




# Uso de água cinza na irrigação de feijão Caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) no Nordeste brasileiro



*Use of gray water as irrigation water in the cultivation of Caupi bean (*Vigna unguiculata* L. Walp) in Northeastern Brazil*

- **Data de entrada:**  
13/02/2024
- **Data de aprovação:**  
11/02/2025

Victória Bermúdez<sup>1,2\*</sup> | Beatrice Cardoso<sup>3</sup> | Marcus Andrade<sup>4</sup> |  
Glória Marinho<sup>2</sup> | Kelly Rodrigues<sup>1,2</sup>

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2025.085>

Bermúdez V  <https://orcid.org/0000-0002-8105-8735>  
Cardoso B  <https://orcid.org/0000-0002-7805-2359>  
Andrade M  <https://orcid.org/0000-0002-0791-9197>

Marinho G  <https://orcid.org/0000-0002-2515-5856>  
Rodrigues K  <https://orcid.org/0000-0003-4340-0269>

## Resumo

Avaliou-se o uso de águas cinzas tratadas em *wetlands* construídos (WC1 e WC2) na irrigação de feijão Caupi, que teve seu desenvolvimento acompanhado durante estação seca (Fase 1) e chuvosa (Fase 2). A irrigação foi com água de abastecimento (AB) e efluentes dos sistemas. Os indicadores de produção mostraram que AB diferiu positivamente dos efluentes apenas na Fase 2 quanto ao peso e comprimento médio da vagem,  $1,27 \pm 0,297$  g/ $2,11 \pm 0,228$  cm (AB),  $0,75 \pm 0,418$  g/ $0,844 \pm 0,171$  cm (WC1) e  $0,95 \pm 0,408$  g/ $0,866 \pm 0,128$  cm (WC2), respectivamente. As melhores respostas para a altura e a taxa de crescimento caulinar foram na Fase 2, com alturas de  $51,1 \pm 16,18$  cm,  $49,7 \pm 12,8$  cm e  $50,5 \pm 9,89$  cm, e taxas de crescimento de  $0,655$  cm.dia<sup>-1</sup>,  $0,637$  cm.dia<sup>-1</sup> e  $0,647$  cm.dia<sup>-1</sup>, respectivamente, para AB, WC1 e WC2, sem diferença significativa, indicando o uso potencial da água cinza nessa demanda em áreas de escassez hídrica.

**Palavras-chave:** Água cinza. Reuso. Agricultura de subsistência. *Wetland* construído. Ecotecnologia.

## Abstract

*This study evaluated the use of treated graywater in constructed wetlands (WC1 and WC2) to irrigate cowpea, monitoring its development during the dry (Phase 1) and rainy seasons (Phase 2). Irrigation involved supply water (AB) and effluents from the systems. Production indicators showed that AB differed positively from effluents only in Phase 2 regarding the weight and average length of the pod:  $1.27 \pm 0.297$  g/ $2.11 \pm 0.228$  cm (AB),  $0.75 \pm 0.418$  g/ $0.844 \pm 0.171$  cm (WC1), and  $0.95 \pm 0.408$  g/ $0.866 \pm 0.128$  cm (WC2), respectively. The best responses for stem height and growth rate occurred in Phase 2, with heights equal to  $51.1 \pm 16.18$ ,  $49.7 \pm 12.8$ , and  $50.5 \pm 9.89$  cm, and growth rates totaling  $0.655$ ,  $0.637$ , and  $0.647$  cm.day<sup>-1</sup> for AB, WC1, and WC2, respectively, with no significant differences, indicating the potential use of gray water in this demand in areas of water scarcity.*

**Keywords:** Gray water. Reuse. Subsistence agriculture. Constructed wetland. Ecotechnology.

<sup>1</sup> Universidade Federal do Ceará – Campus Pici – Fortaleza – Ceará – Brasil.

<sup>2</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – Campus Fortaleza – Fortaleza – Ceará – Brasil.

<sup>3</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Maracanaú – Maracanaú – Ceará – Brasil.

<sup>4</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Sobral – Sobral – Ceará – Brasil.

\* **Autor correspondente:** vmsbermudez@gmail.com

## 1 INTRODUÇÃO

A falta de regularidade de chuvas em regiões do Nordeste brasileiro causa déficit hídrico que afeta negativamente a agricultura familiar, principal fonte de renda de famílias que vivem nessa área. Em diversas partes dessa região, é observada intensa evapotranspiração e baixa precipitação, especialmente nas zonas mais áridas, o que é um agravante, pois, de acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2017), a agricultura é o setor que mais demanda água no Brasil entre todos os outros, representando 67% do consumo de água.

Além da escassez hídrica, a falta de saneamento básico é observada na região nordeste e apenas 30,2% de sua população tem acesso ao esgotamento sanitário (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, 2022), de modo que o emprego de sistemas descentralizados e simplificados como *wetlands* construídos e o reuso de seus efluentes pode ser uma alternativa interessante, pois as águas residuárias, ao serem tratadas, constituem-se em uma fonte alternativa de água que pode ser aproveitada pelas culturas irrigadas, reduzindo-se à captação de fontes naturais e contribuindo para a sustentabilidade.

Países como Israel e Jordânia, que enfrentam há bastante tempo problemas com escassez de água, reutilizam na irrigação mais de 80% e 90% das águas residuárias tratadas, respectivamente (United Nation World Water Assessment Programme, 2017; Voulvoulis, 2018), demonstrando a viabilidade dessa prática. O reuso de águas para cultivos de subsistência tem sido estudado como uma possível medida para reduzir o cenário de escassez hídrica, mitigar a poluição dos corpos receptores e produzir alimentos para consumo familiar em áreas rurais (Costa *et al.*, 2021; Ghunmi *et al.*, 2010; Sousa *et al.*, 2020).

As águas cinzas são uma fração do esgoto doméstico que é produzida a partir de cozi-

nhas, banheiros e lavanderias e sua composição depende das características dos habitantes da residência na qual são gerados esses despejos (Patil *et al.*, 2022), possuindo geralmente carga orgânica e concentração de micro-organismos patogênicos baixa (Gonçalves; Simões; Wanke, 2010), o que reduz os riscos de contaminação e as torna uma alternativa interessante para o uso na irrigação de culturas, especialmente quando submetidas a tratamentos adequados.

De acordo com Feitosa *et al.* (2009), outro benefício dessa prática é que os efluentes tratados podem apresentar macro e micronutrientes e favorecer o desenvolvimento da cultura, diminuindo o uso de fertilizante comercial, representando um ganho econômico, embora nem sempre o conteúdo de nutrientes neles presentes atenda completamente à necessidade de adubação requerida pela planta (Fonseca *et al.*, 2007; Rossi *et al.*, 2021).

O feijão Caupi (*Vigna unguiculata* L.Walp) é uma cultura de subsistência importante do nordeste do Brasil que apresenta um alto valor nutritivo, adaptada às condições de calor e à deficiência hídrica (Freire Filho, 2011), sendo reportado na literatura que é possível obter boa produção dessa cultura – assim como de tomate, pimentão e melancia – quando da sua irrigação com efluentes domésticos (Oliveira *et al.*, 2011; Cunha *et al.*, 2015; Rego *et al.*, 2005; Sousa *et al.*, 2006).

Assim, neste trabalho foi avaliado se os efluentes de um sistema de *wetlands*, construídos de fluxo vertical com meio suporte de areia, tijolos cerâmicos e conchas marinhas, plantados com uma espécie de macrófita nativa *Echinodorus subulatus*, poderiam ser utilizados para suprimento da demanda hídrica do feijão Caupi (*Vigna unguiculata* L.Walp), sem aplicação de adubação química. Foram ainda usadas como referência de qualidade da água de irrigação normas brasileiras e diretrizes internacionais.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Área experimental

O experimento foi realizado no jardim didático e experimental do Departamento de Biologia da Universidade Federal do Ceará (UFC), no campus do Pici (3°44'41.06"S, 38°34'25.88"O, elevação 23 m), em Fortaleza, Ceará, Brasil. Os dados

foram obtidos na estação seca (Fase 1), durante os meses de junho, julho, agosto e setembro de 2021, e na estação chuvosa (Fase 2), nos meses de dezembro de 2021 e janeiro, fevereiro e março de 2022, em um período total de 83 dias para cada fase. As características climatológicas da área de estudo no período experimental são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1** – Dados climatológicos da área do experimento no período do experimento.

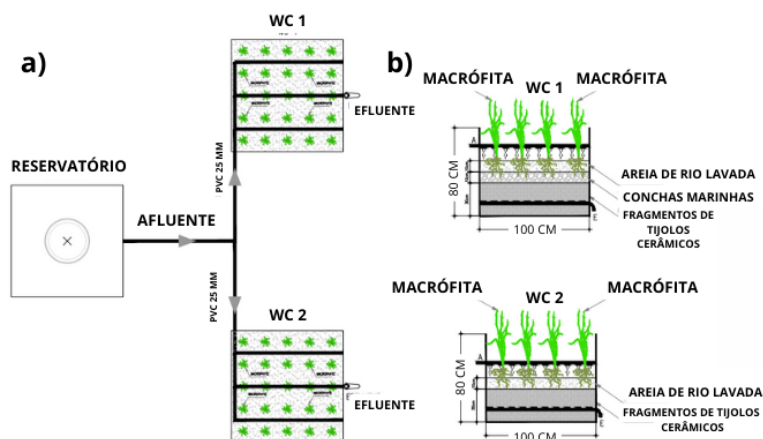
	Temperatura (°C)	Precipitação (mm)	Umidade (%)	Tempo de irradiação solar diário (h)
FASE 1	26,475 ± 0,24	30,5 ± 27,34	72 ± 3,94	9,175 ± 0,29
FASE 2	26,825 ± 0,31	275,25 ± 232	79,25 ± 3,03	8,125 ± 0,57

Fonte: Fundação Cearense de Meteorologia e Chuvas Artificiais (FUNCEME, 2022).

O efluente utilizado como água de irrigação foi oriundo de sistema de *wetland* construído (WC) de fluxo subsuperficial vertical e descendente, operado em bateladas, que tratava água cinza sintética preparada com adaptações a partir de Abed e Scholz (2016), com a adição de xampu, sabonete líquido e creme dental.

Um reservatório (1 m x 1 m x 1 m) alimentava os dois *wetlands* plantados com macrófita nativa *Echinodorus subalatus* (Mart.) Griseb (20 mudas/m<sup>2</sup>), WC1 e WC2 (1 m x 1 m x 0,8 m). O afluente

era distribuído por gravidade em tubos de PVC de 25 mm de diâmetro na superfície de WC1 e WC2, com orifícios de 2 mm, por gotejamento e, após 7 dias, o efluente percolado pela coluna filtrante era recolhido por sistema de drenagem, na base dos sistemas (Figura 1a). A coluna de filtração nos *wetlands* continha camadas, da parte superior até a base, de areia média lavada de rio ( $\varnothing = 0,42$  a 2,00 mm) + conchas marinhas ( $\varnothing \sim 3$  cm) + tijolo cerâmico ( $\varnothing \sim 5$  cm) (CW1), sendo que em WC2 não foram adicionadas conchas marinhas, apenas areia e tijolos (Figura 1b).



**Figura 1** – Desenho do sistema de *wetland* construído (WC) de fluxo subsuperficial vertical e descendente: a) Reservatório do afluente e os dois sistemas de WC; b) Camadas de substratos de cada WC.

## 2.2 Caracterização da água de irrigação

Foram utilizadas como referência da qualidade do efluente final os padrões estabelecidos pela Resolução COEMA n° 2, de 2 de fevereiro de 2017, que dispõe sobre padrões e condições para lançamento e reuso de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras (Ceará, 2017) e pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA). A atividade de reuso agrícola foi classificada como reuso de efluentes tratados, direto planejado, não potável (Ceará, 2017). Assim, culturas de feijão Caupi foram irrigadas com água de abastecimento (AB), como controle, e com os efluentes provenientes dos sistemas WC 1 e WC 2.

## 2.3 Projeto experimental e análise de dados

O feijão Caupi, oriundo da região de Barreira, Ceará, tem período de cultivo de 40 dias e foi cultivado em vasos plásticos de 5 L. Os vasos tinham a base perfurada, sobre a qual foi disposta camada de 2 cm de brita n° 1 ( $\emptyset = 19$  mm a 25 mm), para facilitar a drenagem, de acordo Freire Filho (2011), seguido de 16 cm de solo natural local (silte argiloso – não caracterizado) e sem adubação química. Em todos os tratamentos, das 2 fases, foram utilizados o mesmo solo. Foi utilizado um delineamento inteiramente casual em esquema fatorial com 6 tratamentos (1 cultura de feijão, 6 efluentes – Tabela 2), com 4 repetições (vasos) e cada vaso com 2 indivíduos.

**Tabela 2** – Descrição dos tratamentos do modelo experimental.

Tratamento	Fase	Descrição
T1 (controle)	1	Água de abastecimento AB
T2		Efluente de WC1
T3		Efluente de WC2
T4 (controle)	2	Água de abastecimento AB
T5		Efluente de WC1
T6		Efluente de WC2

A ordem dos vasos foi sorteada aleatoriamente em 4 fileiras com 3 vasos para diminuir a influência de sua posição nos resultados, já que alguns

locais poderiam se beneficiar com a luz solar e chuva, pois os vasos foram expostos as condições ambientais do local (Figura 2).



**Figura 2** – Disposição dos vasos sorteada aleatoriamente em 4 fileiras com 3 vasos sob condições ambientais.

Em cada vaso, cinco sementes foram plantadas a uma profundidade entre 6 e 8 cm, e durante 10 dias todos os vasos foram irrigados com água de abastecimento para que todas as mudas crescessem de forma igualitária. Após 10 dias, quando apareceram as folhas primárias, realizou-se um desbaste, deixando-se 2 indivíduos por vaso, escolhendo-se as mais vigorosas, menos defeituosas e de mesmo tamanho. Então foi iniciada a irrigação com AB, WC 1 e WC 2. A irrigação foi realizada diariamente com 80% da sua capacidade de campo (200 mL). A capacidade de campo foi calculada com base no peso total do vaso quando o substrato estava totalmente preenchido com água (Souza *et al.*, 2000).

Os dados foram compilados e posteriormente submetidos à análise de variância (ANOVA) e verificada a existência de diferença significativa entre os efluentes utilizados em cada fase por separado. Os dados que se encontraram com diferenças significativas foram submetidos a um teste Tukey com 5% de significância, para concluir qual diferença houve entre eles. As análises foram

realizadas no programa Mini Tab para ANOVA e Tukey.

A análise de componentes principais (PCA) foi feita com o programa Past 4.3 para analisar inter-relações entre as variáveis indicadoras do crescimento do feijoeiro e as análises físico-químico dos efluentes, verificando-se a melhor inter-relação das variáveis de produção com as características físico-químicas dos efluentes utilizados. As variáveis com vetores de ângulos  $<90^\circ$  são positivamente correlacionadas, aquelas formadas por ângulos superiores à  $90^\circ$  são negativamente correlacionadas e os que apresentarem ângulo igual à  $90^\circ$  não têm nenhuma correlação (Yan; Frégeau-Reid, 2008).

### 2.3.1 Acompanhamento do crescimento da planta

A altura caulinar da planta (AC) foi medida com trena métrica desde a superfície do solo até a dominância apical, e o diâmetro do coleto (DC) foi obtido com auxílio de um paquímetro. Também foi feita a contagem de folhas diretamente em cada planta, considerando apenas as que estavam

totalmente abertas. As medições foram feitas a cada 7 dias, ao longo do período estudado.

A velocidade média de crescimento da cultura foi calculada em função da taxa de crescimento caulinar da planta – TCA (Equação 1) e pela taxa de crescimento do diâmetro do coleto – TCC (Equação 2).

$$TCA = \frac{\text{Altura final da planta} - \text{Altura inicial da planta}}{\text{tempo após o plantio}} \quad (1)$$

$$TCA = \frac{\text{Diâmetro final do coleto} - \text{Diâmetro inicial do coleto}}{\text{tempo após o plantio}} \quad (2)$$

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 3 são apresentadas as qualidades dos efluentes tratados para uso na atividade de reuso agrícola utilizados nesse experimento, as análises foram realizadas em duplicata.

**Tabela 3** – Características das águas de irrigação utilizadas para o cultivo de feijão Caupi.

	Água de abastecimento (T1 e T4)	FASE 1		FASE 2	
		WC 1 (T2)	WC 2 (T3)	WC 1 (T5)	WC 2 (T6)
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	102,62	214,68 ± 101,88	402,34±245,25	149,64±23,34	227,29±28,31
Fósforo total (mg.L <sup>-1</sup> )	Nd	2,18±0,35	3,63±0,37	2,41±0,18	4,45±0,18
Surfactante (mg.L <sup>-1</sup> )	Nd	1,85±2,52	3,50±3,03	1,20±0,59	1,92±0,84
Amônia (mg.L <sup>-1</sup> )	0,10	3,38±1,29	3,20±1,34	1,42±1,26	3,53±2,91
Nitrito (mg.L <sup>-1</sup> )	0,004	0,11±0,20	0,33 ±0,32	0,02±0,02	0,04±0,02
Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> )	0,001	0,46±0,86	0,26±0,60	0,25±0,59	0,20±0,60
Alcalinidade total (mg CaCO <sub>3</sub> . L <sup>-1</sup> )	70,70	413,75±112,75	181,25±41,27	229,82±32,030	103,10±17,05
Dureza (mg CaCO <sub>3</sub> . L <sup>-1</sup> )	136,00	253,98±81,54	138,30±25,05	135±49,00	118±19,30
OD (mg.L <sup>-1</sup> de O <sub>2</sub> )	8,00	6,26±0,98	4,70±0,24	1,43±0,79	1,48±0,83
CE (uS.cm <sup>-1</sup> )	1850,00	1550,00	1250,00	1640,00	1300,00
pH	6,60	6,50	6,00	5,98	5,10
Coliformes totais (NMP.100 mL <sup>-1</sup> )	0,00	96,00	95,00	85	87
<i>E. coli</i> (NMP.100 mL <sup>-1</sup> )	0,00	51,00	55,00	45	48

\*DQO = Demanda química de oxigênio; OD = oxigênio dissolvido; CE = condutividade elétrica; pH = potencial de hidrogênio; NMP = número mais provável; Nd = não determinado.

Os efluentes tratados se apresentaram dentro dos padrões da legislação de reuso agrícola no estado do Ceará, no Brasil, estabelecidos pelo COEMA nº 02/2017, que reporta valores para a condutividade elétrica de até 3000 µS/cm, independente do cultivo, para culturas que não serão consumidas cruas a presença de *E. coli* até 100 NMP/100 mL e pH entre 6 e 8,5. Também apresentaram-se dentro dos valores limites ao considerar a legislação americana (EPA, 2004) para lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores, com pH de 6 a 9, sólidos totais em sus-

ensão abaixo de 30 mg.L<sup>-1</sup>, cloro residual superior a 1 mg.L<sup>-1</sup> e coliformes termotolerantes abaixo de 200 UFC.100 mL<sup>-1</sup> para efluentes utilizados como água de irrigação. Apesar de nem sempre os efluentes de *wetlands* construídos satisfazerem os requisitos microbiológicos legislativos de reuso na agricultura (Abed; Scholz, 2016; Almuktar; Abed; Scholz, 2017; Arden; Ma, 2018; Lavrnić *et al.*, 2020), os efluentes ora empregados como fonte de irrigação, apresentaram-se dentro dos limites de segurança microbiológicos, conforme anteriormente mencionado.

Quanto à produção dos feijoeiros, em geral, não foram encontradas diferenças estatísticas para parte das variáveis analisadas, ao se com-

parar os vasos irrigados com efluente tratado com os que receberam água de abastecimento (Tabela 4).

**Tabela 4** – Parâmetros usados na avaliação da produção dos feijoeiros nas Fases 1 e 2.

		Nº DE VAGEM TOTAL (und)	COMPRIMENTO MÉDIO VAGEM (cm)	PESO MÉDIO VAGEM (g)	MASSA TOTAL DE GRÃOS (g)	MASSA MÉDIA DOS GRÃOS (g)	Nº DE GRÃOS TOTAL (und)	COMPRIMENTO MÉDIO DOS GRÃOS (mm)	LARGURA MÉDIA DOS GRÃOS (mm)	ESPESSURA MÉDIA DOS GRÃOS (mm)
FASE 1	T1	3	9,53 ±0,32a	0,358 ±0,69a	1,07	0,06 ±0,01b	16	4,00 ± 0,00a	4,66 ± 0,47a	3,66 ± 0,47a
	T2	4	11,62 ±0,58a	1,34 ± 0,49a	5,40	0,22 ±0,01a	24	5,667 ±0,10b	5,00 ±0,00a	3,00 ±0,00a
	T3	3	15,70±0,49a	2,11 ±1,14a	4,23	0,18 ±0,05b	23	6,00 ± 0,00b	5,00 ± 0,00a	3,00 ± 0,00a
FASE 2	T4	6	12,75 ± 0,14a	1,27 ± 0,29a	7,62	0,21 ±0,02b	35	2,11 ± 0,22a	5,00 ± 0,00a	4,00 ± 1,00a
	T5	9	12,11 ± 0,18a	0,75 ± 0,41b	6,44	0,14 ±0,03a	45	0,84 ± 0,17b	5,00 ± 0,00a	3,00 ± 0,00a
	T6	6	11,83 ± 0,14a	0,95 ± 0,40ab	5,73	0,15 ±0,02a	35	0,86 ± 0,12b	5,00 ± 0,00a	3,00 ± 0,00a

Os dados foram apresentados como média e desvio padrão e não houve evidências para se rejeitar a normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk a 5% de probabilidade. Não houve evidências para se rejeitar a homogeneidade de variâncias pelo teste de Levene a 5% de probabilidade. Os resultados de cada fase foram comparados por ANOVA único fator e feito o teste de Tukey. Médias que não compartilham a mesma letra são significativamente diferentes para cada fase.

Tanto na Fase 1 como na 2, os controles T1 e T4 diferiram estatisticamente em alguns parâmetros analisados, possivelmente como reflexo da maior disponibilidade hídrica no período chuvoso. Na Fase 1, apenas em relação ao comprimento das vagens foi obtida diferença significativa, quando os tratamentos T2 e T3 apresentaram comprimentos médios superiores aos do controle, indicando que a água residual tratada influenciou

positivamente essa variável, de modo que a presença de nutrientes suportou o crescimento do cultivo em período de menor oferta hídrica marcada pelo período seco. Na Fase 2, os tratamentos T5 e T6 resultaram em comprimentos médios dos grãos e peso médio da vagem um pouco menores ao do controle, porém quando se considerou o peso total dos grãos obtidos, observou-se, em relação à fase seca (Fase 1), um aumento para os

cultivos irrigados com o mesmo tipo de efluente, com T2 e T5, de 5,36 g (T2), na fase seca, para 6,44 g (T5), na fase chuvosa, da mesma forma para T3 e T6, respectivamente, de 4,23 g para 5,72 g.

A maior disponibilidade hídrica favoreceu estatisticamente a massa média dos grãos, quando se compara essa variável entre as Fases 1 e 2, os controles T1 e T4 apresentaram diferença significativa ( $p=0,0012$ ). A Fase 2 também apresentou maiores quantidades de grãos e vagens. Há uma possibilidade de ter ocorrido uma lixiviação do meio, causado pelo excesso de água na fase chuvosa, teria carregado os nutrientes dos efluentes usados nos tratamentos T5 e T6, diminuindo sua disponibilidade para as plantas, o que resultou em vagens de menor peso nos cultivos irrigados com efluentes. A lixiviação de nutrientes é o movimento descendente de nutrientes dissolvidos no solo com a percolação da água, seja da irrigação ou da chuva. Esses nutrientes são perdidos, pelo menos temporariamente (Lehmann; Schroth, 2003) e pode afetar a produtividade da cultura (Wiedenfled, 2004).

A largura e espessura média dos grãos não apresentaram diferenças significativas em nenhuma das duas fases, ou seja, o tipo de água usada na irrigação não afetou essas variáveis.

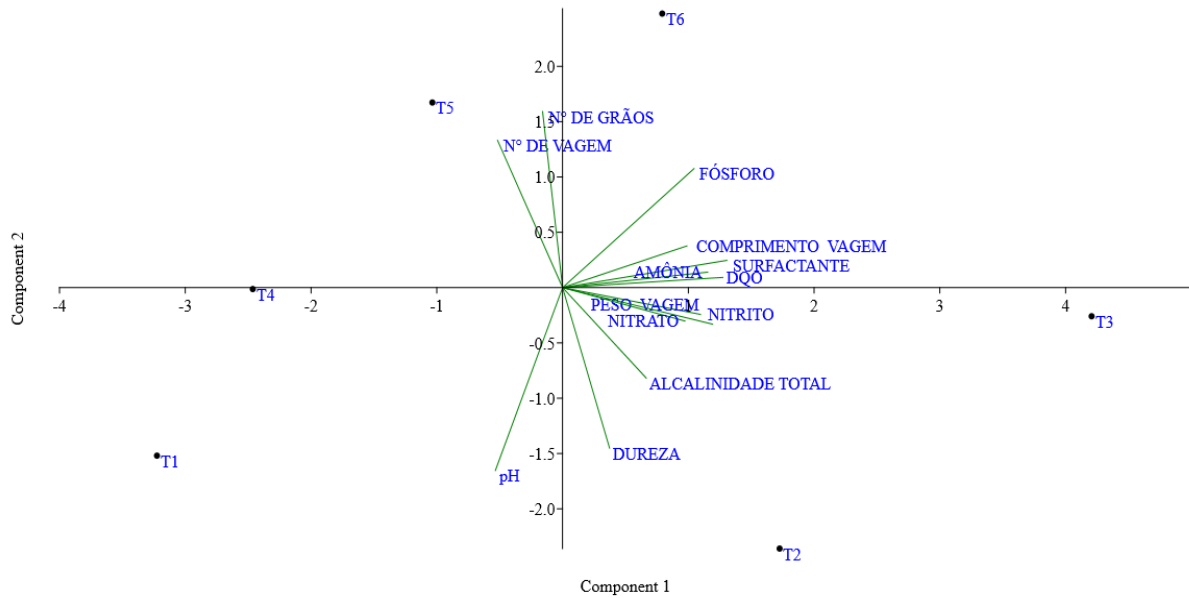
Quando se compara as fontes de irrigação entre si em uma mesma fase, observa-se que o número de vagens e de grãos, na Fase 1, apresentaram valores muito próximos, ainda que T2 tenha resultado em resposta ligeiramente melhor para as variáveis de crescimento monitoradas. Na Fase 2, para T4 (controle) e T6 foram obtidos o mesmo número de vagens (6) e grãos (35), sendo que para T5 apresentou os melhores resultados, com um total de 9 vagens e 45 grãos, o que corrobora com a Fase 1, já que o efluente do tratamento T5 e T2 era oriundo do mesmo sistema e possuíam maior teor de matéria orgânica e nutrientes que o utilizado para irrigação dos cultivos T3 e T6, conforme Tabela 3.

Embora o número de vagens e grãos encontrados neste estudo tenha sido menor que o reportado por Oliveira *et al.* (2015) também com feijão Caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), esses autores utilizaram bioestimulante, sendo que a literatura relata a influência positiva do uso de compostos fertilizantes para o aumento da produtividade das culturas (Abrantes *et al.*, 2011; Al-Zou'by; Al-Zboon; Al-Tabbal, 2017). Oliveira *et al.* (2015), ao realizarem seus experimentos em uma casa de vegetação coberta, adicionaram bioestimulante nas concentrações de 0,5 e 1 L ha<sup>-1</sup> e conseguiram produzir 7 e 9 vagens, respectivamente, e, em média, 7,28 grãos por vagens, na faixa de 49-63 grãos totais, próximo aos valores encontrados nessa pesquisa irrigados com T5 (45) na fase chuvosa.

De fato, pode-se obter produtividade superior com a adição de bioestimulantes, o que foi endossado por Abrantes *et al.* (2011) ao cultivar feijão irrigado com esgoto doméstico acrescido de bioestimulador (constituídos pela combinação de cinco doses do regulador vegetal 0 L ha<sup>-1</sup>; 0,5 L ha<sup>-1</sup>; 1,0 L ha<sup>-1</sup>; 1,5 L ha<sup>-1</sup>; e 2,0 L ha<sup>-1</sup>). Esses autores observaram que o número de vagens e grãos crescia com o aumento da concentração do regulador, com a maior dosagem de bioestimulante, 2,0 L ha<sup>-1</sup>, resultou em 54,8 grãos por planta e 12 vagens por planta. Também para maior produção de grãos, o uso de bioestimulantes favorece maiores Dourado Neto *et al.* (2014) quantidades, conforme relatado por que obtiveram maior quantidade de grãos por planta no cultivo de feijão Carioca quando adicionado bioestimulante (34 grãos por planta), quando comparado à irrigação apenas com abastecimento de água (27 grãos por planta). Ainda assim, conseguimos quantidades maiores de grãos por planta sem adição de bioestimulante.

Na Figura 3 é mostrado um gráfico biplot com as componentes CP1 e CP2, possibilitando a visualização dos agrupamentos das variáveis.





**Figura 3** – Análise de componente principal (PCA) dos dados das variáveis físico-química do efluente utilizado e a produção dos grãos e vagens.

De acordo com o PCA, os componentes principal (CP1) e secundário (CP2) respondem por 70,8% da variabilidade dos dados, sendo 10 variáveis físico-químico da caracterização dos efluentes e 3 variáveis de produção do feijoeiro. O componente principal (CP1) responde por 49,8% da variabilidade do total de dados, indicando correlação entre os indicadores de produção, comprimento e peso da vagem e as concentrações de surfactante, amônia, nitrito, nitrato, alcalinidade e dureza, presentes na água de reuso. Assim, observou-se que a produtividade, em termos de peso e comprimento das vagens dos feijoeiros irrigados, sofreu influência da maioria dos parâmetros de caracterização empregados, exceto pH e fósforo.

O componente secundário (CP2) resultou em 21% da variabilidade do total de dados, estabelecendo correlação entre número de vagens e grãos e fósforo, de modo que esse nutriente teve maior influência na quantidade de vagens e grãos diferente do que foi dito antes.

Logo, o PCA revelou ainda que os tratamentos controles (T1 e T4) estão correlacionados com

concentrações menores das variáveis, o que já era esperado por serem água de abastecimento com poucos nutrientes presentes, sendo que o comprimento das vagens está fortemente correlacionado aos parâmetros surfactantes, amônia, DQO, nitrito e nitrato, indicando a importância da disponibilidade de nutrientes para a produtividade do cultivo.

Também revelou que a alcalinidade e a dureza influenciaram negativamente o número de grãos e de vagens, sendo que o pH da água cinza pode modificar o pH do solo e influenciar negativamente na produtividade. Como reportado por Souza *et al.* (2010), o pH do solo ao ser alterado pode afetar a disponibilidade de nutrientes como fósforo, cobre, ferro, manganês, molibdênio e zinco, que são importantes para o desenvolvimento das plantas. Contudo, a influência da alcalinidade e da dureza pode ter sido de menor relevância que o da lixiviação ocasionada pelas chuvas, pois o efeito do excesso de água teria sido maior, diminuindo a disponibilidade de nutrientes para a planta, haja vista a produção de grãos de baixo peso, particularmente nos cultivos em T2 e T3, e T3 e T6.

Os tratamentos T4 (controle), T5 e T6, da Fase 2, tiveram melhores respostas para a altura e a taxa de crescimento caulinar dos cultivos entre as variáveis de monitoramento do crescimento dos cultivos, comparados os tratamentos T1 (controle), T2 e T3 da Fase 1. Em média, os valores da altura do feijoeiro foram  $51,1 \pm 16,18$  a cm,  $49,7 \pm 12,8$  a cm e  $50,5 \pm 9,89$  a cm, e as taxas de crescimento, de  $0,655$  a  $\text{cm}\cdot\text{dia}^{-1}$ ,  $0,637$  a  $\text{cm}\cdot\text{dia}^{-1}$  e  $0,647$  a  $\text{cm}\cdot\text{dia}^{-1}$ , respectivamente, para T4, T5 e T6, sendo que estatisticamente não houve diferença significativa entre os tratamentos. Assim, as características de cada efluente utilizado não influenciaram na medida da altura e na taxa de crescimento caulinar.

De acordo com Aguiar *et al.* (2014), as alturas médias dos feijoeiros estão entre 40 e 60 cm, de modo que, independentemente do tipo de tratamento, os feijoeiros se mantiveram dentro da altura esperada na Fase 2, com  $51,1 \pm 1,2$  a cm (T4),  $49,7 \pm 2,1$  a cm (T5) e  $50,5 \pm 1,5$  a cm (T6). As maiores precipitações médias durante a Fase 2 ( $275,25 \pm 232$  mm), em relação à Fase 1 ( $30,5 \pm 27,34$  mm), pode ter influenciado a melhor resposta obtida na fase mais chuvosa, pois um dos fatores mais limitantes para o crescimento do feijoeiro é a disponibilidade baixa de água durante a fase de crescimento, vegetativo e reprodutivo (Boutraa; Sanders, 2001).

O número de folhas teve crescimento, em média, de até 46 dias, em todos os tratamentos, sendo que a desfolha normalmente ocorre entre 60 e 75 dias. A partir desse momento, as vagens começaram a perder a cor e iniciou-se a desfolha, correspondendo à fase de enchimento dos grãos. A desfolha precoce pode ter sido influenciada por falta de algum nutriente não identificado e ainda pela presença do fungo *Uromyces appendiculatus*, associado à doença de ferrugem, ocasionando manchas brancas em algumas folhas, as quais posteriormente assumiram a coloração marrom-avermelhadas.

Acredita-se ainda que o volume de irrigação diário (200 mL por vaso – 80% da capacidade de campo) pode não ter sido o suficiente para garantir o aproveitamento máximo da colheita de grãos na Fase 1, o que influenciou no menor número de vagens e grãos coletados nessa fase, sendo que, como mencionado por Azevedo (1986), a quantidade de água para irrigação da cultura de feijão é influenciada pelo estágio de desenvolvimento da planta e ainda pela evaporação local, a qual tende a ser maior na fase seca, de modo que o número de vagens e grãos poderia ser maior ao obtido se considerada adição de maior parcela de água referente à evaporação mais intensa desse período.

#### 4 CONCLUSÃO

A qualidade dos efluentes tratados por sistemas *wetlands* construídos deste estudo tiveram os parâmetros dentro do requerido pela legislação de reuso agrícola do Brasil (COEMA nº 02/2017).

Não houve diferença estatística em relação aos valores da maioria das variáveis de produção estudadas, quando comparado o crescimento de pés de feijão irrigados com água de abastecimento e efluentes tratados.

O volume de irrigação adicionado às culturas foi considerado baixo para o atendimento da demanda hídrica da cultura no período seco, resultando em menor número de vagens e grãos. A seca favoreceu a maior disponibilidade de nutrientes para a planta, pois possivelmente não houve influência da lixiviação, como na fase chuvosa, porém, neste estudo não conseguimos afirmar se houve ou não lixiviação nas duas fases. Os cultivos irrigados com efluentes tratados produziram maior massa de grãos, indicando o potencial desses efluentes como biofertilizantes.

Assim, o uso de efluentes domésticos tratados mostrou-se uma alternativa viável ao uso de água potável para irrigação, pois as necessidades hídricas do feijoeiro podem ser supridas, conside-

rando-se o efeito da evaporação, principalmente nas regiões áridas e semiáridas, onde o problema da escassez de água faz parte do cotidiano das populações estabelecidas, e culturas de subsistência como o feijão Caupi podem produzidas sem ou com menor uso de fertilizantes químicos e com segurança sanitária.

## 5 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

**Metodologia:** Bermúdez V, Rodrigues K; **Trabalho em campo:** Bermúdez V, Cardoso B; **Redação do texto:** Bermúdez V, Rodrigues K; **Análise e discussão de dados:** Bermúdez V, Rodrigues K, Marinho G; **Análise estatística:** Andrade V; **Orientação:** Rodrigues K.

## 6 REFERÊNCIAS

- ABED, S. N.; SCHOLZ, M. Chemical simulation of greywater. **Environmental technology**, London, v. 37, n. 13, p. 1631- 1646, 2016. <https://doi.org/10.1080/09593330.2015.1123301>
- ABRANTES, F. L.; SÁ, M. E.; SOUZA, L. C. D.; SILVA, M. P.; SIMIDU, H. M.; ANDREOTTI, M.; BUZZETTI, S.; VALÉRIO FILHO, W. V.; ARRUDA, N. Uso de regulador de crescimento em cultivares de feijão de inverno. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 148-154, 2011. <https://doi.org/10.5216/pat.v41i2.8287>
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. **Atlas Irrigação:** uso da água na agricultura irrigada/ Agência Nacional de Águas. Brasília, DF: ANA, 2017.
- AGUIAR, A. T. E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; TUCCI, M. L. S.; CASTRO, C. E. F (eds.). **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2014.
- ALMUKTAR, S. A. A. N, ABED, S. N.; SCHOLZ, M. Recycling of domestic wastewater treated by vertical-flow wetlands for irrigation of two consecutive *Capsicum annum* generations. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 107, p. 82-98, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.07.002>
- AL-ZOU'BY, J. Y.; AL-ZBOON, K. K.; AL-TABBAL, J. A. Low-cost treatment of grey water and reuse for irrigation of home garden plants. **Environmental Engineering and Management Journal**, Lasi, v. 16 n. 2, p. 351-359, 2017. <https://doi.org/10.30638/eemj.2017.035>
- ARDEN, S.; MA, X. Constructed wetlands for greywater recycle and reuse: a review. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 630, p. 587-599, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.218>
- AZEVEDO, J. A. **Irrigação do feijoeiro:** Circular técnica n° 23. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1986.
- BOUTRAA, T.; SANDERS, F. E. Influence of water stress on grain yield and vegetative growth of two cultivars of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of agronomy and crop science**, Berlin, v. 187, n. 4, p.251-257, 2001. <https://doi.org/10.1046/j.1439-037X.2001.00525.x>
- CEARÁ. Resolução COEMA nº02, de 02 de Fevereiro de 2017. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. **Diário Oficial**, Fortaleza, 21 de fev. de 2017. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=337973>. Acesso em: 2 de set. 2023.
- COSTA, R. de O. *et al.* Graywater treatment in controlled agricultural production unit associated with hydrocyclone. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 3, e11110312884, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i3.12884>
- CUNHA, A.; BRASIL, E.; VIEIRA, J.; GOMES, F.; MOURA, T. R. Reutilização de água residuária de origem doméstica para cultivo de tomate Santa Cruz. **Revista mirante**, Anápolis, v. 8, n. 3, 2015.
- DOURADO NETO, D. *et al.* Ação de bioestimulante no desempenho agrônomo de milho e feijão . **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, p. 371-379, 2014.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY–EPA. **Manual guidelines for water reuse**. Washington, DC: EPA, 2004. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-08/documents/2004-guidelines-water-reuse.pdf>
- FEITOSA, T.; GARRUTI, D. S.; LIMA, J. R.; MOTA, S.; BEZERRA, F. M. L.; AQUINO, B. F.; SANTOS, A. B. Qualidade de frutos de melancia produzidos com reuso de água de esgoto doméstico tratado. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. 30, n. 1, p. 53-60, 2009.
- FONSECA, A. F.; HERPIN, U.; PAULA, A. M.; VICTÓRIA, R. L.; MELFI, A. J. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, p. 194-209, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162007000200014>
- FREIRE FILHO, F. R. **Feijão-caupi no Brasil:** produção, melhoramento genético, avanços e desafios. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011.
- FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E CHUVAS ARTIFICIAIS – FUNCEME. **Funceme**, 2022. Página inicial. Disponível em: <http://www.funceme.br/>. Acesso em: 07 de out. 2023.

- GHUNMI, L. A.; ZEEMAN, G.; FAYYAD, M.; VAN LIER, J. B. Grey water treatment in a series anaerobic – Aerobic system for irrigation. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 101, n. 1, p. 41-50, 2010.
- GONÇALVES, R. F.; SIMÕES, G. M. S.; WANKE, R. Reuso de águas cinzas em edificações urbanas – Estudo de caso em Vitória (ES) e Macaé (RJ). **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales**, Coyoacan, v. 3, n. 1, p. 120-131, 2010.
- LAVRNIC, S.; NAN, X.; BLASIOLI, S.; BRASCHI, I.; ANCONELLI, S.; TOSCANO, A. Performance of a full scale constructed wetland as ecological practice for agricultural drainage water treatment in Northern Italy. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 154, e105927, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105927>
- LEHMANN, J.; SCHROTH, G. Nutrient Leaching. In: SCHROTH, G.; SINCLAIR, F. (eds.). **Trees, crops and soil fertility: Concepts and research methods**. Washington, DC: CABI Publishing, 2003. p. 151-166.
- OLIVEIRA, E. C.; CARVALHO, J. D. A.; REZENDE, F. C.; FREITAS, W. A. D. Viabilidade técnica e econômica da produção de ervilha (*Pisum sativum* L.) cultivada sob diferentes lâminas de irrigação. **Engenharia Agrícola**, São Paulo, v. 31, n. 2, p. 324-333, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162011000200012>
- OLIVEIRA, F. de A.; MEDEIROS, J. F.; ALVES, R. de C.; LIMA, L. A.; SANTOS, S. T.; RÉGIS, L. R. de L. Produção de feijão caupi em função da salinidade e regulador de crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina grande, v. 19, n. 11, p. 1049-1056, 2015. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n11p1049-1056>
- PATIL, P. D.; BHANGE, V. P.; SHENDE, S. S.; GHORPADE, P. S. Greywater characterization of an Indian household and potential treatment for reuse. **Water-Energy Nexus**, Amsterdam, v. 5, p. 1-7, 2022.
- REGO, J. de L. *et al.* Uso de esgoto doméstico tratado na irrigação da cultura da melancia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina grande, v. 9, n. 1, p. 155-159, 2005. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v9nsupp155-159>
- ROSSI, G.; MAINARDIS, M.; ANEGGI, E.; WEAVERS, L. K.; GOI, D. Combined ultrasound-ozone treatment for reutilization of primary effluent— a preliminary study. **Environmental Science and Pollution Research**, [s. l.], v. 28, p. 700-710, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10467-y>
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. Painel de informações. **Ministério das Cidades**, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel>. Acesso em: 6 mar. 2025.
- SOUSA, J. T. de.; CEBALLOS, B. S. O. de; HENRIQUE, I. N.; DANTAS, J. P.; LIMA, S. M. S. Reuso de água residuária na produção de pimentão (*Capsicum annuum* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina grande, v. 10, n. 1, p. 89-96, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000100014>
- SOUSA, B. A. A.; NETO, C. D. S. N.; DE ABREU, A. A.; DA SILVA, C. S. Implantação e avaliação de um sistema para tratamento de água cinza. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 3531-3552, 2020.
- SOUZA, C. C.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA, I. F.; AMORIM NETO, M. S. Avaliação de métodos de determinação de água disponível e manejo da irrigação em terra roxa sob cultivo de algodoeiro herbáceo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina grande, v. 4, n. 3, p. 338-342, 2000. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662000000300006>
- SOUZA, L. H.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; VILLANI, E. M. A. Efeito do pH do solo rizosférico e não rizosférico de plantas de soja inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* na absorção de boro, cobre, ferro, manganês e zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, São Paulo, v. 34, n. 5, p. 1641-1652, 2010.
- UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. **Wastewater: the Untapped Resource** (The United Nations World Water Development Report 2017). Paris: UNESCO, 2017.
- VOULVOULIS, N. Water reuse from a circular economy perspective and potential risks from an unregulated approach. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, Amsterdam, v. 2, p. 32-45, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.01.005>.
- WIEDENFELD, B. Scheduling water application on drip irrigated sugarcane. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 64, n. 2, p. 169-181, 2004.
- YAN, W.; FRÉGEAU-REID, J. Breeding line selection based on multiple traits. **Crop Science**, [s. l.], v. 48, n. 2, p. 417-423, 2008. <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.05.0254>