGUAS CINZA

De acordo com Nuvolari e Costa (2010), o tratamento de águas residuárias domésticas, objetiva a remoção dos poluentes, para isso, é preciso tomar como base os parâmetros normatizados que variam de acordo com o volume a ser tratado, finalidade, nível de processamento, qualidades originais e pretendidas e local de lançamento ou de utilização.

Sabendo-se que com o tratamento das águas cinza irá ser retido as impurezas, existem diversos tipos de sistemas para obter esta finalidade, dar-se-á ênfase ao tratamento composto por caixa de passagem (gordura), tanque séptico (fossa séptica) e filtro orgânico (filtro anaeróbico ou biológico).

### 2.5.1 Caixa de passagem

“As águas servidas, destinadas aos tanques sépticos e ramais condominiais, devem passar por uma caixa especialmente construída com a finalidade de reter as gorduras”. (FUNASA, 2007).

A gordura presente nas águas cinza devem ser removidas para que não ocasionem problemas nos componentes dos sistemas de tratamento. Sendo assim, a remoção da gordura tem as seguintes finalidades:

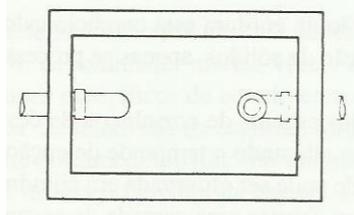
Evitar obstruções dos coletores; evitar aderência nas peças especiais da rede de esgotos; evitar acúmulo nas unidades de tratamento provocando odores desagradáveis e perturbações no funcionamento dos dispositivos de tratamento; e evitar aspectos desagradáveis nos corpos receptores (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Segundo o mesmo autor a localização da caixa de gordura deve possuir condições favoráveis à retenção da gordura.

Capacidade de acumulação de gordura entre cada operação de limpeza; condições de tranquilidade suficiente para permitir a flutuação do material; dispositivos de entrada e saída convenientemente projetados para permitir ao afluente e efluente escoarem normalmente; distância entre os dispositivos de entrada e saída suficiente para reter a gordura e evitar que esse material seja arrastado com o efluente; e condições de vedação suficiente para evitar o contato com insetos, roedores, etc. (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Esquema de uma caixa de passagem:

**Figura 1.** Esquema de caixa de passagem.



**Fonte:** Jordão e Pessoa (2011).

### 2.5.2 Tanque séptico

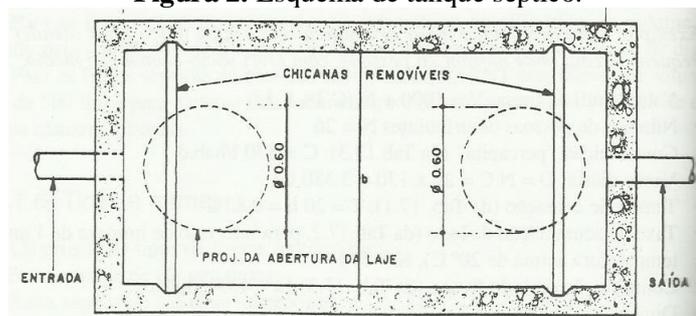
O tanque séptico nada mais é do que um dispositivo de tratamento de esgoto que consiste numa câmara construída para reter os esgotos por um determinado período de tempo que permita a sedimentação dos sólidos e a retenção do material graxo, transformando-os bioquimicamente em substâncias e compostos mais simples e estáveis (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Lemos (2011) afirmou que “os decanto-digestores ou tanques sépticos são unidades que tratam o esgoto por processo de sedimentação, flotação e digestão, sendo que predominam os mecanismos físicos de sedimentação com o lodo de esgoto se depositando no fundo do tanque”.

“O tanque séptico de câmaras em série é constituído de uma única unidade dividida em dois ou mais compartimentos por uma parede vazada que interliga as câmaras em série sequencialmente no sentido do fluxo” (LEMOS, 2011).

Esquema de um tanque séptico:

**Figura 2.** Esquema de tanque séptico.



**Fonte:** Jordão e Pessoa (2011).

### 2.5.3 Filtro orgânico

Batista et al. (2013a) afirmaram que “a filtração é um processo físico de separação das partículas presentes na água, por meio da utilização de um meio filtrante, geralmente constituído de camadas de pedregulho, areia antracito, carvão ativado e outros”.

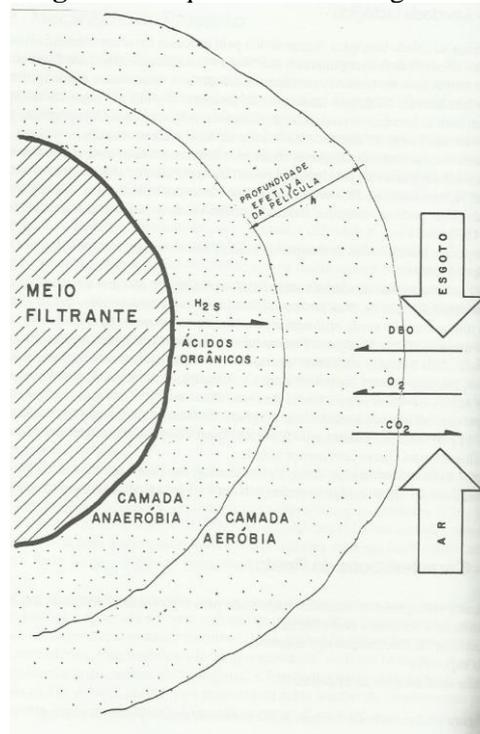
Lemos (2011) assegurou que:

Os filtros anaeróbicos consistem basicamente em tanque contendo leito de pedras ou material de enchimento. Na superfície de cada peça do material do enchimento ocorre a fixação e o desenvolvimento de microrganismos na forma de biofilme e também se agrupam microrganismos, na forma de flocos ou grânulos, nos interstícios do material de enchimento quando o esgoto contem muitos sólidos suspensos.

“Os filtros biológicos utilizam biomassa para aderir o material, a eficiência varia de 75 a 90% de remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)” (NUVOLARI; COSTA, 2010).

Esquema de um filtro orgânico:

**Figura 3.** Esquema de filtro orgânico.



**Fonte:** Jordão e Pessoa (2011).

## 2.6 REUSO DE ÁGUA

De acordo com Sousa et al. (2006), a utilização da água residuária é uma das diversas opções de técnicas de convivência com a seca, principalmente no Nordeste do Brasil, onde existe escassez de água e o período chuvoso possui duração de aproximadamente três meses. Mancuso (2003), ainda afirmou que nas regiões secas do nordeste a água atua como fator limitante, dificultando o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola.

Batista et al. (2014) destacou que:

Nas duas últimas décadas, o uso de águas residuárias na agricultura aumentou, significativamente, em razão dos seguintes fatores: dificuldades na busca por fontes alternativas de águas para irrigação; custo elevado de fertilizantes; custo elevado de sistemas de tratamentos necessários para descarga de efluentes em corpos receptores e reconhecimento do valor da atividade pelos órgãos gestores de recursos hídricos.

Costa (2010b) relatou que:

A técnica do reuso da água não foge à regra. Embora ela seja, cada vez mais, reconhecida como uma das opções mais inteligentes para a racionalização dos recursos hídricos, depende da aceitação popular, aprovação mercadológica e vontade política para efetivar como tecnologia sistemática.

O esgoto de origem doméstica, a água de drenagem agrícola e a água salobra são exemplos de água com qualidades inferiores, no entanto, podem ser consideradas como fontes alternativas para usos menos restritivos (ABES, 1997).

De acordo com ABNT (1997), o uso dos esgotos tratado “devem ser considerados todos os usos que o usuário precisar, tais como lavagens de pisos, calçadas, irrigação de jardins e pomares, manutenção das águas nos canais e lagos dos jardins, nas descargas dos banheiros e outros”. Ainda com base em Costa (2010b) “o reuso compreende, também, o controle de perdas e desperdícios e a minimização da produção de efluentes e do consumo de água”.

Segundo informações da ABES (1997), o reuso da água possibilita que grandes volumes de água potável sejam poupados, onde as finalidades são atendidas com outras opções de água com qualidade inferior.

De acordo com Hespanhol (2002):

O reuso de água encontra, no Brasil, uma gama significativa de aplicações potenciais. O uso de efluentes tratados na agricultura, nas áreas urbanas,

particularmente, para fins não potáveis, no atendimento da demanda industrial e na recarga artificial de aquíferos, se constitui em instrumento poderoso para restaurar o equilíbrio entre oferta e demanda de água em diversas regiões brasileiras.

As águas cinza quando devidamente tratadas apresentam grande potencial de uso para fins não potáveis, podendo resultar na economia de água potável, energia elétrica e menor geração de resíduo líquido (OTTOSON; STENSTRÖM, 2003).

Observou-se em CETESB, a classificação do reuso da água em três categorias:

- **Reuso indireto não planejado da água** consiste no lançamento do esgoto tratado num corpo hídrico. Este esgoto é diluído e usado novamente a jusante, de maneira não controlada (CETESB, 2014).
- **Reuso indireto planejado da água** possui as mesmas finalidades do reuso indireto não planejado, a diferença é que nesse o esgoto é descarregado de forma planejada e o uso é controlado (CETESB, 2014).
- **Reuso direto planejado das águas**, os efluentes não são descarregados no meio ambiente; depois de tratados são encaminhados para o reuso (CETESB, 2014).

A Organização Mundial de Saúde (WHO, 1973), afirma que as águas residuárias podem ser usadas na agricultura através da irrigação em pomares e parreirais, culturas de fibras e sementes, culturas para consumo humano que serão processadas para matar patógenos e culturas que se consomem cruas, de modo que, o tratamento primário das águas residuárias é suficiente para a irrigação de culturas que não são de consumo humano direto e que, o tratamento secundário das águas residuárias deve ser adotado para irrigação das culturas de consumo direto.

O reuso de água possui diversos fins, como, reusos urbanos para fins potáveis; reusos urbanos para fins não potáveis; reuso agrícola; reuso industrial e recarga de aquíferos. Exemplos de reuso da água nessas áreas constam na Tabela 1, baseado nos relatos de Costa (2010b).

**Tabela 1.** Exemplos de reuso de água

Reusos urbanos para fins potáveis	Reusos urbanos para fins não potáveis	Reuso agrícola	Reuso industrial	Recarga de aquíferos
Recarga de águas subterrâneas por infiltração/percolação em aquíferos potáveis.	Todos os tipos de áreas paisagísticas para irrigação (ex.: campos de golfe, parques, cemitérios).	Culturas para serem consumidas cruas, campos de esporte, parques e jardins.	Água para sistema de resfriamento.	Por espalhamento ou injeção dentro de aquíferos não usados como fonte pública de água potável.
Recarga de águas subterrâneas por injeção em aquíferos potáveis.	Lavagem de veículos, descarga sanitária, sistemas de proteção contra incêndio, ar-condicionado, outros.	Cereais, plantas têxteis, forrageiras, pastagens, árvores.	Água para alimentação de caldeiras.	
Acréscimo/aumento de fontes superficiais.	Compactação do solo, controle de poeira, lavagem de agregados e confecção de concreto.	Irrigação localizada de plantas citadas anteriormente na ausência de riscos para os agricultores.	Processamento: papel e celulose; têxtil; couros e peles.	
	Reservatórios e lagos de função estética onde o contato público com a água não é permitido.			

**Fonte:** Adaptado de Costa (2010b).

## 2.7 DESEMPENHO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO COM ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Silva et al. (2012) destacaram que o uso de efluentes na agricultura ainda é pouco conhecido, sabe-se apenas que provoca algumas alterações no solo e no sistema de irrigação. Medeiros et al. (2008) afirma que “estudos efetuados em diversos países demonstraram que a produtividade agrícola aumenta significativamente em áreas fertirrigadas com águas residuárias de origem doméstica, desde que sejam adequadamente manejadas”.

Segundo Frigo et al. (2006):

A qualidade da água utilizada na agricultura irrigada é de fundamental importância para o desempenho dos sistemas de irrigação e de seus componentes, pois, água contendo sedimentos em suspensão tem sido a causa de sérios problemas em sistemas de irrigação localizada, principalmente, o entupimento de tubulações e de emissores, ocasionando como consequência, irrigações não uniformes e queda na sua eficiência.

Ainda de acordo com Frigo et al. (2006):

A quantidade de sedimentos presentes na água influencia o dimensionamento do sistema de irrigação para o seu adequado desempenho

e a escolha do tipo e capacidade do sistema de filtros, evitando assim, o aumento dos custos de operação e manutenção do sistema de irrigação, devido à necessidade de limpeza e trocas frequentes de seus componentes.

Segundo Batista (2007):

O método de irrigação localizada é usado para aplicação de águas residuárias, em razão da elevada eficiência de aplicação do efluente e do baixo risco de contaminação tanto do produto agrícola quanto de operadores no campo. Nos sistemas de irrigação localizada, entretanto, os emissores apresentam alta suscetibilidade ao entupimento.

No trabalho desenvolvido por Silva (2012), com água residuária gerada do processamento da castanha de caju houve formação de biofilme, propiciando entupimento parcial dos gotejadores, dessa forma, houve redução na uniformidade de aplicação de efluente nas unidades de irrigação.

No trabalho de Gris, Hermes e Vilas Boas (2012) com sistemas de irrigação operando com água limpa e água residuária, houve pequena variação na vazão de alguns gotejadores, que não comprometeu a qualidade de distribuição da água e do efluente.

A obstrução proporcionada pelas águas residuárias em sistemas de irrigação por gotejamento influenciam na uniformidade de aplicação (CUC) e na uniformidade de distribuição (CUD), isso porque a vazão é reduzida pela obstrução dos gotejadores. O tempo de irrigação também influencia no entupimento dos gotejadores, tendo em vista que quanto maior for o tempo na irrigação, mais propício será a redução da vazão e do coeficiente de uniformidade de distribuição, devido a água residuária ter provocado entupimento. (BATISTA et al., 2013b).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O presente trabalho foi realizado, no período de outubro a dezembro de 2014, na residência da senhora Maria Alvani Pereira, no Assentamento P. A. Monte Alegre I, sob coordenadas de 5° 30'13,06" S e 37°27'23,27" O, localizado no município de Upanema-RN, microrregião médio oeste potiguar.

O clima predominante na região é quente e seco – tipo BSw<sup>h</sup>, segundo a classificação climática de Köppen.

#### 3.2 CONSTRUÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO E APROVEITAMENTO AGRÍCOLA DE ÁGUA CINZA

Na residência escolhida habitam cinco pessoas gerando cerca de 0,20 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> de água cinza. Para o tratamento e o aproveitamento agrícola da água cinza foi proposto um sistema constituído dos seguintes módulos:

a) Caixa de passagem: construída em alvenaria de tijolos, dotado de revestimento interno impermeabilizante, nas dimensões internas 0,49 m de largura, 0,49 m de comprimento e 0,50 m de profundidade, como apresentado na Figura 4.

**Figura 4.** Ilustração da caixa de passagem.



**Fonte:** Compilação própria (2015).

b) Tanque séptico: no dimensionamento foram considerados os valores de produção per capita de água cinza de  $54 \text{ L hab}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , número de pessoas por residência de sete habitantes, tempo de retenção hidráulica de 1 dia, produção per capita de lodo de  $1 \text{ L hab}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , temperatura local acima de  $20^\circ\text{C}$ , taxa de acúmulo de lodo digerido de 57 dias e intervalo de limpeza do lodo de um ano. Com estas informações, o tanque séptico foi dimensionado seguindo as recomendações da NBR 7229 (ABNT, 1993):

$$V = \frac{1000 + N \cdot (C \cdot T + K \cdot L_f)}{1000} \therefore V = \frac{1000 + 7 \cdot (54 \cdot 1 + 57 \cdot 1)}{1000} \therefore V = 1,78 \text{ m}^3 \quad (1)$$

em que:

$V$  = volume útil do tanque séptico,  $\text{m}^3$ ;

1000 = fator de segurança, L;

$N$  = número de contribuições, habitante ou unidade;

$C$  = contribuição de despejo,  $\text{L hab}^{-1} \text{ d}^{-1}$  ou  $\text{L unid}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ;

$T$  = tempo de detenção hidráulica, dia;

$K$  = taxa de acúmulo de lodo digerido, adimensional; e

$L_f$  = contribuição de lodo fresco,  $\text{L hab}^{-1} \text{ d}^{-1}$  ou  $\text{L unid}^{-1} \text{ d}^{-1}$ .

Considerando uma profundidade de 1,32 m e largura interna de 0,80 m. Tem-se o seguinte valor de comprimento para o tanque séptico:

$$V = C_p \cdot L \cdot h \therefore C_p = \frac{V}{L \cdot h} \therefore C_p = \frac{1,78}{0,80 \cdot 1,32} \therefore C_p = 1,68 \text{ m} \quad (2)$$

em que:

$V$  = volume útil do tanque séptico,  $\text{m}^3$ ;

$C_p$  = comprimento interno do tanque séptico, m;

$L$  = largura interna do tanque séptico, m; e

$h$  = profundidade útil do tanque séptico, m.

O tanque séptico foi construído em alvenaria de tijolos com reboco impermeabilizado nas dimensões de: 0,80 m de largura por 1,32 m de profundidade por 1,98 m de comprimento (Figura 5). A divisória entre as câmaras do tanque séptico foi implantada a  $2/3$  do seu comprimento interno, ou seja, a 1,12 m do ponto de entrada do esgoto doméstico. Para a passagem do efluente de uma câmara para outra foram inseridas na divisória, três aberturas na

metade da profundidade do tanque (0,60 m), cada uma com dimensões médias de 0,10 m de largura por 0,30 m de altura.

**Figura 5.** Ilustração do tanque séptico.



**Fonte:** Compilação própria (2015).

c) Filtro orgânico: construído em alvenaria de tijolos com revestimento interno impermeabilizado, apresentando dimensões internas de 1,46 m de diâmetro e 0,70 m de profundidade. No fundo do filtro foi colocada uma camada de brita n.1 de 0,20 m para drenagem do efluente, sobre esta foi colocada uma camada de 0,10 m de carvão vegetal para minimizar os odores desagradáveis e uma camada de fibra de coco mais palha de carnaúba (material orgânico), as quais receberam uma compressão de  $0,167 \text{ kgf cm}^{-2}$  ( $16,35 \text{ kN m}^{-2}$ ), pressão exercida por um homem, de 50 kgf de peso, até ser atingida a altura de 0,30 m. Na parte superior do filtro instalou-se um dispositivo confeccionado em tubos de PVC de 100 e 40 mm para distribuição uniforme do efluente (Figura 6).

**Figura 6.** Ilustração do filtro orgânico.



**Fonte:** Compilação própria (2015).

d) Reservatório de armazenamento: confeccionado em alvenaria de tijolos com revestimento interno impermeabilizado, nas dimensões internas de 1,47 m de diâmetro e 1,63 m de profundidade (Figura 7).

**Figura 7.** Ilustração do reservatório.



**Fonte:** Compilação própria (2015).

e) Sistema de irrigação por gotejamento: composto por uma motobomba de 0,5 cv, um filtro de tela com aberturas de 130  $\mu\text{m}$ , uma linha principal em PVC de 32 mm e quatro linhas laterais de polietileno de 16 mm, dotadas de gotejadores autocompensantes de 4,0  $\text{L h}^{-1}$ . As linhas laterais estão dispostas em canteiro com dimensões de 1,5 m de largura e 6,5 m de comprimento (Figura 8). Na Tabela 2 estão apresentadas as características do gotejador utilizado para aplicação da água cinza tratada.

**Tabela 2.** Gotejador utilizado nos ensaios experimentais, destacando o fabricante (F), o dispositivo de autocompensation (DA), a vazão nominal (Q), o coeficiente de vazão (k), expoente da vazão que caracteriza o regime de escoamento (x), a área de filtragem (A), o comprimento do labirinto (L), o coeficiente de variação de fabricação ( $CV_f$ ), a faixa de pressão recomendada (P) e o espaçamento entre emissores (EE)

F	DA*	$Q^1*$ ( $\text{L h}^{-1}$ )	k*	x*	A* ( $\text{mm}^2$ )	L* (mm)	$CV_f^*$ (%)	P* (kPa)	EE* (m)
Netafim PCJ CNJ	Sim	2,00	2,00	0,00	2,0	35	$\pm 7$	50 - 400	0,70

**Nota:** <sup>1</sup> - Vazão nominal dos gotejadores na pressão de serviço de 100 kPa; \* informações obtidas nos catálogos dos fabricantes. CNJ - sistema anti-drenante; e \*\* informações medidas com auxílio de um parquímetro digital com precisão de 0,01 mm.

**Figura 8.** Ilustração do canteiro.



**Fonte:** Compilação própria (2015).

### 3.3. MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA CINZA TRATADA PARA FINS DE IRRIGAÇÃO

No período de 28 de outubro a 9 de dezembro de 2014 realizou-se a coleta de amostras compostas da água cinza tratada coletada no reservatório. No processo de amostragem as amostras foram preservadas em caixas isotérmicas com gelo à temperatura de 4°C. Em seguida, estas amostras foram encaminhadas para laboratórios específicos com a finalidade de se realizar análises físico-químicas e microbiológica, seguindo os critérios do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (RICE et al., 2012).

No Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta (LASAP) do Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas da UFERSA foram medidos os valores de potencial hidrogeniônico (pH), com peagâmetro de bancada; e da condutividade elétrica (CE), com condutivímetro de bancada. As concentrações de sólidos totais (ST) e sólidos suspensos (SS) foram determinadas pelo método gravimétrico, enquanto as concentrações dos sólidos dissolvidos (SD) foram obtidas pela diferença de ST e SS. Determinaram-se, também, as concentrações de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) por método titulométrico; a concentração de sódio ( $\text{Na}^+$ ) por fotômetro de chama; as concentrações de cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), carbonato ( $\text{CO}_3^-$ ) e bicarbonato ( $\text{HCO}_3^{2-}$ ) por titulometria; e as concentrações de ferro (Fe) e manganês (Mn) por espectrofotometria de absorção atômica. A razão de adsorção de sódio (RAS) foi obtida por meio da equação 3.

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{\left(\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}\right)^{0,5}} \quad (3)$$

em que:

$RAS = \text{Razão de adsorção de sódio, } (\text{mmol}_c \text{ L}^{-1})^{0,5};$

$Na^+ = \text{concentração de sódio, } \text{mmol}_c \text{ L}^{-1};$

$Ca^{+2} = \text{concentração de cálcio, } \text{mmol}_c \text{ L}^{-1}; \text{ e}$

$Mg^{+2} = \text{concentração de magnésio, } \text{mmol}_c \text{ L}^{-1}.$

No Laboratório de Saneamento Ambiental do Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas da UFERSA foram quantificados os níveis populacionais dos coliformes totais e de *E. Coli*. Nestas análises utilizou-se o sistema Colilert (sistema patenteado por IDEXX Laboratories) que é utilizado para detecções simultâneas, identificações específicas e confirmativas de coliformes totais e *E. coli*, metodologia também preconizada no Standard Methods.

O Colilert utiliza nutrientes (açúcares ligados a radicais orgânicos cromogênicos) que fazem com que os microrganismos de interesse presentes na amostra produzam uma mudança de cor (ou fluorescência) no sistema inoculado.

As amostras foram misturadas ao meio de cultura (Colilert) e após homogeneização, foram transferidas para uma cartela com poços isolados (Quanti-tray) e selada em seladora específica. Em seguida, as cartelas foram incubadas a 35°C por 24h. Os resultados foram quantificados por tabela estatística do Número Mais Provável - NMP do sistema Quanti-Tray 2000. No sistema Colilert Quanti-Tray 2000, a presença de coliformes totais é indicada por uma reação, modifica a coloração do reagente para amarelo. Poços com coloração amarela indicam presença de coliformes totais. Em caso de haver a presença de *E. coli*, esta pode ser confirmada expondo-se as amostras positivas para coliformes totais à luz ultravioleta (365 nm), que reagirá emitindo fluorescência azul.

Os valores das características físico-químicas da água cinza tratada foram submetidos a análise estatística descritiva por determinação da média e desvio padrão aritmético, enquanto para as características microbiológicas, devido a grande amplitude dos dados, determinou-se a média e desvio padrão geométrico.

#### 3.4 MONITORAMENTO DO DESEMPENHO HIDRÁULICO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

Também no período de 28 de outubro a 9 de dezembro de 2014 realizou-se a análise do desempenho hidráulico de um sistema de irrigação por gotejamento por meio da determinação

dos valores da vazão média (Q), coeficiente de variação de vazão (CVQ), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e coeficiente de uniformidade estatística (Us). Neste período o sistema de irrigação operou todos os dias da semana, tendo período de irrigação de 10 minutos por dia, em função da quantidade de água cinza gerada diariamente.

Para isso, utilizou-se a metodologia proposta por **Denículi et al. (1980) modificada por Merriam e Keller (1978)**, que sugeriram a medição de vazão em 32 gotejadores de quatro linhas laterais do sistema de irrigação, sendo oito medições de vazão por linha lateral (no início da linha lateral, a 1/7, 2/7, 3/7, 4/7, 5/7 e a 6/7 do comprimento da linha lateral, e um no final da linha lateral) durante um período de três minutos.

Ao longo do período experimental foram realizadas três avaliações do desempenho hidráulico com o sistema operando na pressão de serviço de 100 kPa, conforme recomendação da NBR ISO 9261 (ABNT, 2006). O cálculo da vazão média (Q) dos gotejadores foi obtido empregando-se a equação 4, onde divide-se o valor do volume coletado pelo tempo de coleta de três minutos.

$$Q = \frac{V}{1000 \cdot t} \cdot 60 \quad (4)$$

em que:

Q = vazão média do gotejador, L h<sup>-1</sup>;

V = volume de efluente coletado, mL;

t = tempo de coleta do efluente, min.

Com os valores da vazão dos gotejadores determinou-se o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), o coeficiente de variação de vazão (CVQ) e o coeficiente de uniformidade estatística (Us), apresentado nas equações 5, 6 e 7, respectivamente.

$$CUD = 100 \cdot \frac{q_{25\%}}{\bar{q}} \quad (5)$$

em que:

CUD - coeficiente de uniformidade de distribuição, %;

q<sub>25%</sub> - valor médio dos 25% menores valores de vazões dos gotejadores, L h<sup>-1</sup>; e

$\bar{q}$  - vazão média dos gotejadores, L h<sup>-1</sup>.

$$CVQ = 100 \cdot \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2}{n_e - 1}}}{\bar{q}} \quad (6)$$

em que:

CVQ - coeficiente de variação da vazão, %;

$q_i$  - vazão de cada gotejador, L h<sup>-1</sup>;

$\bar{q}$  - vazão média dos gotejadores, L h<sup>-1</sup>; e

$n_e$  - número de gotejadores avaliados.

$$U_s = 100 \cdot (1 - CVQ) \quad (7)$$

em que:

$U_s$  - coeficiente de uniformidade estatístico de aplicação de efluente, %; e

CVQ - coeficiente de variação da vazão, %.

Deve-se ressaltar que a água cinza tratada foi utilizada para a irrigação de um canteiro cultivado com alface.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICAS DA ÁGUA CINZA TRATADA PARA FINS DE IRRIGAÇÃO

Constam na Tabela 3 o valor médio e o desvio padrão das características físico-químicas e microbiológicas da água cinza tratada, no período de outubro a dezembro de 2014. Nota-se na tabela 3, que as características sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, cálcio, magnésio, razão de adsorção de sódio, sódio, bicarbonato, coliformes totais e *E. Coli* apresentaram maiores valores do desvio padrão, devido provavelmente a variação temporal da composição da água cinza da residência.

**Tabela 3.** Valor médio e desvio padrão das características físico-químicas e microbiológicas da água cinza tratada coletada ao longo do período experimental.

<b>Características</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio-padrão</b>
pH	7,58	0,34
Condutividade elétrica (dS m <sup>-1</sup> )	1,50	0,15
Sólidos suspensos (mg L <sup>-1</sup> )	27	9
Sólidos dissolvidos (mg L <sup>-1</sup> )	1187	440
Cálcio (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	6,33	4,59
Magnésio (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	9,70	9,32
Sódio (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	10,90	3,18
Razão de adsorção de sódio (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> ) <sup>0,5</sup>	5,31	2,37
Carbonato (mg L <sup>-1</sup> )	0,00	0,00
Bicarbonato (mg L <sup>-1</sup> )	16,00	4,55
Cloreto (mg L <sup>-1</sup> )	14,67	0,47
Ferro total (mg L <sup>-1</sup> )	0,588	0,757
Manganês total (mg L <sup>-1</sup> )	0,080	0,056
Coliformes totais (NMP mL <sup>-1</sup> )	6,35x10 <sup>3</sup> *	1,61*
<i>E. Coli</i> (NMP mL <sup>-1</sup> )	7,11x10 <sup>2</sup> *	1,27*

**Nota:** \* Média e desvio-padrão geométrico.

**Fonte:** Compilação própria (2014).

O valor médio do potencial hidrogeniônico (pH) da água cinza tratada encontra-se dentro da faixa de 5 a 9 proposta pela Resolução CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011b), que define os padrões de lançamento de esgoto sanitário tratado em corpos hídricos. Este resultado foi superior ao valor médio de pH de 6,94 obtido por Feitosa et al. (2011) com água cinza tratada. Com relação ao risco de obstrução de gotejadores, o pH da água cinza tratada

foi classificado como severo, pois superou o valor limite de 7,5 proposto por Nakayama et al. (2006). Segundo Almeida (2010), o valor médio do pH da água cinza tratada encontra-se dentro da faixa de 6,5 a 8,4, sendo considerada adequada para fins de irrigação.

O valor médio da condutividade elétrica da água cinza tratada foi inferior ao limite de 3,0 dS m<sup>-1</sup> proposto para uso agrícola de água residuária (CEARÁ, 2002). Este resultado foi inferior ao valor médio de 1,7 dS m<sup>-1</sup> obtido por Feitosa et al. (2011) em água cinza tratada. A condutividade elétrica média da água cinza tratada apresentou risco moderado de obstrução de gotejadores, pois se encontra dentro da faixa de 0,8 a 3,1 dS m<sup>-1</sup> estabelecida por Capra e Scicolone (1998).

De acordo com a Portaria nº 154 do Estado do Ceará (CEARÁ, 2002), a concentração média dos sólidos suspensos da água cinza tratada foi inferior ao limite de 50 mg L<sup>-1</sup> estabelecido para lançamento de efluentes tratados em corpo hídrico receptor. Além disso, o teor médio dos sólidos suspensos foi inferior ao valor limite de 50 mg L<sup>-1</sup> estabelecido por Nakayama et al. (2006), classificando o risco de obstrução de gotejadores como menor; contrariando o resultado obtido por Costa (2014) que encontraram risco moderado de entupimento para os sólidos suspensos de água residuária doméstica tratada.

A concentração média de sólidos dissolvidos encontra-se dentro da faixa de 500 a 2000 mg L<sup>-1</sup> estabelecida por Nakayama et al. (2006), indicando risco moderado de obstrução para gotejadores. Este resultado difere do valor médio de sólidos dissolvidos de 350 mg L<sup>-1</sup> obtido por Vale et al. (2013) em estudo com água residuária doméstica tratada.

O valor médio do cálcio, na água cinza tratada, foi maior que 0,80 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> obtido por Vale et al. (2013) em experimento com água residuária doméstica tratada. De acordo com Capra e Scicolone (1998), esse valor médio é inferior a 12,5 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> que classifica o risco de obstrução de gotejadores como menor.

A concentração média do magnésio na água cinza tratada foi superior ao valor de 0,70 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> obtido por Vale et al. (2013) com água residuária doméstica tratada. Além disso, o valor médio do magnésio foi superior ao limite de 7,3 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> que classifica o risco de obstrução de gotejadores como severo (CAPRA; SCICOLONE, 1998).

Na água cinza tratada, o teor médio de sódio foi superior a 1,93 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> obtido por Batista et al. (2006) em experimento com água residuária doméstica terciária. Segundo Ayers e Westcot (1999), o valor médio do sódio foi superior ao limite de 9,0 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> estabelecido para irrigação por superfície, podendo reduzir o desenvolvimento e a produção de cultivos agrícolas sensíveis.

A razão de adsorção de sódio da água cinza foi maior que o valor de 2,54 ( $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ )<sup>0,5</sup> apresentado por Batista et al. (2006) em estudo com água residuária doméstica terciária. Analisando de forma conjunta os valores médios da condutividade elétrica e da razão de adsorção de sódio, verificou-se que a água cinza tratada não apresenta risco de redução da infiltração de efluente no solo, devido à dispersão das argilas que causa selamento do espaço poroso (ALMEIDA, 2010).

Não foram detectados teores de carbonato na água cinza tratada, enquanto o valor médio do teor de bicarbonato foi superior ao limite de 5  $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$  estabelecido por Almeida (2010) para água de irrigação, indicando severo risco de obstrução de gotejadores particularmente quando o pH for superior a 7,5, pois o bicarbonato reage com o cálcio formando o carbonato de cálcio.

O valor médio de cloreto na água cinza tratada foi superior ao limite de 10,0  $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$  proposto por Ayers e Westcot (1999) para água de irrigação aplicada por sistemas superficiais, representando risco de toxicidade aos cultivos agrícolas. A toxicidade do cloreto aos cultivos agrícolas está associada a não retenção e adsorção pelas partículas do solo, facilitando o seu deslocamento com água do solo, porém é absorvido pelas raízes e translocando às folhas, onde se acumula pela transpiração; e se sua concentração excede a tolerância da planta, produzem-se danos como necroses e queimaduras nas folhas (AYERS; WESTCOT, 1999).

O valor médio do ferro total presente na água cinza tratada encontra-se dentro da faixa de 0,2 a 1,5  $\text{mg L}^{-1}$  estabelecida por Nakayama et al. (2006) que classifica o risco de obstrução de gotejadores como moderado. Este valor médio atende aos padrões de lançamento de água residuária tratada em corpo hídrico, onde o limite máximo é de 15,0  $\text{mg L}^{-1}$  (BRASIL, 2011b). O valor médio do ferro total foi inferior a 5,0  $\text{mg L}^{-1}$  não contribuindo para a acidez e a indisponibilidade do fósforo e do molibdênio no solo (AYERS; WESTCOT, 1999).

A concentração média de manganês na água cinza tratada foi inferior ao limite de 1,0  $\text{mg L}^{-1}$  estabelecido para o lançamento de águas residuárias em corpo hídrico receptor (BRASIL, 2011a). Além disso, a concentração média de manganês na água cinza tratada foi menor que 0,20  $\text{mg L}^{-1}$ , não representando riscos de toxicidade para cultivos agrícolas em solos ácidos. O manganês representa menor risco de obstrução de gotejadores, pois o seu valor médio na água cinza tratada foi inferior ao limite de 0,1  $\text{mg L}^{-1}$  (NAKAYAMA et al., 2006).

Na água cinza tratada o nível médio populacional de coliformes totais foi inferior ao limite de  $1 \times 10^4$  bactérias por mL que classifica o risco de obstrução de gotejadores como menor (NAKAYAMA et al., 2006). No trabalho realizado por Feitosa et al. (2011), o nível populacional médio de coliformes totais foi de  $2,90 \times 10^3$  bactérias por mL na água cinza tratada.

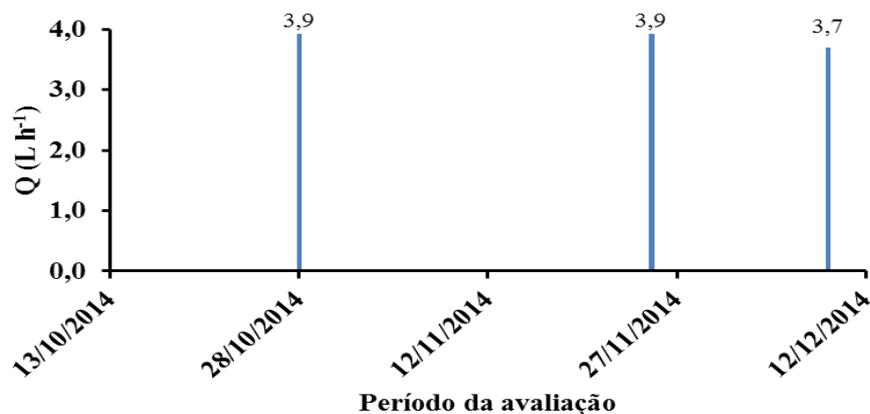
O nível populacional médio de *E. Coli* da água cinza tratada foi superior ao limite de  $5 \times 10^1$  bactérias por mL para irrigação de cultivos agrícolas não consumidos crus, como estabelecido na Portaria nº 154/2002 (CEARÁ, 2002). Esse resultado foi superior ao nível populacional médio de 8,97 bactérias por mL obtido por Feitosa et al. (2011) em água cinza tratada.

## 4.2 ANÁLISE DO DESEMPENHO HIDRÁULICO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO OPERANDO COM ÁGUA CINZA TRATADA

### 4.2.1 Vazão média dos gotejadores (Q)

Na Figura 9 estão apresentados os valores médios da vazão dos gotejadores do sistema de irrigação por gotejamento que operou de 28 de outubro a 9 de dezembro de 2014. Ao longo do período experimental, o sistema de irrigação por gotejamento operou com a água cinza tratada durante 42 dias, sendo que diariamente o tempo de irrigação foi de 10 minutos. Este tempo de irrigação foi relacionado com o tempo de esvaziamento do reservatório.

**Figura 9.** Comportamento da vazão média (Q) dos gotejadores do sistema de irrigação por gotejamento que operou com água cinza tratada, ao longo do período de avaliação.



Fonte: Compilação própria (2014).

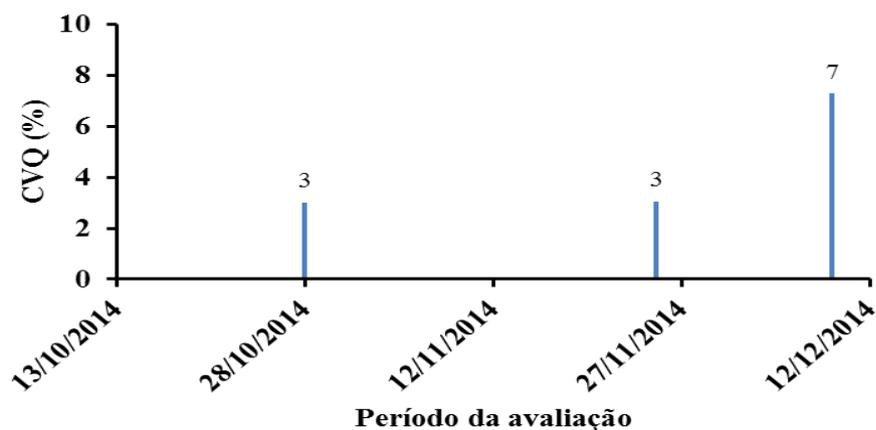
Verificou-se, na Figura 9, que houve uma ligeira redução na vazão média dos gotejadores de 5% após 42 dias de aplicação da água cinza tratada, quando se estabelece comparação entre a primeira e última avaliação de desempenho. Esta redução na vazão é atribuída ao entupimento parcial dos gotejadores, ao longo das linhas laterais, com agentes físicos, químicos e microbiológicos.

Este resultado foi superior a redução de vazão de 4% encontrada por Batista et al. (2010) em estudo com sistemas de irrigação por gotejamento que operou com água residuária doméstica terciária, durante 120 horas. Por outro lado, este resultado foi inferior a redução de vazão de 34% constatada por Vale et al. (2013) em sistema de irrigação por gotejamento que operou com água residuária doméstica primária, durante 48 dias.

#### 4.2.2 Coeficiente de variação de vazão (CVQ)

Notou-se na Figura 10 que o entupimento parcial dos gotejadores, proporcionou aumento no valor do CVQ de 142%; contrariando o resultado obtido por Vale et al. (2013) que encontraram aumento de 1506% do CVQ após 48 dias de aplicação da água residuária doméstica primária pelo sistema de irrigação por gotejamento.

**Figura 10.** Comportamento do Coeficiente de variação de vazão (CVQ) do sistema de irrigação por gotejamento que operou com água cinza tratada, ao longo do período de avaliação.



Fonte: Compilação própria (2014).

Na avaliação inicial (28 de outubro de 2014) e final (09 de dezembro de 2014), evidenciou-se que os valores de CVQ do sistema de irrigação, apesar do aumento na última

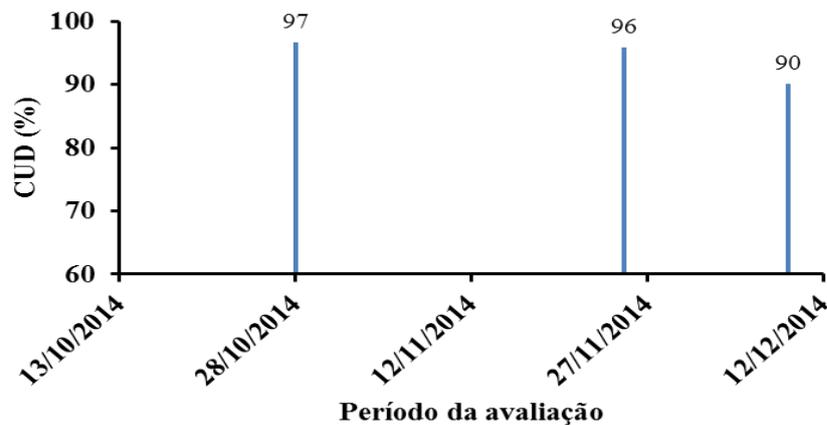
avaliação, foram inferiores a 10%, sendo classificados como bons pela norma ASAE EP 405 (ASAE, 2003).

Estes resultados diferem, também, dos obtidos por Silva et al. (2013) que encontraram valor médio de CVQ de 44% em um sistema de irrigação por gotejamento, operando com água residuária do processamento da castanha de caju e pressão de serviço de 70 kPa, após 160 h de operação.

#### 4.2.3 Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD)

Evidenciou-se, na Figura 11, que o CUD passou de 97% para 90%, após 42 dias de aplicação da água cinza tratada, indicando redução no valor do CUD de 7%. Este resultado foi inferior à redução de CUD de 11% encontrada por Batista et al. (2010) em sistema de irrigação por gotejamento, que operou com água residuária doméstica terciária, durante 120 horas.

**Figura 11.** Comportamento do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) do sistema de irrigação por gotejamento que operou com água cinza tratada, ao longo do período de avaliação.



**Fonte:** Compilação própria (2014).

Por outro lado, no trabalho desenvolvido por Vale et al. (2013), com sistema de irrigação por gotejamento, operando com água residuária doméstica tratada, durante 48 dias; houve redução no valor de CUD de 99%, em função do elevado nível de entupimento dos gotejadores.

Nas três avaliações (28 de outubro, 25 de novembro e 09 de dezembro de 2014), todos os valores de CUD do sistema de irrigação por gotejamento foram superiores ou iguais a 90%, sendo classificados como excelentes por Merriam e Keller (1978).

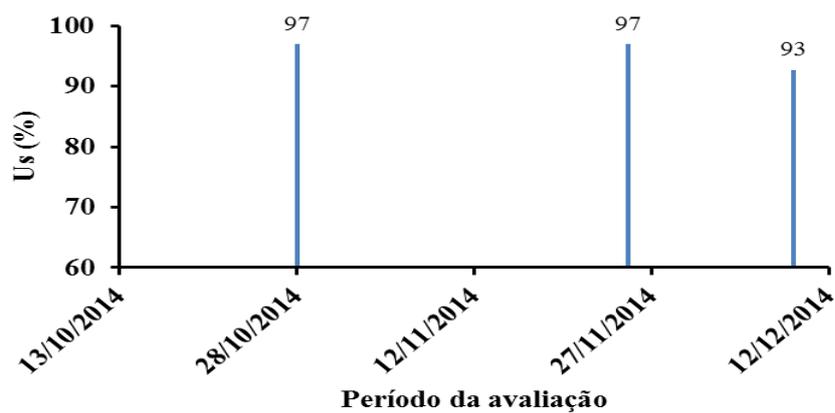
#### 4.2.4 Coeficiente de uniformidade estatístico (Us)

Verificou-se, na Figura 12, que somente na terceira avaliação (09 de dezembro de 2014) foi que houve alteração no valor de Us em função do entupimento parcial dos gotejadores, tendo redução de Us de 4%.

Este resultado difere do obtido por Batista et al. (2011) que encontraram reduções nos valores de Us de 24% a 59% em sistemas de irrigação por gotejamento que operaram com água residuária doméstica preliminar, secundária e terciária, durante 500 horas.

Nas duas primeiras avaliações (28/10 e 25/11 de 2014) os valores de Us foram superiores ao limite de 95%, estabelecido pela norma ASAE EP 405 (ASAE, 2003), sendo classificados como excelentes. No entanto, a terceira avaliação (09 de dezembro de 2014) apresentou valor de Us inferior a 95%, recebendo, assim, a classificação boa, segundo a norma ASAE EP 405 (ASAE, 2003).

**Figura 12.** Comportamento do coeficiente de uniformidade estatístico (Us) do sistema de irrigação por gotejamento que operou com água cinza tratada, ao longo do período de avaliação.



Fonte: Compilação própria (2014).

Em geral, após 42 dias de aplicação da água cinza tratada notou-se um ligeiro entupimento parcial nos gotejadores do sistema de irrigação, onde os indicadores de desempenho hidráulico, ainda, não foram comprometidos. Neste sentido, é recomendado a

aplicação de tratamentos de desobstrução dos emissores tais como aplicação de ácidos, derivados cloração ou bactérias consumidoras de biofilme, a cada 40 horas de operação do sistema.

Vale salientar, que os resultados obtidos em análise foram confrontados com dados de pesquisas que mais se aproximavam da água analisada, nesse caso, o esgoto doméstico, dessa forma, pôde-se até observar que os resultados para água cinza apresentaram diagnósticos melhores que os resultados para esgoto doméstico, sendo assim sugerido o uso da água cinza para irrigação invés de esgoto doméstico, no qual a água cinza com apenas alguns tratamentos preliminares e primários pode ser usada para culturas consumidas cru, enquanto que o esgoto doméstico não, devido conter um número bastante considerável de microrganismos patogênicos.

## 5 CONCLUSÕES

A água cinza apresenta potencial de obstrução de gotejadores, onde as características pH, magnésio e bicarbonato apresentaram risco severo de entupimento;

A água cinza deve ser utilizada com restrição para a irrigação de cultivos agrícolas, pois o nível populacional de *E. Coli* é considerável, evitando-se a aplicação do efluente por aspersão e cultivos agrícolas que entrem em contato direto com o efluente; e

A aplicação da água cinza tratada, durante 42 dias, propiciou ligeira redução nos valores de vazão, do coeficiente de uniformidade de distribuição e do coeficiente de uniformidade estatístico, enquanto acarretou aumento no valor do coeficiente de variação de vazão, em função do entupimento parcial dos gotejadores.

## REFERÊNCIAS

- ABES-SP. **Reúso da Água**, série “Cadernos de Engenharia Sanitária e Ambiental”. São Paulo, 1997.
- ALMEIDA, O. T. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. 227p.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (ASAE ). **ASAE EP 405**. Design and installation of microirrigation systems. In: ASAE Standards 2003. St. Joseph: ASAE. 2003. p.900-905
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7229**. Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993, 15p.
- 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 ISO 9261** Equipamentos de irrigação agrícola - Emissores e tubos emissores - Especificações e métodos de ensaio. ABNT. Rio de Janeiro: ABNT, 2006. 17p.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p.
- BATISTA, R. O.; SOARES, A. A.; SANTOS, D. B. Riscos da fertirrigação com esgoto sanitário e as relações entre os íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e a salinidade total. **Revista Ceres**, Viçosa, v.53, n.307, p.394-398. 2006.
- BATISTA, R. O. **Desempenho de sistema de irrigação por gotejamento utilizado na aplicação de água residual de suinocultura**. 2007. 168 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
- BATISTA, R. O.; SOUZA, J. A. R.; FERREIRA, D. C. Influência da aplicação de esgoto doméstico tratado no desempenho de um sistema de irrigação. **Revista Ceres**, Viçosa, v.57, n.1, p. 18-22, 2010.
- BATISTA, R. O.; COSTA, F. G. B.; LOPES, H. S. S.; COELHO, D. C. L.; PAIVA, M. R. F. C. Efeito das características do esgoto doméstico na uniformidade de aplicação de sistemas de irrigação por gotejamento. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 4, p. 137-144, 2011.
- BATISTA, R. O.; DIAS, N. da S.; FREIRE, F. G. C.; SILVA, K. B. da. Princípios e técnicas de tratamento de água e esgoto. In: DIAS, N. da S.; BRÍGIDO, A. R.; SOUZA, A. C. M (Org.). **Manejo e conservação dos solos e da água**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2013a. p. 235-257.
- BATISTA, R. O.; OLIVEIRA, R. A. de; SANTOS, D. B. dos; MESQUITA, F. de O.; SILVA, K. B. da. Suscetibilidade ao entupimento de gotejadores operando com água residual de suinocultura. **WRIM**, v. 2, n. 1, p. 19-25, 2013b.

BATISTA, R.O.; BATISTA, R. O.; FIA, R.; SILVA, D. de F. Qualidade das águas residuárias para irrigação. **Boletim Técnico**, Lavras: UFV, n. 99, p. 31, 2014.

BERNARDI, C. C. **Reúso de água para irrigação**. 2003. 63 f. Monografia (Especialização em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada) – ISEA-FGV/ECOBUSINESS SCHOOL, Brasília, 2003.

BRASIL. **Lei nº 11.445 de 05 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Brasília, DF, 05 jan. 2007. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm)>. Acesso em: 11 out. 2014

BRASIL. **Portaria MS nº 2914, de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial, Brasília, 2011a. Disponível em: <[http://www.cvs.saude.sp.gov.br/zip/Portaria\\_MS\\_2914-11.pdf](http://www.cvs.saude.sp.gov.br/zip/Portaria_MS_2914-11.pdf)>. Acesso em: 29 set. 2014.

BRASIL. **Resolução 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, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Diário Oficial, Brasília, 2011b. Disponível em: <[http://antigo.semace.ce.gov.br/integracao/biblioteca/legislacao/conteudo\\_legislacao.asp?cd=95](http://antigo.semace.ce.gov.br/integracao/biblioteca/legislacao/conteudo_legislacao.asp?cd=95)>. Acesso em: 29 set. 2014.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v.70, n.4, p.355-365, 1998.

CEARÁ. **Portaria nº154, de 22 de Julho de 2002**. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Diário Oficial do Estado do Ceará, Fortaleza, 2002. Disponível em: <[http://www.semace.ce.gov.br/biblioteca/legislacao/conteudo\\_legislacao.asp?cd=95](http://www.semace.ce.gov.br/biblioteca/legislacao/conteudo_legislacao.asp?cd=95)>. Acesso em: 28 dez. 2014.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Reuso de água**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guas-Superficiais/39-Reuso-de-%C3%81gua>>. Acesso em: 17 out. 2014.

CHANAKYA, H. N.; KHUNTIA, H. K. Treatment of gray water using anaerobic biofilms created on synthetic and natural fibers. **Process Safety and Environmental Protection**, Oxford, v 92, n. 2, p. 186-192, 2014.

COSTA, D de O. **Eficácia do Tratamento Biológico em Gotejadores Operando com Água Residuária Doméstica Tratada**. 2014. 111 f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2014.

COSTA, R. H. P. G. Poluição da água. In: TELLES, D. D'A.; COSTA, R. H. P. G. **Reuso da água: conceitos, teorias e práticas**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010a. 408p.

\_\_\_\_\_. Reúso. In: TELLES, D. D'A.; COSTA, R. H. P. G. **Reuso da água: conceitos, teorias e práticas**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010b. 408p.

DENÍCULI, W.; BERNARDO, S.; THIÁBAUT, J. T. L.; SEDYAMA, G. C. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 27, n. 50, p. 155-162, 1980.

FEITOSA, A. P.; LOPES, H. S. S.; BATISTA, R. O.; COSTA, M. S. ; MOURA, F. N. Avaliação do desempenho de sistema para tratamento e aproveitamento de água cinza em áreas rurais do semiárido brasileiro. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 3, p. 196-206, 2011.

FRIGO, E. P.; SAMPAIO, S. C.; FREITAS, P. L.; NÓBREGA, L. H.; SANTOS R. F.; MALLMANN, L. S. Desempenho do sistema de gotejamento e de filtros utilizando água residuária da suinocultura. **Irriga**, Botucatu, v.11, n. 3, p. 305-318, 2006.

FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. Brasília: Ministério da Saúde, 2007. 409 p.

GRIS, D. J; HERMES, E; VILAS BOAS, M. A. Aplicação de água residuária de processamento de mandioca em sistema de irrigação por gotejamento. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 11, n. suplemento, p. 1-9, 2012.

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

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2008**. Rio de Janeiro, 2010a. 219p.

IBGE. **Sinopse do censo demográfico 2010**. 2010b. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=P16&uf=00>>. Acesso em: 10 out. 2014.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C.A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. 1050p.

LEMOS, M. de. **Sistema modular para tratamento de esgoto doméstico em assentamento rural e reúso para produção de girassol ornamental**. 2011. 172 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2011.

LEUCK, M. F. **Avaliação econômica do impacto de medidas individualizadas de conservação de água em Porto Alegre**. 2008. 195 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

LI, F.; WICHMANN, K.; OTTERPOHL, R. Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 407, n. 11, p.3439-3449, 2009.

MANCUSO, P. C. S., SANTOS, H. F. (ed). **Reúso de água**. São Paulo: Manole, 2003.

MATOS, A. T. de. **Poluição ambiental: Impactos no Meio Físico**. Viçosa: UFV, 2010. 260 p.

MAY, S. **Caracterização, tratamento e reúso de águas e aproveitamento de águas pluviais em edificações**. 2008. 222 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica de Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MAY, S.; HESPANHOL, I. Tratamento de águas cinzas claras para reúso não potável em edificações. **REGA**, v. 5, n. 2, p.15-24, 2008.

MEDEIROS, S. de S; SOARES, A. A; FERREIRA, P. A; NEVES, J. C. L; SOUZA, J. A. de. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: estudo do estado nutricional do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.2, p. 109-115, set. 2008.

MERGULHÃO, J. C. Z.; EMERY, R. D. B. **Avaliação do desempenho de uma estação de tratamento de águas cinzas visando o reúso não-potável**. 2011. 112 f. TCC (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.

MERRIAM, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 1978. 271p.

MOTA, S.; BOTTO, M. Esgotamento sanitário no Brasil e sua relação com a saúde pública. In: ZANTA, V. M.; JUCÁ, J. F. T.; GOMES, H. P.; CASTRO, M. A. H. de (Org.). **Esgotamento sanitário: Projetos e construção de sistemas de esgotamento sanitário: guia do profissional em treinamento**. Salvador: ReCESA, 2008. p. 10-17.

NAKAYAMA. F. S.; BUCKS, D. A.; FRENCH, O. F. Reclaiming partially clogged trickle emitters. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v.20, p.278-280, 1977.

NUVOLARI, A.; COSTA, R. H. P. G. Tratameto de efluentes. In: TELLES, D. D'A.; COSTA, R. H. P. G. **Reuso da água: conceitos, teorias e práticas**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010. 408p.

OTTOSON, J.; STENSTROM, T. A. Faecal contamination of greywater and associated microbial risks. **Water Research**. Oxford, v. 37, n. 3, p.645-655, 2003.

SILVA, L. P. da; SILVA, M. M. da; CORREA, M. M; SOUZA, F. C. D; SILVA, E. F. de F. Desempenho de gotejadores autocompensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 480-486, 2012.

SILVA, K. B. da. **Desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento operando com água residuária da castanha do caju sob diferentes pressões de serviço**. 2012. 69 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2012.

SILVA, K. B.; SILVA JÚNIOR, M. J.; BATISTA, R. O.; SANTOS, D. B.; BARBOSA FILHO, S. Desempenho de gotejadores operando com efluente da castanha de caju sob distintas pressões de serviço. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n.3, p. 339-346, 2013.

SOUSA, J. T. de.; HENRIQUE, I. N.; LEITE, V. D.; LOPES, W. S. Tratamento de águas residuárias: uma proposta para a sustentabilidade ambiental. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Cruz das Almas, n. 1, p.90-97, 2006.

VALE, H. S. M.; ARRUDA, L. E. V, de; COSTA, D. de O.; COSTA. F. G. B.; OLIVEIRA. R. O. Potencial de entupimento de um sistema de irrigação por gotejamento operando com esgoto doméstico tratado. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 2, n. 1, p. 63-70, jan-abr. 2013.

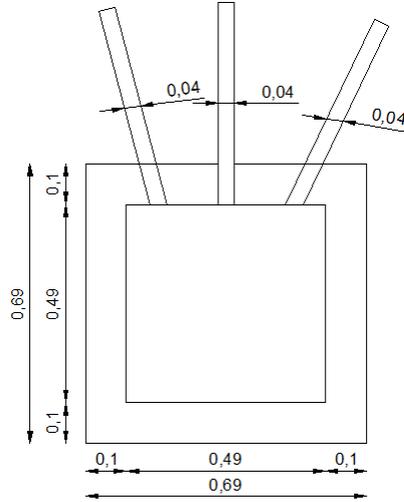
WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. Geneva: World Health Organization, v. 2, 2006. 196p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Aproveichamiento de efluentes: Métodos y medidas de protección sanitaria en el tratamiento de aguas servidas**. Geneva, OMS, 1973. (Séries de Informes Técnicos, 517).

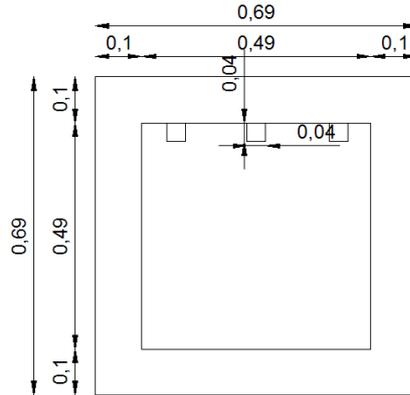
## **APÊNDICE**

**APÊNDICE A – Plantas da Estação de Tratamento e Aproveitamento Agrícola de Água Cinza no Assentamento em estudo**

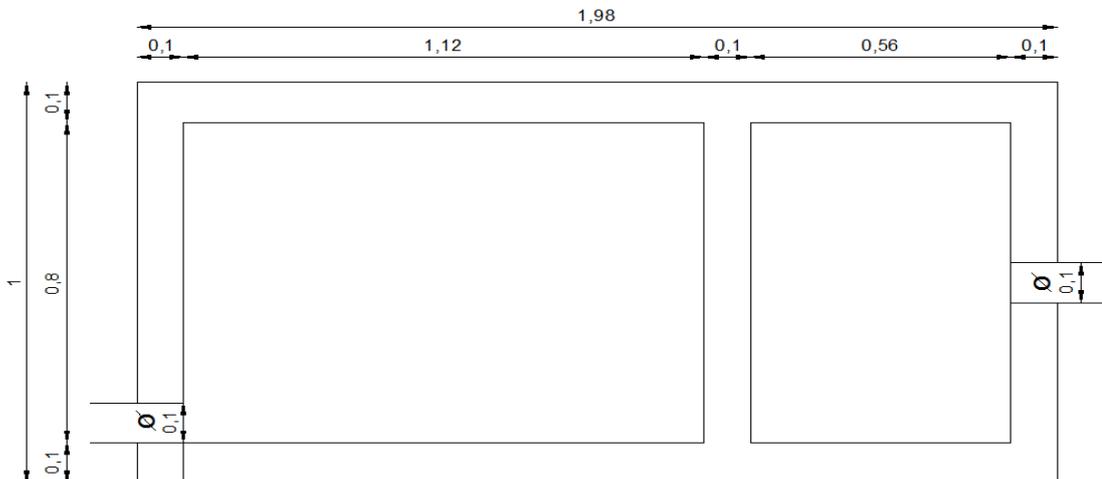
Planta baixa da Caixa de Passagem



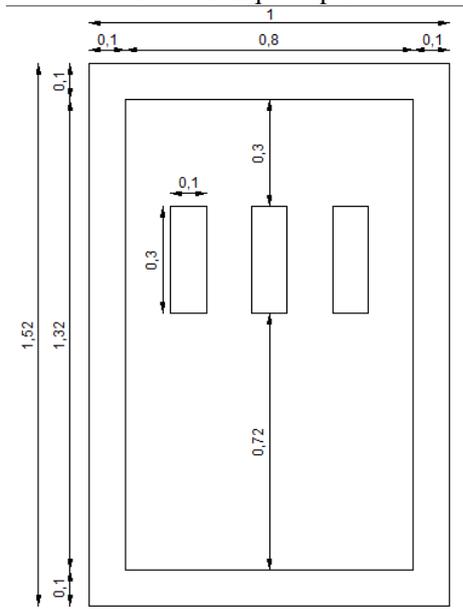
Corte da Caixa de Passagem



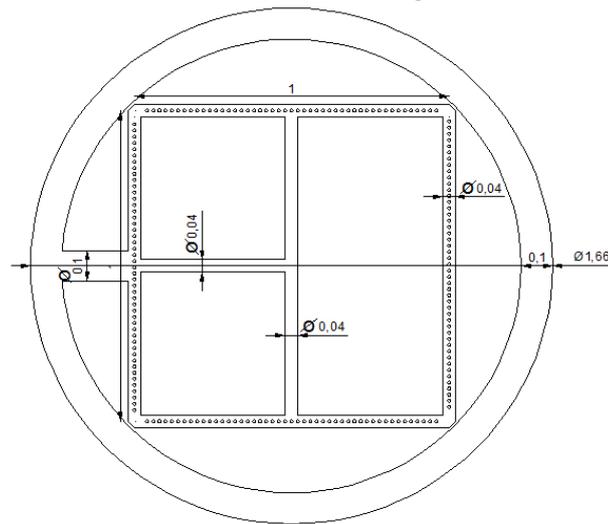
Planta baixa do Tanque Séptico



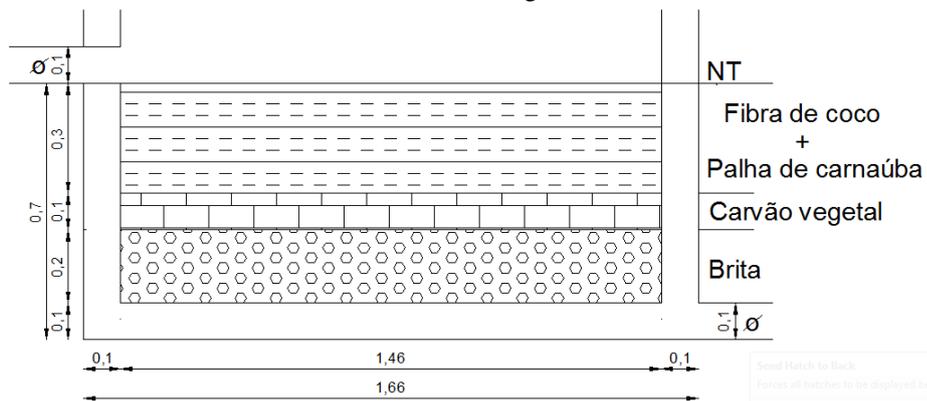
Corte do Tanque Séptico



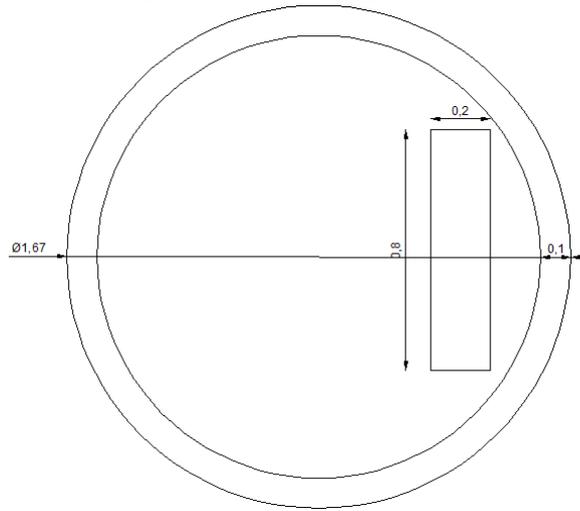
Planta baixa do Filtro Orgânico



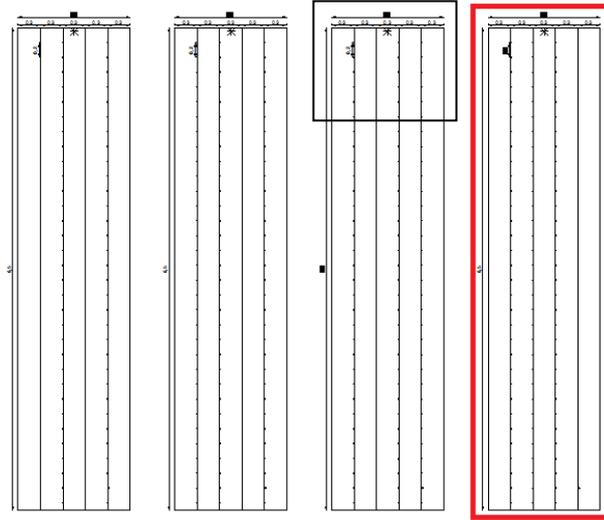
Corte do Filtro Orgânico



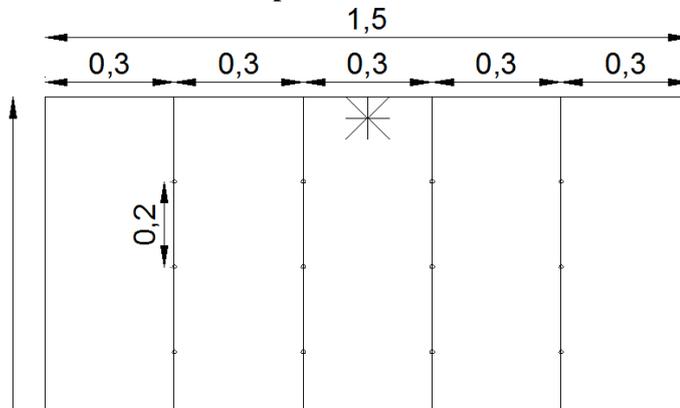
Planta baixa do Reservatório



Planta baixa do Canteiro



Detalhe da planta baixa do Canteiro



## **ANEXOS**

**Tabela 4.** 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)	
		C	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).

**Tabela 5.** Período de retenção dos despejos, por faixa de contribuição diária

Contribuição diária (L)	Tempo de retenção	
	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).

**Tabela 6.** 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).

**Tabela 7.** 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).