



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO-UFRPE**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO-PRPPG**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL-PPEAMB**

**Laiany Tássila Ferreira**

**USO DA ÁGUA CINZA FILTRADA EM CULTIVO IRRIGADO NA**  
**AGRICULTURA FAMILIAR NO SERTÃO DO PAJEÚ**

**Recife/PE**

**2021**

Laiany Tássila Ferreira

**USO DA ÁGUA CINZA FILTRADA EM CULTIVO IRRIGADO NA  
AGRICULTURA FAMILIAR NO SERTÃO DO PAJEÚ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Área de concentração: Tecnologia e Gestão do Meio Ambiente.

Linha de pesquisa: Controle e Remediação da Poluição.

Orientador: Prof. Genival Barros Junior, D.Sc

**Recife/PE**

**2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

F383u

Ferreira, Laiany Tássila

Uso da água cinza filtrada em cultivo irrigado na agricultura familiar no Sertão do Pajeú / Laiany Tássila Ferreira.  
- 2021.

114 f. : il.

Orientador: Genival Barros Junior.

Inclui referências e anexo(s).

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, 2021.

1. Águas residuárias. 2. Estresse hídrico. 3. Tratamento de efluente . I. Junior, Genival Barros, orient. II. Título

CDD 620.8

---

**Laiany Tássila Ferreira**

**USO DA ÁGUA CINZA FILTRADA EM CULTIVO IRRIGADO NA  
AGRICULTURA FAMILIAR NO SERTÃO DO PAJEÚ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de  
Pernambuco como requisito para obtenção do título de  
mestre em Engenharia Ambiental

Área de concentração: Tecnologia e Gestão do Meio  
Ambiente.

Linha de pesquisa: Controle e Remediação da Poluição.

Aprovado em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Banca examinadora

---

Prof. Dr. Genival Barros Junior – UAST/UFRPE  
(Orientador)

---

Prof. Dr. José Ramom Barros Cantalice – PPEAMB/UFRPE

---

Prof. Dr. José Amilton Santos Junior – PGEA/UFRPE

## **Agradecimentos**

À Deus, pela dádiva da vida e por ser sempre generoso em suas bênçãos, mostrando que para tudo Ele traz soluções, mesmo em meio ao caos.

Aos meus pais Amélia e Geraldo, por todos os ensinamentos que me guiaram durante toda minha vida. Eu amo vocês.

Em especial, à minha “mainha”, por ser o exemplo de mulher guerreira, por toda confiança, até mesmo quando minha fé estava abalada, você esteve ao meu lado. Razão da minha vida, tudo por você.

Aos meus irmãos, Jerbison, Vinícius e Heitor Vítor, por todo amor e paciência, vocês são essenciais em minha vida.

Ao meu namorado, por ser sempre presente, por todo apoio, e por sempre confiar no meu potencial, você foi de total importância.

À minha amiga Joana, que batalhou comigo no desenvolvimento da pesquisa, sem você seria tudo mais difícil. Obrigada pela paciência e conselhos, foram fundamentais.

Aos meus amigos de Serra Talhada, Ralison, Paulo, Isaias e Eliel, que nunca mediram esforços para me ajudar.

Ao meu orientador, Genival Barros Junior, pela paciência e ensinamentos que irei levar por toda vida, seja em conversas informais ou em orientações acerca do trabalho. O senhor tem toda minha admiração, principalmente por ser exemplo de ser humano e de professor. Serei eternamente grata.

À família de Dona Gerlande, por aceitar ser parceiros da pesquisa, cedendo a água cinza utilizada na pesquisa.

Às ONG's Centro Sabiá e CAATINGA, por todo apoio durante a pesquisa, foram fundamentais para alcançarmos nossos objetivos.

À Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia do Estado do Pernambuco, pelo apoio financeiro

## RESUMO

A água é um bem limitado, e o uso intensivo desse recurso natural na agricultura tem pressionado as reservas hídricas, tornando necessário a busca por alternativas sustentáveis que viabilizem a disponibilidade hídrica para as demais atividades, com destaque para o reaproveitamento da água cinza doméstica. Nesse contexto, a presente pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de caracterizar a qualidade do efluente doméstico e seu efeito na irrigação da cultura do sorgo granífero IPA-1011, submetido a diferentes condições de água disponível no solo. A pesquisa foi desenvolvida com água cinza filtrada captada em residência rural que utiliza um sistema de tratamento físico para reuso de água cinza (RAC). Feita a caracterização do efluente proveniente do RAC, bem como da água de abastecimento utilizada pela família residente, para quais foram determinados parâmetros como CE, pH, turbidez e a presença dos elementos químicos cálcio, sódio, cloreto, bicarbonato, potássio, boro, cobre, ferro, manganês e magnésio, passou-se a realizar ensaios com diferentes configurações de camadas filtrantes, a fim de monitorar a qualidade do efluente após segunda filtração, além de determinar o tempo de fluxo e da vazão instantânea em camadas filtrantes saturadas e não saturadas. O efluente doméstico filtrado, também foi destinado para a irrigação do sorgo, em delineamento em blocos casualizados com esquema fatorial  $5 \times 2 + 1$  com três repetições, tendo como primeiro fator as lâminas de irrigação com água cinza filtrada ( $\Theta$  residual, 20%, 40%, 60%, e 100% da água disponível no solo), com segundo fator referente aos turnos de rega de 3 e 6 dias, e um tratamento adicional que foi conduzido a 100% da água disponível no solo utilizando-se água de abastecimento urbano. Constatou-se que a água de abastecimento e a água cinza, ambas coletadas na residência rural, foram classificadas para fins de irrigação como  $C_3S_1$  com alto risco de salinização e baixo risco de sodicidade e, o incremento de produtos químicos utilizados na residência não modificou a classificação, porém elevou em 61,8% a salinidade da água cinza em comparação com a água de abastecimento. A introdução da maravalha de madeira como um dos elementos filtrantes, mostrou-se eficiente na melhoria da vazão final dos filtros, além de evitar a retenção de água na superfície dos filtros. A biometria realizada ao longo do cultivo do sorgo, comprovou que a irrigação com água cinza filtrada favoreceu o desenvolvimento da cultura quando comparada com as plantas desta espécie vegetal submetidas ao regime de sequeiro e que as plantas conduzidas com 60% da água disponível no solo apresentaram um desempenho satisfatório para os parâmetros analisados, destacando-se como um nível de referência promissor.

Palavras-chave: Água residuária. Estresse hídrico. Tratamento de efluente.

## ABSTRACT

The water is a limited resource and the intensive use of this natural resource in the agriculture has put pressure on water reserves, making it necessary to search for sustainable alternatives make water available for other activities, with emphasis on the reuse from domestic gray water. Then, the this research aimed to characterize the quality domestic effluent and its effect on the irrigation of the grain sorghum crop IPA-1011, submitted to different conditions of available water in the soil. The research was carried out with filtered gray water collected in a rural residence that uses a physical treatment system for gray water reuse (RAC). The characterization of the effluent from the RAC was carried out, as well as the supply water used by the resident family, which parameters such as EC, pH, turbidity and the presence of the chemical elements calcium, sodium, chloride, bicarbonate, potassium, boron, copper were determined , iron, manganese and magnesium, tests were carried out with different configurations of filtering layers, in order to monitor the quality of the effluent after a second filtration, in addition to determining the flow time and instantaneous flow rate in saturated and unsaturated filtering layers. The filtered domestic effluent was also destined for sorghum irrigation, in randomized block design with a  $5 \times 2 + 1$  factorial scheme with three replications, having how irrigation depths with filtered gray water as the first factor ( $\Theta$  residual, 20%, 40%, 60%, and 100% of the water available in the soil), with the second factor referring to the irrigation shifts of 3 and 6 days, and an additional treatment that was conducted to 100% of the water available in the soil using water from urban supply. It was found that the supply water and gray water, both collected in the rural residence, were classified for irrigation purposes as C3S1 with high risk of salinization and low risk of sodicity, and the increase in chemical products used in the residence did not change the classification, but raised by 61.8% the salinity of gray water compared to the supply water. The introduction of wood shavings as one of the filtering elements proved to be efficient in improving the final flow of the filters, in addition to preventing water retention on the surface of the filters. The biometrics carried out during the sorghum cultivation showed that irrigation with filtered gray water favored the development of the crop when compared to plants of this plant species subjected to dryland conditions and that plants grown with 60% of the available water in the soil presented a satisfactory performance for the analyzed parameters, standing out as a promising reference level.

Keywords: Wastewater. Hydric stress. Wastewater treatment.

## LISTAS DE FIGURAS CAPÍTULO 2 – PARTE 2

<b>Figura 1</b> - Bancada de filtros físicos com diferentes espessuras e camadas filtrantes Serra Talhada – PE, abril de 2021. ....	48
<b>Figura 2</b> - Condutividade elétrica e sólidos dissolvidos totais em água de abastecimento (A), água cinza em segunda filtragem após limpeza da caixa de gordura em intervalos de 15 dias (B) e 30 dias (C).....	58
<b>Figura 3</b> - Drenabilidade para diferentes estratos de filtros sob condições de saturação e com caixa de gordura limpa, respectivamente, a cada 15 e 30 dias – água cinza filtrada – Serra Talhada – PE, abril de 2021.....	66

## LISTAS DE FIGURAS CAPÍTULO 3

<b>Figura 1</b> - Parcelas experimentais de sorgo submetido a diferentes condições de água cinza disponível no solo – Serra Talhada – PE, abril de 2021. ....	75
<b>Figura 2</b> - Sistema de reuso de água cinza filtrada construído na parceria entre Centro Sabiá/CAATINGA e a CARITAS Alemã – Flores – abril, 2021.....	77
<b>Figura 3</b> - Diâmetro do colmo (DC) do sorgo dos 26 aos 54 dias após a semeadura (DAS) em função de diferentes níveis de água no solo.....	84
<b>Figura 4</b> - Comprimento do colmo (CC) do sorgo dos 26 aos 54 dias após a semeadura (DAS) em função de diferentes níveis de água no solo.....	87
<b>Figura 5</b> - Altura da planta (AP) do sorgo dos 33 aos 54 dias após a semeadura (DAS) em função de diferentes níveis de água no solo. ....	91
<b>Figura 6</b> - Número de perfilhos (NP) do sorgo dos 33 aos 54 dias após a semeadura (DAS) em função de diferentes níveis de água no solo – Serra Talhada – PE. Abril de 2021	93
<b>Figura 7</b> - Número de folhas vivas do sorgo dos 33 aos 54 dias após a semeadura (DAS) em função de diferentes níveis de água no solo. ....	95
<b>Figura 8</b> - Número de folhas do sorgo dos 33 aos 54 dias após a semeadura (DAS) em função de diferentes níveis de água no solo – Serra Talhada – abril de 2021.....	97
<b>Figura 9</b> - Fitomassa da parte aérea do sorgo dos 26 aos 54 dias após a semeadura (DAS) em função de diferentes níveis de água no solo. ....	100

**Figura 10** - Incremento no peso da fitomassa total em relação as plantas mantidas a 20% de água disponível no solo e em comparação entre plantas irrigadas com água cinza filtrada e água de abastecimento – Serra Talhada – abril de 2021..... 101

### **LISTA DE TABELAS CAPÍTULO 2 – PARTE 1**

**Tabela 1** - Condutividade elétrica (CE) e potencial hidrogeniônico (pH) da água de abastecimento da residência rural e da água cinza filtrada produzida no RAC ao longo do tempo – Serra Talhada – PE, março de 2021 .....37

**Tabela 2** - Valores dos atributos físico-químicos do afluente e efluente da residência rural em Flores – PE, em setembro de 2020..... 39

### **LISTA DE TABELAS CAPÍTULO 2 – PARTE 2**

**Tabela 3** - Composição e espessura das camadas filtrantes – ensaios de segunda filtração com água de abastecimento e água cinza filtrada- Serra Talhada – PE, abril de 2021. ....49

**Tabela 4** - Análise físico-química da água de abastecimento urbano (AA) e da água cinza filtrada (AC) utilizadas nos ensaios de filtros – Serra Talhada – PE, março de 2021. ...52

**Tabela 5** - Parâmetros físico-químicos da água em condição inicial e após passagem pelos filtros físicos não saturados – Serra Talhada – PE, abril de 2021 .....54

**Tabela 6** - Drenabilidade para diferentes estratos de filtros – em condição de não saturação com caixa de gordura limpa a cada 15 dias - Serra Talhada - PE, abril de 2021 .....61

**Tabela 7** - Drenabilidade para diferentes estratos de filtros – em condições não saturada e saturada com caixa de gordura limpa a cada 15 dias - Serra Talhada - PE, abril de 2021 ....64

**Tabela 8** - Drenabilidade para diferentes estratos de filtros – água cinza filtrada: filtros sob condições de saturação e com caixa de gordura limpa, a cada 15 e 30 dias – Serra Talhada – PE, abril de 2021 ..... 67

### **LISTA DE TABELAS CAPÍTULO 3**

**Tabela 1**- Análise química e física do solo utilizado no cultivo da Sorgo ..... 76

<b>Tabela 2</b> - Análise físico-química da água de abastecimento (AA) e água cinza (AC) utilizada na irrigação do sorgo - Serra Talhada – abril de 2021.....	78
<b>Tabela 3</b> - Resumo da análise de variância referente à variável diâmetro do colmo (DC) nas plantas de sorgo – Serra Talhada – abril de 2021.....	83
<b>Tabela 4</b> - Resumo da análise de variância (ANAVA) referente ao comprimento do colmo (CC) nas plantas de sorgo – Serra Talhada – abril de 2021 .....	85
<b>Tabela 5</b> - Volume das lâminas de irrigação acumuladas em litros no período de 54 dias após o semeio.....	88
<b>Tabela 6</b> - Resumo da análise de variância referente à variável altura da planta (AP) avaliada até os 54 dias após a semeadura (DAS) – Serra Talhada – abril de 2021. ....	90
<b>Tabela 7</b> - Resumo da análise de variância referente à variável número de perfilhos (NP) avaliada até os 54 dias após a semeadura (DAS) – Serra Talhada – abril de 2021.....	92
<b>Tabela 8</b> - Resumo da análise de variância (ANAVA) referente ao número de folhas vivas (NFV) – Serra Talhada – abril de 2021 .....	94
<b>Tabela 9</b> - Resumo da análise de variância (ANAVA) referente ao número de folhas mortas (NFM) - Serra Talhada – abril de 2021 .....	96
<b>Tabela 10</b> - Resumo da análise de variância (ANAVA) referente a fitomassa total .....	99
<b>Tabela 11</b> - Resumo da análise de variância (ANAVA) referente à relação raiz/parte aérea do sorgo irrigado com água cinza filtrada e água de abastecimento – Serra Talhada – PE, abril de 2021 .....	102
<b>Tabela 12</b> - Resumo da análise de variância referente ao consumo total de água (CTA) e eficiência do uso de água (EUA).....	104
<b>Tabela 13</b> - Resumo da análise de variância (ANAVA) referente a condutividade elétrica e pH do extrato de saturação do solo. ....	106

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 – REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2 CONVIVÊNCIA COM O SEMIÁRIDO E REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA .....</b>	<b>14</b>
<b>3 O SEGMENTO SOCIAL E PRODUTIVO DA AGRICULTURA FAMILIAR NO SEMIÁRIDO.....</b>	<b>17</b>
<b>4 AGRICULTURA FAMILIAR E A PRÁTICA DA IRRIGAÇÃO.....</b>	<b>19</b>
<b>5 MECANISMOS DE RESPOSTAS AO ESTRESSE HÍDRICO PELOS CULTIVOS AGRÍCOLAS.....</b>	<b>21</b>
<b>6 A ADAPTAÇÃO DA CULTURA DO SORGO (SORGHUM BICOLOR (L.) MOENCH) AOS AMBIENTES SEMIÁRIDOS .....</b>	<b>23</b>
<b>7 IMPACTOS DA IRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA NA QUALIDADE DO SOLO.....</b>	<b>25</b>
<b>8 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>26</b>
<b>CAPÍTULO 2 – PARTE 1: CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO E DA ÁGUA CINZA FILTRADA PARA A IRRIGAÇÃO NA UNIDADE RESIDENCIAL FAMILIAR RURAL .....</b>	<b>33</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>33</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>36</b>
<b>4 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>42</b>
<b>CAPITULO 2 – PARTE 2: FILTROS FÍSICOS PARA A ÁGUA CINZA PROVENIENTE DE RESIDÊNCIA FAMILIAR RURAL COM DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE CAMADAS – PERFORMANCE NUMA SEGUNDA FILTRAGEM. ....</b>	<b>45</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>45</b>
<b>2 METODOLOGIA .....</b>	<b>47</b>
2.1 BANCA DE FILTROS FÍSICOS EM LABORATÓRIO – ENSAIOS COM ÁGUA CINZA EM SEGUNDA FILTRAGEM .....	47
2.2 ANÁLISE DA ÁGUA CINZA EM SEGUNDA FILTRAGEM.....	50
2.3 DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE FLUXO E DA VAZÃO INSTANTÂNEA EM CAMADAS DE FILTRO NÃO SATURADAS .....	50
2.4 DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE FLUXO E DA VAZÃO INSTANTÂNEA EM CAMADAS DE FILTRO SATURADAS.....	51
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>51</b>
<b>4 REFERENCIAS .....</b>	<b>68</b>

**CAPÍTULO 3 – DESENVOLVIMENTO INICIAL DO SORGO GRANÍFERO (SORGHUM BICOLOR (L.) MOENCH) IRRIGADO COM ÁGUA CINZA FILTRADA**  
72

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>72</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>74</b>
2.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	74
2.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	74
2.3	CARACTERIZAÇÃO DA CULTIVAR DE SORGO IPA 1011	75
2.4	ESTRUTURAÇÃO E MANEJO DOS ENSAIOS	76
2.5	MONITORAMENTO DO CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO E MANEJO DAS LÂMINAS	78
2.6	MONITORAMENTO, COLETA E ANÁLISE DA BIOMASSA DO SORGO	80
2.7	MONITORAMENTO DO APORTE DE SAIS NO SOLO	81
2.8	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	81
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>81</b>
3.1	DESEMPENHO DO SORGO FORRAGEIRO IRRIGADO COM ÁGUA CINZA FILTRADA	81
3.1.1	Diâmetro do colmo (DC – cm)	81
3.1.2	Comprimento do colmo (CC - cm)	85
3.1.3	Altura da planta (AP - cm)	89
3.1.4	Número de perfilhos (NP)	91
3.1.5	Número de Folhas Vivas (NFV)	93
3.1.6	Número de Folhas Mortas (NFM)	95
3.1.7	Fitomassa total	98
3.1.8	Relação raiz/parte aérea	101
3.1.9	Eficiência do uso da água	103
3.1.10	Extrato da saturação do solo	104
<b>4</b>	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>106</b>
	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>110</b>

<b>ANEXOS .....</b>	<b>112</b>
---------------------	------------

## CAPÍTULO 1 – REFERENCIAL TEÓRICO

### 1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional implica no aumento do consumo de água para satisfazer os mais diversos tipos de atividades humanas o que, por sua vez, eleva a pressão pelo consumo deste importante insumo, aumentando o déficit hídrico já estabelecido e afetando a sua disponibilidade para fins potáveis e de irrigação. Esse entrave intensifica os debates acerca de alternativas sustentáveis para o reaproveitamento da água advinda das atividades humanas, destacando-se as ações para reutilização da água de qualidade inferior, como é o caso da água cinza proveniente dos esgotos domésticos (BLANKY *et al.*, 2015); esta medida se alia a outras que podem ser acionadas para mitigar os impactos provocados pela escassez hídrica, principalmente em regiões semiáridas, entre as quais se destacam o desenvolvimento de tecnologias capazes de promover o desenvolvimento de cultivos agrícolas utilizando menores quantidade de água, fertilizantes e área cultivada (MANN, 2018).

Este aspecto ganha ainda mais importância no cenário atual quando se constata que a disponibilidade de água nos reservatórios também passou a ser severamente afetada pelas mudanças climáticas, principalmente em áreas áridas e semiáridas de todo o mundo, fato que potencializa ainda mais a crise hídrica no Semiárido brasileiro, região do país reconhecidamente susceptível a aridização e que tem as suas reservas hídricas reduzidas muito rapidamente em função da irregularidade espacial e temporal das chuvas, com pluviometrias de baixa intensidade (ASSIS; SOUZA; SOBRAL, 2015).

A reutilização da água proveniente das atividades domésticas, além de diminuir a pressão pelo uso da água doce, teoricamente, beneficia o cultivo agrícola com o aporte de nutrientes presentes em sua composição; porém, torna-se relevante levar em conta os efeitos nocivos que podem causar ao solo, as próprias plantas e a saúde humana, dependendo de sua fonte de origem e do tratamento pós uso na atividade final, em função da possível presença de elementos tóxicos acumulativos e dos elevados teores de matéria orgânica. Alguns metais podem estar presentes na composição da água de reuso, sendo eles o zinco (Zn), o cádmio (Cd), o chumbo (Pb), o ferro (Fe), o cobre (Cu) e o níquel (Ni) que, ao longo do tempo, com aplicação excessiva e contínua podem causar fitotoxicidade, com efeitos na saúde humana de forma direta ou indireta através da cadeia alimentar ou pela contaminação dos corpos hídricos (GATTA *et al.*, 2016; GATTA *et al.*, 2018).

As atividades domésticas geram diferentes tipos de água residuárias classificadas nas categorias de água negra ou escura e de água cinza. A água negra ou escura são aquelas provenientes do vaso sanitário e apresentam alto grau de contaminantes para a saúde humana e de animais, precisando obrigatoriamente ser tratada antes de ser lançada no meio ambiente. Já a água cinza é aquela gerada pelas demais atividades realizadas na residência, cuja composição varia de acordo com a natureza dos produtos utilizados (FUNASA, 2018). De acordo com Tonetti *et al.* (2018) a separação da água negra e cinza é uma prática bastante utilizada no meio rural no Brasil, porém os dados quantitativos de adesão a essa prática variam em função da região habitada, comportamentos, cultura, condições financeiras, entre outros parâmetros ligados a população local.

Ao realizar a separação dos tipos de esgotos, possibilita-se um tratamento mais eficiente e de maneira sustentável da água negra (FUNASA, 2015), conhecida por causar maiores danos ao ambiente se descartada sem tratamento, além de permitir a reutilização da água cinza em atividades pré-estabelecidas e próximas ao local de coleta, contribuindo para a viabilização do saneamento, principalmente em áreas rurais (FIGUEIREDO *et al.*, 2019).

No Brasil, existe uma lacuna nos serviços de saneamento, que apresenta déficit em locais de elevada concentração populacional, onde predominam classes sociais com baixo poder aquisitivo, como é o caso das áreas rurais e nas periferias dos centros urbanos, muitas vezes esquecidos pelo poder público (PORTO; SALES; REZENDE, 2019).

Benefícios gerados pela irrigação contínua de água cinza numa mesma área, entre eles, o desenvolvimento das plantas resultante de um aporte hídrico permanente com elevada carga de nutrientes, são relatados por Figueiredo *et al.* (2019); ressalta-se ainda os benefícios econômicos e ambientais advindos da redução do uso de fertilizantes artificiais (OMS, 2016); no entanto, se faz necessário uma atenção redobrada quando a aplicação da água cinza ocorre por longos períodos de tempo, uma vez que pode ocasionar a salinização do solo e deterioração da qualidade dos cultivos irrigados (FIGUEIREDO *et al.*, 2019).

## **2 CONVIVÊNCIA COM O SEMIÁRIDO E REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA**

O Brasil caracteriza-se por uma distribuição populacional que não é compatível com a distribuição espacial dos recursos hídricos; isto passa a ser notório quando se constata que na região amazônica, cuja área territorial abriga o equivalente a 81% de toda reserva hídrica nacional, residem e trabalham apenas 5% da população, enquanto que, no Semiárido brasileiro, tem-se 4% da reserva hídrica para atender a 35% da população brasileira, ou seja,

particularmente na região semiárida, tem-se um quadro de desequilíbrio entre a demanda por água e a reserva hídrica existente para atender as necessidades antrópicas, fato que é ainda mais agravado por uma gestão ineficiente da pouca água existente e fortemente demandada pela população (CIRILO, 2015).

A escassez hídrica vem se agravando em todas as regiões semiáridas do mundo em consequência do crescimento populacional, da ampliação da urbanização e das mudanças climáticas, com prejuízos inúmeros sobre a qualidade de vida e a economia destas regiões que estão cada vez mais submetidas a escassez de água ao longo dos anos. Estima-se que já em 2030 a população mundial estará enfrentando uma situação bem mais caótica que atual, com um déficit de água que alcançará cerca de 40% das áreas habitadas, cuja única saída para a reversão do quadro encontra-se na urgente e necessária melhoria da gestão dos recursos hídricos (WWDR, 2015).

Na região semiárida do estado de Pernambuco esta situação não é diferente e assim como no restante do Nordeste brasileiro, tem-se uma alta variabilidade espacial e temporal das chuvas, com importantes irregularidades na distribuição das precipitações ao longo do ano, com concentração em poucos meses do ano. Além disso, a região apresenta um elevado potencial de evaporação da água, que tem ligação direta com as altas temperaturas, baixa umidade do ar e grande incidência da radiação solar (ASSIS; SOUZA; SOBRAL, 2015).

Em função deste quadro, e assim como alternativa para as demais regiões semiáridas, as ações de gestão dos recursos hídricos no Sertão de Pernambuco, que busca atender aos usos múltiplos da água, aumenta ao longo dos anos a utilização de fontes de água de qualidade inferior, entre elas a água salobra, a negra tratada e a água cinza. Ressalta-se que a reutilização da água cinza é considerada uma das formas economicamente viável e de baixo risco que diminui a pressão pelo uso de água de qualidade superior e destinadas a atividades que demandam grande quantidade de água potável, que por sua vez poderia ser destinada para usos considerados prioritários, como o consumo humano e dessedentação animal (MAIMON; GROSS; ARYE, 2017).

Com o reaproveitamento da água cinza na irrigação de cultivos agrícolas em regiões semiáridas, ocorre um aporte orgânico que pode satisfazer as necessidades de reposição ao solo de alguns nutrientes importantes para as culturas; além do que, ao viabilizar o uso desta água antes descartada ao ambiente sem nenhum tratamento prévio, em regiões com baixas reservas de água destinada à agricultura, promove-se o aumento na produção de alimentos, com potencial redução de gastos com adubação, e como consequência, melhorias na renda familiar

a partir da venda ou consumo dos cultivos, além de ser um forte aliado na redução do êxodo rural (ANDRADE, *et al.*, 2020).

É fato que processos capazes de melhorar a qualidade da água para reuso beneficiam significativamente as mais diversas regiões do globo terrestre que apresentam baixa quantidade de água, entre as quais ganham destaque as regiões áridas e semiáridas que vivenciam situações de escassez dos recursos hídricos em termos qualitativos e quantitativos ao longo de todo o ano hidrológico (BODDU *et al.*, 2016).

No tocante aos debates ambientais sobre a reutilização da água cinza está presente a preocupação com a contaminação química das águas e com os efeitos adversos que possam causar nas plantas, nas propriedades biológicas e edáficas do solo e na saúde humana (SIGGINS *et al.*, 2016). No intuito de reduzir/eliminar os potenciais riscos que podem advir da água cinza, são elaborados e aplicados diferentes tipos de tratamento que variam entre processos considerados simples e de fácil obtenção e operação até processos mais complexos como reatores biológicos (DE PAULA; FERNANDES, 2018).

A composição da água cinza varia de acordo com sua fonte, podendo incluir sabões e detergentes, óleos e graxas, fragmentos de roupas, cabelos, entre outros, e sempre com o risco de estarem presentes os coliformes fecais. Esses componentes, bem como a atividade que irá ser beneficiada com a água de reuso, influenciam no nível de tratamento necessário para atender aos requisitos impostos (BODDU *et al.*, 2016). Em função da proporção que a escassez hídrica vem alcançando com o passar dos anos, torna-se cada vez mais necessário investimentos em tecnologias capazes de promover o tratamento de efluentes para serem destinados as mais diversas formas de reutilização da água com alta qualidade e baixos riscos à saúde humana e ao meio ambiente (WARD *et al.*, 2015).

Bani-Melhem *et al.* (2015) definem água cinza como todo efluente proveniente da cozinha, processo de lavagem de roupas, lavatórios de mãos, banhos e de qualquer outro ambiente com exceção dos vasos sanitários. A conceituação de água cinza varia entre autores, porem baseia-se no entendimento de ser a água residual que não entra em contato com a água negra, proveniente das bacias sanitárias ou com água de lavagem de material contaminado com excrementos humanos e de animais (BODDU *et al.*, 2016).

A quantificação da água cinza em uma residência varia de acordo as atividades em seu interior e podem alcançar cerca de 80 – 85% de todo efluente doméstico (BANI-MELHEM *et al.*, 2015). No tocante ao uso da água cinza na irrigação, esta tem sido utilizada em manejo similar as irrigações de “salvação”, uma vez que, reconhecidamente, nas irrigações convencionais a demanda por água exige o uso de grandes volumes, o que não se tem em larga

escala na água cinza produzida nas residências rurais; por outro lado, em áreas urbanas este volume alcança patamares consideráveis, de forma que a reutilização da água cinza para irrigação, como parte do suporte hídrico demandado, está sendo utilizada positivamente em todo o mundo (MAIMON; FRIEDLER; GROSS, 2014).

### **3 O SEGMENTO SOCIAL E PRODUTIVO DA AGRICULTURA FAMILIAR NO SEMIÁRIDO**

Até a década de 1990, os estratos sociais hoje reconhecidos como agricultores familiares eram conceituados como pequeno produtor, produtor de subsistência ou como produtor de baixa renda, o que foi se alterando devido a luta de movimentos sociais formados pelo coletivo de agricultores organizados que buscavam, de alguma forma, alcançar políticas públicas que destinassem créditos para suas práticas agrícolas e ações capazes de promover o aumento dos preços dos gêneros agrícolas produzidos no estabelecimento familiar, associados a formas variadas de comercialização, além de incentivos promovidos pela regulamentação em esfera legal da previdência social rural, dando início ao processo de conceituação e conhecimento desse setor como “Agricultura Familiar” (CHEUNG, 2013; MATTEI, 2014).

Assim esse segmento ganhou espaço por suas características sociais e meios de produção e foi beneficiada com a implementação de políticas públicas que até então eram voltadas apenas para médios e grandes produtores (SOUZA-ESQUERDO; BERGAMASCO, 2015).

A legislação brasileira passou a estabelecer critérios técnicos para enquadrar a atividade de produção da agricultura familiar através da elaboração e publicação da lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006, que estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais e define, no seu artigo 3º, o Agricultor Familiar, nos seguintes termos:

Art. 3º Para os efeitos desta Lei, considera-se agricultor familiar e empreendedor familiar rural aquele que pratica atividades no meio rural, atendendo, simultaneamente, aos seguintes requisitos:

I - não detenha, a qualquer título, área maior do que 4 (quatro) módulos fiscais;

II - utilize predominantemente mão-de-obra da própria família nas atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento;

III - tenha percentual mínimo da renda familiar originada de atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento, na forma definida pelo Poder Executivo;

IV - dirija seu estabelecimento ou empreendimento com sua família. (BRASIL, 2006).

Segundo Schneider (2016) a agricultura familiar é um segmento social que detém área produtiva, renda e características sociais distintas, estando associada com a maneira que cada

indivíduo estabelece critérios e estratégia de produção agrícola e gestão dos recursos disponíveis. Ou seja, não necessariamente a agricultura familiar se enquadra como um setor de baixa renda como proposto na conceituação difundida anteriormente a década de 90, pois é preciso levar em consideração as variáveis existentes em cada propriedade, sejam estas relacionadas a questões de renda, área de produção ou posse de tecnologias voltadas ao meio produtivo capazes de afetar significativamente no poder econômico das famílias.

No estado do Pernambuco, na região que envolve o Sertão do Pajeú, a agricultura familiar é majoritária em relação as demais modalidades ocupação e manejo da terra e está maciçamente presente em todas as áreas rurais, sendo que, a grande maioria do regime de cultivo ainda é dependente da chuva e por isso denomina-se de sequeiro, assim caracterizada por não utilizar práticas de irrigação na condução das culturas (TEIXEIRA, 2016).

A agricultura realizada por pequenos agricultores familiares tem se tornado primordial para a segurança alimentar local e nacional, principalmente em países em desenvolvimento, por ser capaz de suprir de forma localizada a demanda por alimentos da região aonde se estabeleceu, favorecendo o repasse de alimentos com preços mais baixos, além de alavancar o desenvolvimento da região (BELESKY, 2014). Porém, por serem descapitalizados, em função da ausência de políticas públicas que os apoiem e do modelo capitalista de concentração da renda, os agricultores familiares enfrentam grande dificuldade na obtenção de recursos que possibilitem o incremento da produção de alimentos e a convivência com as dificuldades locais provenientes das questões climáticas, especialmente no Semiárido brasileiro (BERCHIN *et al.*, 2019).

Sabe-se que, quanto maior a necessidade de produção de alimentos, maior será o consumo de água voltado para irrigação de culturas, fator de grande preocupação em regiões áridas e semiáridas. Desta forma, para reduzir os impactos gerados pela falta de água para manutenção dos cultivos, tem-se tornado imperativo que soluções sustentáveis sejam buscadas para garantir a segurança hídrica e alimentar (CHEKLI *et al.*, 2017). Contudo, apesar dos benefícios da irrigação tanto para as culturas, quanto para o desenvolvimento econômico e social de uma determinada região, quando mal gerenciada, esta pode trazer impactos ao meio ambiente e as áreas de cultivo, como é o caso do aumento da salinização dos solos que diminui a produtividade das culturas (MONTE; PEREIRA; BARRANCO, 2019).

Deste modo, podemos afirmar que a agricultura familiar praticada no Semiárido brasileiro, fica exposta as vulnerabilidades climáticas, econômicas e sociais, enfrentando constantemente a pluviometria irregular no espaço e no tempo característica da região; logo, em função da baixa e irregular recarga dos reservatórios, impera a irrigação em pequena escala

que atende o mínimo necessário para a condução e manejo dos cultivos na região (LEMOS; SANTIAGO, 2020).

#### **4 AGRICULTURA FAMILIAR E A PRÁTICA DA IRRIGAÇÃO**

A agricultura irrigada precisa ser realizada de maneira sustentável em todas as áreas cultivadas, respeitando as limitações do meio ambiente e utilizando os recursos naturais de forma eficiente para reduzir sua influência nos processos de degradação do solo e poluição dos recursos naturais. Estima-se que 70% da água doce do planeta sejam destinadas as práticas agrícolas (FAO, 2016), no entanto, quando a irrigação é executada e planejada de maneira sustentável, é possível elevar a diversidade dos cultivos e diminuir o uso e o desperdício da água.

Das áreas cultivadas em todo o mundo, a agricultura irrigada está presente em 20% destas e é responsável por 40% dos alimentos destinados a população mundial, apresentando uma produtividade média 2,7 vezes maior do que a produtividade referente aos cultivos de sequeiro, que dependem exclusivamente do regime pluviométrico como fonte de água para atender a demanda hídrica das plantas, salientando-se que nas regiões semiáridas do mundo as precipitações, no geral, ocorrem de maneira irregular no espaço e tempo (FAO, 2017).

Ao longo dos anos o homem foi desenvolvendo formas de praticar a irrigação de acordo com suas necessidades e recursos disponíveis, passando a utilizar sistemas que conduzem a água pela força da gravidade (a água é transportada através da superfície do solo pela ação da gravidade), evoluindo-se para sistemas pressurizados com distribuição da água por aspersão (aplicada de forma similar a chuva em forma de jatos de água que precipitam sobre a área de cultivo) ou de forma localizada (a água é direcionada em pequenas vazões apenas para a área do solo onde se localiza o sistema radicular da planta) (Embrapa, 2014), surgindo ainda, mais recentemente, a irrigação de subsuperfície, onde ocorre a instalação e a liberação da água dentro do solo e diretamente na zona radicular das plantas (TESTEZLAF, 2017).

Os sistemas de irrigação que distribuem água para as plantas através do ar (irrigação por aspersão) à superfície do solo ou que conduzem a água por gravidade, utilizando o próprio solo como meio condutor, apresentam custos relativamente baixos para aquisição e facilidade de manutenção e instalação, porém, são sistemas reconhecidamente de baixa eficiência no atendimento das necessidades hídricas dos cultivos e na utilização dos recursos hídricos ao serem susceptíveis a grandes perdas por evaporação e percolação profunda da água no solo, principalmente em regiões áridas e semiáridas (LI; ZHANG, 2017).

Por outro lado, sistemas de irrigação localizados, como é o caso do gotejamento e da microaspersão apresentam maiores eficiência na aplicação da água, podendo atingir valores entre 85% e 95% (WANG; ZHANG; GARTUNG, 2020). A irrigação por gotejamento destaca-se entre todos eles por reduzir as perdas de água na agricultura através da evaporação, da percolação profunda e do escoamento superficial. Quando o sistema de gotejamento é bem dimensionado, além de propiciar aumentos satisfatórios no rendimento dos cultivos, otimiza a quantidade da água utilizada (KILIC, 2020).

A tipologia do sistema escolhido pelos agricultores depende de alguns fatores, como recursos financeiros disponíveis para aquisição, implantação, manutenção, e operação do sistema a ser adotado, e das características encontradas em cada área, como o tipo de solo, topografia do terreno, e cultura escolhida para desenvolver na propriedade. É de grande relevância que a eficiência apresentada pelo sistema a ser utilizado seja adotada como critério final de escolha, de forma a preservar ao máximo os recursos utilizados (WANG; ZHANG; GARTUNG, 2020).

No entanto, para implantação de qualquer sistema de irrigação existe a dificuldade, em determinadas regiões, principalmente no Semiárido, em obter-se água suficiente para suprir as lâminas que garantam a produção ao longo do ano. Nesse contexto, faz-se necessário utilizar o recurso de maneira eficiente, buscando melhorar o manejo de irrigação, considerando a eficiência dos sistemas e a necessidade hídrica das culturas (ERTHAL; BERTICELLI, 2018).

Algumas estratégias de convivência com a escassez hídrica são utilizadas por agricultores familiares para obter melhores condições de produção, entre estas a utilização da pequena irrigação, adotando-se um manejo rigoroso que garanta a manutenção dos reservatórios nas propriedades rurais familiares e a oferta regular de água durante todo o ciclo das culturas (LIMA; GAMARRA-ROJAS, 2017).

Outra estratégia bastante utilizada é a adoção de ações de reaproveitamento da água da chuva ou de efluentes domésticos voltados para a irrigação, tornando os pequenos produtores menos vulneráveis as condições climáticas em regiões onde a escassez de água é crítica. A utilização dessas estratégias garantem maior segurança alimentar, e promove geração de renda para os agricultores familiares, além de proporcionar maiores produções de forma sustentável (KHAN *et al.*, 2021).

## 5 MECANISMOS DE RESPOSTAS AO ESTRESSE HÍDRICO PELOS CULTIVOS AGRÍCOLAS

A água tem se tornado um recurso limitado e em crescente demanda, uma vez que a necessidade desse recurso está diretamente relacionada ao crescimento populacional e a necessidade de produzir alimentos para uma população que cresce exponencialmente a cada ano. Quando é imperativo que a produção de alimento precise se expandir, torna-se inevitável que o consumo de água aumente substancialmente; este quadro se torna ainda mais complexo nas regiões áridas e semiáridas do mundo, sendo imprescindível o implemento de técnicas e soluções alternativas para conter o uso exacerbado em da água sem afetar o desenvolvimento (CHEKLI *et al.*, 2017).

Em regiões áridas e semiáridas, devido aos baixos índices pluviométricos e a irregularidade temporal e espacial das chuvas, aumenta a pressão para adoção de um manejo que aumente a eficiência do uso da água a partir de alternativas capazes de reduzir as lâminas de irrigação sem prejudicar o rendimento das culturas, mantendo a produtividade em correlação com um menor aporte hídrico e desta forma garantir a produções de alimentos e a preservação dos recursos naturais nestas regiões (COTRIM *et al.*, 2017).

O déficit hídrico ocorre quando a aplicação de água é inferior ao requerido pela cultura, e o transporte de água através da zona radicular torna-se difícil ou quando ocorre elevação na taxa de transpiração (ANJUM *et al.*, 2011). Quando impostas ao estresse hídrico, as plantas tendem a induzir respostas para se adaptar as circunstâncias presentes, e os efeitos podem ser severos de acordo com a intensidade e duração da condição limitante, e do estágio de desenvolvimento da planta. Se isso ocorrer durante a fase de crescimento vegetativo, os danos podem ser severos o suficiente para prejudicar de forma considerável a produção de determinadas culturas (WIJewardana *et al.*, 2019).

A aplicação de lâminas de irrigação abaixo do requerido pela cultura para alcançar a sua máxima produtividade, afeta principalmente a atividade fotossintética que está diretamente relacionada com a presença da água para a ativação e desenvolvimento de seus mecanismos. Desta forma, num quadro de estresse hídrico severo e prolongado a eficiência da fotossíntese é afetada, ocorrendo ainda a redução do processo de expansão das folhas e do crescimento da planta (ALVES JÚNIOR *et al.*, 2018).

Em condições de baixa disponibilidade hídrica no solo as plantas originarias de ambientes áridos e semiáridos apresentam mecanismos especiais de adaptação para reduzir as perdas de água através da transpiração, sendo o mais evidente, e uma das primeiras respostas

ao estresse hídrico a que estão submetidas, o fechamento estomático, permitindo assim que consigam reproduzir e permanecer produtivas nas condições ambientais presentes. Por outro lado, com o fechamento estomático, ocorre a redução da fotossíntese (ANJUM *et al.*, 2011) e desequilíbrio na absorvibilidade do CO<sub>2</sub>, reduzindo seus níveis, prejudicando a taxa de respiração (ALVES JÚNIOR *et al.*, 2018) e promovendo queda na produtividade. Os estômatos fecham de forma simultânea com o aumento e continuidade da condição do estresse hídrico vigente (ANJUM *et al.*, 2011).

Outras condições como a qualidade e o valor nutricional das sementes (WANG; FREI, 2011), o número de panículas, número e peso de grãos por planta, são diretamente relacionados com a quantidade de água fornecida para cada planta, e são fundamentais para o rendimento dos cereais (AKRAM; IQBAL; JAMIL, 2014). O estresse hídrico reduz a fotossíntese e aumenta o mecanismo de fotorrespiração, indicando que a redução do peso dos grãos pode ser proveniente de processos fisiológicos e bioquímicos (ZIA *et al.*, 2021).

Por outro lado, problemas recorrentes de escassez hídrica podem ser minimizados com o reuso de água cinza doméstica na irrigação de pequenas áreas de produção, além de minimizar a disputa pelo uso da água potável (OLIVEIRA *et al.*, 2021). Porém, o volume de água cinza gerado em uma residência depende estritamente dos hábitos e número de habitantes, o que geralmente gera um volume de água cinza abaixo do necessário para suprir a demanda hídrica plena dos cultivos, limitando ainda o uso da irrigação por tempos prolongados (FEITOSA, 2016); além do que, um maior intervalo de tempo para abastecimento dos reservatórios alonga os turnos de rega e espaça de forma considerável os eventos consecutivos de irrigação numa mesma área de cultivo (SILVA *et al.*, 2020).

Assim, torna-se importante a escolha de espécies com elevado nível de adaptação ao estresse hídrico e que apresente uma boa produção mesmo sob irrigação deficitária; neste aspecto é necessário que as plantas apresentem um bom desenvolvimento de raízes para possibilitar a obtenção de água em camadas mais profundas, altas taxas fotossintéticas e que na água/solo exista a presença dos elementos essenciais para a nutrição (VIANA *et al.*, 2021). Dentre as culturas que apresentam uma boa adaptação ao quadro de estresse hídrico o sorgo se destaca, apresentando um uso eficiente de água nas fases críticas de seu crescimento, proporcionando um bom rendimento produtivo (BELL *et al.*, 2018).

Desta forma, além dos benefícios gerados na agricultura, a reutilização de água residuária acarreta em melhorias para o meio ambiente, reduzindo os impactos causados através da disposição inadequada dos efluentes líquidos, além de evitar o desperdício de água potável para fins menos nobres. Para tanto, é indicado a realização de tratamento da água servida, que

basicamente, utiliza em seus procedimentos, mecanismos artificiais depuração e remoção de poluentes, visando melhorar a qualidade do efluente para as atividades pretendidas ou para o seu lançamento no solo ou em corpos d'água receptores (SOUSA *et al.*, 2020).

## **6 A ADAPTAÇÃO DA CULTURA DO SORGO (SORGHUM BICOLOR (L.) MOENCH) AOS AMBIENTES SEMIÁRIDOS**

Esta cultura pertence à família *Poaceae* e é originário do continente africano, sendo classificado em 5 tipos: granífero, forrageiro, sacarino, vassoura e sunadense. É uma cultura amplamente cultivada no mundo, sendo o quinto cereal de maior plantio depois do trigo, arroz, milho e cevada. O sorgo apresenta relevante potencial para se desenvolver em regiões áridas e semiáridas devido sua tolerância a altas temperaturas, irregularidade pluviométrica e ao déficit hídrico, exigindo baixa quantidade de água durante seu desenvolvimento (HADEBE; MABHAUDHI; MODI, 2020). Em contrapartida, existem variedades que, de acordo com Guimarães *et al.* (2020), quando expostas a temperaturas elevadas, tem o crescimento afetados e reduzem a produção de matéria seca e grãos.

Outro ponto a se considerar nesta cultura é o fato de apresentar um baixo custo, mantendo-se produtiva mesmo tendo a água como fator limitante, pois a colheita pode estabilizar durante os períodos de escassez hídrica e se revigorar quando o nível de água no solo voltar a ser propício para o seu pleno desenvolvimento (RATNAVATHI; KOMALA, 2016)

O sorgo granífero apresenta porte baixo, com altura média de 1,70 m e panícula bastante desenvolvida, produzindo uma grande quantidade de grãos. Outrossim, apresenta elevada capacidade fotossintética, sistema radicular profundo e pelos absorventes como mecanismos que contribuem para sua resistência a períodos com baixa disponibilidade hídrica no solo, sendo estas condições características de plantas que apresentam metabolismo C4 (GUIMARÃES *et al.*, 2020). Embora que o desenvolvimento do sorgo, assim como em outras culturas, seja sensível ao excesso ou falta de água, o sorgo consegue obter produção superior a outros cereais em ambas as condições.

Quando comparado ao milho, o sorgo consegue produzir mais, murcha menos e consegue se recuperar mais rapidamente após longos períodos de déficit hídrico. Essa adaptação às condições de estresse, ocorre em virtude de dois mecanismos resistentes a seca, o escape e a tolerância. O escape ocorre em razão da existência de sistema radicular extenso e ramificado, permitindo que a planta se acomode ao ambiente, e torne-se eficiente na extração de água no solo. Enquanto que a tolerância, relacionada ao nível bioquímico, possibilita que a planta

desacelere o metabolismo e processo de murcha, além de facilitar a recuperação da cultura quando as condições melhoram e o déficit hídrico é interrompido (COSTA *et al.*, 2019).

Entre os principais fatores que favorecem o desenvolvimento e expansão do sorgo no país podemos destacar as especificidades de sua condição edafoclimática, tolerância ao estresse hídrico e as altas temperaturas, além de apresentar alta carga proteica tanto na alimentação humana quanto animal. Seu valor nutricional é superior a outros cereais como arroz e trigo, porém inferior ao milho. No entanto, quando compara-se o milho e sorgo no quesito de rentabilidade na criação de animais é preferível que se opte pelo sorgo, devido a seu baixo custo de produção e aquisição (RATNAVATHI; KOMALA, 2016).

A sua procura tem sido alavancada ainda mais pela busca entre a população de alternativas por alimentos saudáveis devido a seu alto potencial nutritivo (XIONG *et al.*, 2019)

Considerando a versatilidade e o investimento no seu desenvolvimento em todo o mundo, a cultura do sorgo está alcançando um expressivo valor econômico, pois pode ser utilizado tanto na produção de etanol (AGUILA *et al.*, 2020), na produção de bebidas alcoólicas, na alimentação humana, por ser rico em proteínas, vitaminas e minerais, e na alimentação animal, principalmente em regiões que sofrem os impactos das mudanças climáticas (TAYLOR, 2019). Diante deste quadro passou a ser uma opção na produção de material forrageiro para alimentação animal, grãos e açúcar em regiões áridas e semiáridas onde o estresse hídrico e salino impossibilitam o desenvolvimento de outras culturas para a mesma finalidade (COSTA *et al.*, 2019).

Basicamente, o sorgo apresenta 3 etapas de crescimento: a primeira etapa ou EC1, compreende o desenvolvimento a partir do plantio até a iniciação da panícula; a EC2 vai desde a formação da panícula até o florescimento; e a EC3 que compreende o período entre o florescimento e a maturação, que tem como fator fundamental, aqueles que estão diretamente relacionados ao enchimento dos grãos. Vale ressaltar, que na primeira fase de crescimento é essencial que a germinação e a formação de folhas e do sistema radicular ocorra rapidamente, visto que, nos momentos iniciais apresentam um baixo controle de ervas daninhas, que pode afetar o rendimento dos grãos e reduzir a resistência aos estresses ambientais. O bom rendimento da segunda fase depende diretamente da evolução da área foliar, sistema radicular, concentração de matéria seca, e principalmente o quantitativo de sementes, que por sua vez é considerado o ponto chave para a eficiência na produtividade do sorgo. De modo geral, o rendimento final do cultivo de sorgo, depende diretamente do período de enchimento dos grãos e da taxa de acumulação de matéria seca diária (RODRIGUES; MAGALHÃES; SOUZA, 2014).

## 7 IMPACTOS DA IRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA NA QUALIDADE DO SOLO

No debate sobre a conservação do recurso hídrico potável, a reciclagem de água residual tem ganhado destaque, principalmente em áreas que sofrem com a escassez de água, como é o caso do Semiárido brasileiro que apresenta uma distribuição irregular, tanto espacial quanto temporal, das chuvas precipitadas, numa situação que é agravada pelos baixos índices pluviométricos e elevada evapotranspiração, com impacto direto sobre o aporte hídrico dos seus reservatórios (CARVALHO *et al.*, 2021). Na possibilidade de reaproveitamento da água cinza, antes descartada sem critérios no ambiente, abre-se a possibilidade de canalizá-la para o uso em atividades que não demandem água de qualidade superior, dentre elas, a agricultura irrigada.

Práticas de reuso de água vem sendo estimuladas em todo o mundo, principalmente em decorrência das mudanças climáticas, que interferem cada vez mais na disponibilidade de água não apenas em regiões áridas e semiáridas. Uma vez que a geração da água residual é contínua ao longo do tempo, pode ser considerada como uma fonte garantida para diversas atividades (HELMECKE; FRIES; SCHULTE, 2020).

A agricultura irrigada é uma atividade cuja demanda hídrica é reconhecidamente elevada, questão que se torna ainda mais relevante de acordo com as condições climáticas de cada região, que, a depender da dinâmica para reposição dos volumes de água disponíveis podem comprometer o desenvolvimento e a produtividade das culturas irrigadas. Em regiões com baixas precipitações, o reuso da água passou a ser considerada uma alternativa viável para o aporte hídrico e nutricional na produção agrícola (FREITAS *et al.*, 2020) .

No entanto, é necessário avaliar riscos potenciais que a irrigação com água residuária pode ocasionar, tanto ao desenvolvimento dos cultivos, quanta a qualidade do solo, entre os quais evidencia-se os riscos de toxidade ou salinização deste solo (URBANO *et al.*, 2015). A salinização do solo também ocorre quando a água utilizada é de boa qualidade, porém devido a alta concentração de sais presente na água residuária, esse processo passa a ser ainda mais intensificado (URBANO *et al.*, 2017).

Neste sentido o processo de avaliação dos riscos deve ser contínuo, devendo-se considerar desde as tecnologias utilizadas na irrigação, frequência de irrigação, quantidade de água utilizada, até as propriedades físicas e químicas do solo, e desenvolvimento de microrganismo na área, para observar a ocorrência de possíveis transferência de contaminantes para a área irrigada (HELMECKE; FRIES; SCHULTE, 2020).

A poluição do solo é considerada como um dos principais problemas ambientais enfrentados no mundo. Esse termo é utilizado quando a concentração de substâncias ou produtos químicos ultrapassa valores considerados, e ocasionam efeitos adversos para os seres vivos e biota (RODRIGUES-EUGENIO; MCLAUGHLIN; PENNOCK, 2018).

A partir da imposição de políticas públicas e leis voltadas para a conservação dos recursos naturais, é possível incentivar a sociedade a mudar hábitos, e reverter progressivamente a situação atual referente ao acondicionamento e descarte inadequado de resíduos sólidos e líquidos (BUONORA *et al.*, 2017). No entanto, no Brasil, mesmo com a existência de leis de proteção e preservação do meio ambiente, na prática, a área ambiental não recebe a devida atenção, sendo frequentemente colocada como critério de menor importância na tomada de decisões. Um fator preocupante, e gerador de impactos negativos ao meio ambiente, é a falta de saneamento ambiental em diversas localidades urbanas e rurais, que lançam esgoto doméstico no solo e corpo d'água sem a realização de tratamento prévio (CHUEIRI; FORTUNATO, 2021).

A poluição ambiental dos solos é proveniente das atividades humanas, pelo uso indiscriminado de produtos químicos utilizados nas atividades industriais, pelos agroquímicos derivados do petróleo e pelas águas residuárias não tratadas e que são utilizadas na irrigação ou descartadas de forma incorreta no solo (RODRIGUES-EUGENIO; MCLAUGHLIN; PENNOCK, 2018).

É fato que a prática da irrigação com água residuária tratada está sendo estudada e aplicada em várias localidades do mundo, visando benefícios econômicos com a redução de gastos com aquisição e aplicação de fertilizantes, devido a presença de elevados teores de nutrientes que são essenciais aos sistemas produtivos como nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes presentes nesta água (ALVES *et al.*, 2021). Segundo ainda estes autores, é de suma importância que lâmina de irrigação aplicada a cada tipo de cultura seja rigorosamente planejada, uma vez que o uso exagerado da irrigação intensifica efeitos negativos às culturas e ao solo, além de impactar negativamente os mananciais subterrâneos e superficiais na bacia hidrográfica.

## 8 REFERÊNCIAS

AGUILA, L. S. H. *et al.* Melhor arranjo de plantas para os genótipos de sorgo sacarino BR 506 e BR 511 visando à produção de etanol. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 2, p. 648–653, 2020.

AKRAM, M.; IQBAL, R. M.; JAMIL, M. The response of wheat (*Triticum Aestivum* L.) to

integrating effects of drought stress and nitrogen management. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, v. 20, n. 2, p. 275–286, 2014.

ALVES JÚNIOR, J. *et al.* Crescimento de mogno africano submetido a diferentes níveis de irrigação por microaspersão. **Irriga**, v. 21, n. 3, p. 466, 2018.

ANDRADE, E. *et al.* Reutilização de água para produção de mudas de pinha. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, 2020.

ANJUM, S. A. *et al.* Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 9, p. 2026–2032, 2011.

ASSIS, J. M. O.; SOUZA, W. M.; SOBRAL, M. C. M. Análise climática da precipitação no submédio da bacia do rio São Francisco com base no índice de anomalia de chuva. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 36, p. 188-202, 2015.

ASSOCIAÇÃO CAATINGA. **Sistema bioágua**. Disponível em: [https://issuu.com/acaatinga/docs/no\\_clima\\_da\\_caatinga\\_cartilha\\_bioag](https://issuu.com/acaatinga/docs/no_clima_da_caatinga_cartilha_bioag). Acesso em: 15 dez. 2019.

BANI-MELHEM, K. *et al.* On the performance of real greywater treatment using a submerged membrane bioreactor system. **Journal of Membrane Science**, v. 476, p. 40 - 49, 2015.

BELESKY, P. Regional governance, food security and rice reserves in East Asia. **Global Food Security**, v. 3, n. 3–4, p. 167–173, 2014.

BELL, J. M. *et al.* Deficit irrigation effects on yield and yield components of grain sorghum. **Agricultural Water Management**, v. 203, p. 289–296, 2018.

BERCHIN, I. I. *et al.* The contributions of public policies for strengthening family farming and increasing food security: The case of Brazil. **Land Use Policy**, v. 82, p. 573–584, 2019.

BLANKY, M. *et al.* Legionella pneumophila: From potable water to treated greywater; quantification and removal during treatment. **Science of the Total Environment**, v. 533, p. 557 - 565, 2015.

BODDU, V. M. *et al.* Gray water recycle: Effect of pretreatment technologies on low pressure reverse osmosis treatment. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 4, p. 4435 - 4443, 2016.

BRASIL. Lei nº. 11.326, de 24 de julho de 2006. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2006/Lei/L11326.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11326.htm) Acesso em 12 dez. 2020.

CARVALHO, A. A. *et al.* Análise do crescimento fisiológico do sorgo irrigado com água. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 14, n. 5, p. 4258–4270, 2021.

CHEKLI, L. *et al.* Evaluation of fertilizer-drawn forward osmosis for sustainable agriculture and water reuse in arid regions. **Journal of Environmental Management**, v. 187, p. 137–145,

2017.

CHEUNG, THELMA LUCCHESI. Desenvolvimento da Agricultura Familiar: investigação sobre o espaço rural e o território como referência para estudar o caso do município de Terenos, MS. **Interações**, Campo Grande, v. 14, n. 2, p. 189 - 195, 2013

CIRILO, J. A. Crise hídrica: desafios e superação. **Revista USP**, São Paulo, n. 106, p. 45-58, 2015.

COSTA, A. R. F. C. *et al.* Desempenho de variedades de sorgo dupla aptidão submetidas a diferentes lâminas de irrigação com água salina. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 3, p. 417–428, 2019.

COTRIM, C. E. *et al.* Irrigação com déficit controlado e produtividade de mangueira ‘tommy atkins’ sob gotejamento. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 8, p. 2229–2238, 2017.

DE PAULA, H. M.; FERNANDES, C. E. Otimização do tratamento de água cinza a partir do uso combinado de coagulantes químicos. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v.23, n.5, p. 951-961, 2018.

ERTHAL, E. S.; BERTICELLI, R. Sustentabilidade: agricultura irrigada e seus impactos ambientais. **Ciência e tecnologia**, v. 2, n. 1, p. 64–74, 2018.

EMBRAPA. **Sistemas e Manejo de Irrigação de Baixo Custo para Agricultura Familiar**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2014. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/133043/1/Cartilha-Manejo-Irrigacao-03-09-2015.pdf>. Acesso em 05 jan. 2020.

FEITOSA, A. P. Avaliação de sistema de tratamento da água cinza e reuso da água no semiárido brasileiro. 2016. Tese (Doutorado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2016.

FIGUEIREDO, I. C. S. *et al.* Fossa Séptica Biodigestora: avaliação crítica da eficiência da tecnologia, da necessidade da adição de esterco e dos potenciais riscos à saúde pública. **Revista DAE/ Departamento de Águas e Esgotos**, São Paulo, v. 67, n.220, p. 100-114, 2019.

**FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. AQUASTAT-** Sistema Global de Informação da FAO sobre Água e Agricultura, 2016. Disponível em: [http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water\\_use/index.stm/](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/index.stm/). Acesso em: 22 mar. 2020.

**FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil:** Identificação de Áreas Prioritárias. Brasília, 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i7251o.pdf>. Acesso em 04 fev. 2020.

FREITAS, C. A. S. *et al.* Potencial produtivo do maracujazeiro amarelo irrigado com esgoto doméstico tratado. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. 1-24, 2020.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de Saneamento**. 4. ed. Brasília: Funasa. 2015. 642 p.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **CataloSan: Catálogo de soluções sustentáveis de saneamento** - gestão de efluentes domésticos. Campo Grande: UFMS, 2018. 50 p. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/documents/20182/39040/CATALOSAN.pdf/ab32c6fc-c7ee-406f-b2cd-7eba51467453>. Acesso em: 15 dez. 2019.

GATTA, G. *et al.* Reuse of treated municipal wastewater for globe artichoke irrigation: Assessment of effects on morpho-quantitative parameters and microbial safety of yield. **Scientia Horticulturae**, v. 213, p. 55-65, 2016.

GATTA, G. *et al.* Irrigation with Treated Municipal Wastewater on Artichoke Crop: Assessment of Soil and Yield Heavy Metal Content and Human Risk. **Water**, v, 10, n. 3, p. 01-18, 2018.

GUIMARÃES, D. P. *et al.* **Zoneamento agrícola de risco climático ( zarc ) para o sorgo granífero no Brasil zoneamento agrícola de risco climático**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo-Documents, 2020.

HADEBE, S. T.; MABHAUDHI, T.; MODI, A. T. Water productivity of selected sorghum genotypes under rainfed conditions. **International Journal of Plant Production**, v. 14, p. 259–272, 2020.

HELMECKE, M.; FRIES, E.; SCHULTE, C. Regulating water reuse for agricultural irrigation : risks related to organic micro - contaminants. **Environmental Sciences Europe**, v. 32, n. 4, p. 1-10, 2020.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation desig. **Glendora: Rain Bird Sprinklers Manufacturing Corp**, 1975, 133p.

KHAN, A. S. *et al.* Tecnologias de reaproveitamento de água: impactos na renda e na sustentabilidade agrícolas de agricultores Familiares no município de Iguatu – Ceará, Brasil. **Revista Iberoamericana de Economia Ecológica**, v. 34, n. 1, p. 25–42, 2021.

KILIC, M. A new analytical method for estimating the 3D volumetric wetting pattern under drip irrigation system. **Agricultural Water Management**, v. 228, p. 1-12, 2020.

LEMOS, J. J. S.; SANTIAGO, D. F. Instabilidade da agricultura familiar no semiárido. **Revista de Política Agrícola**, n. 1, p. 94–105, 2020.

LIMA, R. V.; GAMARRA-ROJAS, G. Camponeses e a mandalla no semiárido brasileiro: reflexões sobre sustentabilidade com base em um estudo de caso com abordagem agroecossistêmica. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 34, n. 2, p. 161–195, 2017.

LI, T.; ZHANG, J. Effect of pit irrigation on soil water content, vigor, and water use efficiency within vineyards in extremely arid regions. **Scientia Horticulturae**, v. 218, p. 30-37, 2017.

MAIMON, A.; FRIEDLER, E.; GROSS, A. Parameters affecting greywater quality and its safety for reuse. **Science of The Total Environment**, v. 487, p. 20-25, 2014.

MAIMON, A.; GROSS, A.; ARYE, G. Greywater-induced soil hydrophobicity. **Chemosphere**, v. 184, p. 1012-1019, 2017.

MANN, C. C. Can Planet Earth Feed 10 Billion People?. **The Atlantic**, 2018. Disponível em: <https://www.theatlantic.com/magazine/archive/2018/03/charles-mann-can-planet-earth-feed-10-billion-people/550928/>. Acesso em: 22 dezembro 2019.

MATTEI, Lauro. O papel e a importância da agricultura família no desenvolvimento rural brasileiro contemporâneo. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 45, p. 71-79, 2014.

MONTE, B. R. DO; PEREIRA, J. R.; BARRANCO, J. F. A. A agricultura irrigada na região do semiárido legal mineiro: um estudo sobre os avanços e impactos ambientais 1. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, v. 4, n. 6, p. 222–248, 2019.

OLIVEIRA, R. C. *et al.* Crescimento e fitomassa de batata-doce irrigada com água residuária tratada. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 97–109, 2021.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Planejamento da segurança do saneamento: manual para o uso e eliminação segura de águas residuais, águas cinzentas e dejetos**. 2016. 160 p. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/171753/9789248549243-por.pdf;jsessionid=95011033F4D7849E953CEBA29C3D916C?sequence=5>. Acesso em: 15 dez. 2019.

PORTO, B. B.; SALES, B. M.; REZENDE, S. Saneamento básico em contextos de agricultura familiar. **Revista DAE / Departamento de Águas e Esgotos**, São Paulo, v. 67, p. 52-68, 2019.

RATNAVATHI, C. V.; KOMALA, V. V. Sorghum Grain Quality. *In*: RATNAVATHI, C. V.; PATIL, J. V.; CHAVAN, U. D. **Sorghum biochemistry: an industrial perspective**. Academic Press, 2016. cap. 1, p. 1–61.

RODRIGUES-EUGENIO, N.; MCLAUGHLIN, M.; PENNOCK, D. **Soil Pollution: a Hidden Reality**. Roma: FAO, 2018, 142p.

RODRIGUES, J. A. S.; MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C. DE. Ecofisiologia. *In*: **Embrapa Milho e Sorgo: Sistema de Produção**. 8. Ed, 2014. Disponível em: [https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p\\_p\\_id=conteudoportlet\\_WAR\\_sistemasdeprod ucaolf6\\_1gal1ceportlet&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1&p\\_r\\_p\\_-76293187\\_sistemaProducaoId=3809&p\\_r\\_p\\_-996514994\\_topicoId=3532](https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeprod ucaolf6_1gal1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=3809&p_r_p_-996514994_topicoId=3532). Acesso em: 10 jan. 2021.

SCHNEIDER, Sérgio. A presença e as potencialidades da agricultura familiar na América Latina e no Caribe. **Redes**, v.21, n.3, p. 11-33, 2016.

SIGGINS, A. *et al.* Effects of long-term greywater disposal on soil: A case study. **Science of The Total Environment**, v.557-558, p. 627-635, 2016.

SILVA, P. R. C. *et al.* Uso de água cinza filtrada em sistemas de gotejamento na agricultura familiar. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, 2020.

SOUSA, B. A. A. *et al.* Implantação e avaliação de um sistema para tratamento de água cinza. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 3531–3552, 2020.

SOUZA-ESQUERDO, V. F.; BERGAMASCO, S. M. P. P. Políticas públicas para a agricultura familiar brasileira: um estudo sobre o Pronaf nos municípios do circuito das frutas-SP. **Revista Extensão Rural**, Santa Maria, v.22, n.1, p. 09-35, 2015.

TEIXEIRA, M. N. O sertão semiárido. Uma relação de sociedade e natureza numa dinâmica desorganização social do espaço. **Revista Sociedade e Estado**, v. 31, n.3, p. 769 - 797, 2016.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. Campinas: Unicamp/FEAGRI, 2017. Disponível em: <https://econtents.bc.unicamp.br/omp/index.php/ebooks/catalog/book/978-85-99678-10-7>. Acesso em 05 jan. 2020.

TONETTI, A. L. *et al.* **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções**. São Paulo: Biblioteca Unicamp. 2018. 153 p. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~saneamentorural/>. Acesso em: 10 dez. 2019.

URBANO, V. R. *et al.* Physical-chemical effects of irrigation with treated wastewater on Dusky Red Latosol soil. **Revista Ambiente e Água**, v. 10, n. 4, p. 738–747, 2015.

URBANO, V. R. *et al.* Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. **Agricultural Water Management**, v. 181, p. 108–115, 2017.

VIANA, J. S. *et al.* Condicionantes para cultivo de soja tolerante ao déficit hídrico no Semiárido Nordeste. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, 2021.

WANG, D.; ZHANG, H.; GARTUNG, J. Long– term productivity of early season peach trees under different irrigation methods and postharvest deficit irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 230, 2020.

WARD, L. *et al.* Assessment of biologically active GAC and complementary technologies for gray water treatment. **Journal of Water Reuse and Desalination**, v. 5, p. 239-249, 2015.

WANG, Y.; FREI, M. Stressed food - The impact of abiotic environmental stresses on crop quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 141, n. 3–4, p. 271–286, 2011.

WIJewardana, C. *et al.* Physiological assessment of water deficit in soybean using midday leaf water potential and spectral features. **Journal of Plant Interactions**, v. 14, n. 1, p. 533–543, 2019.

WORLD WATER DEVELOPMENT REPORT. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos: Água para um mundo sustentável**, 2015.

XIONG, Y. *et al.* Sorghum grain: from genotype, nutrition, and phenolic profile to its health benefits and food applications. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 18, n. 6, p. 2025–2046, 2019.

ZIA, R. *et al.* Plant survival under drought stress: Implications, adaptive responses, and integrated rhizosphere management strategy for stress mitigation. **Microbiological Research**, v. 242, 2021.

## **CAPÍTULO 2 – PARTE 1: CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO E DA ÁGUA CINZA FILTRADA PARA A IRRIGAÇÃO NA UNIDADE RESIDENCIAL FAMILIAR RURAL**

### **1 INTRODUÇÃO**

A demanda por recursos hídricos cresce em decorrência do aumento populacional, impactando no volume armazenado nos corpos d'água, além de propiciar, no descarte inadequado de efluentes líquidos fora dos padrões permitidos, o desequilíbrio ecossistêmico, que é agravado ainda mais pelo descarte no ambiente e sem critérios dos resíduos sólidos. O lançamento de efluentes domésticos nos corpos hídricos com altas cargas de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo, principalmente, desequilibram a qualidade da água para consumo, seja ele humano ou animal, em função da eutrofização, surgimento e crescimento desordenado de microalgas, redução do oxigênio, perda de vidas aquáticas, contaminação por substâncias tóxicas e disseminação de doenças de veiculação hídrica (PEREIRA *et al.*, 2020)

Um ponto que merece ser ressaltado é a preocupação quanto ao tratamento dos efluentes, que vem gerando uma série de pesquisa voltadas a encontrar tecnologias cada vez mais eficientes e de baixo custo; contudo, além de novas metodologias e processos, é de extrema importância buscar alternativas para ajustar os procedimentos técnicos e operacionais das tecnologias já existentes, aumentando a eficiência de remoção de partículas que venham a impactar negativamente no meio ambiente (CRIZEL; LARA, 2020).

Neste contexto, ganham importância as práticas de separação das frações do esgoto e a reutilização da água cinza no meio agrícola. Tem-se aqui um boa perspectiva de que o uso deste efluente traga muitos benefícios para os agricultores, que passam a contar com mais uma fonte de água em sua propriedade; porém, esse é um processo deve ser realizado dentro das normas de proteção ao ambiente, como também daqueles que entram em contato direto ou indireto com os componentes da água de reuso e dos próprios cultivos agrícolas, uma vez que existem culturas que não podem ser irrigadas com água de reuso sem tratamento ou que apresentem sensibilidade aos elementos tóxicos que podem estar presentes no efluente. Entre todos estes pontos merece atenção redobrada o impacto que as práticas reuso pode causar no meio ambiente (TONETTI *et al.*, 2018).

As características da água cinza sofrem influência da fonte e qualidade da água utilizada na geração do efluente e do comportamento de quem o gera, como os hábitos dos moradores, produtos de limpeza e higiene pessoal utilizados, condição operacional do sistema de captação

e condução da água e até mesmo de acordo com a forma de coleta e armazenamento das amostras para determinação de sua qualidade (NOUSOPOULOS *et al.*, 2018); além disso, acrescenta-se os intervalos de tempo e o método de limpeza da caixa de gordura e filtros utilizados, que podem alterar as características do efluente final. O pH da água cinza está diretamente relacionado ao pH da água de abastecimento e da composição química dos produtos utilizados no interior das residências, principalmente daqueles destinados a lavagem de roupas e louças (NOUSOPOULOS *et al.*, 2018).

Um fato limitante na promoção da reutilização da água cinza diz respeito aos aspectos visuais e de odores característicos desta água residuária, que pode ser um empecilho na aceitação de uso pela população. Partindo desse princípio, é importante elaborar soluções para reduzir a turbidez e os sólidos suspensos totais (SST), que na maioria dos casos, não deve ultrapassar limites máximos de 10 NTU e 30 mg.l<sup>-1</sup>, respectivamente (OH *et al.*, 2018).

Quanto a caixa de gordura destinada a passagem da água cinza, de acordo com o que prescreve a norma NBR 8160/99, esta deve ser instalada em locais de fácil acesso, possibilitando a remoção do material retido através de limpezas periódicas; todavia, esta norma não esclarece como deve ser realizado o descarte do material retirado da caixa, principalmente nas localidades rurais, que não detém da rede coletora de esgoto, o que pode favorecer a uma destinação final incorreta no meio ambiente (FIGUEIREDO *et al.*, 2019).

É válido ressaltar que para a reutilização sanitariamente segura da água cinza, se faz necessário pontuar e reforçar os aspectos ambientais, a segurança dos alimentos irrigados e a saúde pública de quem dela faz uso e daqueles que serão contemplados com os produtos agropecuários advindos de seu uso. Para isso, precisa-se elaborar um sistema de tratamento eficaz para o uso pretendido e em atividade que não demandem água potável na sua execução, como irrigação de jardins e de cultivos agrícolas, principalmente árvores, independentemente de serem frutíferas ou não (TONETTI, 2018).

Diante do contexto, objetivou-se no presente estudo caracterizar as águas de abastecimento e cinza produzidas em uma residência rural agrícola, com vistas ao reuso na irrigação de sistemas agroflorestais.

## 2 METODOLOGIA

As águas analisadas no presente estudo foram captadas em uma área rural do município de Flores - PE, Sertão de Pernambuco no Semiárido brasileiro, em residência rural onde existe em funcionamento um sistema de tratamento físico para o reuso de água cinza (RAC), destinado

a coleta da água proveniente da pia da cozinha, do tanque de lavagem de roupa e da pia e chuveiro do banheiro.

O sistema RAC presente na propriedade é oriundo de um projeto idealizado sob parceria entre as ONG's Centro Sabiá e CAATINGA e a CARITAS Alemã, e baseia-se na separação da água negra, resultante da bacia sanitária, da água cinza proveniente das demais atividades domésticas, direcionando-a, através da interligação entre uma caixa de gordura e um filtro físico, cujas camadas de carvão, areia grossa e brita apresentam uma espessura aproximada de 25 cm, para armazenamento em um reservatório com capacidade para 1500 litros, sendo bombeada em seguida para a irrigação de um sistemas agroflorestal localizado na área de cultivo da família agricultora.

Amostras da água de abastecimento utilizada pela família em suas atividades diárias e da água cinza filtrada gerada nos RAC, foram coletadas mensalmente durante oito meses, entre setembro de 2020 e abril de 2021, para as quais foram determinados mensalmente a condutividade elétrica (CE) e o potencial hidrogeniônico (pH), utilizando um medidor portátil profissional, o que permitiu monitorar o comportamento desses parâmetros ao longo do tempo, tanto na entrada da água que deu origem a água cinza como da própria água cinza após a passagem pela caixa de gordura e o filtro físico, parâmetros estes de elevada importância para qualificação da água utilizada na irrigação dos sistemas agroflorestais.

Amostras de cada uma das águas (abastecimento e cinza filtrada) também foram enviadas para análise em laboratório especializado na cidade de Petrolina-PE para fins de uma caracterização mais detalhada de suas composições. Além da CE e do pH foram avaliados ainda, para ambas as águas, em tempo diferentes, o parâmetro físico da turbidez e a presença dos elementos químicos cálcio, sódio, cloreto, bicarbonato, potássio, boro, cobre, ferro, manganês e magnésio. Para estas análises, após as coletas, o material foi mantido em condição de repouso, em local protegido da luz e em temperatura ambiente, até o momento das análises laboratoriais, de forma a não sofrerem influência de fatores externos que pudessem alterar os resultados encontrados.

Realizou-se ainda, a partir da aplicação de um questionário semiestruturado, uma entrevista com a família agricultora e proprietária do RAC para o levantamento dos dados de operação, manejo e manutenção dos equipamentos instalados no sistema de reuso, de forma a se conhecer com mais precisão os procedimentos e as rotinas das operações realizadas no uso contínuo do sistema.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fonte de abastecimento de água da residência origina-se em um poço semiartesiano localizado na propriedade, que abastece tanto a residência quanto as estruturas de criação e apoio aos animais de criação. A água cinza filtrada, proveniente das atividades desenvolvidas no interior da residência, destina-se integralmente para um sistema agroflorestal em desenvolvimento por um sistema pressurizado de irrigação por gotejamento.

A água residuária cinza da residência, passa primeiramente por uma caixa de gordura, com limpeza realizada a cada 15 dias, removendo-se o material retido e realizada uma desinfecção com água sanitária. Após a caixa de gordura a água cinza é direcionada para um filtro composto de areia, carvão e brita, cuja manutenção é realizada semestralmente, com material filtrante sendo retirado a cada 6 meses, substituindo-se por um novo material, seguindo a composição original.

Os moradores da residência, relataram a ocorrência intermitente de retorno da água cinza pelo sistema hidráulico da casa, supostamente devido ao entupimento da caixa de gordura ou do filtro por falta de manutenção, o que propicia uma baixa velocidade do fluxo no interior do mesmo (OLIVEIRA *et al.*, 2020). Esse é um fato preocupante, uma vez que pode ser tornar num fator desencorajador e que leve as famílias a abandonarem o sistema, em função dos transtornos causados pelo retorno da água, perdendo-se aí a funcionalidade e a destinação correta para uma água que agora destina-se a irrigar pequenas áreas de um sistema agroflorestal, diminuindo a pressão sobre o uso de água de boa qualidade, e que promove o uso sustentável de uma água que antes seria descartada no meio ambiente sem qualquer forma de tratamento (PEIXOTO, 2008).

Os procedimentos de limpeza realizados no sistema de tratamento da água cinza são de grande importância para a obtenção de uma água de melhor qualidade, reduzindo ao máximo possível as cargas de contaminantes presentes que possam prejudicar os cultivos que serão irrigados ou o meio ambiente com o descarte incorreto do efluente, desta forma, deve-se manter rigor nas operações de manutenção e limpeza periódicas tanto da caixa de gordura, quanto do filtro físico (BARBOSA, 2019).

Os parâmetros físico-químicos da água cinza de uma residência variam de acordo com a origem, número de habitantes, bem como as características dos produtos de limpeza utilizados durante a lavagem de louça, roupa e no banho, podendo sofrer influência ainda de outras atividades desenvolvidas no interior das residências (SANT'ANA; MEDEIROS, 2017). A

residência rural investigada abrigava durante o período de realização da presente pesquisa, duas pessoas, sendo uma do sexo masculino e outra do sexo feminino.

Apresenta-se na Tabela 1 os resultados do monitoramento dos parâmetros condutividade elétrica (CE) e do potencial hidrogeniônico (pH), durante os 7 meses de duração da pesquisa, da água de abastecimento da casa e da água cinza filtrada destinada aos cultivos no sistema agroflorestal.

**Tabela 1** - Condutividade elétrica (CE) e potencial hidrogeniônico (pH) da água de abastecimento da residência rural e da água cinza filtrada produzida no RAC ao longo do tempo – Serra Talhada – PE, março de 2021

Mês de coleta	Água de abastecimento		Água cinza filtrada	
	CE (dS.m <sup>-1</sup> )	pH	CE (dS.m <sup>-1</sup> )	pH
Setembro/2020	1,12	6,63	1,56	6,64
Outubro/2020	1,11	7,01	1,57	6,95
Novembro/2020	1,08	7,05	1,57	7,53
Dezembro/2020	1,09	7,02	1,56	6,97
Janeiro/2021	1,19	7,28	2,08	7,56
Fevereiro/2021	1,00	7,54	2,13	7,55
Marco/2021	1,18	7,71	2,01	7,11

A condutividade elétrica é de grande importância para a caracterização da água destinada para irrigação, pois está diretamente relacionada com a presença de sais dissolvidos na água, caracterizando de forma direta a salinidade nela presente (PEREIRA *et al.*, 2021), além de ter a capacidade de indicar indiretamente a presença de poluentes (ALENCAR, *et al.*, 2019)

Percebe-se, pela análise da Tabela 1, que ao longo do tempo a variação média da CE da água de abastecimento foi de 1,11 dS.m<sup>-1</sup>, abaixo da média obtida para a água cinza filtrada que ficou em 1,78 dS.m<sup>-1</sup>; em ambas as situações os níveis médios da CE, de acordo com (RICHARDS, 1954), posiciona as águas na Classe C<sub>3</sub> para irrigação (CE entre 0,75 e 2,25 dS.m<sup>-1</sup> a 25 °C), de forma que o incremento de produtos químicos advindos da limpeza dos ambientes e da higiene de utensílios e pessoas não modificou a classe da água para irrigação, mas elevou em 61,8 % a salinidade presente na água cinza filtrada quando comparada com a água advinda do poço semiartesiano que abastece a residência da família agricultora.

É importante frisar que nas duas amostras analisadas a Condutividade Elétrica da água já supera consideravelmente o limite mínimo de salinidade para a classe C<sub>3</sub>, não podendo ser usada em solos com drenagem deficiente e mesmo com drenagem adequada, são necessárias práticas especiais para controle de salinidade e só deve ser aplicada para irrigação de plantas tolerantes aos sais (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

A partir do mês de janeiro de 2021, por questões internas a família elevou o tempo de limpeza da caixa de gordura de 15 para 30 dias, impactando diretamente na condutividade elétrica da água cinza filtrada que elevou-se a partir da mudança do manejo da caixa, saindo 1,56 para 2,08 dS.m<sup>-1</sup> (Tabela 1), comprovando aqui que o aumento da condutividade da água cinza pode ser minimizado com a retirada em tempo de parte dos sólidos dissolvidos totais que ficam retidos na caixa de gordura, reforçando a importância do rigor nos processos de limpeza das estruturas de retenção e filtragem do sistema de reuso da água (ALENCAR *et al.*, 2019).

Os valores de pH da água de abastecimento da residência e da água cinza filtrada mantiveram-se aproximados ao longo do tempo, sem grandes discrepâncias, variando entre 6,63 e 7,71 (Tabela 1). A análise das águas em laboratório especializado (Tabela 2) confirmaram estes valores que se mantiveram dentro desta faixa, com o pH da água de abastecimento ficando em 7,31 e da água cinza filtrada em 7,08, próximo à neutralidade, de forma que estes valores não indicam a curto prazo uma tendência de acidificação que aponte riscos de corrosão ao sistema de bombeamento ou tubulações, como também não inspira cuidados no tocante à obstrução/entupimento a médio e longo prazo dos gotejadores do sistema de irrigação em funcionamento (BARBOSA, 2019).

Estes valores do pH, além de estarem dentro nos limites permitidos para irrigação, por estarem na faixa entre 6 a 8,5, segundo Almeida (2010), também encontram-se dentro da faixa de 5 a 9 estabelecida pela resolução do CONAMA 430/2011 para lançamento de água residuária tratada em corpos hídricos (BRASIL, 2011).

Em estudo realizado por Braga e Ribeiro Junior (2017), com efluente de lavanderia obtiveram valores de pH de 7,7, de forma que este efluente ao ser submetido ao processo de filtração em filtros físicos compostos por camadas de areia e fibras de bananeiras, teve o pH reduzido para 6, fato que observa-se no presente estudo, mesmo sem a presença da fibra de banana nos filtros, em 03 das leituras mensais e na amostra da água analisada em laboratório.

A caracterização detalhada das composições da água de abastecimento da residência e da água cinza filtrada analisadas pelo Laboratório de experimentação com Organismos Aquáticos (LEOA) do Curso de Engenharia de Pesca da UFRPE/UAST, pode ser observada na Tabela 2 a seguir. Vale salientar que estas amostras foram coletadas no mês inicial dos ensaios,

em setembro de 2020, período em que a família agricultora realizava a limpeza da caixa de gordura em intervalos de 15 dias.

**Tabela 2** - Valores dos atributos físico-químicos do afluente e efluente da residência rural em Flores – PE, em setembro de 2020.

Parâmetros	Amostras	
	AA	ACF
pH	7,31	7,08
CE (dS.m <sup>-1</sup> )	1,17	2,19
Dureza (mg.l <sup>-1</sup> )	281,3	416,8
RAS (mmol <sub>c</sub> .l <sup>-1</sup> ) <sup>-0,5</sup>	2,40	3,82
Cálcio (mmol <sub>c</sub> . l <sup>-1</sup> )	4,85	6,46
Sódio (mmol <sub>c</sub> . l <sup>-1</sup> )	4,02	7,79
Cloreto (mmol <sub>c</sub> .l <sup>-1</sup> )	7,13	10,47
Bicarbonato (mmol <sub>c</sub> .l <sup>-1</sup> )	1,80	7,69
Potássio (mmol <sub>c</sub> .l <sup>-1</sup> )	0,06	1,39
Boro (mg.l <sup>-1</sup> )	0,13	0,42
Cobre (mg.l <sup>-1</sup> )	ausente	0,02
Ferro (mg.l <sup>-1</sup> )	0,01	4,29
Manganês (mg.l <sup>-1</sup> )	0,04	0,03
Magnésio (mmol <sub>c</sub> .l <sup>-1</sup> )	0,77	1,87

AA – Água de abastecimento da residência; ACF- Água cinza filtrada; pH- potencial hidrogeniônico; CE - condutividade elétrica; RAS – relação de adsorção de sódio;

Os resultados desta análise, apesar de seu caráter pontual, não se diferenciam significativamente dos resultados obtidos para a CE medida ao longo do tempo nas amostras da água de abastecimento e cinza filtrada (Tabela 1); no que se refere a relação de adsorção de sódio (RAS), parâmetro também de grande relevância a ser considerado na água destinada a irrigação de cultivos, percebe-se que o incremento de 59,16 % registrado entre os índices obtidos para a água de abastecimento da casa em relação a água cinza filtrada destinada a irrigação não elevou a faixa de risco para sodicidade, que em ambos os casos é considerado baixo (RICHARDS, 1954). Ressalta-se que a RAS é um parâmetro importante a ser monitorado permanentemente, em função de está diretamente relacionado ao efeito que o sódio presente na água pode provocar nas condições físicas do solo, causando problemas de infiltração pela

redução da permeabilidade (MEDEIROS *et al.*, 2019). De acordo com Richards (1954), levando-se em conta os resultados da CE e da RAS nestas análises (Tabela 2) ambas as águas são classificadas para irrigação como C<sub>3</sub>S<sub>1</sub> com alto risco de salinização e baixo risco de sodicidade.

A resistência a infiltração no solo geralmente é associada a águas de irrigação que apresentem alta concentração de sódio ou baixas de cálcio, elementos estes capazes de reduzir a velocidade com que a água infiltra da superfície para o interior do solo. Dependendo das concentrações em níveis acima dos permitidos, os danos aos cultivos são consideráveis, uma vez que as raízes ficam impossibilitadas de acessar a uma área maior no perfil do solo, conseqüentemente a volumes de água satisfatórios para atender as suas necessidades hídricas (ALMEIDA, 2010).

Neste sentido destaca-se que os valores observados para cálcio e sódio, respectivamente de 6,46 mmol/l e 7,79 mmol/l, para a água cinza filtrada, são superiores aos encontrados por (2020) que, ao trabalharem com água residuária tratada, encontram uma concentração aproximada a 0,60 mmol/l de cálcio e 7,10 mmol/ de sódio. Medeiros *et al* (2021) ao analisarem água residuária doméstica tratada oriunda de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), em município do Estado da Paraíba, obtiveram valores da concentração de Ca e Na de 3,80 e 11,13 mmol/l, respectivamente.

Entretanto, os valores encontrados para Ca e Na na água cinza filtrada e destinada a irrigação do sistema agroflorestal pela família agircultora, estão dentro dos limites estabelecidos por Almeida (2010), segundo o qual a utilização de água para irrigação deve conter uma concentração de cálcio entre 0 e 10 mmol/l e de sódio entre 0 e 40 mmol/l.

Os aumentos observados na Tabela 2, referentes aos índices de cloreto, bicarbonato e potássio, principalmente de bicarbonato que apresentou um acréscimo da ordem de 327,2 %, podem estar atrelados ao uso de produtos de limpeza e higiene pessoal utilizados no interior da residência. Este mesmo tipo de variação entre a água de abastecimento e água cinza também foi relatado por Melo (2018), em trabalhos com aplicação de efluente doméstico no cultivo do girassol ornamental, onde os valores para estes parâmetros após tratamento, apresentaram teores 8,0; 2,7 e 0,43 mmol/l, respectivamente para cloreto, bicarbonato e potássio, todos inferiores aos encontrados nessa pesquisa.

O resultado obtido para o elemento Boro presente na água cinza filtrada de 0,42 mg.l<sup>-1</sup>, segundo Almeida (2010), trata-se de um valor que se encontra dentro dos limites determinados para uso direto na agricultura, devendo-se ter o cuidado para o uso deste efluente em plantas que apresentem uma acentuada sensibilidade ao Boro. Esta mesma recomendação

vale para o cloreto, que, quando presente na água em concentrações acima de 10 mmol/l passa a ser tóxico para algumas culturas (AYRES; WESTCOT, 1999 apud MELO 2018).

Com relação aos valores de concentração dos metais pesados Cobre, Ferro e Manganês, na água cinza filtrada, observou-se que estão todos dentro dos seus limites máximos que correspondem a 1,0; 15,0; e 1,0 mg.l<sup>-1</sup> respectivamente, apontados na Resolução Conama nº 430 de 2011, de acordo com o que é estabelecido para que o efluente seja lançado em corpos hídricos receptores (BRASIL, 2011).

O valor encontrado para o elemento cobre na água cinza, 0,02 mg.l<sup>-1</sup>, também foi encontrado por Medeiros (2017), em água cinza após passagem por tanque séptico e filtro orgânico. Por outro lado, ao se levar em consideração a Resolução Conama nº 357 de 2005, que estabelece padrões de classificação e enquadramento da água com base nestes elementos, sem estabelecer limites para o reuso da água cinza, pode-se dizer que a água destinada a usos específicos como a irrigação de culturas arbóreas, cerealistas e forrageiras, caso do sistema agroflorestal irrigado pela família, enquadra-se na Classe 3, segundo a qual os valores para cobre no efluente deve ficar abaixo de 0,013 mg.l<sup>-1</sup> (BRASIL, 2005). Valores acima do permitido, pode ser tóxico para as plantas e inibir seu crescimento (SOUZA *et al.*, 2018) e sua origem pode estar atrelada ao uso de detergentes líquidos e sabões (JENKINS; RUSSEL, 1994).

A concentração de Magnésio encontrado na água de abastecimento (poço semiartesiano) e água cinza filtrada, foi de 0,77 e 1,87 mmol/l, valores esses, compatíveis Almeida (2010), que propõe que os valores limites de magnésio na água de irrigação, estejam entre 0 e 2,5 mmol/l.

Outra variável estudada foi a dureza da água, que se refere principalmente, à presença de cátions de cálcio e magnésio. Este parâmetro, pode causar um sabor desagradável à água de abastecimento, formação de biofilmes, e resistência à formação de espuma (COELHO, *et al.*, 2017). O valor encontrado para o parâmetro dureza na água de abastecimento da residência rural, referente a 281,3 mg.l<sup>-1</sup>, encontra-se dentro do permitido, cujo limite é de 500 mg.l<sup>-1</sup> (BRASIL, 2014).

Geralmente, águas muito duras devem ser evitadas para a irrigação por gotejamento, pois, podem reduzir progressivamente a passagem da água, até chegar a obstrução total dos emissores (ALMEIDA, 2010). O valor correspondente a dureza da água cinza foi de 416,8 mg.l<sup>-1</sup>, valor compatível aos encontrados por Costa *et al.*, (2019) que, ao analisar a qualidade da água residuária doméstica tratada em uma estação de tratamento de efluentes, encontrou valores variando entre 250 a 475 mg.l<sup>-1</sup>.

#### 4 REFERÊNCIAS

ALENCAR, V. E. S. A. *et al.* Análise de parâmetros de qualidade da água em decorrência de efeitos da precipitação na baía de Guajará – Belém– PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 2, p. 661–680, 2019.

ALMEIDA, Olávio Álvares de. **Qualidade da Água de Irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010.

BARBOSA, M. T. **Sistemas de reuso de águas cinzas domésticas para agricultura familiar: o caso de comunidades rurais do estado do Ceará**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Nacional de Saúde Pública e Meio Ambiente, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2019.

BRAGA, R. G.; RIBEIRO JUNIOR, L. U. Avaliação técnica e econômica para o reuso de água cinza em uma instituição de ensino no município de Itajubá. **Revista Científica da FEPI**, v. 4, n. 1, p. 29–41, 2017.

BRASIL. Resolução N° 430, De 13 De Maio De 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Disponível em: [https://www.adasa.df.gov.br/images/stories/anexos/8Legislacao/Res\\_CONAMA/Resolucao\\_CONAMA\\_430\\_2011.pdf](https://www.adasa.df.gov.br/images/stories/anexos/8Legislacao/Res_CONAMA/Resolucao_CONAMA_430_2011.pdf). Acesso em: 14 dez. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília: FUNASA, 2014. 112 p. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38937/Manual+de+controle+da+qualidade+da+%C3%A1gua+para+t%C3%A9cnicos+que+trabalham+em+ETAS+2014.pdf/85bbdcbc-8cd2-4157-940b-90b5c5bcfc87>. Acesso em: 20 fev. 2021.

COELHO, S. C. *et al.* Monitoramento da água de poços como estratégia de avaliação sanitária em Comunidade Rural na Cidade de São Luís, MA, Brasil. **Ambiente e Água**, v. 12, n. 1, p. 156-167, 2017.

COSTA, D. D. O. *et al.* Suscetibilidade ao entupimento de gotejadores aplicando água residuária doméstica tratada. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 4, p. 1251–1266, 2019.

CRIZEL, M. G.; LARA, A. C. Avaliação da eficiência de uma estação de tratamento de efluentes instalada em uma universidade federal: questão de gestão ambiental. v. 8, n. 3, p. 54–70, 2020.

FIGUEIREDO, I. C. S. *et al.* Águas cinzas em domicílios rurais: separação na fonte, tratamento e caracterização. **Revista DAE**, v. 67, n. 220, p. 141–156, 2019.

JENKINS, D.; RUSSEL, L. L. Heavy Metals Contribution of Household Washing Products to Municipal Wastewater. **Water Environmental Research**, v. 66, n.6, p. 805-813, 1994.

MEDEIROS, I. E. S. Uso da água cinza tratada na produção do capim tanzânia no semiárido brasileiro, 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental) - Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2017.

MEDEIROS, J. S. *et al.* Potencial da espécie invasora *Cryptostegia madagascariensis* em solos salinizados. **Pesquisa e Ensino em Ciências Exatas e da Natureza**, v. 3, n. 2, p. 178–188, 2019.

MEDEIROS, L. C. *et al.* Efeito da irrigação residuária e adubação orgânica no desenvolvimento radicular do girassol. *In*: MELO, Daniele Ferreira de; GUIMARÃES, Rafaela Felix Basílio (org.). **Ciências agrárias: uma jornada científica e tecnológica**. Queimadas, EPATAgri Editora, 2018. v.2. cap. 9. p. 1–148.

MEDEIROS, L. C. *et al.* Efeito da irrigação residuária e adubação orgânica no desenvolvimento radicular do girassol. *In*: MELO, D. F.; BASÍLIO, R. F. **Ciências agrárias: uma jornada científica e tecnológica**. Queimadas: EPATAgri Editora, v. 2, 2021. cap. 9, p. 87-94.

MELO, M. R. S. **Estratégias de aplicação de efluente de água cinza no cultivo do girassol ornamental**. 2018. Dissertação (Mestrado em Solo e Água) - Universidade Federal Rural do Semiárido, 2018.

NOUTSOPOULOS, C. *et al.* Greywater characterization and loadings – Physicochemical treatment to promote onsite reuse. **Journal of Environmental Management**, v. 216, p. 337–346, 2018.

OH, K. S. *et al.* A review of greywater recycling related issues: Challenges and future prospects in Malaysia. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p. 17–29, 2018.

OLIVEIRA, A. M. de. *et al.* Avaliação físico-química das águas do processo de dessalinização de poços salobros e salinos em comunidades rurais do oeste potiguar. **Águas Subterrâneas**, v. 31, n. 2, p. 58–73, 2017.

OLIVEIRA, W. S. N. *et al.* Avaliação do desempenho de filtros no tratamento de águas cinza do Sertão Paraibano. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, p. 1–25, 2020.

PEIXOTO, L. M. **Requisitos e critérios de desempenho para sistema de água não potável de edifícios residenciais**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2008.

PEREIRA, C. D. S. *et al.* Identificação de impactos ambientais provocados pelo lançamento de resíduos sólidos e líquidos no Rio Itapecuru. **Nature and Conservation**, v. 13, n. 2, p. 58–66, 2020.

PEREIRA, E. R. *et al.* Estudo granulométrico em sistema de filtração direta para tratamento de água de abastecimento com uso de coagulantes orgânicos e inorgânicos. **Singular, Meio Ambiente e Agrárias**, v. 1, n. 2, p. 15–20, 2021.

RICHARDS, L. A. (ed). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington DC, US Department of Agriculture, (USDA Agricultural Handbook, 60), 1954.

SANT'ANA, D. R.; MEDEIROS, L. B. P. **Aproveitamento de Águas Pluviais e Reúso de Águas Cinzas em Edificações:** Padrões de qualidade, critérios de instalação e manutenção. Relatório técnico apresentado para a Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal, 2017.

SOUZA, M. L. C. *et al.* Utilização de biossorvente no tratamento de águas residuárias ricas em cobre (II) e sua reutilização na produção de alface. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 155–170, 2018.

TONETTI, A. L. *et al.* **Tratamento De Esgotos Domesticos Em Comunidades Isoladas.** Campinas: Biblioteca UNICAMP, 2018.

## **CAPITULO 2 – PARTE 2: FILTROS FÍSICOS PARA A ÁGUA CINZA PROVENIENTE DE RESIDÊNCIA FAMILIAR RURAL COM DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE CAMADAS – PERFORMANCE NUMA SEGUNDA FILTRAGEM.**

### **1 INTRODUÇÃO**

O acesso e uso dos recursos hídricos são fatores considerado vitais para o desenvolvimento mundial pois, além de garantir a sobrevivência humana, é fundamental para inúmeras atividades diárias relacionadas a geração de renda, indo da indústria ao meio agrícola. Todavia, devido ao uso exacerbado e indiscriminado, a água tem se tornado, em muitas regiões do mundo, escassa com esgotamento preocupante de suas reservas, o que torna de extrema necessidade a implantação de ações mais enérgicas e competentes para a conservação deste importante insumo, garantindo assim sua disponibilidade para os múltiplos usos (SOUSA *et al.*, 2020)

Dentre as ações em curso, ganha destaque o reaproveitamento de água residual tratada na agricultura, o que tende a diminuir a pressão sobre o consumo e a preservação da água de qualidade superior destinada ao consumo humano. Além disso, o uso da água residuária acarreta uma serie de benéficos para as lavouras agrícolas, reduzindo, em muitos casos, o impacto do estresse hídrico advindo das baixas precipitações em muitas regiões do mundo, aliado ainda ao aporte de nutrientes e conseqüente redução do uso de fertilizantes químicos nos cultivos, além de diminui o lançamento de efluentes contaminados nas proximidades das residências rurais e nos corpos hídricos (PETOUSHI *et al.*, 2019).

Para Batista *et al.* (2017), a água cinza se constitui numa fonte praticamente permanente e disponível de água no cotidiano dos agricultores e que, quando submetida a tratamentos adequados, pode se tornar um elemento potencializador da produção agrícola, em função do quantitativo de nutrientes fornecidos ao sistema solo/planta, fundamentais para o desenvolvimento da cultura (BATISTA *et al.*, 2017). Os padrões exigidos para o reuso de água variam entre as legislações de todo o mundo, principalmente para redução de odor e proliferação de algas, além de reduzir ou anular os riscos para o meio ambiente e se tornam mais rígidos de acordo com o uso pretendido (ARDEN; MA, 2018).

Existem diversos tipos de tratamento para água cinza citados na literatura, porém a escolha do sistema deve levar em consideração as características do efluente, o reuso pretendido, o custo exigido e a área superficial disponível para instalação e operação do sistema

(MONTEIRO; SEZERINO; PHILIPPI, 2015). Além disso, quando instalados para uso da população, deve ser de fácil operação, simples, e se adequar as condições do terreno, respeitando as características socioculturais, econômicas e ambientais (SILVA; EGERT; WILLEMANN, 2021).

Dentre as águas residuais, a água cinza é frequentemente caracterizada como aquela que apresenta menor taxa poluidora, pois apresenta baixa concentração de contaminantes microbiológicos e patógenos, mesmo assim é imprescindível que ocorra o tratamento, para reduzir o impacto do seu despejo no meio ambiente e/ou melhorar as condições de reuso em diferentes atividades (ARDEN; MA, 2018).

O saneamento básico é fundamental para manutenção da saúde e qualidade de vida da sociedade, porém no meio rural seu funcionamento é extremamente precário ou inexistente, favorecendo o descarte incorretos dos efluentes líquidos produzidos nas residências (SOUSA *et al.*, 2020). Logo, segundo ainda estes autores, é de fundamental relevância o desenvolvimento e a aplicação de tecnologias alternativas que favoreçam o tratamento e reaproveitamento destas águas residuárias.

No tratamento da água cinza, em geral, utiliza-se em larga escala procedimentos de remoção e depuração de poluentes e materiais grosseiros, de forma a torná-la propícia ao reuso em atividade não potáveis ou para o descarte em corpos d'água receptores (SILVA; PEREIRA, 2021). É sabido que a composição da água cinza pode variar de acordo com as atividades realizadas na geração do efluente, podendo conter restos de alimento, cabelo, fibras de tecido orgânico ou sintético, entre outros, advindos da cozinha, lavatórios, chuveiros e lavanderia (GONÇALVES *et al.*, 2019).

A separação do efluente, em água cinza e negra, facilita o processo de tratamento e consequentemente, a reutilização da água em diversas atividades, tornando-se imprescindível em regiões com água doce limitada (ABDALLA, 2021). Dependendo da atividade que irá receber água residuária tratada, não é exigido que o tratamento aplicado atenda todos os padrões de potabilidade, de forma que os requisitos para outros usos podem ser alcançados por meio de tratamentos mais simplificados (MENDONÇA, 2019).

Os principais métodos de tratamento de água cinza podem ser categorizados em físicos, químicos e biológicos (RODRIGUES, 2019), que vão desde processos considerados simples como filtros de areia, até os mais complexos, como reatores biológicos (DE PAULA; FERNANDES, 2018). Dentre os processos envolvidos para o tratamento de efluente, destaca-se os tratamentos de ordem física, que envolvem processos como sedimentação, decantação, filtração e flotação dos resíduos presentes na água (DI BERNARDO; DANTAS, 1993).

Com a necessidade crescente da conservação dos recursos hídricos, tecnologias simplificadas voltadas para o tratamento e reuso de efluentes estão em constantes modificações, e a conjunção de diferentes metodologias tendem a promover melhorias na qualidade da água a ser reaproveitada ou descartada no meio (NOUR *et al.*, 2020).

Para promoção do uso sustentável dos recursos naturais, há que se aperfeiçoar os métodos para o tratamento de efluentes, com conseqüente obtenção de novas respostas no tocante aos materiais filtrantes e sua performance na eliminação e melhoria da água cinza destinada ao reuso para fins menos nobres como é o caso da irrigação.

## **2 METODOLOGIA**

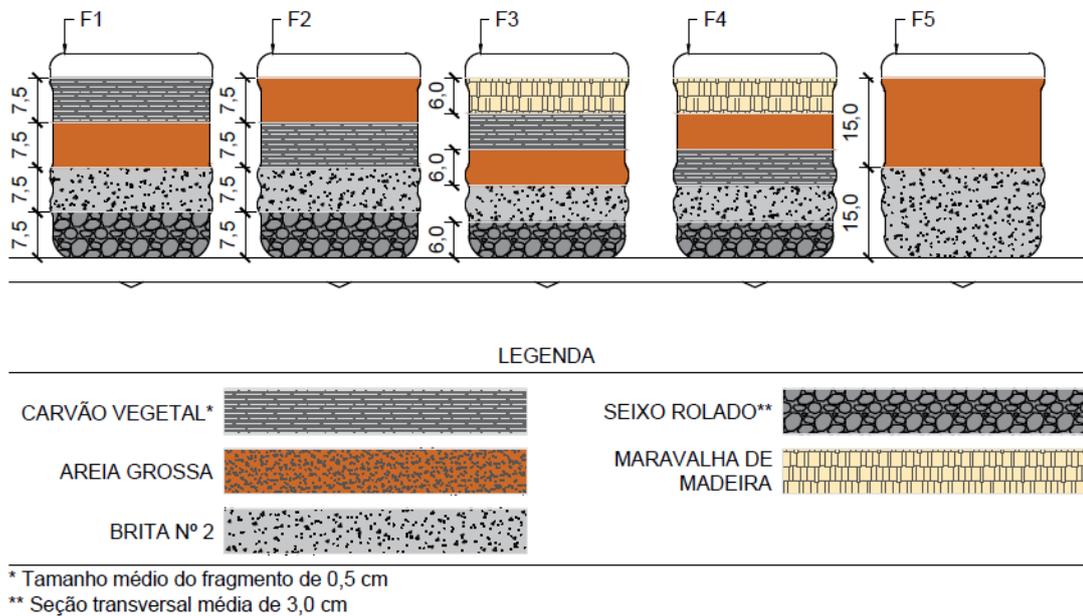
### **2.1 BANCA DE FILTROS FÍSICOS EM LABORATÓRIO – ENSAIOS COM ÁGUA CINZA EM SEGUNDA FILTRAGEM**

O ensaio com diferentes configurações de camadas filtrantes para a água cinza após primeira filtragem foi conduzido no Laboratório de Hidráulica da Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), pertencente a Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), em sua Unidade Acadêmica de Serra Talhada, entre os meses de dezembro de 2020 e fevereiro de 2021.

A água residuária utilizada na filtragem, originou-se do reservatório de água cinza filtrada da residência rural caracterizada na Parte I do presente capítulo, sendo captada em duas diferentes datas, com a primeira água transportada para o laboratório de hidráulica em 01 de setembro de 2020, época em que a família adotava o intervalo de tempo de 15 dias para a limpeza da caixa de gordura, de forma que a segunda água foi captada e também transportada para o laboratório de hidráulica na data de 22 de janeiro de 2021, período onde a família ampliou o intervalo de tempo de limpeza da caixa de gordura para 30 dias.

Os filtros, de fluxo descendente, utilizados nos ensaios foram confeccionados em recipientes com capacidade para 20 litros provenientes do descarte de garrações destinados a comercialização de água mineral, materiais estes de fácil obtenção e baixo custo, que foram dispostos de forma paralela em uma bancada confeccionada para atender a demanda experimental (Figura 1). Em cada um dos filtros formou-se uma camada filtrante de 30 cm de altura, denominados de filtro 1, 2, 3, 4, e 5, diferenciados pela origem do material utilizado na filtragem e a espessura de cada camada, bem como pelo ordenamento de cada componente dentro do filtro, conforme pode ser observado na Tabela 3 a seguir.

**Figura 1** - Bancada de filtros físicos com diferentes espessuras e camadas filtrantes Serra Talhada – PE, abril de 2021.



No interior de cada filtro, e antes do estrangulamento da seção transversal do garrafão que dá acesso ao afunilamento para o gargalo, de forma a uniformizar as seções em todas as camadas e impedir a migração do material filtrante que poderia obstruir o fluxo da água drenada em direção ao registro instalado na boca do garrafão para monitoramento da drenagem, instalou-se uma tela metálica, com malha de 15mm, sendo esta presa na ranhura da extremidade do contorno da seção interna e abaixo da última camada de elemento filtrante por um arame nº 12.

**Tabela 3** - Composição e espessura das camadas filtrantes – ensaios de segunda filtragem com água de abastecimento e água cinza filtrada- Serra Talhada – PE, abril de 2021.

<b>Identificação do filtro</b>	<b>Espessura de cada camada no interior do filtro (cm)</b>	<b>Caracterização do material filtrante e sequencia no interior do filtro</b>
F1	7,5	Carvão vegetal* Areia grossa Brita de N° 2 Seixo rolado**
F2	7,5	Areia grossa Carvão vegetal Brita de N° 2 Seixo rolado
F3	6,0	Maravalha de madeira Carvão vegetal Areia grossa; Brita de N° 2 Seixo rolado
F4	6,0	Maravalha de madeira Areia grossa Carvão vegetal Brita de N° 2 Seixo rolado
F5	15,0	Areia grossa Brita de N° 2

\* tamanho médio do fragmento de 0,5 cm

\*\*seção transversal média de 3,0 cm

## 2.2 ANÁLISE DA ÁGUA CINZA EM SEGUNDA FILTRAGEM

O monitoramento da qualidade da água cinza após passagem nas diferentes composições de cada filtro, foi realizado a partir de análises físico-químicas do efluente no setor de limnologia do Laboratório de experimentação com Organismos Aquáticos (LEOA) do Curso de Engenharia de Pesca da UFRPE/UAST.

No primeiro momento, os filtros foram abastecidos com água tratada proveniente do sistema de abastecimento público e que atende as dependências da Universidade, servindo como referencial para os demais tratamentos que envolveram a filtragem da água cinza. No fim de cada drenagem, coletou-se uma amostra do efluente de cada filtro, de forma a permitir o monitoramento da performance dos filtros e um comparativo da qualidade de água na entrada e na saída após o contato com os materiais filtrantes. E posteriormente, o processo foi repedido para a análise da água cinza após a passagem pelos filtros.

As amostras, após coletadas, foram armazenadas e mantida em condição de repouso, em temperatura ambiente e sem interferência da luz solar, até o encaminhamento para o setor de limnologia do LEOA, visando reduzir a influência de fatores externos que pudessem causar interferências significativas nos resultados.

## 2.3 DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE FLUXO E DA VAZÃO INSTANTÂNEA EM CAMADAS DE FILTRO NÃO SATURADAS

Uma vez configurados e instalada a bateria de filtros, cada filtro foi abastecido de forma continua com 8 litros de água, condição próxima a encontrada nos filtros em funcionamento nas residências rurais detentores de RAC's no Sertão do Pajeú e do Araripe (SILVA *et al.*, 2020), devidamente dosada em provetas graduadas, deixando-se o registro na saída da drenagem aberto, permitindo assim a formação de um fluxo continuo, cujo tempo de duração foi devidamente cronometrado do momento da saída da água drenada até cessar completamente a drenagem.

Esse procedimento foi realizado primeiramente com a água de abastecimento, e posteriormente, o mesmo foi realizado com a água cinza. Durante a execução de cada bateria de abastecimento dos filtros, determinou-se o tempo médio de passagem da água através das camadas filtrantes, o volume médio retido no interior do filtro, o volume efetivamente drenado (coletado em recipientes abaixo dos filtros, cujo volume foi medido com auxílio de provetas graduadas), bem como o tempo médio de drenagem e vazão.

## 2.4 DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE FLUXO E DA VAZÃO INSTANTÂNEA EM CAMADAS DE FILTRO SATURADAS

Nesta condição os filtros foram previamente saturados com 8 litros de água cinza, permanecendo nesta condição por sete dias ininterruptos com os registros de saída dos filtros fechados, de forma a simular a condição operacional do filtro instalado no RAC da família agricultora em Flores sob condições de campo (SILVA *et al.*, 2020).

Com a abertura dos registros a água de drenagem foi coletada em recipientes situados abaixo de cada filtro, ao mesmo tempo que se monitorou a dinâmica do fluxo. Após a liberação do fluxo e computação do volume drenado, repetiu-se a operação de saturação dos filtros e monitoramento da drenagem após saturação, por mais 5 semanas, de forma a analisar possíveis alterações no comportamento da drenagem e consolidar os dados auferidos.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 4 são apresentados os resultados das análises dos parâmetros físico-químicos, possíveis de serem determinados no setor de Limnologia do Curso de Engenharia de Pesca da UFRPE/UAST, das amostras de água cinza (com 15 e 30 dias de intervalo para limpeza da caixa de gordura) e da água de abastecimento do laboratório de hidráulica da Universidade, utilizada como padrão em função de sua qualidade superior, já que é proveniente da estação de tratamento de água da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). As 03 amostras de água foram analisadas no Laboratório de limnologia, no período entre 03 de dezembro de 2020 e 01 de fevereiro de 2021.

**Tabela 4** - Análise físico-química da água de abastecimento urbano (AA) e da água cinza filtrada (AC) utilizadas nos ensaios de filtros – Serra Talhada – PE, março de 2021.

Parâmetros	AA <sup>1</sup>	ACF1 <sup>2</sup>	ACF2 <sup>3</sup>
Amônia (mg.l <sup>-1</sup> )	0,50	0,25	0,50
Nitrito (mg.l <sup>-1</sup> )	0,19	0,01	0,24
Fosfato (mg.l <sup>-1</sup> )	20,40	8,00	94,5
OD (mg.l <sup>-1</sup> )	10,53	9,90	1,90
SDT (mg.l <sup>-1</sup> )	381,25	1.131,00	1.352,50
pH	7,64	7,40	7,67
CE (dS.m <sup>-1</sup> )	0,41	1,23	1,71
Turbidez (UNT)	0,00	2,28	9,60

<sup>1</sup> Água de abastecimento urbano; <sup>2</sup> Água cinza filtrada após passagem em caixa de gordura com limpeza realizada em intervalos de 15 dias; <sup>3</sup> Água cinza filtrada após passagem em caixa de gordura com limpeza realizada em intervalos de 30 dias; OD – oxigênio dissolvido; SDT – Sólidos dissolvidos totais; pH – potencial hidrogeniônico; CE – condutividade elétrica.

Dentre os parâmetros apresentados, percebe-se uma discrepância entre a água cinza filtrada 1 e 2, ambas após primeira filtragem, principalmente em relação ao fosfato, oxigênio dissolvido, sólidos dissolvidos totais, condutividade elétrica e turbidez, destacando a importância da realização de limpezas periódicas na caixa de gordura, ação fundamental para evitar entupimentos dos sistemas, que por sua vez pode acarretar no retorno da água pelas tubulações, extravasamento, mal odor e presença de vetores, além do carreamento do material que deveria ficar retido, alterando a qualidade do efluente elevando a turbidez e a quantidade de sólidos dissolvidos totais (SOUZA; SOUZA, 2018), com reflexo direto na condutividade elétrica da água (MARINHO *et al.*, 2020).

A concentração de oxigênio dissolvido da ACF1 encontra-se próxima ao encontrado na água de abastecimento, fator que alterou-se com a mudança no intervalo de limpeza da caixa de gordura, com redução abrupta do oxigênio dissolvido em 81 % entre a ACF1 e a ACF2. A redução do oxigênio dissolvido pode estar relacionado a processos físicos ligados a aeração, bem como a processos biológicos pela elevação de nutrientes presentes, e pelo aumento da atividade biológica (BANERJEE *et al.*, 2019), intensificando à degradação do meio e a perda da biodiversidade nos corpos d'água (ZHANG *et al.*, 2021).

É importante destacar que a presença de fosfato na água cinza apresenta relação direta com o uso de detergentes, shampoos e protetores solar no cotidiano familiar (FIGUEIREDO *et*

*al.*, 2019), ficando evidente, no presente estudo, a sua elevação em proporções grandiosas quando a limpeza da caixa de gordura passou a ser realizada a cada 30 dias.

Na Tabela 5 são apresentados os resultados para os parâmetros da água analisados no LEOA, seja na condição inicial (antes da passagem nos filtros), seja após a passagem nos diferentes tipos e arranjos nas camadas filtrantes.

**Tabela 5** - Parâmetros físico-químicos da água em condição inicial e após passagem pelos filtros físicos não saturados – Serra Talhada – PE, abril de 2021

<b>Água de abastecimento urbano – COMPESA</b>						
<b>Parâmetros</b>	<b>Condição inicial</b>	<b>Filtro 1</b>	<b>Filtro 2</b>	<b>Filtro 3</b>	<b>Filtro 4</b>	<b>Filtro 5</b>
Amônia (mg.l <sup>-1</sup> )	0,50	1	1	2	2	2
Nitrito (mg.l <sup>-1</sup> )	0,188	0,055	0,083	0,138	0,128	0,094
Fosfato (mg.l <sup>-1</sup> )	20,40	9,2	10,5	233	289	18,1
OD (mg.l <sup>-1</sup> )	10,53	9,31	10,08	9,83	6,62	7,64
SDT (mg.l <sup>-1</sup> )	381,25	429	347,45	350,35	306,50	271,7
pH	7,64	7,52	7,57	7,47	7,51	7,59
CE (dS.m <sup>-1</sup> )	0,41	0,48	0,38	0,38	0,33	0,30
Turbidez (UNT)	0	3	9,6	15,12	8,76	38,28
<b>Água cinza 1<sup>1</sup></b>						
<b>Parâmetros</b>	<b>Condição inicial</b>	<b>Filtro 1</b>	<b>Filtro 2</b>	<b>Filtro 3</b>	<b>Filtro 4</b>	<b>Filtro 5</b>
Amônia (mg.l <sup>-1</sup> )	0,25	1	2	1	0,5	1
Nitrito (mg.l <sup>-1</sup> )	0,010	0,84	0,98	0,84	0,92	0,96
Fosfato (mg.l <sup>-1</sup> )	8	32,9	31,9	828	847	32,4
OD (mg.l <sup>-1</sup> )	9,90	9,12	11,72	10,46	9,32	10,11
SDT (mg.l <sup>-1</sup> )	1131,00	1300	1209	1105	1150,5	1033,5
pH	7,4	7,39	7,13	7,33	7,38	7,47
CE (dS.m <sup>-1</sup> )	1,23	1,44	1,29	1,20	1,24	1,14
Turbidez (UNT)	2,28	4,68	13,68	11,52	7,44	14,88
<b>Água cinza 2<sup>2</sup></b>						
<b>Parâmetros</b>	<b>Condição inicial</b>	<b>Filtro 1</b>	<b>Filtro 2</b>	<b>Filtro 3</b>	<b>Filtro 4</b>	<b>Filtro 5</b>
Amônia (mg.l <sup>-1</sup> )	0,5	0,25	0,25	0,50	0,25	1
Nitrito (mg.l <sup>-1</sup> )	0,24	0,012	0,54	0,50	0,06	0,22
Fosfato (mg.l <sup>-1</sup> )	94,5	14,7	17	350	70,8	17,3
OD (mg.l <sup>-1</sup> )	1,89	8,2	8,43	6,61	7,01	5,95
SDT (mg.l <sup>-1</sup> )	1352,50	1079	1124,5	1007,5	1027	1046,3
pH	7,67	7,67	7,68	7,71	7,67	7,66
CE (dS.m <sup>-1</sup> )	1,71	1,38	1,44	1,31	1,34	1,36
Turbidez (UNT)	9,6	4,32	1,56	0	0	24

<sup>1</sup> Água cinza com passagem em caixa de gordura com limpeza realizada em intervalos de 15 dias. <sup>2</sup>

Água cinza com passagem em caixa de gordura com limpeza realizada em intervalos de 30 dias.

Os valores de amônia encontrado nas duas águas cinzas apresentam-se próximos e não sofrem variações bruscas com a passagem dos três tipos de águas pelas diferentes combinações de filtros, estando estes valores dentro do estipulado por Rapoport (2004), que considera normal valores de amônia variando entre 0,03 e 2,1 mg.l<sup>-1</sup> para água cinza. Segundo ainda este autor, a amônia apresenta valores mais elevados em caudas de esgoto bruto, que estão propensas a receber altas cargas de urina, proporcionando valores que podem variar entre 20 e 40 mg.l<sup>-1</sup>.

Com relação ao fosfato, percebe-se um aumento substancial deste elemento quando a água filtrada passa nos substratos filtrantes 3 e 4, tanto para a água de abastecimento, quanto para a água cinza. Estes filtros apresentam em sua composição uma camada de maravalha de madeira inexistente nos demais filtros. Este enriquecimento, também foi constatado por Brandão *et al.* (2003) na presença deste mesmo substrato como material filtrante, o qual considera ser este um parâmetro a ser monitorado com cuidado, pois pode representar uma piora na qualidade do efluente, elevando a concentração de fósforo na água residuária tratada.

Segundo ainda estes autores, quando a água de irrigação apresenta grandes quantidades de fósforo, pode ocasionar danos ambientais pela eutrofização da água, em função da incapacidade das plantas em absorverem todo o fósforo em pouco tempo, de forma que o excedente pode ser carregado ou lixiviado e contaminar os corpos hídricos, tornando a água imprópria para o consumo humano e dos animais (KLEIN; AGNE, 2013). Almeida (2010) recomenda que o fosfato presente na água de irrigação não ultrapasse 2 mg.l<sup>-1</sup>.

O Oxigênio Dissolvido (OD) na água cinza filtrada, com limpeza na caixa de gordura a cada 15 dias, em primeira filtragem, apresenta concentração semelhante ao medido na água de abastecimento, sem apresentar grandes alterações após a passagem nos diferentes filtros. Por outro lado, ao observar os dados relacionados a água cinza filtrada com passagem em caixa de gordura com limpeza realizada a cada 30 dias, percebe-se uma deterioração na concentração de OD, quando comparado a água de abastecimento e água cinza filtrada 1, apesar de apresentar melhoras acentuadas em segunda filtragem. Logo, evidencia-se a importância da realização de limpezas em intervalos de tempo menores na caixa gordura, para evitar complicações na qualidade da água cinza.

Os valores referentes ao oxigênio dissolvido encontrados na água cinza de primeira filtragem e na água de abastecimento corroboram com os encontrados na pesquisa de Ferreira *et al.* (2020), que ao analisarem a qualidade da água cinza proveniente de lavanderias de duas residências e obtiveram valores entre 9,3 e 9,4 mg.l<sup>-1</sup> para o efluente fresco e de 6,3 e 0 mg.l<sup>-1</sup> para o efluente armazenado por 7 dias.

Este é um parâmetro relevante na reutilização da água cinza, uma vez que a aceitação por parte dos usuários, que prezam por aspectos visuais e olfativos na água, tem na oxigenação da mesma um dos principais indicadores primários para controle e uso deste insumo em suas atividades agrícolas (FERREIRA *et al.*, 2020).

De acordo com a NBR 13969/1997, prática de reuso de efluentes deve atender alguns requisitos para ser utilizado na irrigação de pomares, cereais, forragem, entre outros, no que se refere a água de escoamento superficial ou captada e distribuída as plantas por sistema de irrigação pontual, o teor de oxigênio dissolvido mínimo deve estar acima de  $2,0 \text{ mg.l}^{-1}$  e a irrigação das culturas deve ser interrompida 10 dias antes da colheita (BRASIL, 1997).

A média do parâmetro OD, em todas as amostras apresentam-se acima do limite mínimo permitido pela NBR 13969/1997, com exceção da condição inicial da água cinza filtrada, cujo a limpeza da caixa de gordura passou a ser realizada em intervalos de 30 dias, o que baixou a concentração de OD para  $1,89 \text{ mg.l}^{-1}$ , apresentando grande depleção em relação as demais amostras. Esta baixíssima concentração de OD para a água cinza 02 pode estar relacionado ao intenso consumo do oxigênio pelas bactérias presentes na caixa de gordura em função da decomposição de uma maior carga de matéria orgânica pelo acúmulo maior de dejetos ao longo do tempo.

No que se refere ao SDT determinado na água de abastecimento, considerada padrão no presente estudo, apenas no filtro 1 registrou-se uma elevação no valor deste parâmetro na ordem de 12,52%. Porém, para todos os valores analisados, após passagem da água pelas diferentes combinações das camadas em cada filtro, percebe-se que estes variaram entre 271,7 e  $429 \text{ mg.l}^{-1}$ , de forma que a filtragem nos diferentes substratos não interferiu na salinidade total da água drenada, permanecendo esta, em todos os filtros, sem restrição para uso na irrigação de acordo com WHO (2006, p. 178), uma vez que os teores da concentração se mantiveram inferior a  $450 \text{ mg.l}^{-1}$ .

Por outro lado, tem-se um acréscimo considerável, na ordem de 14,94% e 6,89% na concentração de SDT após a segunda drenagem da água cinza (caixa de gordura com limpeza no limite de 15 dias) nos filtros 01 e 02, denotando mais uma vez cuidados com o arranjo de camadas do filtro 01 que, também neste caso, elevou a salinidade da água filtrada, com os valores de SDT ficando abaixo do valor inicial para os demais filtros utilizados no ensaio. No que se refere a filtragem da água cinza onde a limpeza da caixa de gordura do RAC ocorreu no dobro do tempo (30 dias), todos os resultados ficaram abaixo da salinidade de entrada da água.

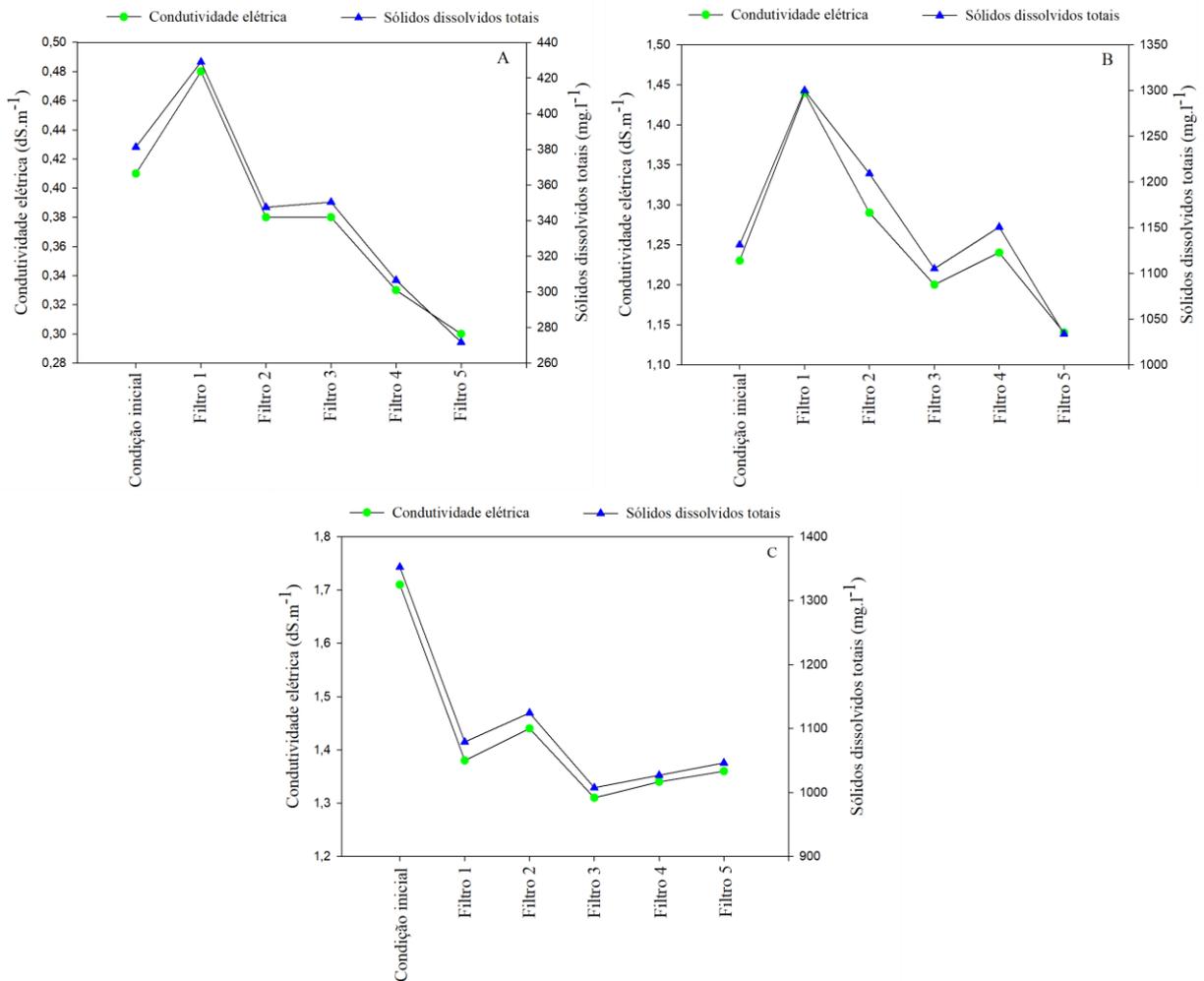
Vale salientar que, independentemente do tempo de limpeza da caixa de gordura (15 ou 30 dias), mesmo após a segunda filtragem, a salinidade da água permanece dentro da faixa de

restrição de uso para irrigação, sendo esta classificada, segundo (WHO, 2006), como moderada por estar na faixa entre 450 e 2000 mg.l<sup>-1</sup>.

Os valores referentes a condutividade elétrica da água cinza encontrados nessa pesquisa, mostram-se compatíveis com os níveis de SDT (Figura 02) encontrados e corroboram com os encontrados por Silva *et al.* (2020), que ao avaliarem sistemas de reutilização da água cinza destinada a agricultura irrigada, encontrou valores de CE variando entre 0,41 e 1,56 dS.m<sup>-1</sup>, ao passar por filtros físicos compostos por camadas de areia, brita e carvão vegetal.

Por outro lado, estes valores diferem dos encontrados por OLIVEIRA *et al.* (2020), que usou filtros físicos compostos por brita, pedriscos e areia, com diferentes coberturas superficiais para estas camadas utilizando sacos de armazenar cebola, tela de nylon e restos de conduítes para o filtro 1, 2 e 3 respectivamente, com diferentes espessuras de camadas e granulometria de partículas, encontrando condutividade elétrica variando entre 0,29 e 0,50 dS.m<sup>-1</sup> na água cinza filtrada, com a CE da água antes da filtragem variando entre 0,36 e 0,71 dS.m<sup>-1</sup>.

**Figura 2** - Condutividade elétrica e sólidos dissolvidos totais em água de abastecimento (A), água cinza em segunda filtragem após limpeza da caixa de gordura em intervalos de 15 dias (B) e 30 dias (C).



De acordo com Sousa *et al.* (2020), sólidos dissolvidos no meio, fixos e voláteis, apresentam conexão com a concentração de íons, e por conseguinte, aumentam a condutividade elétrica. Essa relação também foi encontrada em pesquisa realizada por Dantas *et al.* (2019), ao encontrar alta correlação positiva significativa entre CE e SDT.

Ao observar a Figura 2A percebe-se que a água cinza, após limpeza da caixa de gordura em intervalos de 30 dias, apresentou maiores valores para a condutividade elétrica em condição inicial, quando comparados às demais situações; no entanto, ao passar pelos filtros, esse valor sofre uma redução da ordem de 19,88%, enfatizando que, mesmo não sendo esta a função principal do filtro físico, tem-se uma situação favorável em função da redução de parte da salinidade da água que vai para o sistema de irrigação, independente da combinação do substrato utilizado na filtragem.

O pH da água cinza depende tanto do pH da água de abastecimento, quanto dos elementos utilizados em sua produção (ERIKSSON *et al.*, 2002). Os valores do pH de forma geral, ou seja, nas condições iniciais das águas antes e depois da passagem pelos filtros, apresentam pequenas variações, mantendo-se sempre próximo a neutralidade.

A manutenção dos valores do pH da água cinza filtrada na faixa próxima a neutralidade não apontam para problemas a curto prazo de corrosão nos componentes da bomba ou nas peças especiais do sistema por acidez da água, nem tão pouco de incrustações, com conseqüente entupimento/obturações dos emissores utilizados na irrigação dos cultivos (RAMPELOTTO, 2014). Além do que, é importante enfatizar que a alcalinidade é um parâmetro importante na qualidade da água cinza, pois a redução drástica do pH, pode alterar a atividade dos microrganismos responsáveis pela depuração da água (SANTOS, 2008).

Quanto a turbidez, é importante observar que a composição dos estratos nos filtros interfere de forma significativa neste parâmetro, fato que fica evidente na análise dos resultados da água de abastecimento (Tabela 5), que após a passagem pelos filtros, apresenta uma elevação considerável, principalmente no filtro 5, saindo de 0 para 38,28 UNT. No caso particular do filtro 05, este resultado pode estar atrelado a presença da camada de areia que é o dobro da presente nas demais composição de estratos, o que pode favorecer o carreamento das partículas deste substrato para a água drenada tornando-a turva (AGRA *et al.*, 2012). Esta situação se repete no processo de filtragem da água cinza 01 e 02 no tocante ao filtro de nº 05.

A turbidez também está associada as partículas orgânicas e inorgânicas em suspensão na água, capazes de interferir na passagem de luz (QUEIROZ; OLIVEIRA, 2018). Como era de se esperar, houve uma alteração entre o nível de Turbidez da água de abastecimento (0 NTU) para a água cinza filtrada 01 (2,28 NTU) e 02 (9,6 NTU), comprovando que na água cinza filtrada o valor da turbidez é impactada pela constante e volumosa presença de materiais orgânicos e inertes advindo das atividades domésticas de lavagem de pratos e roupas e de possíveis partículas de areia silte e argila proveniente da área do banho, entre outros e que não são capazes de serem retidos na caixa de gordura e nem ao passarem pelo filtro físico do RAC (MARTINS *et al.*, 2021).

Entretanto, os valores encontrados nas águas cinzas encontram-se incoerentes com o que constatou Melo (2018) em água cinza, após passar por tanque séptico e filtro anaeróbio, que apresentou turbidez de 4,70 NTU devido a presença de partículas inorgânicas como areia, silte e argila, além de compostos orgânicos, algas, bactérias e plâncton.

O valor da turbidez da água cinza filtrada no RAC, torna-se ainda mais significativa quando comparado com ensaios realizados com efluentes que não são filtrados, como é o caso

dos estudos realizados por Baracuhy *et al.* (2015) que, ao avaliarem a água cinza bruta derivada de uma lavanderia comunitária durante 4 meses, observaram variações entre 169 NTU a 687 NTU para a turbidez e De Paula e Fernandes (2018), que verificaram que o efluente gerado no lavatório e chuveiro, ambos no banheiro da residência, apresentou turbidez de 155 e 60 NTU, e que, ao passar por tratamento com coagulantes químicos, tiveram os seus níveis reduzidos, porém para valores que ficaram entre 9,99 e 57 NTU, ainda muito acima do obtido nos filtros físicos do RAC em uso pela família.

Desta forma, é possível realçar que a turbidez do efluente doméstico vai variar de acordo com a origem, as condições de uso e a forma de tratamento imposta, com boas perspectivas para a eficiência dos filtros físicos aqui utilizados no tocante a turbidez da água, principalmente em função da destinação da água cinza filtrada que é para abastecer sistema de irrigação pressurizado com emissores sensíveis ao entupimento (COSTA *et al.*, 2021).

Os melhores resultados para turbidez observados no presente trabalho, advêm do processo de filtragem da água cinza 02, onde percebe-se redução deste parâmetro em todos os filtros, com exceção do filtro 05. A passagem da água cinza 02, advinda de um situação onde a limpeza da caixa de gordura foi realizada com o dobro do tempo da água cinza 01, apresenta-se muito eficiente em segunda filtragem, em função, provavelmente, da diminuição considerável do carreamento de partículas para a água drenada, como observa-se nos filtros 3 e 4, ambos com mesma composição de estratos e com turbidez totalmente ausente.

Os filtros 3 e 4, apresentam em suas camadas filtrantes maravalha de madeira, que segundo pesquisas desenvolvidas por Lo Monaco *et al.* (2004), esse material filtrante se apresenta com elevada eficiência na remoção de sólidos totais, com índice de remoção em torno de 70%, aumentando ainda mais a sua eficiência com o aumento da granulometria do material filtrado, caso da água cinza 02 na presente pesquisa quando comparada com a água cinza 01.

Por fim, é importante ressaltar que podemos diminuir consideravelmente a matéria orgânica presente na água cinza através da eliminação previa dos resíduos de alimentos, óleos e gorduras antes da lavagem de pratos na pia da cozinha. Resíduos de matéria orgânica também podem ser liberados no momento do banho e na lavagem de roupas, porém em quantidade bem inferior (FIGUEIREDO *et al.*, 2019)

Após a caracterização do efluente percolado pelos diferentes tipos de filtro, avaliou-se a performance da drenabilidade para as diferentes combinações de estratos, sob condições de saturação e não saturação, como pode ser observado nas Tabela 6 e 7 a seguir.

**Tabela 6** - Drenabilidade para diferentes estratos de filtros – em condição de não saturação com caixa de gordura limpa a cada 15 dias - Serra Talhada - PE, abril de 2021

Tratamento	Tempo médio de percolação da água nos filtros (segundos)		Volume médio retido (litros)		Tempo médio para cessação da drenagem (min)		Vazão média (l.min <sup>-1</sup> )		Saturação na entrada (litros)*	
	AA	ACF	AA	ACF	AA	ACF	AA	ACF	AA	ACF
Filtro 1 (carvão + areia + brita + seixo rolado)	26,0 ab	27,3 ab	0,3 a	0,3 a	7,44 ab	7,84 b	1,11 ab	1,04 b	6,33 b	6,17 c
Filtro 2 (areia + carvão + brita + seixo rolado)	27,3 a	34,7 a	0,3 a	0,4 a	9,39 a	9,30 a	0,88 b	0,87 c	3,50 d	3,25 e
Filtro 3 (maravalha + carvão + areia + brita + seixo rolado)	20,0 b	20,0 b	0,4 a	0,3 a	6,5 ab	6,62 c	1,25 ab	1,23 a	8,0 a	8,0 a
Filtro 4 (maravalha + areia + carvão + brita + seixo rolado)	23,0 ab	26,7 ab	0,4 a	0,4 a	5,5 b	6,3 c	1,49 a	1,30 a	7,75 a	7,07 b
Filtro 5 (areia + brita)	28,0 a	37,7 a	0,3 a	0,5 a	9,16 a	10,01 a	0,89 b	0,80 c	4,70 c	4,77 d

\* Volume de água submetido a drenagem: 8 litros; AA – água de abastecimento; ACF – água cinza filtrada; médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre os tratamentos pelo teste de tukey a 5%.

A análise da Tabela 6 permite constatar que, considerando o tempo médio de percolação da água e o tempo médio de cessação da drenagem, os filtros que possuíam uma quantidade menor de areia em suas camadas retardam menos a passagem da água, característica desejável para o tipo de efluente a ser filtrado, uma vez que diminui a resistência a passagem deste no interior do filtro, reduzindo o risco de retorno da água para o início do sistema.

Comportamento similar foi observado por Oliveira *et al.* (2020), ao conduzir avaliações do desempenho de filtros físicos no tratamento de água cinza proveniente da pia da cozinha, os quais constataram que o fluxo do efluente foi reduzido ao passar pelas camadas de areia, afirmando estes autores que a matéria orgânica e óleos presente na água cinza ocasionam a obstrução dos interstícios da camada de areia.

A componente areia, como um dos substratos do filtro, possui reconhecidamente poros infinitamente menores que os demais materiais filtrantes presentes na formação das demais camadas, fato que dificulta naturalmente a passagem do fluxo, com consequente redução do tempo de percolação da água, independentemente de ser da baixa ou de alta qualidade, pela resistência que o tamanho destes poros provoca ao deslocamento horizontal da água quando comparados aos demais materiais de granulometria muito superior (OLIVEIRA, *et al.*, 2020).

A resistência a passagem da água pela areia fica bem evidenciado quando se constata um tempo médio de percolação da água tratada de abastecimento (de qualidade superior) no filtro 5 (areia + brita) muito superior ao tempo de percolação da água cinza (de qualidade inferior) registrado no filtro 01, onde se tem uma camada menor de areia e a presença de carvão e seixos rolados.

Por outro lado, a introdução da maravalha de madeira nos substratos filtrantes apresenta resultados expressivos no tocante ao tempo de percolação e de cessação da drenagem, com melhoria substancial na vazão final dos filtros, reduzindo em até 26,2 % o tempo de percolação da água de abastecimento e em 39,8 % este mesmo tempo na água cinza, com aumento nas vazões respectivas de até 55,2 % na água de abastecimento e de 44,4 % na água cinza, aspectos desejáveis em se tratando de filtros físicos para efluentes domésticos reconhecidamente carregados de partículas grossas em sua composição.

Outro fator relevante revelado nos resultados dos ensaios é que a presença da maravalha nos filtros 3 e 4 evitou a retenção da água na superfície destes filtros, diferentemente do que ocorreu nas demais combinações, sendo este um aspecto de grande importância para as condições operacionais de campo como uma possível solução para os inúmeros eventos de transbordamento dos filtros ou de retorno através das tubulações para o interior das residências,

relatados pelas famílias agricultoras, que se sentem incomodadas pela proliferação de mosquitos e pelo odor advindos da água cinza produzida na residência.

Existem diversos materiais que podem incrementar o tratamento da água residuária, atuando como meio filtrante, destacando-se no meio rural os resíduos orgânicos provenientes das atividades agropecuária e florestal (MAGALHÃES; MONACO; MATOS, 2013). Com a utilização de materiais orgânicos, é possível remover os poluentes presentes nas águas residuárias, além de reduzir os custos de implantação, tornando o sistema de tratamento acessível aos pequenos produtores rurais (ISLAMUDDIN *et al.*, 2016).

O extrato filtrante de maravalha de madeira, utilizado na presente pesquisa, vem sendo estudado no tratamento de águas residuárias, e de acordo com o trabalho realizado por Marques *et al.* (2020), trata-se de um material que apresenta resultados satisfatórios na retenção de metais pesados presentes na água cinza, como o ferro, alumínio e zinco. Por outro lado, a maravalha de madeira pode aumentar a concentração do fosfato, devido a sua composição natural (BRANDÃO *et al.*, 2003).

É importante ressaltar que a composição dos estratos filtrantes não interferiu de forma significativa no volume de água retido no interior dos filtros com a passagem da água, independentemente dos materiais utilizados na formação das camadas ou da qualidade da água, com as médias dos teores retidos variando de 0,34 litro e de 0,38 litro, em cada 8 litros percolados, respectivamente para água de abastecimento e água cinza.

Os resultados apresentados na Tabelas 07 referem-se a drenabilidade dos filtros sob condições de não saturação (NS) e de saturação (S) por 7 dias ininterruptos, ficando, no segundo caso, a água cinza retida no interior dos mesmos em função do fechamento dos registros de controle de saída da água, de forma a simular a condição operacional do filtro instalado no RAC da família agricultora sob condições de campo; para ambas as situações a limpeza da caixa de gordura, por onde passa a água cinza, ocorreu no intervalo de 15 dias.

**Tabela 7 - Drenabilidade para diferentes estratos de filtros – em condições não saturada e saturada com caixa de gordura limpa a cada 15 dias - Serra Talhada - PE, abril de 2021**

Tratamentos	Tempo médio de percolação da água cinza nos filtros (s)		Volume médio retido (litros)		Tempo médio para cessação da drenagem (min)		Vazão média (l.min <sup>-1</sup> )	
	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S
Filtro 1 (carvão + areia + brita + seixo rolado)	27,3 ab	22,2 a	0,3 a	0,1 a	7,84 b	7,82 a	1,04 b	1,1 a
Filtro 2 (areia + carvão + brita + seixo rolado)	34,7 a	15,3 b	0,4 a	0,1a	9,30 a	6,12 a	0,87 c	1,4 a
Filtro 3 (maravalha + carvão + areia + brita + seixo rolado)	20,0 b	18,1 ab	0,3 a	0,2 a	6,62 c	7,15 a	1,23 a	1,2 a
Filtro 4 (maravalha + areia + carvão + brita + seixo rolado)	26,7 ab	21,7 a	0,4 a	0,2 a	6,3 c	6,14 a	1,30 a	1,4 a
Filtro 5 (areia + brita)	37,7 a	20,4 a	0,5 a	0,1 a	10,01 a	7,61 a	0,80 c	1,1 a

NS – estratos não saturados; S – estratos saturados; médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre os tratamentos pelo teste de tukey a 5%.

A comparação entre os dados analisados na Tabela 7, permite constatar uma substancial melhora no fluxo da água cinza quando a drenagem passa da condição de não saturação para a condição de saturação, de forma que, para as diferentes combinações de filtros utilizadas no ensaio, constata-se uma redução da ordem de 33,26 % no tempo médio de percolação da água, com o valor médio de retenção da água cinza no estrato dos filtros reduzindo-se de 0,38 litros (não saturado) para 0,14 litros no saturado.

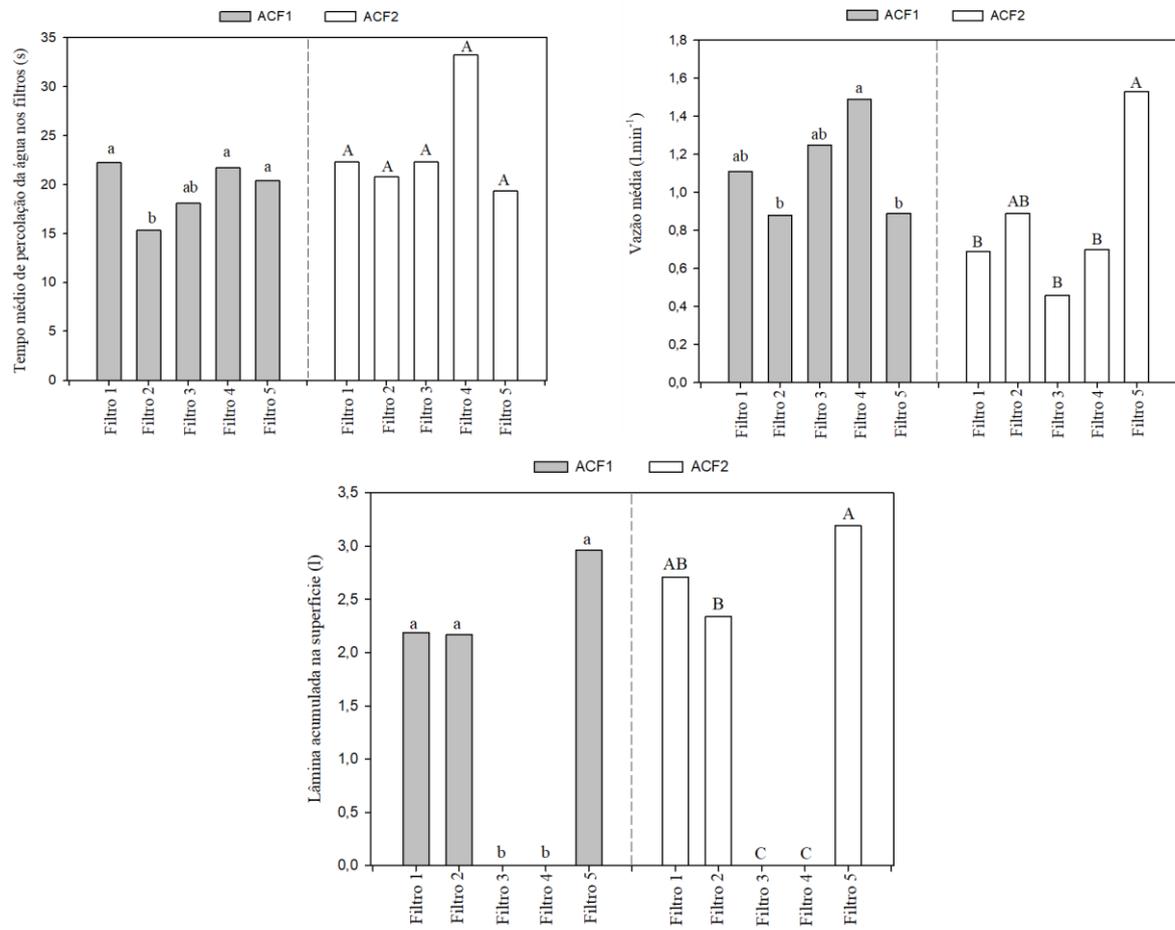
Estes são resultados já esperados e que corroboram com os princípios que envolvem a condutividade hidráulica em substratos saturados e não saturados, uma vez que nos primeiros todos os poros estão preenchidos e são potencialmente condutores, ao contrário dos não saturados que, por conterem ar em grande parte de seus espaços vazios, passam a submeter a água a outras forças que aumentam a resistência a sua passagem, diminuindo o fluxo (KLEIN, 2012).

O nível de saturação do meio poroso influencia significativamente na permeabilidade, de forma que, quanto maior for a saturação deste meio maior será a velocidade de percolação da água (COSTA, 2019), o que evidencia que a qualidade inferior da água cinza não interfere na permeabilidade das diferentes composições de substratos utilizados na filtragem da mesma. O fluxo médio evolui de 0,01 m/s na condição de não saturação para 0,015 m/s no saturado, apresentando um aumento significativo de 50%, sendo classificados, em ambos os casos, como alto, com incremento de 20% na vazão drenada sob condição de saturação.

Por outro lado, é importante enfatizar que os filtros 03 e 04 quando saturados, em cuja composição dos substratos introduziu-se a maravalha de madeira, não acumularam uma lâmina d'água sobre a superfície do substrato, condição desejada uma vez que isto evita a proliferação de mosquitos e a produção de odores (FREITAS, *et al.*, 2016), diferentemente dos demais filtros que, além de não contar com a maravalha na sua composição, apresentavam com uma camada mais espessa de areia, cujas lâminas formadas sobre a superfície chegaram a 2,166 litros para os filtros 01 e 02 (espessura da camada de areia de 7,5 cm) e de 2,964 para o filtro 05 (espessura da camada de areia de 15 cm).

Na Figura 3, tem-se a drenabilidade avaliada em função da saturação dos filtros em dois intervalos de tempo destinados a limpeza da caixa de gordura, sendo, respectivamente 15 e 30 dias, momentos nos quais a família agricultora efetua a retirada do material grosseiro advindo das atividades da lavagem de pratos, roupas e do banho das pessoas que habitam a casa.

**Figura 3** - Drenabilidade para diferentes estratos de filtros sob condições de saturação e com caixa de gordura limpa, respectivamente, a cada 15 e 30 dias – água cinza filtrada – Serra Talhada – PE, abril de 2021



**Tabela 8** - Drenabilidade para diferentes estratos de filtros – água cinza filtrada: filtros sob condições de saturação e com caixa de gordura limpa, a cada 15 e 30 dias – Serra Talhada – PE, abril de 2021

Tratamento	Tempo médio de percolação da água nos filtros (segundos)		Vazão média (l.min <sup>-1</sup> )		Lâmina acumulada na superfície (litros)*	
	15 dias	30 dias	15 dias	30 dias	15 dias	30 dias
Filtro 1 (carvão + areia + brita + seixo rolado)	22,2 a	22,3 a	1,11 ab	0,69 b	2,19 a	2,71 ab
Filtro 2 (areia + carvão + brita + seixo rolado)	15,3 b	20,8 a	0,88 b	0,89 ab	2,17 a	2,34 b
Filtro 3 (maravalha + carvão + areia + brita + seixo rolado)	18,1 ab	22,3 a	1,25 ab	0,46 b	0 b	0 c
Filtro 4 (maravalha + areia + carvão + brita + seixo rolado)	21,7 a	33,2 a	1,49 a	0,70 b	0 b	0 c
Filtro 5 (areia + brita)	20,4 a	19,3 a	0,89 b	1,53 a	2,96 a	3,19 a

\* Volume de água submetido a drenagem: 8 litros; médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre os tratamentos pelo teste de tukey a 5%.

Na análise da Figura 03 constata-se que o prolongamento do tempo de limpeza da caixa de gordura de 15 para 30 dias provocou um declínio no fluxo médio da água de 0,015 m/s para 0,012 m/s, com reflexo direto na vazão média que recou de 0,021 para 0,014 l/s, reforçando a necessidade das famílias irrigantes, que utilizem a água cinza em suas áreas, aumentarem o rigor nesta etapa do manejo em seus sistemas de reuso de água.

#### 4 REFERENCIAS

AGRA, T. A.; BARBOZA, M. G.; FERREIRA, I.V.L.; CRUZ, N. S. D. Potabilização de Água de Chuva através de Filtração Lenta e SODIS. In: XVI Jornada Alagoana de Saneamento Ambiental, 2012.

ABDALLA, H. *et al.* Eco-efficiency analysis of integrated grey and black water management systems. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 172, p. 1-14, 2021.

ARDEN, S.; MA, X. Constructed wetlands for greywater recycle and reuse: A review. **Science of the Total Environment**, v. 630, p. 587–599, 2018.

BANERJEE, A. *et al.* Environmental factors as indicators of dissolved oxygen concentration and zooplankton abundance: Deep learning versus traditional regression approach. **Ecological Indicators**, v. 100, p. 99-117, 2019.

BARACUHY, V. S. *et al.* Qualidade das águas cinza tratada com fitorremediação em unidades de produção agrícola. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 1, p. 187, 2015.

BATISTA, A. A. *et al.* Quality in papaya fruit produced with treated domestic sewage. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 48, n. 1, p. 70–80, 2017.

BRANDÃO, V. S. *et al.* Retenção de poluentes em filtros orgânicos operando com águas residuárias da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 329–334, 2003.

COSTA, R. O. *et al.* Tratamento de água cinza em unidade de produção agrícola controlada associada a hidrociclone. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, 2021.

COSTA, W. W. M. **Estudo da permeabilidade em solos utilizados em camada de base de aterro sanitário no semiárido paraibano**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019.

DANTAS, P. R. *et al.* Reúso de água cinza tratada em sistema de alagado construído com resíduos da construção civil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 14, n. 1, p. 62, 2019.

DE PAULA, H. M.; FERNANDES, C. E. Otimização do tratamento de água cinza a partir do uso combinado de coagulantes químicos. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, n. 5, p.

951–961, 2018.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. Método e técnicas de tratamento de água. Rio de Janeiro: Abes, v. 1, 1993.

ERIKSSON, E. *et al.* Characteristics of grey wastewater. **Urban Water**, v. 4, n. 1, p. 85–104, 2002.

FERREIRA, I. V. L. *et al.* Avaliação físico-química de águas cinzas armazenadas, em residências unifamiliares. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 65728–65736, 2020.

FIGUEIREDO, I. C. S. *et al.* Águas cinzas em domicílios rurais: separação na fonte, tratamento e caracterização. **Revista DAE**, v. 67, n. 220, p. 141–156, 2019.

FREITAS, G. P. *et al.* Sistema de tratamento de efluentes para o campus da Universidade Federal de Campina Grande na cidade de Pombal. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável** v. 11, n. 2, p. 08-12, 2016.

GONÇALVES, R. F. *et al.* Tecnologias de tratamento de correntes de esgotos segregadas aplicadas a empreendimentos habitacionais *In*: SANTOS, A. B (org.). **Caracterização, tratamento e gerenciamento de subprodutos de correntes de esgotos segregadas e não segregadas em empreendimentos habitacionais**. Fortaleza: Imprece, 2019. cap.5. p. 392-492.

ISLAMUDDIN *et al.* Treatment of domestic wastewater by natural adsorbents using multimedia filter technology. **International Journal of Emerging Technologies in Engineering Research**, v. 4, n. 4, p. 164–167, 2016.

KLEIN, C.; AGNE, S. A. A. Fósforo: de nutriente à poluente! **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 8, n. 8, p. 1713–1721, 2013.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. 2. ed. Passo Fundo: Ed da UPF, 2012. p. 200-201.

LO MONACO, P. A. *et al.* Influência da granulometria da serragem de madeira como material filtrante no tratamento de águas residuárias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 116–119, 2004.

MAGALHÃES, M. A.; MONACO, P. A. V.; MATOS, A. T. Uso de filtros orgânicos na remoção de óleos e graxas presentes na água residuária de suinocultura. **Engenharia na Agricultura**, v. 21, n. 4, p. 387–395, 2013.

MARINHO, E. R. *et al.* Avaliação da ação urbana no canal Água Cristal em Belém, Pará, um estudo sobre qualidade da água. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 1, p. 322–335, 2020.

MARQUES, A. S. *et al.* Tratamento da água residuária da bovinocultura utilizando resíduos agroflorestais: retenção de poluentes ambientais. **Revista Virtual de Química**, v. 12, n. 2, p. 1–10, 2020.

MARTINS, D. D. S. *et al.* Avaliação da aplicabilidade do reuso da água cinza de máquina de

lavar roupa após tratamento completo e simplificado. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales**, v. 14, n. 2, p. 526–538, 2021.

MENDONÇA, K. P. L. **Tratamento de águas cinza provenientes de lavanderias visando reuso**. 2019. Dissertação (Mestrado em engenharia ambiental) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2019.

MONTEIRO, V. R. C.; SEZERINO, P. H.; PHILIPPI, L. S. Caracterização e tratamento de água cinza residencial empregando a ecotecnologia dos wetlands construídos. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e tecnologia**, v. 12, n. 2, p. 93–109, 2015.

NOUR, E. A. A. *et al.* Uso de sistema combinado filtro anaeróbio seguido de biofiltro aerado submerso no tratamento de esgoto sanitário contendo formaldeído. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 10106–10117, 2020.

OLIVEIRA, W. S. N. *et al.* Avaliação do desempenho de filtros no tratamento de águas cinza do Sertão Paraibano. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, p. 1–25, 2020.

PETOUSI, I. *et al.* Effects of treated wastewater irrigation on the establishment of young grapevines. **Science of the Total Environment**, v. 658, p. 485–492, 2019.

QUEIROZ, T. M.; OLIVEIRA, L. C. P. Qualidade da água em comunidades quilombolas do Vão Grande, município de Barra do Burgres (MT). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, n. 1, p. 173–180, 2018.

RAMPELOTO, Geraldo. Caracterização e tratamento de águas cinzas visando reuso doméstico. **2014**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

RODRIGUES, K. C. **Otimização do tratamento de água cinza associando soluções aquosas de moringa oleifera e sulfato de alumínio**. 2019. Dissertação (Mestrado em Modelagem e Otimização) – Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2019.

SANTOS, E. S. Análises Físico-Químicas De Águas E De Solos. 2008. Disponível em: <http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/1701-6.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2021.

SILVA, D. P. M.; PEREIRA, I. N. A. Análise da reutilização de águas cinzas para fins não potáveis. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 7, p. 72853–72869, 2021.

SILVA, H. R.; EGERT, P.; WILLEMANN, M. I. Avaliação de um sistema alternativo para o tratamento de efluente doméstico e planejamento para conscientização da comunidade. **Mix Sustentável**, v. 7, n. 2, p. 67–78, 2021.

SILVA, P. R. C. *et al.* Uso de água cinza filtrada em sistemas de gotejamento na agricultura familiar. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. 1-19, 2020.

SOUSA, B. A. A. *et al.* Implantação e avaliação de um sistema para tratamento de água cinza. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 3531–3552, 2020.

SOUZA, M. S.; SOUZA, R. G. Análise da sensibilidade do segmento de restaurantes em relação ao uso de biotecnologia no tratamento de efluentes. In: LOCATELLI, M. R. C. (org.). **Sustentabilidade e Responsabilidade Social**. Belo Horizonte: Poisson, 2018. Cap. 2, p. 21-30.

WHO. Safe use of wastewater , excreta and greywater guidelines. **World Health Organization**, v. 2 , p. 204, 2006.

Zhang, W. *et al.* Dissolved oxygen variation in the North China Plain river network region over 2011–2020 and the influencing factors. **Chemosphere**, v. 287, n. 3, p. 132-354, 2021.

## **CAPÍTULO 3 – DESENVOLVIMENTO INICIAL DO SORGO GRANÍFERO (SORGHUM BICOLOR (L.) MOENCH) IRRIGADO COM ÁGUA CINZA FILTRADA**

### **1 INTRODUÇÃO**

O sorgo é uma gramínea que apresenta metabolismo C4, elevada taxa fotossintética, resposta fotoperiódica de dia curto e, para a grande maioria das cultivares, se faz necessário temperaturas acima de 21°C para que tenha um bom desenvolvimento durante todo o ciclo. Ademais, é resistente às situações ambientais adversas, diferentemente da maioria dos cereais, principalmente em situações de déficit hídrico ou de excesso de umidade no solo, apresentando ainda enorme facilidade em se adaptar às mais diversas condições do solo (RODRIGUES; MAGALHÃES; SOUZA, 2014).

Esta é reconhecidamente uma cultura que se desenvolve satisfatoriamente sob condições de baixa precipitação pluviométrica, logo, ao ser submetida a uma irrigação que atenda às suas mínimas necessidades hídricas, apresenta-se capaz de produzir de forma satisfatória sem apresentar perdas significativas, o que, por outro lado, contribui para reduzir os impactos que a irrigação pode ocasionar aos solos, além de contribuir positivamente na manutenção dos volumes dos reservatórios em regiões semiáridas (COSTA; MEDEIROS, 2017).

Dentre uma ampla variedade de uso, sendo o quinto cereal mais importante do mundo, o sorgo possui grande importância na alimentação humana e animal em várias regiões do planeta (MENEZES *et al.*, 2019). No Brasil o sorgo é cultivado essencialmente para alimentação animal, mesmo que apresente grande utilidade em produtos voltados para alimentação humana (SILVA *et al.*, 2019).

O ciclo fenológico do sorgo pode ser dividido em três fases vegetativas denominadas de etapa de crescimento 1 (EC1), etapa de crescimento 2 (EC2) e etapa de crescimento 3 (EC3). A EC1 representa o período entre a germinação até os 30 dias após o plantio, podendo sofrer variação em função de fatores genéticos e ambientais. Nesta fase a planta apresenta o menor rendimento produtivo, influenciado pela competição por luz, água e nutrientes. Os principais processos representados nesta etapa trata-se da germinação, crescimento da plântula, aparecimento e crescimento de folhas e formação de sistema radicular fasciculado (PINHO; FIORINI; SANTOS, 2014).

A EC2 inicia-se com o aparecimento do primórdio floral que marca o fim do crescimento vegetativo. Nesse momento, a planta já se encontra com 30 a 40 cm de altura e inicia um processo de grande crescimento das células e da própria planta, período este que vai

dos 30 e 60 dias após a embebição da semente. Durante a EC2 a matéria seca se acumula em uma taxa aproximadamente constante até a maturação; também durante esta fase a massa foliar se desenvolvem de forma mais rápida, ocorrendo ainda um crescimento considerável do sistema radicular, o qual atinge entre 60 a 70% do seu peso seco total. Qualquer estresse ocorrido nessa fase vai interferir no rendimento da planta, principalmente na ampliação da área foliar e no número de sementes por panícula (PINHO; FIORINI; SANTO, 2014),

A EC3 tem início a partir de 61 dias após a germinação, compreendendo os processos de polinização e fertilização, e marca o período em que a planta atinge sua maturação fisiológica. O período de duração dessa etapa é fundamental para o rendimento final dos grãos (PINHO; FIORINI; SANTOS, 2014).

O fato de conseguir se desenvolver satisfatoriamente com baixa quantidade de água e em solos reconhecidamente pobres em nutrientes em um ciclo curto de vida (90 a 130 dias), tem levado os produtores a escolher o sorgo como alternativa de cultivo fora de época, associada a outras culturas como cana-de-açúcar e milho, em regiões semiáridas que apresentam baixa precipitação e distribuição irregular de chuvas (SILVA *et al.*, 2019). De acordo com Menezes *et al.* (2014), a escassez hídrica se destaca como um dos principais estresses abióticos capaz de limitar a produtividade de culturas em todas as regiões do mundo, inclusive no Brasil, fator que tem impulsionado o cultivo do sorgo como uma das principais opções para os períodos do ano reconhecidamente de baixo índice pluviométrico ou com distribuição irregular das chuvas.

Levando-se em conta a sua adaptabilidade e versatilidade para produzir sob condições de baixa umidade no solo e ao fato de ser, quase que exclusivamente destinada a alimentação dos rebanhos, o cultivo do sorgo tem sido uma opção relevante nas regiões que optaram pelo reuso de água residuária na agricultura (GUIMARÃES; COSTA; MEDEIROS, 2018). Esta opção encontra-se fundamentada na necessidade crescente de economia de água de qualidade superior e de energia, além de reduzir a quantidade de esgoto descartado no solo e em mananciais de água.

Ao fazer a opção pela irrigação do sorgo forrageiro com água de baixa qualidade, aumenta-se a necessidade de aprimoramento do gerenciamento de águas cinzas reutilizadas, adotando-se critérios de segurança sanitária, proteção dos solos, fácil controle e baixo custo. Os quesitos quali-quantitativos do efluente são bastante variáveis em termos de vazão e composição da água, que são alterados de acordo com os usos da fonte primária, logo, as tecnologias de tratamento devem ser elaboradas visando atender ao máximo as normas estabelecidas, levando em consideração as atividades de reuso pretendidas (KATO *et al.*, 2019).

Caracterizada como todo efluente líquido gerados a partir do uso de chuveiros, lavatórios, máquinas de lavar, tanques e pia da cozinha, a água cinza deve ter o seu processo de tratamento, descarte e reutilização facilitado, de forma a potencializar seus benefícios para o uso nas atividades agrícolas, com ganhos substanciais no que diz respeito aos aspectos ambientais, sanitários e econômicos (KATO *et al.*, 2019).

Desta forma, no presente capítulo, apresentamos os resultados do desempenho do sorgo forrageiro (cultivar IPA 1011), na fase inicial de crescimento, ao ser irrigado com água cinza filtrada e sob condições de diferentes lâminas e turnos de rega, de forma a aprofundar as informações sobre a resposta desta cultura ao ser irrigada com água de qualidade inferior e sob diferentes condições de déficit hídrico no solo.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O ensaio foi conduzido na Unidade Acadêmica de Serra Talhada, pertencente a Universidade Federal Rural de Pernambuco situada a 7° 56' 15'' de latitude sul, 38° 18' 45'' de longitude oeste e 429 metros de altitude, entre os meses de janeiro a março de 2021 (JARDIM *et al.*, 2019), de acordo com a classificação de Köppen, o apresenta um clima do tipo BShw' semiárido, quente e seco, com temperatura média anual de 24,8 °C, umidade relativa do ar próximo de 62,5% e precipitação média de 642,1 mm ano<sup>-1</sup> (SILVA *et al.*, 2015).

### 2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Para realização dos ensaios adotou-se um delineamento em blocos casualizados com esquema fatorial 5 x 2 + 1 com 3 repetições, sendo o primeiro fator referente a lâminas de irrigação com água cinza filtrada em função da manutenção de diferentes frações de água disponível no solo ( $\Theta$  residual, 20%, 40%, 60%, e 100%), com o segundo fator referindo-se a dois turnos de rega de 3 e 6 dias e um tratamento adicional que foi conduzido a 100 % da água disponível no solo utilizando-se para isto água de abastecimento, proveniente da estação de tratamento de água da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), com 0,20 dS. m<sup>-1</sup> de Condutividade Elétrica e pH de 7,20.

As parcelas mantidas sem irrigação (aqui denominado de  $\Theta$  residual) receberam água de abastecimento apenas no momento inicial dos ensaios, quando todos os vasos foram

irrigados para alcançarem a capacidade de campo e assim garantirem a germinação e a formação do stand inicial da cultura. A partir do início da aplicação dos tratamentos (12 DAS), não houve reposição da água nestas parcelas até o final do ciclo, representando a situação de sequeiro vivenciada no Semiárido.

Nesta combinação fatorial o número total de parcelas experimentais ficou em 36 unidades distribuídas em 03 blocos conforme Figura 01 a seguir.

**Figura 1** - Parcelas experimentais de sorgo submetido a diferentes condições de água cinza disponível no solo – Serra Talhada – PE, abril de 2021.



### 2.3 CARACTERIZAÇÃO DA CULTIVAR DE SORGO IPA 1011

A cultivar de sorgo IPA 1011 é considerada como granífera e de porte baixo, com altura em média de 170 cm (SANTOS; GRANGEIRO, 2013), apresentando ciclo variando entre 90 e 120 dias, floração aos 65 dias, rendimento médio de grãos entre 1,5 e 3,0 t/ha, e massa seca entre 3,5 a 5,0 t/ha (CUNHA, 2012).

O sorgo granífero necessita de temperaturas elevadas, em torno de 33 °C, para expressar sua produtividade de maneira eficiente, no entanto, temperaturas acima de 38 °C e abaixo de 16 °C podem acarretar prejuízos na produção com reduções drásticas. Além de seu comportamento diante de altas temperatura, o sorgo se caracteriza por apresentar um bom desenvolvimento

mesmo quando submetido a baixas quantidades de água no solo, tornando-se uma planta com grande potencial para se desenvolver na região semiárida brasileira (SILVA, *et al.*, 2015).

Esta característica, associada a rusticidade e ao baixo preço para aquisição das sementes (SILVA *et al.*, 2010), além de adaptar-se facilmente em situações adversas, com boa tolerância a eventos de estresse biótico e abiótico e apresentar um elevado rendimento forrageiro e capacidade de rebrota (SIMPLICIO *et al.*, 2020), tem levado a cultivar IPA a ser largamente cultivada no nordeste brasileiro.

#### 2.4 ESTRUTURAÇÃO E MANEJO DOS ENSAIOS

A cultivar de sorgo IPA 1011 foi cultivada em vasos plásticos com capacidade para 29 litros de solo, os quais foram perfurados na base para instalação de um dreno. No interior de cada vaso foi adicionado 2,5 kg de brita para possibilitar a drenagem e 31 kg de solo devidamente peneirados, coletado na camada de 0-20 cm de um Cambissolo Haplico cujas características químicas e físicas são apresentadas na Tabela 1.

Uma tela de 12 cm de diâmetro foi interposta entre a camada de solo e a de brita de forma a evitar a percolação das partículas de solo para dentro da camada de brita, o que poderia obstruir a drenagem da água em caso de necessidade. Instalou-se ainda uma mangueira em orifício feito na base dos vasos, de modo a direcionar a água de drenagem para um recipiente plástico para mensuração do volume drenado, caso houvesse, em cada tratamento.

**Tabela 1** - Análise química e física do solo utilizado no cultivo da Sorgo

Camada	MO	P	K	Ca	Mg	Na	pH	Areia	Silte	Argila
cm	g kg <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----cmolc dm <sup>-3</sup> -----				H <sub>2</sub> O	-----%-----		
0-20	9,9	591	0,96	6,30	3,00	0,07	7,4	71,9	15,5	12,6

No momento da semeadura, foram distribuídas 16 sementes por vaso, de forma circular, a 2,0 cm de profundidade. Durante 12 dias após a semeadura, todos os vasos foram monitorados diariamente e irrigados com água de abastecimento, mantendo-se o conteúdo de água do solo na capacidade de campo. Após esse período, foi realizado o desbaste, deixando apenas uma planta por vaso, iniciando-se a aplicação dos tratamentos de acordo com as frações pré-determinadas para o conteúdo de água disponível no solo (0%, 20%, 40%, 60% e 100%) em turnos de rega de 3 e 6 dias.

As águas de abastecimento e cinza, cujas características físico-químicas encontram-se na Tabela 2, utilizadas na irrigação do sorgo, foram coletadas no sistema de abastecimento da Unidade Acadêmica da UFRPE em Serra Talhada e numa residência rural de agricultores familiares no município de Flores, mais precisamente na comunidade rural de Lagoa da Favela, que possui um sistema de Reuso de Água Cinza (RAC) confeccionado para captar a água proveniente da cozinha, da lavagem de roupas e do banheiro, que após a filtragem, é destinada a irrigação de sistemas agroflorestais na propriedade (Figura 02). O sistema de filtragem neste RAC é composto por uma sequência de camadas de areia, brita e carvão.

**Figura 2** - Sistema de reuso de água cinza filtrada construído na parceria entre Centro Sabiá/CAATINGA e a CARITAS Alemã – Flores – abril, 2021.



**Tabela 2** - Análise físico-química da água de abastecimento (AA) e água cinza (AC) utilizada na irrigação do sorgo - Serra Talhada – abril de 2021

<b>Elementos</b>	<b>AA</b>	<b>AC</b>	<b>Elementos</b>	<b>AA</b>	<b>AC</b>
Cálcio (mmol.l <sup>-1</sup> )	0,64	6,46	Cloretos (mmol.l <sup>-1</sup> )	0,60	10,47
Magnésio (mmol.l <sup>-1</sup> )	0,48	1,87	Cobre (mg.l <sup>-1</sup> )	0,04	0,02
Sódio (mmol.l <sup>-1</sup> )	0,32	7,79	Ferro (mg.l <sup>-1</sup> )	0,08	4,29
Potássio (mmol.l <sup>-1</sup> )	0,07	1,39	Manganês (mg.l <sup>-1</sup> )	0,03	0,03
Carbonato (mmol.l <sup>-1</sup> )	0,00	0,00	Zinco (mg.l <sup>-1</sup> )	0,05	< LQ
Bicarbonato (mmol.l <sup>-1</sup> )	0,40	7,69	pH	7,20	7,08
Sulfatos (mmol.l <sup>-1</sup> )	0,04	0,74	CE (dS m <sup>-1</sup> )	0,20	2,19
RAS	0,27	3,82	Classificação da água*	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>

\*Classificação da água quanto ao risco de salinidade e sodicidade proposta por Richards (1954); < LQ- menor que o limite de quantificação.

Foram realizadas 3 aplicações de nitrogênio na camada superficial do solo de cada tratamento, sendo a primeira aplicação realizada aos 16 dias após o semeio (DAS), a segunda aos 31 DAS e a terceira aos 45 DAS, aplicando-se 0,5 g de ureia (0,23 g de nitrogênio). Sabe-se que o nitrogênio é um fator importante no estímulo do crescimento da planta, favorecendo o aumento dos tecidos vegetais (COSTA *et al.*, 2020). Para evitar possíveis competição por nutrientes, as ervas daninhas foram retiradas semanalmente de forma manual.

As infestações de pulgões ao longo do ciclo da cultura foram controladas com aplicação de um inseticida natural composto por calda de cebola, bem como o controle dos ataques da lagarta-do-cartucho foi realizado com aplicação de calda de castanha.

## 2.5 MONITORAMENTO DO CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO E MANEJO DAS LÂMINAS

O conteúdo de água no solo foi monitorado e o cálculo das lâminas a serem aplicadas foi executado a partir das leituras da umidade presente no perfil do solo, leituras estas determinadas pelo uso do FDR Diviner 2000 e processadas em planilhas Excel, de forma que as respectivas lâminas necessárias para repor a água evapotranspirada entre as irrigações, dentro das frações previamente determinadas para a água disponível para as plantas em cada tratamento, fossem mantidas.

O cálculo do conteúdo de água disponível no solo referente a sua capacidade de campo, foi balizado a partir de ensaio em laboratório onde utilizou-se três vasos contendo o solo na mesma condição das parcelas envazadas em campo, com cada vaso mantido numa condição diferente de umidade, sendo 100% da capacidade de campo (condição 1), 50% da capacidade de campo (condição 2) e o solo seco ao ar da forma como foi introduzido nas parcelas da área experimental (condição 3).

Para o vaso na condição de 100 % de água disponível adicionou-se água de forma contínua e fracionada, medindo-se rigorosamente o quantitativo adicionado em proveta graduada, até se obter uma drenagem de pequena monta. Com a drenagem devidamente corrigida e calculada em função do volume de água infiltrado, fez-se os ajustes na lâmina e no respectivo volume de água necessário para que o solo atingisse a capacidade de campo, conseqüentemente, obtendo-se o volume de água necessário para a condição 2.

Com o término da aplicação da lâmina de água e os respectivos ajustes, foi determinado a umidade volumétrica do solo presente nos 3 vasos, sendo esta determinação realizada de duas formas: (i) através da utilização do Diviner 2000 que usa sensores capacitivos para medir o teor de umidade do solo através da Reflectometria do Domínio da Frequência (FDR); a partir de uma sonda introduzida manualmente no perfil do solo por meio de tubos de acessos, previamente instalados verticalmente no mesmo, as leituras da umidade passaram a ser realizadas nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade; (ii) através do método gravimétrico, que é a razão da massa de água retida numa determinada massa de solo seco, com amostras colhidas nas mesmas profundidades lidas pela sonda do Diviner

Esses dois procedimentos foram realizados simultaneamente em intervalos de tempo previamente definidos, a fim de comparar os dados e validar o uso do Diviner 2000 para determinação da capacidade de campo que serviria para balizar os ensaios com a cultura do sorgo.

Todos os vasos referentes aos tratamentos a serem mantidos a 100% de água disponível no solo em cada um dos três blocos, receberam tubos de acesso para realização das leituras em tempo real com o Diviner 2000, de forma que, de posse dos dados das leituras no aparelho, estes foram lançados em planilha excel para cálculo das lâminas necessárias para elevar a umidade presente à capacidade de campo, bem como para definir o volume de água a ser aplicado nos demais tratamentos em função das condições previamente estabelecidas.

As leituras e as irrigações foram realizadas de acordo com os turnos de rega aplicados, em intervalos de 3 dias. Durante a pesquisa foram realizados 16 eventos de irrigações nas parcelas referentes aos tratamentos com turnos de rega de 3 dias e 8 para os tratamentos com

turnos de rega de 6 dias, com as lâminas variando com base no conteúdo de água presente no solo e as respectivas frações previamente estabelecida para os tratamentos.

## 2.6 MONITORAMENTO, COLETA E ANÁLISE DA BIOMASSA DO SORGO

Uma vez iniciada a aplicação dos tratamentos, o experimento foi conduzido durante seis semanas consecutivas (42 dias de ciclo e 54 de semeio) iniciando em 27 de janeiro de 2021 e finalizando em 22 de março de 2021, o que permitiu monitorar e avaliar semanalmente o desempenho do sorgo no tocante ao desenvolvimento inicial das plantas irrigadas com água cinza filtrada e de abastecimento, bem como daquelas que estejam sendo conduzidas em regime de sequeiro, a partir das biometrias de seus componentes morfológicos e de suas respectivas taxas de crescimento ao longo do tempo.

Os componentes biométricos mensurados semanalmente foram: a) Altura da planta (medida com auxílio de uma trena do colo da planta rente ao solo até a curvatura da última folha); b) Comprimento do colmo (medida com auxílio de uma trena do colo da planta até o surgimento da primeira folha); c) Diâmetro do colmo (medido com o uso de um paquímetro na região situada a 2,0 cm da superfície do solo); d) Número de folhas vivas (contabilizando todas as folhas expandidas, e que apresentasse mais 50% da área foliar sem comprometimento da senescência); e) Número de folhas mortas (contabilizando todas as folhas que apresentasse mais de 50% da área foliar comprometida pela senescência); e f) Número de perfilhos.

Ao completar os 54 dias após a semeadura, as plantas de cada parcela foram coletadas, sendo cortadas rente ao solo para coleta da parte aérea, retirando-se em seguida o solo de cada parcela, o qual foi destorroado e passado em peneira de 4 mm para separação e mensuração das raízes, que foram lavadas e seca ao ar. Após a coleta da parte aérea da planta e das raízes, o material foi acondicionado em sacos de papel e colocados em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C até atingirem peso constante, o que permitiu determinar a fitomassa da parte aérea e subterrânea.

A partir da obtenção do peso seco de cada tratamento, foi possível determinar a Fitomassa da Parte Aérea (FPA), Fitomassa das Raízes (FR) e Fitomassa Total (FPA+FR). Além disso, levando em consideração a massa seca produzida e o volume de água aplicado, foi possível determinar ainda a eficiência do uso da água pela cultivar.

## 2.7 MONITORAMENTO DO APORTE DE SAIS NO SOLO

Uma amostra de solo de cada parcela também foi coletada ao final do ensaio para determinação da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes), de acordo com a metodologia indicada por Freire *et al.* (2016), de forma a permitir o monitoramento do aporte salino advindo das irrigações com a água de abastecimento e a água cinza filtrada.

## 2.8 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados coletados foram submetidos a análise de variância (teste F a 5%) e ao teste Tukey (5%) para comparação das médias obtidas entre os turnos de rega aplicados; no que se refere a análise dos efeitos advindos dos diferentes níveis de água disponível no solo, os dados foram avaliados a partir de modelos de regressão polinomial linear, quadrática e cúbica quando significativos ao nível de 1 ou 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico Sisvar 5.6, com os gráficos sendo confeccionados através do programa SigmaPlot 11.0.

# 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 3.1 DESEMPENHO DO SORGO FORRAGEIRO IRRIGADO COM ÁGUA CINZA FILTRADA

### 3.1.1 Diâmetro do colmo (DC – cm)

O diâmetro do colmo estabilizou a partir dos 40 DAS (Tabela 3), atingindo os maiores valores para o tratamento conduzido com água cinza filtrada a 100 % de água disponível (AD), inclusive superando as plantas conduzidas neste mesmo patamar de umidade no solo e irrigadas com água de abastecimento. Este é um fator importante que pode indicar que os nutrientes presentes na água cinza favoreceram as plantas irrigadas por este efluente (EREL *et al.*, 2019). Este aspecto ganha ainda mais importância quando se constata resultados semelhantes entre os valores obtidos para as plantas conduzidas a 60% de AD com água cinza e aquelas conduzidas a 100% de AD com água de abastecimento.

O sorgo é uma cultura que apresenta adaptabilidade às condições de estresses hídrico, logo, consegue se desenvolver sem perdas significativas quando irrigadas com lâminas

inferiores àquela necessária para atender as demandas hídricas da cultura (COSTA; MEDEIROS, 2017), fato que ficou evidenciado a partir do desempenho das plantas irrigadas com água cinza e conduzidas com 60 % de AD no solo e pela sobrevivência das plantas conduzidas com 20% de AD, quando comparadas com o tratamento em sequeiro.

Os turnos de rega adotados não influenciaram no desempenho desta variável ao longo do período em que durou o experimento, comprovando que o alargamento do tempo para reposição da água no solo não afeta a capacidade de resiliência e produtiva do sorgo sob condições de baixa umidade no solo. Resultados contrários foram encontrados por Zooleh *et al.* (2011) na cultura do milho, que, ao conduzirem experimento em vasos com diferentes turnos de rega, verificaram uma redução significativa da biomassa com o aumento do turno de rega, bem como com o aumento do estresse hídrico a partir da redução do nível de água no solo.

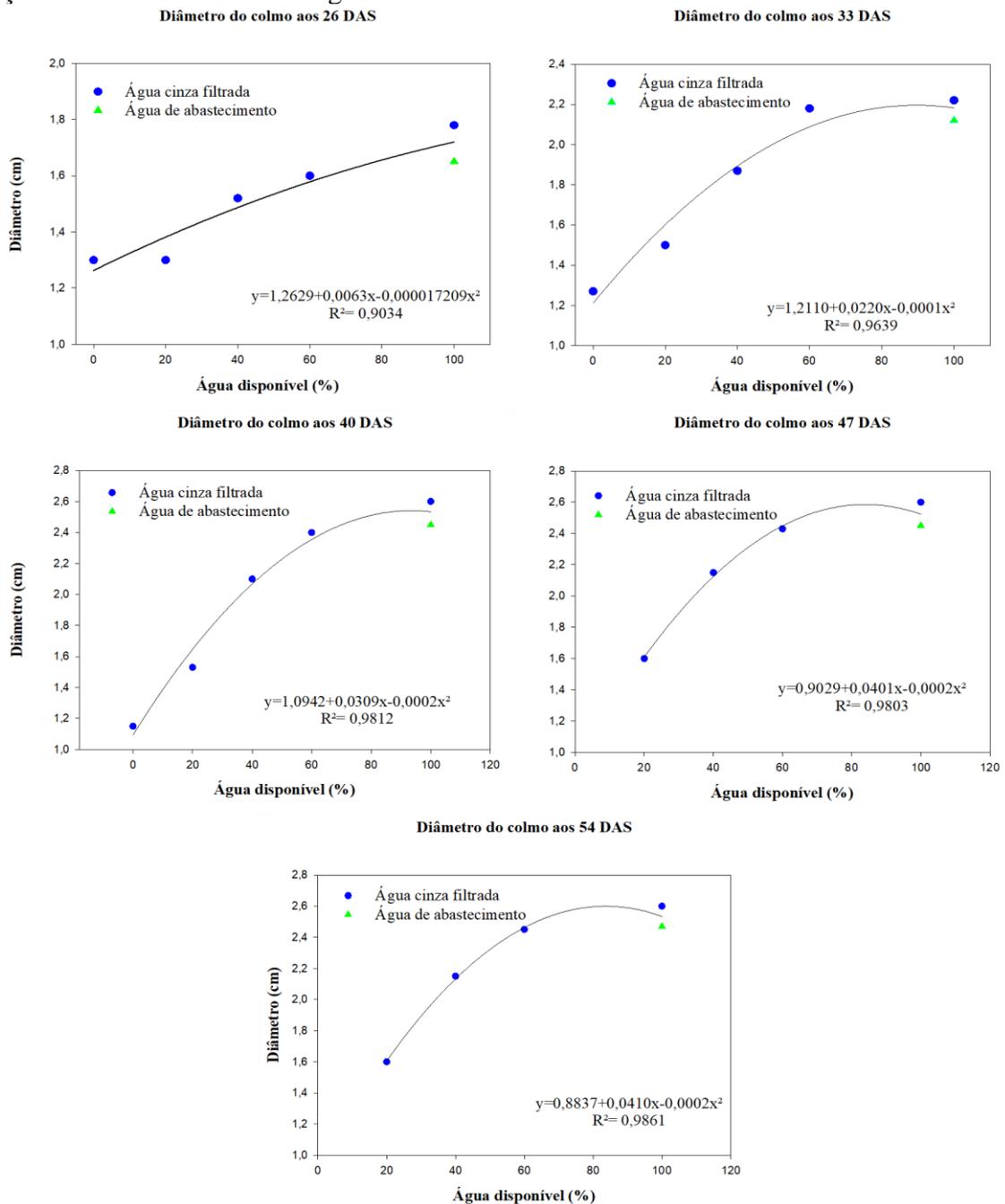
**Tabela 3** - Resumo da análise de variância referente à variável diâmetro do colmo (DC) nas plantas de sorgo – Serra Talhada – abril de 2021

Fontes de variação	GL	Quadrado médio						
		12 DAS	19 DAS	26 DAS	33 DAS	40 DAS	47 DAS	54 DAS
Água Disponível	5	0,01 ns	0,01 ns	0,23 **	0,93 **	2,00 **	2,39 **	2,42 **
Turno de rega	1	0,00 ns	0,00 ns	0,01 ns	0,00 ns	0,01 ns	0,01 ns	0,00 ns
Regressão Polinomial linear	-	-	-	0,58 **	2,30 **	5,31*	5,86 **	6,01 **
Regressão Polinomial quadrática	-	-	-	0,47**	2,17 **	4,44*	5,66 **	5,65 **
Regressão Polinomial cúbica	-	-	-	0,04 ns	0,06 ns	0,10 ns	0,42 **	0,45 **
Interação	5	0,39 ns	0,00 ns	0,03 ns	0,06 ns	0,04 ns	0,02 ns	0,01 ns
Blocos	2	0,01*	0,02 ns	0,04 ns	0,11 ns	3,32 ns	0,07 ns	0,13 ns
Resíduo	22	0,00	0,01	0,02	0,06	0,04	0,05	1,01
CV%		14,28	10,57	9,80	12,80	10,26	10,96	10,52
Tratamentos		<b>Média do diâmetro do colmo (cm)</b>						
0% AD -AC		0,40	0,90	1,30	1,27	1,15	***	***
20% AD - AC		0,42	0,85	1,30	1,50	1,53	1,60	1,60
40% AD - AC		0,38	0,90	1,52	1,87	2,10	2,15	2,15
60% AD - AC		0,45	0,93	1,60	2,18	2,40	2,43	2,45
100% AD - AC		0,40	0,87	1,78	2,22	2,60	2,60	2,60
100% AD - AA		0,37	0,85	1,65	2,12	2,45	2,45	2,47
3 dias		0,40 a	0,89a	1,50 a	1,87 a	2,05 a	2,05 a	2,05 a
6 dias		0,40 a	0,87a	1,54 a	1,85 a	2,02 a	2,02 a	2,02 a

Medias seguidas por mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de tukey a 5%. AD - água disponível no solo; GL - grau de liberdade; Significativo a 5% (\*) e a 1% (\*\*) de probabilidade; (ns) não significativo; CV - coeficiente de variação; AC - água cinza filtrada; AA - água de abastecimento. (\*\*\*) parcelas mortas.

A partir da análise das regressões apresentadas na Tabela 4 constata-se que, ao longo do estudo da variável DC, o modelo quadrático apresentou-se como o mais ajustado entre os tratamentos, conforme apresentado na Figura 3. Vale ressaltar, com base na análise de variância, que não houve diferença significativa para a interação Água disponível x Turno de rega, o que permitir constatar que estes dois fatores influenciaram de forma independente no desenvolvimento do diâmetro do colmo.

**Figura 3** - Diâmetro do colmo (DC) do sorgo dos 26 aos 54 dias após a semeadura (DAS) em função de diferentes níveis de água no solo.



Sousa *et al.* (2017) observaram, aos 102 dias após o plantio, diâmetro de colmo de 1,85 cm em plantas de sorgo irrigadas com lâminas de 100 % da evapotranspiração da cultura, valor este alcançado na presente pesquisa a partir dos 33 DAS para plantas conduzidas entre 40 e 100% de água cinza filtrada, comprovando a boa adaptabilidade e rendimento do sorgo ao ambiente irrigado com água cinza.

O aumento do diâmetro do colmo é um parâmetro desejado para esta espécie agrícola, uma vez que proporciona as plantas uma maior resistência mecânica, conseqüentemente, ficam

menos susceptíveis ao acamamento e quebra do colmo, além de serem propensas a maiores produtividades, uma vez que colmos bem desenvolvidos são capazes de armazenar maiores quantidades de nutrientes e água, elementos responsáveis por proporcionar uma maior produção de biomassa (NAKAO *et al.*, 2014).

### 3.1.2 Comprimento do colmo (CC - cm)

Observou-se efeito significativo ( $p \leq 0,01$ ) para o comprimento do colmo (CC) a partir dos 26 DAS (Tabela 04), em relação as diferentes lâminas aplicadas, com as médias do tratamento a 100% de AD para a água cinza, assim como ocorreu para o diâmetro do colmo, superando as médias das plantas conduzidas com 100 % de AD com água de abastecimento.

**Tabela 4** - Resumo da análise de variância (ANAVA) referente ao comprimento do colmo (CC) nas plantas de sorgo – Serra Talhada – abril de 2021

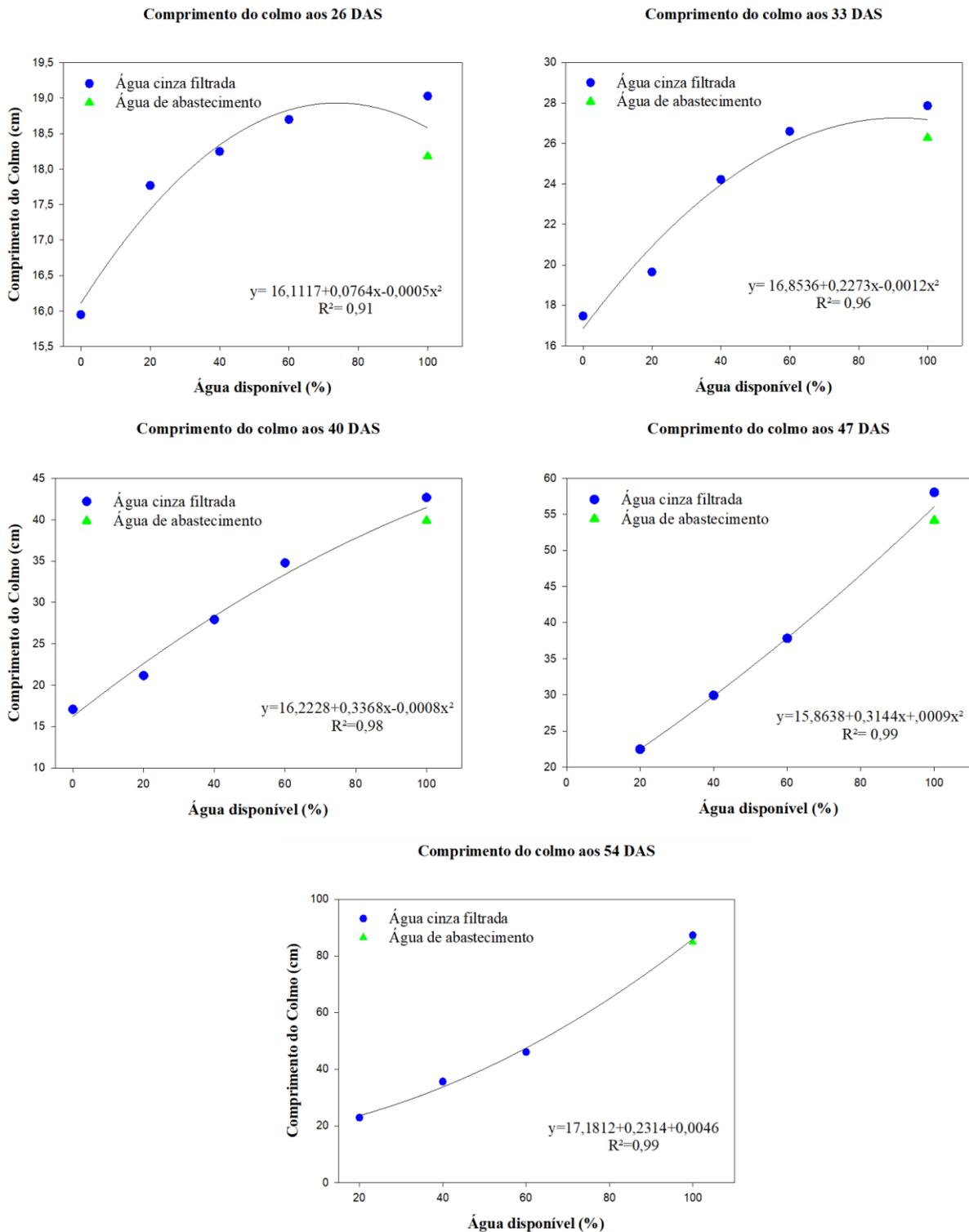
Fontes de variação	GL	Quadrado médio						
		12 DAS	19 DAS	26 DAS	33 DAS	40 DAS	47 DAS	54 DAS
Água Disponível	5	0,74ns	0,50 ns	7,09 **	105,56**	634,55 **	1677,52 **	0,50**
Turno de rega	1	3,24*	0,17 ns	0,34 ns	1,82 ns	27,21 ns	254,40 **	0,02 ns
Regressão linear	Polinomial	-	-	8,75 *	254,97 **	2099,03 **	6171,34 **	1,91 **
Regressão quadrática	Polinomial	-	-	23,51**	255,36 **	1021,98 **	1790,84 **	0,57 **
Regressão cúbica	Polinomial	-	-	2,30 ns	3,33 ns	35,17 *	416,45 **	0,03 ns
Interação	5	0,33ns	0,26 ns	1,16 ns	4,56 ns	15,65 ns	45,63 ns	0,00 ns
Blocos	2	0,03ns	0,02 ns	2,77 ns	20,72**	33,64 *	33,60 ns	0,02 ns
Resíduo	22	0,61	1,04	1,25	2,59	7,86	23,48	0,01
CV%		10,66	9,03	6,22	6,79	9,17	13,25	6,34
Tratamentos		Média do comprimento do colmo (cm)						
0% AD - AC		7,73	10,82	15,95	17,47	17,08	***	***
20% AD - AC		7,28	11,22	17,77	19,65	21,17	22,47	22,92
40% AD - AC		7,46	11,52	18,25	24,22	27,93	29,93	35,65
60% AD - AC		7,53	11,50	18,70	26,60	34,78	37,82	46,07
100% AD - AC		7,20	11,60	19,03	27,87	42,68	58,03	87,32
100% AD - AA		6,71	11,27	18,18	26,28	39,90	54,13	84,87
3 dias		7,62a	11,39a	18,08 a	23,90 a	31,46 a	39,21 a	52,32 a
6 dias		7,02b	11,25a	17,88 a	23,45 a	29,72 a	33,90 b	45,60 a

<sup>1</sup> Dados transformados em  $\log(x)$ . Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste tukey a 5%. AD - água disponível no solo; GL - grau de liberdade; Significativo a 5% (\*) e a 1% (\*\*) de probabilidade; (ns) não significativo; CV - coeficiente de variação; AC - água cinza filtrada; AA - água de abastecimento. (\*\*\*) parcelas mortas.

A partir dos resultados da análise de variância (Tabela 5), observa-se que não houve interação entre água disponível x turno de rega, nem tampouco efeito significativo em relação aos turnos de rega, com exceção aos 12 DAS ( $p \leq 0,05$ ) e aos 47 DAS ( $p \leq 0,01$ ), tendência que não se manteve para a última leitura aos 54 DAS, indicando o mesmo comportamento para o que se constatou no diâmetro do colmo, com os turnos de regas aplicados não influenciando no rendimento final da cultura.

O CC foi melhor representado pelo modelo do tipo regressão polinomial quadrática, conforme apresentado na Figura 4, com tendência crescente à medida que foram sendo elevadas as lâminas de água disponível no solo.

**Figura 4** - Comprimento do colmo (CC) do sorgo dos 26 aos 54 dias após a semeadura (DAS) em função de diferentes níveis de água no solo.



É possível constatar, a partir da análise da Figura 2, que o crescimento inicial do colmo ocorreu de forma lenta em todos os tratamentos aplicados até 33 DAS; após este período as

diferenças foram se acentuando, de forma que as plantas conduzidas com 60% ou mais de AD no solo, apresentaram um melhor desempenho.

Valores superiores encontrados para a altura do colmo em plantas irrigadas com água cinza à 100% da água disponível no solo, quando comparadas com as plantas irrigadas com água de abastecimento também mantidas sem estresse hídrico, traz um bom indicativo de que os nutrientes presentes na água cinza melhoraram o desempenho das plantas. De acordo com Santiago e Jalfim (2017), a reutilização da água cinza na agricultura ganha relevância diante dos nutrientes presentes em sua composição e que são capazes de influenciar no crescimento e desenvolvimentos das culturas irrigadas com este tipo de efluente doméstico.

Dentre os turnos de rega adotados, nota-se uma redução no volume de água aplicado para os tratamentos irrigados a cada 6 dias, ou seja, ao final do período de monitoramento dos ensaios, foi possível observar que as plantas irrigadas a cada 3 dias receberam um volume de água superior àquelas mantidas em turnos de 6 dias, sem acarretar perda significativa para o comprimento do colmo nas plantas de sorgo (Tabela 5).

**Tabela 5** - Volume das lâminas de irrigação acumuladas em litros no período de 54 dias após o semeio

Água disponível	Volumen acumulado de acordo com os turnos de rega (l)	
	3 dias	6 dias
100%	44,54	37,70
60%	28,80	24,70
40%	20,93	18,20
20%	13,07	11,70
Θ residual	5,2	5,2

Este desempenho não foi o mesmo encontrado por Silva *et al.* (2021), ao estudarem o desenvolvimento do milho sob diferentes regimes de irrigação e adubação orgânica, constatando os autores que uma redução nas lâminas de irrigação acarretou no decaimento do comprimento do colmo, principalmente no tratamentos que não receberam adubação.

### 3.1.3 Altura da planta (AP - cm)

A altura das plantas de sorgo foi influenciada significativamente pelas lâminas aplicadas a partir dos 33 DAS, como pode ser observado na Tabela 6. O incremento observado até o final das leituras (57 DAS), aponta para um aumento gradativo neste parâmetro, proporcionalmente ao aumento da água disponível no solo, com as plantas conduzidas sem estresse hídrico e irrigadas com a água cinza apresentando uma altura 2,23 vezes acima daquelas plantas que foram mantidas a 20% AD. Este comportamento pode ser melhor observado na análise da Figura 5.

No tocante aos tratamentos conduzidos à 100 % de água disponível, observa-se uma aproximação maior entre as alturas das plantas irrigadas com água cinza e com água de abastecimento, porém com as plantas irrigadas com água cinza mantendo a tendência já observada nos parâmetros anteriores de DC e CC, apresentando valores mais elevados. Situação semelhante foi encontrada por Sotero (2019), aos 30 dias após a semeadura da gramínea milheto, com as plantas irrigadas com água cinza e água de abastecimento desta espécie apresentando alturas próximas, com ganho diferenciado a partir deste período para as plantas irrigadas com água cinza.

A partir dos 47 DAS, tem-se uma diferença significativa entre os turnos de rega aplicados, com o sorgo apresentando altura maior quando irrigado em turnos de 3 dias, com diferença de até 18,02% na altura das plantas em relação as parcelas irrigadas em turnos de 6 dias, o que pode indicar, diferentemente do que ocorreu no desenvolvimento do caule, que um tempo maior de exposição das plantas desta cultivar ao estresse hídrico, promove um retardo significativo no seu crescimento vertical.

Os resultados deste crescimento vertical no sorgo, denota uma considerável discrepância entre as plantas desenvolvidas no solo mantido na capacidade de campo em comparação aos tratamentos conduzidos com frações menores de água no perfil, mostrando ser essa variável muito sensível e altamente influenciada pelo estresse hídrico. Souza *et al.* (2019) indicam que, ao serem submetidos por tempo prolongados ao estresse hídrico, as plantas desta espécie apresentam uma redução na turgescência das células, antes mesmo do fechamento dos estômatos, capaz de causar danos ao metabolismo e limitar o crescimento e desenvolvimento das mesmas.

De acordo com Ferrari, Paz e Silva (2015), quanto maior tempo de exposição das plantas de sorgo ao estresse hídrico, maiores serão os prejuízos causados na cultura, com redução do crescimento, diminuição das taxas fotossintéticas, desprendimento das folhas,

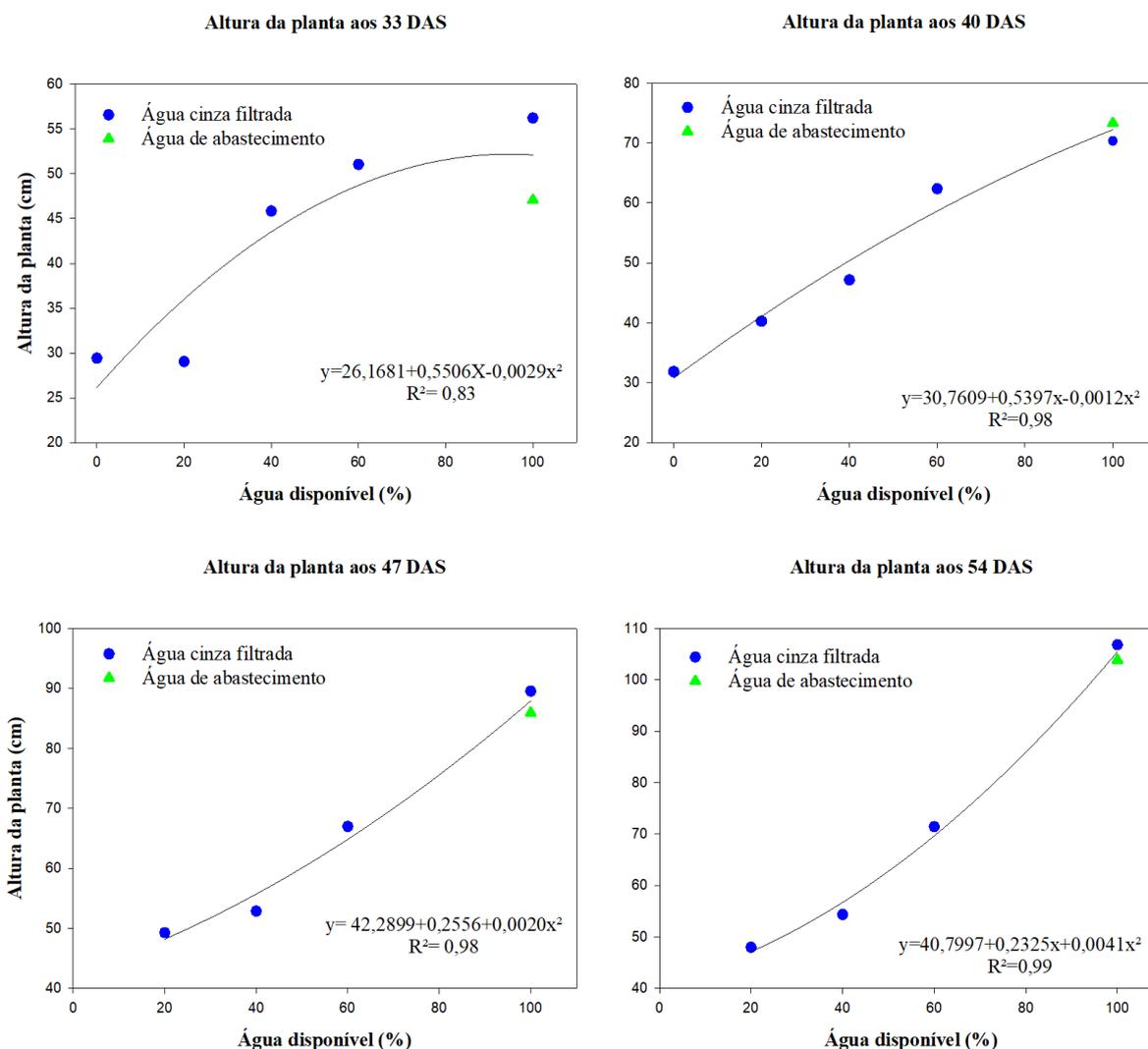
fechamento estomático, entre outros.

**Tabela 6** - Resumo da análise de variância referente à variável altura da planta (AP) avaliada até os 54 dias após a semeadura (DAS) – Serra Talhada – abril de 2021.

Fontes de variação	GL	Quadrado médio						
		12 DAS	19 DAS	26 DAS	33 DAS	40 DAS	47 DAS	54 DAS
Água Disponível	5	4,47 ns	16,88ns	29,91 ns	771,82**	1725,37**	3728,89 **	0,37 **
Turno de rega	1	0,56 ns	4,27 ns	26,52 ns	116,28 ns	42,03 ns	384,81 *	0,07 **
Regressão Polinomial linear		-	-	-	1327,34**	6585,44 **	12934,98 **	1,27 **
Regressão Polinomial quadrática		-	-	-	2158,61**	1864,85 **	5204,33 **	0,53 **
Regressão Polinomial cúbica		-	-	-	7,68 ns	15,50 ns	21,66 ns	0,01 ns
Interação	5	3,84 ns	16,92ns	9,76 ns	14,43 ns	33,23 ns	23,49 ns	0,01 ns
Blocos	2	1,11 ns	9,54 ns	6,27 ns	228,49*	312,01 **	359,46 **	0,02 ns
Resíduo	22	3,85	10,73	12,32	64,53	33,18	52,92	0,01
CV%		10,92	12,28	9,86	18,63	10,63	11,87	5,13
Tratamentos		<b>Média da altura da planta (cm)</b>						
0% AD -AC		18,98	24,18	34,50	29,42	31,83	***	***
20% AD - AC		17,28	25,63	32,45	29,05	40,25	49,27	48,00
40% AD - AC		18,60	28,15	34,72	45,85	47,15	52,88	54,35
60% AD - AC		16,78	26,37	35,65	51,05	62,38	66,98	71,45
100% AD - AC		18,55	26,92	38,67	56,22	70,35	89,55	106,83
100% AD - AA		17,68	28,78	37,50	47,07	73,32	85,92	103,83
3 dias		18,10 a	27,02 a	36,44 a	44,90 a	55,29 a	64,56 a	73,55 a
6 dias		17,86 a	26,33 a	34,72 a	41,31 a	53,13 a	58,02 b	62,32 b

<sup>1</sup>- Dados transformados em log(x). Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de tukey a 5%. AD - água disponível do solo; GL - grau de liberdade; Significativo a 5% (\*) e a 1% (\*\*) de probabilidade; (ns) não significativo; CV - coeficiente de variação; AC - água cinza filtrada; AA - água de abastecimento; (\*\*\*) parcelas mortas.

**Figura 5** - Altura da planta (AP) do sorgo dos 33 aos 54 dias após a semeadura (DAS) em função de diferentes níveis de água no solo.



### 3.1.4 Número de perfilhos (NP)

Os primeiros perfilhos surgiram em torno de 19 DAS, apresentando crescimento no número de emissões até estabilizar em termos quantitativos a partir de 26 DAS. Essa variável, foi influenciada apenas pelas lâminas de irrigação, apresentando diferença significativa ( $p \leq 0,01$ ), não sendo afetado pelo turno de rega. Dentre todos os parâmetros agrônomicos investigados na biometria, o perfilhameto apresentou-se como o de menor influência das lâminas de irrigação, com variações que foram de 1 a 4 perfilhos.

Entretanto, ao observarmos as médias apresentadas na Tabela 7, nota-se que as plantas conduzidas nos solos com as maiores frações de água disponível, apresentaram um maior número de perfilhamento quando comparados às frações inferiores, com exceção daquelas

coduzidas com 60% AD, que se sobressaem em relação aquelas mantidas com 100% AD, quando utiliza-se a água cinza filtrada. Para se adaptar às condições de estresse hídrico, o sorgo aciona características fisiológicas para limitar certos processos metabólicos, contudo, a resposta ao estresse vai depender do período de ocorrência e da frequência dos eventos estressantes (GUIMARÃES *et al.*, 2019).

**Tabela 7** - Resumo da análise de variância referente à variável número de perfilhos (NP) avaliada até os 54 dias após a semeadura (DAS) – Serra Talhada – abril de 2021

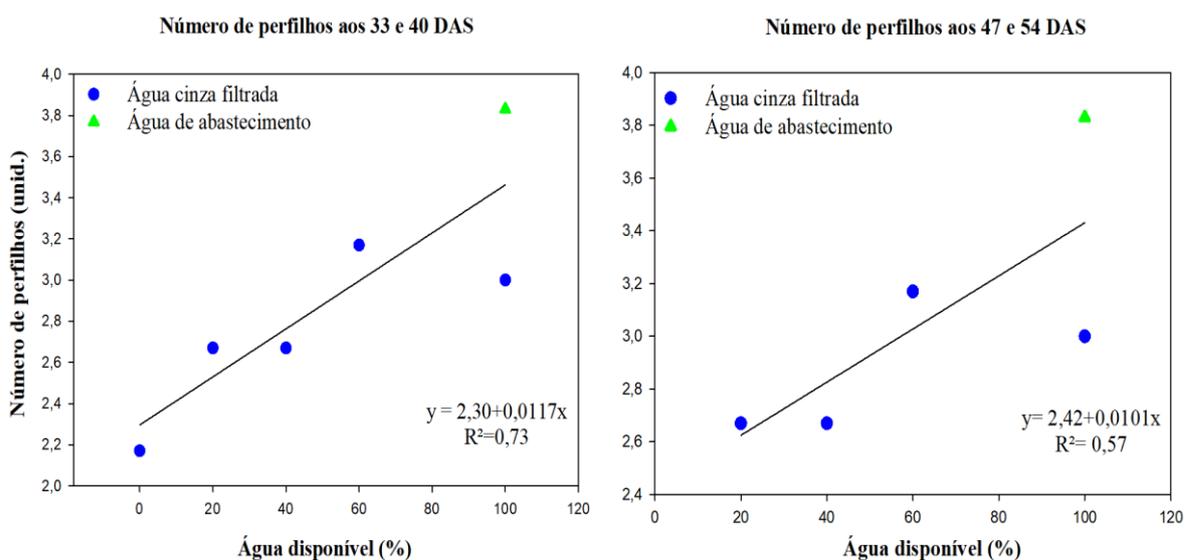
Fontes de variação	GL	Quadrado médio					
		19 DAS <sup>1</sup>	26 DAS <sup>1</sup>	33 DAS	40 DAS	47 DAS	54 DAS
Água disponível	5	0,07 ns	0,02 ns	1,92**	1,92 **	1,92 **	1,92 **
Turno de rega	1	0,04 ns	0,00 ns	0,03 ns	0,03 ns	0,03 ns	0,03 ns
Regressão Polinomial linear		-	-	8,41**	8,41 **	8,41 **	8,41 **
Regressão Polinomial quadrática		-	-	0,17 ns	0,17 ns	0,17 ns	0,17 ns
Regressão Polinomial cúbica		-	-	0,56 ns	0,56 ns	0,56 ns	0,56 ns
Interação	5	0,07 ns	0,05 ns	0,36 ns	0,36 ns	0,36 ns	0,36 ns
Blocos	2	0,01 ns	0,00 ns	0,08 ns	0,08 ns	0,08 ns	0,08 ns
Resíduo	22	0,03	0,05	0,35	0,33	0,33	0,33
CV%		15,09	14,71	19,57	19,57	19,57	19,57
Tratamentos		<b>Média do número de perfilhos</b>					
0% AD - AC		1,67	2,17	2,17	2,17	***	***
20% AD - AC		1,50	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67
40% AD - AC		1,17	2,17	2,67	2,67	2,67	2,67
60% AD - AC		1,83	2,50	3,17	3,17	3,17	3,17
100% AD - AC		1,50	2,50	3,00	3,00	3,00	3,00
100% AD - AA		1,67	2,83	3,83	3,83	3,83	3,83
3 dias		1,39a	2,50 a	2,89 a	2,89 a	2,89 a	2,89 a
6 dias		1,72a	2,44a	2,94 a	2,94 a	2,94 a	2,94 a

<sup>1</sup>- Dados transformados em  $\sqrt{x}$ . Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de tukey a 5%. AD - água disponível do solo; GL - grau de liberdade; Significativo a 5% (\*) e a 1% (\*\*) de probabilidade; (ns) não significativo; CV - coeficiente de variação; AC - água cinza filtrada; AA - água de abastecimento; (\*\*\*) parcelas mortas.

A partir dos 33 DAS, as plantas começaram a apresentar diferença significativa ( $p \leq 0,01$ ) quanto as lâminas de água aplicada, porém não sofreram efeito quanto aos turnos de rega ou à interação entre os fatores. Além disso, ao apresentar diferenças estatísticas, ocorreu a estabilização no número de perfilhos (Figura 6), sem surgimento de novos perfilhos mesmo após a adubação nitrogenada realizada entre 40 e 47 DAS. Em estudos realizados por

Nascimento *et al.* (2020), com sorgo sudão, a adubação nitrogenada não influenciou na altura e no perfilhamento, porém foi responsável por deixar as plantas com maior número de folhas, representando um incremento na massa seca das folhas.

**Figura 6** - Número de perfilhos (NP) do sorgo dos 33 aos 54 dias após a semeadura (DAS) em função de diferentes níveis de água no solo – Serra Talhada – PE. Abril de 2021



### 3.1.5 Número de Folhas Vivas (NFV)

O número de folhas vivas é uma característica importante no desenvolvimento de uma planta, por estar atrelado a realização da fotossíntese, fator preponderante visto que a produtividade da planta tem ligação direta com a recepção da luz realizada, principalmente, através da área foliar. Esta característica também sofre influência da taxa de alongação do colmo, ou seja, quanto maior o comprimento do colmo, maior será o surgimento de folhas (BANDEIRA *et al.*, 2018). Outrossim, o número de folhas influencia sobremaneira a massa seca da planta, pois quanto maior for esse quantitativo, maior será a massa seca acumulada na planta (TRINDADE *et al.*, 2020).

Na avaliação do número de folhas vivas, o turno de rega não influenciou em seu desenvolvimento, contudo, o número de folhas vivas apresentou diferença estática ( $p \leq 0,05$ ) quando as plantas foram submetidas a diferentes conteúdos de água disponível no solo a partir dos 33 DAS (Tabela 8), fase do ensaio onde registrou-se a maior concentração de folhas vivas para as plantas conduzidas com teores de umidade do solo a partir de 40% de água disponível.

Plantas conduzidas em sequeiro e com apenas 20 % de AD no solo, apresentaram ápice de folhas vivas mais precocemente aos 26 DAS, declinando após este período. Plantas sob estresse hídrico tendem a apresentar menor número de folhas vivas de forma mais rápida ao longo do ciclo, fator de grande relevância e que deve ser considerado na produção de biomassa, sendo necessário repor os níveis de água no solo em tempo oportuno para que a colheita, ao ser realizada de forma tardia, não seja prejudicada por uma preponderância de folhas mortas (SILVA, 2019).

**Tabela 8** - Resumo da análise de variância (ANAVA) referente ao número de folhas vivas (NFV) – Serra Talhada – abril de 2021

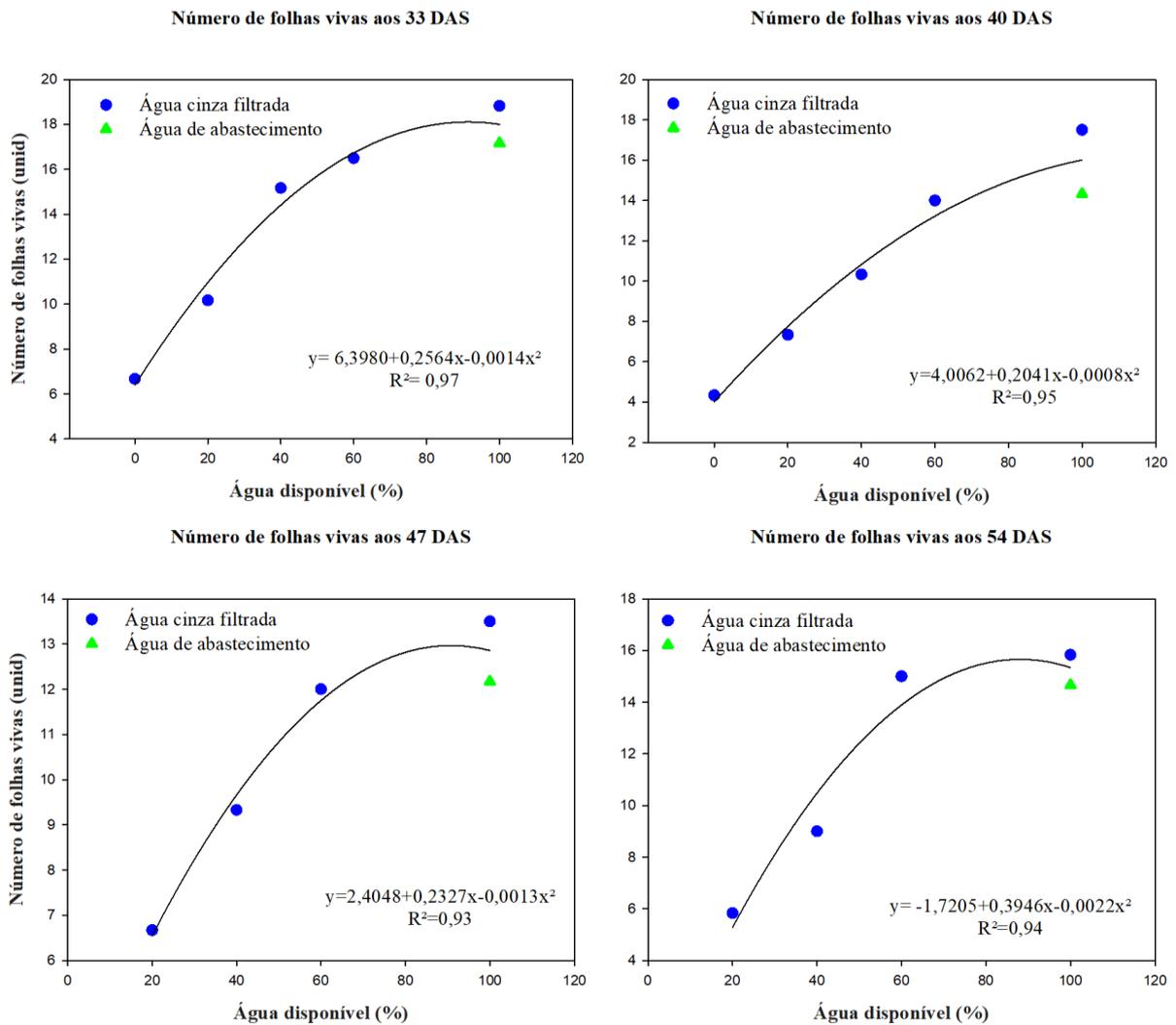
Fontes de variação	GL	Quadrado médio						
		12 DAS	19 DAS <sup>1</sup>	26 DAS <sup>1</sup>	33 DAS <sup>1</sup>	40 DAS	47 DAS <sup>1</sup>	54 DAS <sup>1</sup>
Água Disponível	5	0,04ns	0,18 ns	0,93 ns	2,84 **	3,68**	11,29 **	13,62 **
Turno de rega	1	0	0,44 ns	0,44 ns	0,01ns	0,79ns	0,36 ns	0,39 ns
Regressão Polinomial linear	-	-	-	-	8,55**	13,34 **	21,56 **	31,81 **
Regressão Polinomial quadrática	-	-	-	-	4,49**	4,19 **	25,13 **	29,77 **
Regressão Polinomial cúbica	-	-	-	-	0,97 *	0,62 ns	7,42 **	4,61 *
Interação	5	0,07ns	0,38 ns	3,91 *	0,08 ns	0,25 ns	0,06 ns	0,10 ns
Blocos	2	0,11ns	0,11 ns	2,58 ns	0,18 ns	0,18 ns	0,01 ns	0,33 ns
Resíduo	22	0,05	0,29	1,37	0,17	0,20	0,25	0,72
CV%		5,70	10,95	10,65	11,25	13,75	18,49	30,62
Tratamentos		Média do número de folhas vivas						
0% AD -AC		4,00	4,83	10,67	6,67	4,33	***	***
20% AD - AC		3,83	5,17	11,50	10,17	7,33	6,67	5,83
40% AD - AC		4,00	4,67	10,67	15,17	10,33	9,33	9,00
60% AD - AC		4,00	5,00	10,83	16,50	14,00	12,00	15,00
100% AD - AC		4,00	5,00	10,83	17,17	14,33	13,50	15,83
100% AD - AA		3,83	5,00	11,50	18,83	17,50	12,17	14,66
3 dias		3,94a	5,06a	10,89 a	14,06 a	12,50 a	11,53a	9,39 a
6 dias		3,94a	4,83a	11,11a	14,11 a	10,11 a	9,93a	10,72 a

<sup>1</sup> Dados transformados em  $\sqrt{x}$ . Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste tukey a 5%. AD - água disponível do solo; GL - grau de liberdade; Significativo a 5% (\*) e a 1% (\*\*) de probabilidade; (ns) não significativo; CV - coeficiente de variação; AC - água cinza filtrada; AA - água de abastecimento; (\*\*\*) parcelas mortas.

Esta variável, se ajustou melhor a regressão quadrática. Na análise da Figura 7 evidencia-se que o número de folhas vivas foi alterado de acordo com as variações no

suprimento da lâmina de água. Ou seja, como já era de se esperar, as plantas irrigadas com água cinza e que estiveram sob maior déficit hídrico, apresentaram menores proporções de folhas vivas.

**Figura 7** - Número de folhas vivas do sorgo dos 33 aos 54 dias após a semeadura (DAS) em função de diferentes níveis de água no solo.



### 3.1.6 Número de Folhas Mortas (NFM)

O aumento do número de folhas mortas, bem como seu desprendimento da planta, ocorre como um mecanismo de defesa que as plantas desenvolvem para sobreviverem a longos períodos de estresse hídrico, reduzindo a perda de água através da transpiração e, por conseguinte, reduzindo a massa seca das folhas (SOUZA *et al.*, 2019).

De forma análoga as folhas vivas, como observado na Tabela 9, o número de folhas

mortas também foi influenciado pelo fator água disponível no solo, apresentando diferença estatística ( $p \leq 0,05$ ) a partir dos 33 DAS, com interferência significativa do turno de rega aos 47 DAS, onde as plantas irrigadas em intervalo de 6 dias, apresentaram maior concentração de folhas mortas.

**Tabela 9** - Resumo da análise de variância (ANAVA) referente ao número de folhas mortas (NFM) - Serra Talhada – abril de 2021

Fontes de variação	GL	Quadrado médio					
		19 DAS	26 DAS	33 DAS	40 DAS	47 DAS	54 DAS <sup>1</sup>
Água Disponível	5	0,18 ns	0,38 ns	11,32**	2,58 ns	27,51 *	0,05 **
Turno de rega	1	0,25 ns	1,00 ns	2,25 ns	13,44 ns	32,11 *	0,01 ns
Regressão Polinomial linear		-	-	31,07 **	-	107,99 **	0,19 **
Regressão Polinomial quadrática		-	-	22,53 **	-	0,85 ns	0,01 ns
Regressão Polinomial cúbica		-	-	1,96 ns	-	7,75 ns	0,01 ns
Interação	5	0,32 ns	1,07 ns	1,32 ns	8,39 ns	8,24 ns	0,01 ns
Blocos	2	0,58 ns	2,03 ns	0,25 ns	15,19 ns	11,19 ns	0,00 ns
Resíduo	22	0,31	0,60	1,95	5,29	7,04	0,01
CV%		74,31	87,40	40,84	30,88	21,71	8,94
Tratamentos		<b>Média do número de folhas mortas</b>					
0% AD - AC		0,500	0,50	5,67	8,00	***	***
20% AD - AC		0,67	1,00	4,33	7,33	9,50	13,00
40% AD - AC		1,00	1,00	3,50	8,00	12,17	16,50
60% AD - AC		0,83	0,67	2,33	6,67	11,00	15,00
100% AD - AC		0,83	1,17	2,33	6,67	13,50	16,33
100% AD - AA		0,67	1,00	2,33	8,00	15,67	20,50
3 dias		0,83a	0,72 a	3,17 a	6,83 a	11,27 b	15,83 a
6 dias		0,67a	1,05 a	3,67 a	8,05 a	13,17 a	15,11 a

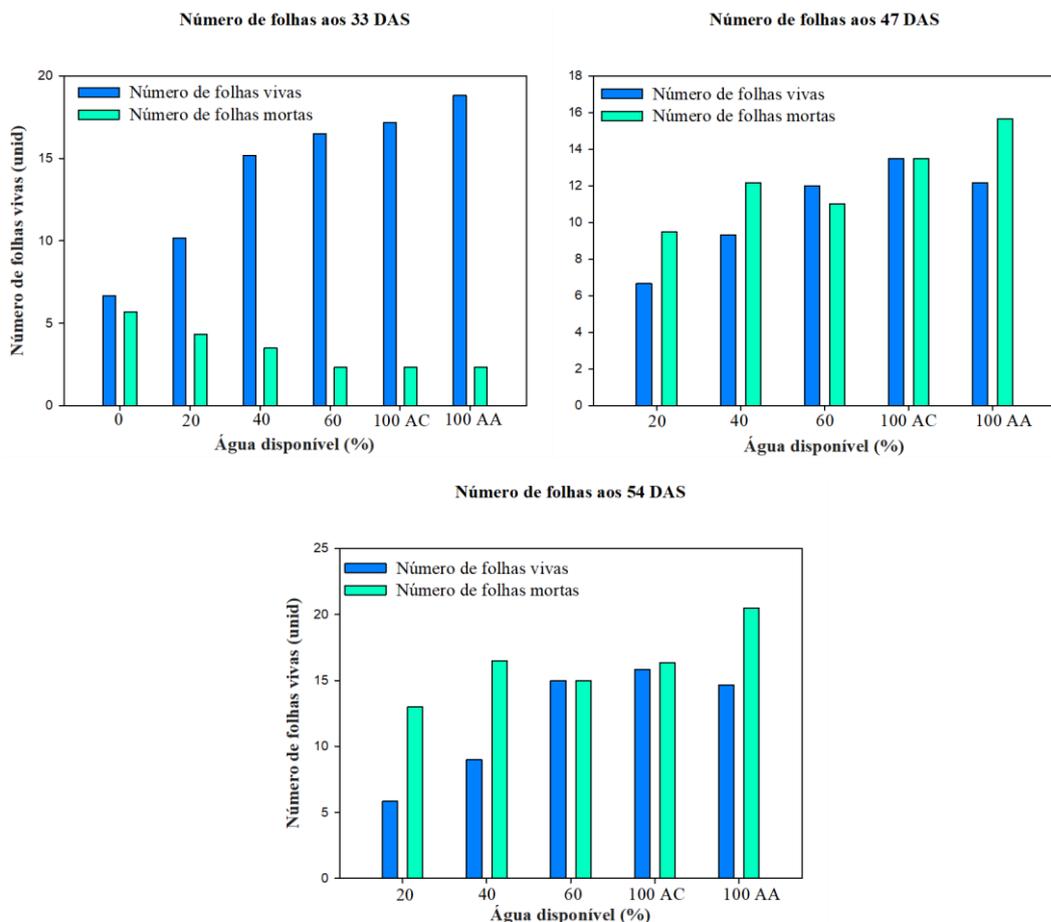
<sup>1</sup>- Dados transformados em  $\log(x)$ . Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste tukey a 5%. AD - água disponível do solo; GL - grau de liberdade; Significativo a 5% (\*) e a 1% (\*\*) de probabilidade; (ns) não significativo; CV - coeficiente de variação; AC - água cinza filtrada; AA - água de abastecimento; (\*\*\*) parcelas mortas.

O surgimento das primeiras folhas mortas ocorreu aos 19 DAS, sem alterações significativas até os 33 DAS, quando ocorre um crescimento acelerado desse parâmetro, chegando ao final das avaliações, com os tratamentos apresentando valores superiores de folhas mortas em relação ao número de folhas vivas, exceto para as plantas mantidas a 60% da água disponível.

O desenvolvimento de plantas mantidas a 60% de água disponível, merece destaque pelo fato de apresentarem um bom desempenho ao serem submetidas a um nível reduzido de água disponível no solo, condição compatível com as questões pluviométricas da região e o baixo volume de água ofertado pela produção de água cinza (SILVA, *et al.*, 2020).

A partir da Figura 8, percebe-se que em alguns pontos o número de folhas mortas foi superior ao número de folhas vivas, e que aos 47 e 54 DAS o número de folhas mortas foi maior para as plantas mantidas a 100% da capacidade de campo, irrigadas com água de abastecimento, o que está relacionado ao maior surgimento de folhas nessas condições, o que por sua vez remete a um maior quantitativos de folhas que podem apresentar a senescência. Já para as plantas mantidas a 100% de água disponível, irrigadas com água cinza, o NFM e NFV, apresentam valores semelhantes. De acordo com Oliveira *et al.*, (2020) as plantas submetidas ao estresse hídrico, apresenta redução na taxa fotossintética, devido ao fechamento estomático, e morte das folhas, sendo esse efeito reduzido quando irrigadas com água residuária.

**Figura 8** - Número de folhas do sorgo dos 33 aos 54 dias após a semeadura (DAS) em função de diferentes níveis de água no solo – Serra Talhada – abril de 2021.



### 3.1.7 Fitomassa total

Não houve diferença significativa na interação entre os níveis de água disponível no solo e o turno de rega, tampouco resposta significativa do turno de rega na produção de fitomassa total do sorgo. Contudo, a partir da análise dos dados médios apresentados na Tabela 10, em relação a água disponível no solo, nota-se que as diferentes lâminas de água aplicada influenciaram de forma significativa ( $p \leq 0,01$ ) neste parâmetro, percebendo-se que a matéria seca foi bastante afetada pelos níveis de água no solo, e que, os tratamentos mantidos a 20% e 40% apresentaram produções muito abaixo, quando comparadas aos tratamentos conduzidos a 100% de água disponível, independentemente do tipo de água utilizado na irrigação.

Entretanto, é importante ressaltar que o quantitativo de massa seca produzido pelas plantas conduzidas a 60% de AD, em comparação com os tratamentos que receberam uma quantidade de água menor, apresenta um ganho considerável, assim como já ocorreu na relação entre a produção de folhas vivas e mortas, denotando ser este um patamar de umidade no solo promissor quando avalia-se o desempenho da cultura sob condições de baixa oferta hídrica, como é o caso do semiárido ou até mesmo da capacidade da fonte produtora da água cinza que é a residência familiar rural (SILVA, *et al.*, 2020).

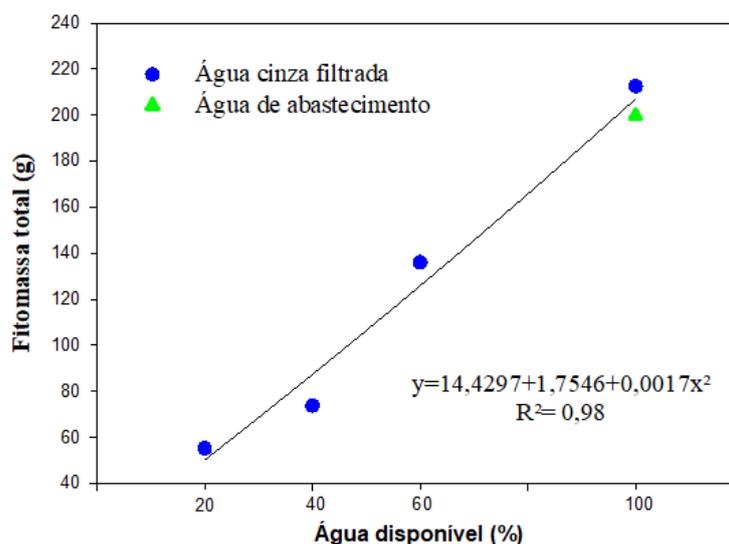
**Tabela 10** - Resumo da análise de variância (ANAVA) referente a fitomassa total

Fontes de Variação	Quadrado Médio	
	Gl	Fitomassa total <sup>1</sup>
Água Disponível	5	0,52 **
Turno de rega	1	0,02 ns
Regressão Polinomial linear		1,82 **
Regressão Polinomial quadrática		0,69 **
Regressão polinomial cúbica		0,05 ns
Interação	5	0,01 ns
Blocos	2	0,01 ns
Resíduo	22	0,01
CV%		6,17
Tratamentos	Média dos pesos (g)	
0% AD -AC		***
20% AD - AC		55,28
40% AD - AC		73,83
60% AD - AC		136,02
100% AD - AC		212,56
100% AD - AA		199,80
3 dias		113,84 a
6 dias		125,76 a

<sup>1</sup> Dados transformados em log(x). Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%. AD - água disponível do solo; GL - grau de liberdade; Significativo a 5% (\*) e a 1% (\*\*) de probabilidade; (ns) não significativo; CV - coeficiente de variação; AC - água cinza filtrada; AA - água de abastecimento; (\*\*\*) parcelas mortas.

Observa-se na Figura 9, um ajuste quadrático para o parâmetro da fitomassa seca total da parte aérea do sorgo, cujo ápice de produção ocorre nas parcelas conduzidas com lâmina de 100% da água disponível e abastecidas com água cinza filtrada.

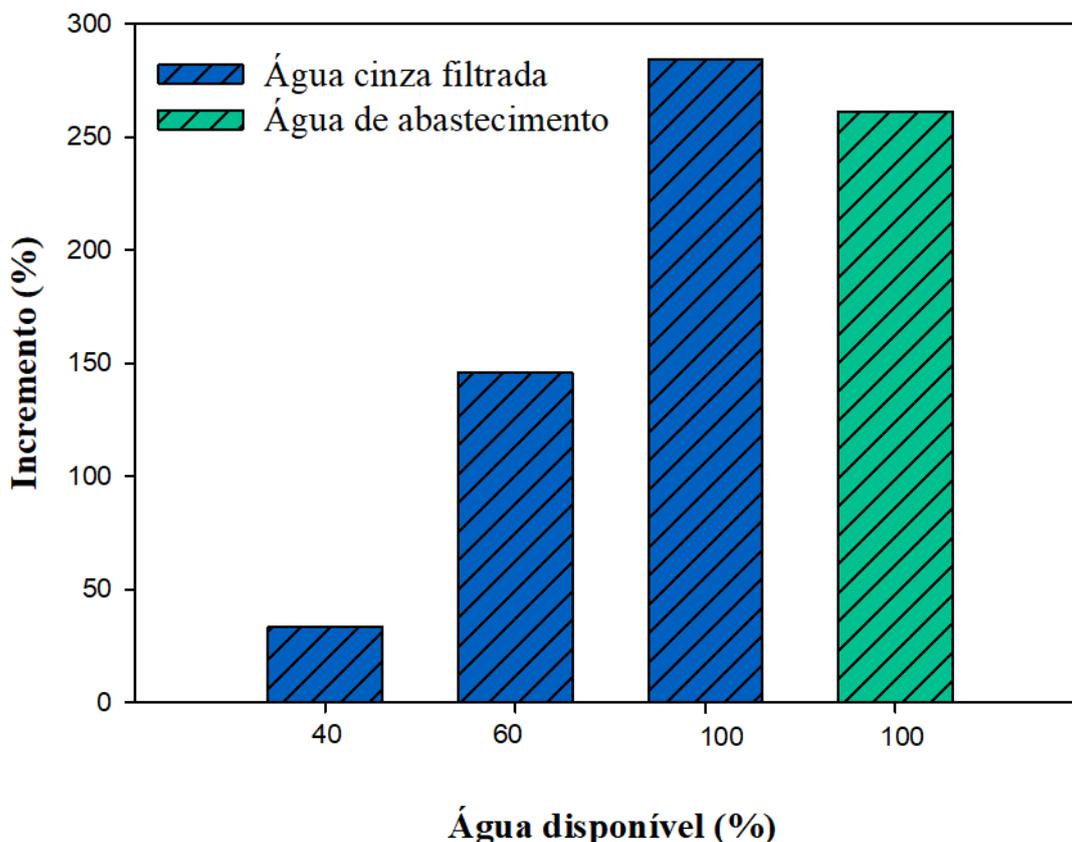
**Figura 9** - Fitomassa da parte aérea do sorgo dos 26 aos 54 dias após a semeadura (DAS) em função de diferentes níveis de água no solo.



Assim como em outros parâmetros da análise, merece atenção os valores de massa seca obtidos nos tratamentos conduzidos à capacidade do campo com água cinza filtrada, que superam os valores médios das plantas conduzidas nesta mesma condição com água de abastecimento. Situação semelhante foi obtida pro Sotero (2019) ao estudar a cultura do milho fertilizado com água cinza, registrado um crescimento acentuado na massa seca ao utilizar este efluente em comparação as plantas irrigadas com água de abastecimento.

Na Figura 10 é possível observar o incremento no peso da fitomassa total dos tratamentos superiores (40, 60 e 100% AD) em relação ao que foi conduzido com o menor conteúdo de água no solo (20% de AD), todos irrigados com água cinza e dos tratamentos conduzidos a capacidade de campo com água cinza e de abastecimento. Os valores cuja amplitude vai de 33,5 a 284% de ganho, reforça a afirmação de que, além de um volume maior de água, a presença de macro e micronutrientes na água cinza filtrada, com concentração superior aos encontrados na água de abastecimento, beneficiam o desenvolvimento das plantas, com conseqüente aumento na produção de biomassa, que por sua vez está atrelado ao desenvolvimento de folhas e perfilhos nas plantas irrigadas (SOTERO, 2019).

**Figura 10** - Incremento no peso da fitomassa total em relação as plantas mantidas a 20% de água disponível no solo e em comparação entre plantas irrigadas com água cinza filtrada e água de abastecimento – Serra Talhada – abril de 2021.



### 3.1.8 Relação raiz/parte aérea

A análise de variância apresentada na Tabela 11 não detectou diferença significativa a 5% na interação entre as frações de água disponível no solo e os turnos de regas estudados, o que indica que os fatores agiram separadamente, porém não foram suficientes para apresentar qualquer significância ( $p \leq 0,05$ ), seja em relação ao conteúdo de água no solo, ou aos turnos de rega. Logo, pode-se ratificar que o estresse hídrico causado pela redução dos níveis de água no solo afetou a parte aérea e raízes de todas as parcelas na mesma proporção.

Os eventos estressantes às plantas, tal qual a redução do aporte de água, causa inúmeros danos morfológicos e fisiológicos, entre eles a limitação do desenvolvimento e da produção de biomassa nas raízes e parte aérea das culturas (DUTRA *et al.*, 2012). Ao estudar a relação entre esses parâmetros, é possível obter informações sobre as contribuições do armazenamento e transporte de reservas nutricionais realizadas pelo sistema radicular que pode favorecer o

desenvolvimento da parte aérea, tornando-se um parâmetro de grande importância para avaliar o comportamento de plantas sob estresse hídrico (BARROS JUNIOR, 2007).

Todas as médias observadas para a relação raiz/parte aérea apresentaram valores inferiores a 1, indicando maior produção de massa seca na parte aérea em comparação a massa seca das raízes. Esta relação, é considerada de grande valia para o estudo do desenvolvimento do sorgo e expressa a influência do desenvolvimento da parte aérea sobre as raízes e vice-versa, no entanto, para o sorgo, o resultado encontrado é desejável, pois é a parte aérea o mais rentável e pretendida para as mais diversas demandas alimentícias (NASCIMENTO *et al.*, 2020).

**Tabela 9** - Resumo da análise de variância (ANAVA) referente à relação raiz/parte aérea do sorgo irrigado com água cinza filtrada e água de abastecimento – Serra Talhada – PE, abril de 2021

Fontes de Variação	Quadrado Médio	
	Gl	Raiz/parte aérea <sup>1</sup>
Água Disponível	5	0,01 ns
Turno de rega	1	0,00 ns
Interação	5	0,00 ns
Blocos	2	0,00 ns
Resíduo		0,00
CV%		11,82
Tratamentos	Média para a relação (g.g <sup>-1</sup> )	
0% AD -AC		-
20% AD - AC		0,26
40% AD - AC		0,25
60% AD - AC		0,25
100% AD - AC		0,36
100% AD - AA		0,30
3 dias		0,29 a
6 dias		0,29 a

<sup>1</sup> Dados transformados em  $\sqrt{x}$ . Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de tukey a 5%. AD - água disponível do solo; GL - grau de liberdade; Significativo a 5% (\*) e a 1% (\*\*) de probabilidade; (ns) não significativo; CV - coeficiente de variação; AC - água cinza filtrada; AA – água de abastecimento.

### 3.1.9 Eficiência do uso da água

Na tabela 12 encontram-se dispostos os resultados da análise de variância para o consumo e eficiência do uso da água pela cultura do sorgo, sendo este último obtido a partir da relação entre o peso da fitomassa total e o volume de água aplicado em cada tratamento ao longo do tempo. Verifica-se que para o consumo total de água, houve diferença significativa ( $p < 0,01$ ), tanto para as frações de água disponível, quanto para os turnos de rega adotados, bem como para a interação entre estes dois fatores. Por outro lado, ao observarmos os resultados encontrados para análise da eficiência do uso de água pela cultura, percebe-se que não houve diferença significativa entre os parâmetros estudados.

A insignificância entre os tratamentos, no que se refere a eficiência do uso da água, tanto para as lâminas aplicadas quanto para os turnos de rega, atestam a capacidade de adaptação fisiológica desta cultivar de sorgo à variação para baixo do conteúdo de água no solo. Esse resultado se confirma no trabalho de Medici *et al.* (2014) que, segundo os autores, culturas que conseguem converter de forma proporcional a água consumida em biomassa, mesmo quando a aplicação das lâminas ocorre muito abaixo do exigido, mostram-se interessantes para o cultivo em regiões de comprovada escassez hídrica, uma vez que a redução do rendimento produtivo da cultura é inferior à redução da lâmina de irrigação.

**Tabela 12** - Resumo da análise de variância referente ao consumo total de água (CTA) e eficiência do uso de água (EUA)

Fontes de Variação	Quadrado Médio		
	Gl	Consumo total de água	Eficiência do uso da água
Água Disponível	4	990,88**	1,97 ns
Turno de rega	1	143,46**	0,15 ns
Regressão Polinomial linear		2896,83**	1,71 ns
Regressão Polinomial quadrática		1022,09**	1,93 ns
Regressão polinomial cúbica		44,25**	0,69 ns
Interação		8,96 **	0,59 ns
Blocos		0 ns	0,90 ns
Resíduo		$1,97 \times 10^{-16}$	1,78
CV%		0	28,57
Tratamentos	Médias		
	Volume (litros)	g.l <sup>-1</sup>	
0% AD -AC	-	-	
20% AD - AC	12,38	4,47	
40% AD - AC	19,57	3,77	
60% AD - AC	26,75	5,05	
100% AD - AC	41,12	5,19	
100% AD - AA	41,12	4,88	
3 dias	30,37 a	4,60 a	
6 dias	26,00 b	4,74 a	

Destaca-se ainda que o estresse hídrico aplicado com a redução das lâminas de irrigação, condiz com o baixo volume de água cinza que é produzido na unidade familiar rural e destinada ao cultivo agroflorestal, tornando seu uso pertinente e sustentável por proporcionar uma significativa melhora na qualidade da água direcionada ao ambiente (MEDRANO *et al.*, 2015).

### 3.1.10 Extrato da saturação do solo

Analisando a Tabela 13, constata-se que os parâmetros pH (potencial hidrogeniônico) e CE (condutividade elétrica) no extrato de saturação do solo, sofreram influência significativa a 5% e 1% de probabilidade respectivamente. Nota-se ainda que o modelo que melhor

descreveu o comportamento da CE, foi a regressão polinomial quadrática, com valores variando entre  $0,76 \text{ dS.m}^{-1}$  para aqueles mantidos na capacidade de campo com água de abastecimento e  $3,23 \text{ dS.m}^{-1}$  para aqueles conduzido neste mesmo patamar, porém irrigados com água cinza filtrada, evidenciando que os tratamentos conduzidos com água de boa qualidade não elevaram a CE do solo, em função da baixa concentração de sais presentes na água de abastecimento.

Ao observar e comparar a  $CE_{es}$  no tratamento de sequeiro, ou seja, que não receberam irrigação durante o desenvolvimento da cultura, com a  $CE_{es}$  dos solos que receberam água cinza filtrada, constata-se um incremento de forma compatível com o volume de água aplicado, com destaque para aqueles que receberam as maiores lâminas de irrigação com água cinza (60 e 100% de AD), por apresentaram os maiores valores para este parâmetro avaliado.

No entanto, mesmo com o incremento na condutividade elétrica no extrato de saturação do solo devido ao uso de água cinza cuja salinidade é de  $1,07 \text{ dS.m}^{-1}$ , não foi suficiente para torná-lo salino, uma vez que em todos os casos a CE e pH apresentaram valores inferiores a  $4 \text{ dS.m}^{-1}$  e 8,5 respectivamente, sendo considerado com um solo normal do ponto de vista da salinidade (PEREIRA, 1998). No entanto, as investigações deverão continuar no decorrer do tempo, uma vez que alterações graves neste quadro podem ocorrer com a utilização contínua da água residuária, que tende a elevar gradativamente os níveis de sais presentes no solo, tornando-o salino.

Estudos realizados por Abd-Elwahed (2018) afirmam que, quando uma área recebe água residuária por longo período, o solo é afetado pelo aumento da salinidade bem como com a contaminação pela elevação da concentração de metais pesados, sendo necessário a realização periódica de um monitoramento da qualidade do solo irrigado para acompanhar eventuais mudanças que possam ocorrer.

**Tabela 10** - Resumo da análise de variância (ANAVA) referente a condutividade elétrica e pH do extrato de saturação do solo.

Fontes de variação	GL	Quadrado médio	
		CE <sup>1</sup>	pH
Água disponível	5	5,37**	0,05*
Turno de rega	1	0,26 ns	0,03ns
Regressão Polinomial linear		2,58 **	0,02 ns
Regressão Polinomial quadrática		24,05 **	0,02 ns
Regressão polinomial cúbica		0,01 ns	0,10 *
Regressão exponencial		0,18 ns	0,10*
Interação	5	0,06 ns	0,03ns
Blocos	2	0,61 **	0,07*
Resíduo	22	0,07	0,02
CV%		12,71	1,73
Tratamentos	Média para a relação		
	CE (dS.m <sup>-1</sup> )	pH	
0% AD -AC	1,28	8,1	
20% AD - AC	2,13	7,9	
40% AD - AC	2,56	8,0	
60% AD - AC	2,81	8,1	
100% AD - AC	3,23	8,2	
100% AD - AA	0,76	8,1	
3 dias	2,21 a	8,08 a	
6 dias	2,04 a	8,02 a	

<sup>1</sup>- Dados transformados em  $\sqrt{x}$ . Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de tukey a 5%. AD - água disponível do solo; GL - grau de liberdade; Significativo a 5% (\*) e a 1% (\*\*) de probabilidade; (ns) não significativo; CV - coeficiente de variação; AC - água cinza filtrada; AA - água de abastecimento.

#### 4. REFERÊNCIAS

ABD-ELWAHED, M. S. Influence of long-term wastewater irrigation on soil quality and its spatial distribution. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 63, n. 2, p. 191–199, 2018.

BANDEIRA, A. H. *et al.* Morfologia foliar de sorgo sacarino cultivado em diferentes espaçamentos entrelinhas e épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 1, p. 63–75, 2018.

BARROS JUNIOR, G. Efeito do conteúdo de água do solo, monitorado com TDR, sobre o desenvolvimento e produção de duas cultivares de mamona. 2007. Tese (Dourado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.

COSTA, A. R. F. C.; MEDEIROS, J. F. Água salina como alternativa para irrigação de sorgo para geração de energia no Nordeste brasileiro. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 6, n. 3, p. 169–177, 2017.

COSTA, J. G. J. *et al.* Crescimento e trocas gasosas em milho sob diferentes doses e fontes de nitrogênio. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. 1–19, 2020.

CUNHA, P. A. S. **Produção de fitomassa fresca e seca e de grãos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) sob adubação orgânica e mineral**. 2012. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areias, 2012.

DUTRA, C. C. *et al.* Desenvolvimento de plantas de girassol sob diferentes condições de fornecimento de água. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, p. 2657–2668, 2012.

EREL, R. *et al.* Long-term irrigation with reclaimed wastewater: Implications on nutrient management, soil chemistry and olive (*Olea europaea* L.) performance. **Agricultural Water Management**, v. 213, p. 324–335, 2019.

FERRARI, E.; PAZ, A.; SILVA, A. C. Déficit Hídrico no Metabolismo da Soja em Semeaduras Antecipadas no Mato Grosso. **Nativa**, v. 3, n. 1, p. 67–77, 2015.

FREIRE *et al.* Métodos de análises químicas para solos salinos. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (Org.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: INCTsal, 2016.

GUIMARÃES, M. J. M. *et al.* Biometrics and grain yield of sorghum varieties irrigated with salt water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 4, p. 285–290, 2019.

GUIMARÃES, T. R. F. C. S.; COSTA, J. P. N.; MEDEIROS, J. F. de. Uso de água de esgoto doméstico tratado na produção de sorgo soca. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 7, n. 1, p. 1–7, 2018.

JARDIM, A. M. R. F. *et al.* Estudos climáticos do número de dias de precipitação pluvial para o município de Serra Talhada-PE. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 27, n. 4, p. 330–337, 2019.

KATO, M. T. *et al.* Oportunidades e desafios na implementação de estações de tratamento de esgoto descentralizadas. *In*: SANTOS, A. B. (org.). **Caracterização, tratamento e gerenciamento de subprodutos de correntes de esgotos segregadas e não segregadas em empreendimentos habitacionais**. Fortaleza: Impreco, 2019. cap.1. p. 23–27.

MEDICI, L. O. *et al.* What about keeping plants well watered? **Environmental and Experimental Botany**, v. 99, p. 38–42, 2014.

MEDRANO, H. *et al.* From leaf to whole-plant water use efficiency (WUE) in complex

canopies: Limitations of leaf WUE as a selection target. **The Crop Journal**, v. 3, n. 2, p. 220-228, 2015.

MENEZES, C. B. *et al.* **Cultivares de sorgo tolerantes ao estresse hídrico em pós-florescimento cultivares de sorgo tolerantes ao estresse hídrico em pós-florescimento**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2019.

MENEZES, C. B. *et al.* Selection indices to identify drought-tolerant grain sorghum cultivars. **Genetics and Molecular Research**, v. 13, n. 4, p. 9817-9827, 2014.

NAKAO, A. H. *et al.* Resposta do sorgo granífero à aplicação de diferentes doses e épocas de inoculante (*Azospirillum Brasilense*) via foliar. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, v. 10, n. 18, p. 2702-2714, 2014.

NASCIMENTO, A. R. L. *et al.* Manejo da adubação nitrogenada em solo alcalino cultivado com sorgo Sudão. **Revista GEAMA – Ciências Ambientais e Biotecnologia**, v. 6, n. 2, p. 72-80, 2020.

OLIVEIRA, A. C. *et al.* Influência da irrigação suplementar com águas residuárias sobre as trocas gasosas foliares do algodoeiro. **Irriga**, v. 25, n. 4, p. 677-682, 2020.

PEREIRA, J. R. Solos afetados por saís. *In*: CAVALVANTE, F. J. A (coord). **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação**. 2 ed. Recife: IPA, 1998.

PINHO, R. G. V.; FIORINI, I. V. A.; SANTOS, A. O. Botânica. *In*: BOREM, A.; PIMENTAL, L. PARRELLA, R. **Sorgo do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2014. p. 37-57.

RODRIGUES, J. A. S.; MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C. DE. Ecofisiologia. *In*: **Embrapa Milho e Sorgo: Sistema de Produção**. 8. Ed, 2014. Disponível em: [https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p\\_p\\_id=conteudoportlet\\_WAR\\_sistemasdeproducao16\\_1galceportlet&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1&p\\_r\\_p\\_-76293187\\_sistemaProducaoId=3809&p\\_r\\_p\\_-996514994\\_topicoId=3532](https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducao16_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=3809&p_r_p_-996514994_topicoId=3532). Acesso em: 10 jan. 2021.

SANTIAGO, F.; JALFIM, F. O sistema Bioágua Familiar: Reuso de água cinza doméstica para produção de alimentos no Semiárido brasileiro. *In*: Centro técnico de cooperação agrícola e rural. **Lições para o desenvolvimento em Moçambique e no Brasil**, v. 2, 2017, p. 22-27.

SANTOS, J. F.; GRANGEIRO, J. I. T. Desempenho produtivo de cultivares de sorgo forrageiro e granífero na Paraíba. **Tecnologia & Ciencia Agropecuariea**, v. 7, n. 2, p. 49-55, 2013.

SILVA, A. F. *et al.* **Sorgo granífero: estenda sua safrinha com segurança**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015

SILVA, E. M. S. *et al.* Sorghum starch as depressant in mineral flotation: Part 1 - Extraction and characterization. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 8, n. 1, p. 396-402, 2019.

- SILVA, J. R. I. *et al.* Características estruturais e acúmulo de fitomassa do milho sob diferentes regimes de irrigação com água residuária e adubação orgânica. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 206–220, 2021.
- SILVA, R. N. O, *et al.* Comportamento Agronômico de Cultivares de Sorgo Granífero Avaliados em Safrinha. *Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas*, v. 4, n. 3, p. 39, 2010.
- SILVA, P. R. C. *et al.* Uso de água cinza filtrada em sistemas de gotejamento na agricultura familiar. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, 2020.
- SILVA, T. G. F. *et al.* Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 50, n. 7, p. 515–525, 2015.
- SIMPLÍCIO, J. B. *et al.* Uso da cobertura morta na cultura do sorgo em cultivo de vazante no semiárido de Pernambuco. *In: TABOSA, J. N. (org.). Cadernos do Semiárido, riquezas & oportunidades*. Recife: Editora UFRPE, cap. 7, 2020, p. 57-62.
- SOTERO, A. R. H. **Cultivo de milho fertirrigado com água cinza**. 2019. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2019.
- SOUSA, P. G. R. *et al.* Efeito De Diferentes Lâminas De Irrigação E Cobertura Do Solo No Crescimento Da Cultura Do Sorgo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 4, p. 1528–1537, 2017.
- SOUZA, N. S. *et al.* Crescimento e desenvolvimento de plantas jovens de ipê-amarelo submetidas a diferentes regimes hídricos. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 7, p. 3108–3117, 2019.
- TRINDADE, V. D. R. *et al.* Características agronômicas de sorgo dupla aptidão submetidos à aplicação de extrato de algas e *Azospirillum brasilense* via foliar. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. 1–16, 2020.
- ZOOLEH, H. *et al.* Effect of alternate irrigation on root-divided foxtail millet (*Setaria italica*). **Australian Journal of Crop Science**, v. 5, n. 2, p. 205–213, 2011.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A qualidade da água cinza para irrigação está diretamente relacionada com a origem da água e com as atividades desenvolvidas na residência rural, bem como com os produtos de limpeza utilizados; contudo, no presente estudo, o incremento dos elementos químicos advindos das atividades domésticas e da higiene pessoal dos moradores da residência não alteraram a classe de irrigação da água cinza filtrada quando comparada com a água de abastecimento, sendo ambas classificadas como C<sub>3</sub>S<sub>1</sub>, com alto risco de salinização e baixo risco de sodicidade

Procedimentos de manutenção e limpeza periódica dos constituintes do sistema RAC, são primordiais para manter a qualidade do efluente, evitando odores desagradáveis e proliferação de insetos, além de evitar eventos de retorno do efluente para o interior da residência. A alteração no intervalo de limpeza da caixa de gordura de 15 para 30 dias, acarretou na deterioração da qualidade do efluente doméstico, com aumento expressivo na condutividade e elétrica e nos sólidos dissolvidos totais e redução abrupta do oxigênio dissolvido.

Configurações de filtros com menores quantidades de areia favorecem a passagem de água, característica importante para o tratamento de efluente doméstico, pois reduz o risco de retorno da água pelo sistema. A introdução de uma camada filtrante de maravalha de madeira, elevou a concentração de fósforo na água, elemento que inspira cuidados, uma vez que em grandes quantidades pode ocasionar a eutrofização da água. Por outro lado, esse material filtrante, apresentou resultados satisfatórios no tempo de percolação e de cessação da drenagem, com melhoria expressiva na vazão final do filtro, além de evitar a retenção de água na superfície do filtro.

A irrigação com água cinza filtrada a 100% da água disponível no solo promoveu melhorias em todas as variáveis biométricas analisadas nas plantas do sorgo IPA-1011, com exceção do número de perfilhos, não interferindo, portanto, no desenvolvimento desta cultura em comparação às plantas mantidas em mesma condição de umidade no solo e irrigadas com água de qualidade superior (abastecimento).

Em todos os níveis de tratamento com água disponível no solo (de 20 a 100 %) as plantas do sorgo IPA-1011 irrigadas com água cinza filtrada permaneceram vivas ao longo dos 54 dias dos estudos de campo, diferentemente das plantas conduzidas sob regime de sequeiro que morreram aos 40 dias após semeadura. Vale destacar, que as plantas mantidas a 60% da água disponível no solo, em comparação com os tratamentos cujas frações de água disponível foram inferiores, apresentaram um desempenho satisfatório para os parâmetros analisados,

destacando-se como um nível de referência promissor para a irrigação com água cinza em situação de estresse hídrico.

Práticas de reuso da água cinza na irrigação deve considerar a escolha de espécies reconhecidamente tolerantes aos sais tanto na água, quanto no solo, além de não serem indicadas para solos com drenagem deficiente por favorecerem, ao longo do tempo, a degradação do solo em função do aporte salino.

**ANEXOS**

## ANEXO A – Questionário de Reconhecimento da residência domiciliar

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Município:

Nome:

Endereço:

1. Qual a fonte da água utilizada na residência?

---

---

---

2. Quais os produtos mais utilizados na residência? (lavagem de pratos, roupas e banho)

---

---

---

---

---

3. Quais os constituintes encontrados em cada produto? (fotografar o rótulo de cada produto utilizado)

4. Qual a quantidade média de cada produto utilizado no mês?

---

---

---

---

---

5. Qual o intervalo entre as limpezas do filtro, e como é realizada?

Fotografar todo o sistema, filtro, caixa de gordura, reservatório, bomba e linha de distribuição de água

## ANEXO B – Produtos de Limpeza e Higiene Pessoal Utilizados pelos Residentes

Produtos utilizados	Quantidade média utilizada em cada mês
Sabão em pó	1,5 kg
Shampoo	400 ml
Sabonete líquido	500 ml
Alvejante	2 l
Amaciante de roupas	1 l
Lava roupas	1 l
Limpa alumínio	1 l
Lava louças	1 l
Sabão em barra	500g