

Estudo da viabilidade técnica do reúso complementar de águas cinzas e aproveitamento de água de chuva na agricultura de sequeiro de milho no Semiárido nordestino

- **Data de entrada:** 10/06/2022
- **Data de aprovação:** 17/05/2023


Study of the technical feasibility of complementary reuse of gray water and use of rainwater in maize agriculture in the semi-arid northeast

Tayná Marques Santana^{1*} | José Lima de Oliveira Júnior¹ | Germário Marcos Araújo¹ | Dayane de Andrade Lima²


DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2024.027>

ORCID ID

Santana TM  <https://orcid.org/0000-0003-3636-8694>

Oliveira Júnior JL  <https://orcid.org/0000-0001-7438-8915>

Araújo GM  <https://orcid.org/0000-0002-3388-0265>

Lima DA  <https://orcid.org/0000-0003-2407-9991>

Resumo

Este estudo foi realizado no distrito de Alagoinha, em Araripe (CE), e tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica da integração do reúso de águas cinzas, originárias das residências, e de água de chuva, por meio de barragens subterrâneas, para fertirrigação de cultura do milho. A proposta metodológica utilizada foi do tipo descritiva, quantitativa e técnica, com uma análise por meio de abordagem teórica, dados e estimativas. O sistema se mostrou favorável com indicação da capacidade de armazenamento de 49.659,89 m³, sendo 10.344,43 m³ de águas de chuva e 39.315,46 m³ de águas cinzas, o que atende a demanda necessária na irrigação da cultura do milho em uma área de 10,68 ha. Portanto, com a implantação desse sistema se pôde concluir que, considerando uma variação dos valores do milho de R\$ 85,00 a R\$ 100,00, haveria um faturamento anual de R\$ 27.179,55, garantindo benefícios ambientais e financeiros à comunidade.

Palavras-chave: Reúso de águas cinzas. Barragem subterrânea. Fertirrigação.

Abstract

This study was carried out in the district of Alagoinha, in Araripe (CE), and aims to evaluate the technical feasibility of integrating the reuse of gray water, originating from residences, and rainwater, with underground dams, for fertigation of agricultural maize crops. The methodological proposal used was descriptive, quantitative, and technical, with an analysis by a theoretical approach, data, and estimates. The system proved to be favorable indicating a storage capacity of 49,659.89 m³, 10,344.43 m³ of rainwater and 39,315.46 m³ of gray water, which meets the necessary demand for irrigating maize crops in an area of 10.68 ha. Therefore, with the implementation of this system it was possible to conclude that, considering maize varying in value from R\$ 85.00 to R\$ 100.00, the annual turnover would be of R\$ 27,179.55, ensuring environmental and financial benefits to the community.

Keywords: Reuse of gray water. Underground dam. Fertigation.

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Juazeiro do Norte – Ceará – Brasil

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Morada Nova – Ceará – Brasil

* **Autora correspondente:** tayna.marques.santana06@aluno.ifce.edu.br

1 INTRODUÇÃO

O sertanejo convive com a escassez hídrica e com a instabilidade e má distribuição das chuvas durante considerável parcela do ano. Tais fatores ocasionam dificuldades na produção de alimentos essenciais, principalmente para o pequeno agricultor. Diante disso, o uso de fontes alternativas de recursos hídricos pode ser empregado nesses casos, minimizando o impacto das secas notórias do Semiárido nordestino.

De acordo com Hespanhol (2002), a agricultura carece de suprimento de água em uma demanda muito elevada a fim de garantir a sustentabilidade da produção de alimentos, a menos que sejam desenvolvidas fontes inovadoras de suprimento e que haja gerência apropriada dos recursos hídricos convencionais. A necessidade crescente do uso da água em lugares onde ocorre baixa oferta hídrica requer a conscientização urgente da sociedade quanto à racionalização do uso desse recurso, tornando o reúso integrado ao aproveitamento das águas de chuva fontes alternativas importantes para equilibrar o balanço hídrico no contexto dos usos múltiplos de água doce. O desenvolvimento econômico e a qualidade de vida das pessoas é prejudicado expressivamente não somente em regiões áridas e semiáridas, mas também em outros lugares do Brasil e do mundo, alertando para a possibilidade de conflitos pelo uso de recursos hídricos e restrições ainda maiores de consumo se soluções mitigadoras desse impacto não forem postas por obra, a exemplo da proposição de fertirrigação de culturas agrícolas com águas residuárias cinzas tratadas que é complementada com o aproveitamento de águas de chuva e o devido manejo agrônomico das culturas, tanto no âmbito da agricultura familiar quanto do agronegócio.

A proposta de novas alternativas visando a sustentabilidade da produção agrícola, como o uso de águas residuárias utilizadas em irrigação para produção de culturas prioritárias, torna-se um potencial alternativo, promovendo uma forma

efetiva de controle da poluição e uma solução para o aumento da disponibilidade hídrica, com ganhos relacionados às questões econômicas, ambientais e de saúde pública. (Ferreira *et al.*, 2014; Cirelli; Arumí; Rivera, 2009).

No Semiárido, a forma de agricultura predominante é a de subsistência, utilizada nas pequenas comunidades rurais nas condições de sequeiro que têm uma incidência de precipitações pluviométricas médias anual inferiores a 800 mm, centralizadas nos quatro primeiros meses do ano e agregadas a uma elevada taxa de evapotranspiração (2000 mm/ano) (Brito; Moura; Gama, 2007). Diante dessa realidade, os solos são erodidos, pobres em nutrientes e em matéria orgânica e com possível degradação permanente pela diminuição do estoque de carbono e nitrogênio deles (Fraga, 2002).

A fertirrigação por meio do emprego de águas residuárias tratadas pode ser útil nesse contexto. De fato, a reutilização dessas águas oriundas especialmente de efluentes domésticos, se promovido o devido tratamento, deve ser encorajada desde que sejam devidamente equacionadas as características, condições e fatores locais, tais como gestão política, metodologias institucionais, desimpedimento técnico e fatores econômicos, sociais, ambientais e culturais (Hespanhol, 2008).

Sojka, Bjerneberg e Entry (2006) demonstram ser necessários cerca de 250 milhões de hectares adicionais de área cultivadas pelo método de agricultura de sequeiro diante do emprego da agricultura irrigada, em termos proporcionais, para que pese o fato de que a intensificação da produção das culturas agrícolas ainda favorece o crescimento do produto interno bruto dos países com conseqüente atenuação da miséria. O Atlas Irrigação, publicado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), estabelece que a agricultura irrigada corresponde a um setor de consumo mundial de aproximadamente 50% do uso de água bruta proveniente de mananciais

superficiais e subterrâneos, alcançando uma projeção de até 76% de aumento no potencial de expansão estimado em 4,2 Mha até o ano de 2030 (ANA, 2021). Para a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) (2011), os países com baixo grau de desenvolvimento que ainda utilizam processos agrícolas de sequeiro são caracterizados por uma baixa produção agrícola, implicando na comercialização e consequentemente na economia. No manejo da cultura do milho irrigado é importante estabelecer o momento correto de aplicar água, a sua respectiva lâmina, a quantidade e quando se deve aplicar, para que o grão se desenvolva impulsionando seu crescimento (Andrade *et al.*, 2006).

Na Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU) (2022) se deu um compromisso global firmado em 2015 entre 193 Estados-membros, que estabeleceu 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Através dessa agenda, os signatários se comprometeram, de forma conjunta e colaborativa, a assumir metas e indicadores para minimizar e cessar os efeitos das mudanças climáticas. Entre os 17 ODS, o sexto se refere a garantir a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas as pessoas. No território nacional, em 15 de julho de 2020, foi publicada a Lei nº 14.026/2020 que atualiza o marco legal do saneamento básico, concedendo à ANA competências a fim de estabelecer normas de referência para regulação (entre outros mais) da prestação universalizada e para a sustentabilidade dos serviços públicos de saneamento básico no país. Compete à ANA o estabelecimento de normas de referência como a reutilização dos efluentes sanitários tratados, em conformidade com as normas ambientais e de saúde pública. Uma diretriz nacional estabelecida para o saneamento básico é a redução e controle das perdas de água, inclusive na distribuição de água tratada, o estímulo à racionalização de seu consumo pelos usuários e o fomento à eficiência energética, ao

reúso de efluentes sanitários e ao aproveitamento de águas de chuva (Brasil, 2020).

No contexto da prática de fertirrigação, que utiliza águas residuárias tratadas como alternativa tecnológica, para o fomento de agricultura irrigada empregando o reúso, a ANA (2005) apresenta as águas cinzas como alternativa, sendo constituídas por contribuições dos efluentes gerados de banheiros, chuveiros, lavatórios, máquinas de lavar roupas e pias de cozinha.

Já para a proposta de reúso doméstico de águas residuárias sem a separação de efluentes, a NBR 13.969:1997 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997) classifica as águas de reúso segundo a qualidade pretendida em quatro classes, sendo a Classe 4 aquela que corresponde ao reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos por meio de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual, com padrões de qualidade sanitária requeridas em termos de indicadores de contaminação fecal inferiores a 5000 NMP/100 ml e oxigênio dissolvido acima de 2,0 mg/L, além de ser recomendado ainda o manejo em que a aplicação do efluente tratado seja interrompida pelo menos dez dias antes da colheita.

No estado do Ceará, a resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente, COEMA nº 2 de 2017 no seu Art. 39 (Ceará, 2017), preconiza, quanto ao reúso externo de efluentes sanitários com finalidades agrícolas e florestais, uma concentração de coliformes termotolerantes até 1000 CT/100 mL, de ovos de geohelminhos até 1 ovo/L de amostra, uma condutividade elétrica de até 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, o pH entre 6,0 e 8,5, e uma razão de adsorção de Sódio – RAS de 15 $\text{mmol}/\text{L}^{-1}$.

Como fator colaborador integrado na gestão alternativa de recursos hídricos e no contexto da proposição de agricultura irrigada para o semiárido, além do reúso de águas residuárias se pode dispor de outros métodos de convivência em

regiões semiáridas, entre esses os de acumulação, a exemplo de barragens subterrâneas.

O reservatório tem por finalidade acumular e armazenar a água para utilização nos períodos de estiagem para uso na irrigação da área. Dessa maneira, as águas pluviais podem ficar armazenadas por grandes períodos ao longo do ano sem comprometer sua qualidade e possíveis impactos ambientais pela contaminação do solo podem ser evitados, como não utilizando agrotóxicos na área de captação desse reservatório.

Para Costa (2015), o volume acumulado e disponibilizado em barragens subterrâneas varia com as dimensões do depósito aluvial, a largura do vale e a espessura dos sedimentos, bem como com a extensão para montante, a declividade do leito, a relação entre a calha viva e os terraços aluviais.

A estrutura das barragens apresenta parede ou septo impermeável, devendo conter: parte da camada impermeável ou da rocha com até 0,7 m de altura acima da superfície do terreno, com seleção de área situada em linhas de drenagem natural; solos aluviais, com profundidade da camada impermeável de no mínimo 1,5 m, para justificar o barramento, e no máximo de 4 m; e textura média a grossa e declividade de até 4%, para proporcionar maior extensão no armazenamento da água (Silva, 2007).

A integração do reúso de águas cinzas ao aproveitamento de águas de chuva por meio de barragens subterrâneas constitui em uma proposta a ser investigada em sua viabilidade técnica, considerando seu emprego na fertirrigação de cultura do milho em comunidade rural no contexto semiárido. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a implantação de um sistema captando águas cinzas provenientes das residências do distrito de Alagoinha, município de Araripe (CE), com aproveitamento integrado à captação e armazenamento de água de chuva, na irrigação de plantio de milho.

2 METODOLOGIA

Esta pesquisa, de caráter descritivo e quantitativo, avaliou a viabilidade técnica da aplicação de água cinza tratada, integrada à captação e armazenamento de água de chuva, na irrigação complementar da cultura do milho na agricultura de sequeiro, sendo dividida nas seguintes fases:

- 1) Calcular uma estimativa da quantidade de água de chuva capaz de ser armazenada na barragem subterrânea durante o ano, levando em consideração a média anual de precipitação normal climatológica na área de estudo durante o ano de 2021;
- 2) Cálculo do balanço hídrico entre a oferta e demanda de efluente tratado proveniente da água cinza gerada na comunidade de Alagoinha somada à água de chuva captada, disponibilizada e armazenada anualmente na quadra chuvosa;
- 3) Concepção técnica das unidades de sistema para implantação do reúso complementar de águas cinzas a ser integrado ao aproveitamento de águas de chuva armazenadas em barragens subterrâneas.

2.1 Caracterização da área de estudo

O local selecionado para a pesquisa foi o distrito de Alagoinha, localizado a uma distância de 19 km ao norte do município de Araripe. O município de Araripe está situado em Latitude 7° 12' 45" e Longitude 40° 02' 46", ao norte a cidade de Potengi, ao sul o estado de Pernambuco, ao leste de Santana do Cariri e ao oeste de Salitre. Com um clima predominantemente tropical, quente e semiúmido, a pluviosidade é de 633,4 (mm) e a temperatura média nos meses mais frios varia de 22°C a 24°C, com o período chuvoso acontecendo de janeiro a maio. O bioma dessa região é a caatinga, específica do Sertão e o único bioma exclusivo do Brasil, em que se perde suas folhas na estação seca e a flora apresenta espécies de pequeno porte, algumas delas apresentando espinhos em sua estrutura (Governo do Estado do Ceará, 2009). Entre as

espécies mais encontradas estão, além das cactáceas: o angico, a aroeira, o faveleiro, o xique-xique, o juazeiro, a jurema-preta, o mandacaru, o marmeleiro, a braúna e a catingueira. A Figura 1 apresenta a localização do distrito e seus setores censitários.

A área total do distrito de Alagoinha, local de estudo, é de 515.629 m² aproximadamente, e suas coordenadas, de acordo com o Google Earth Pro (2021), são Latitude 7° 4 '58.55" S, Longitude 40° 10' 17.85" O.

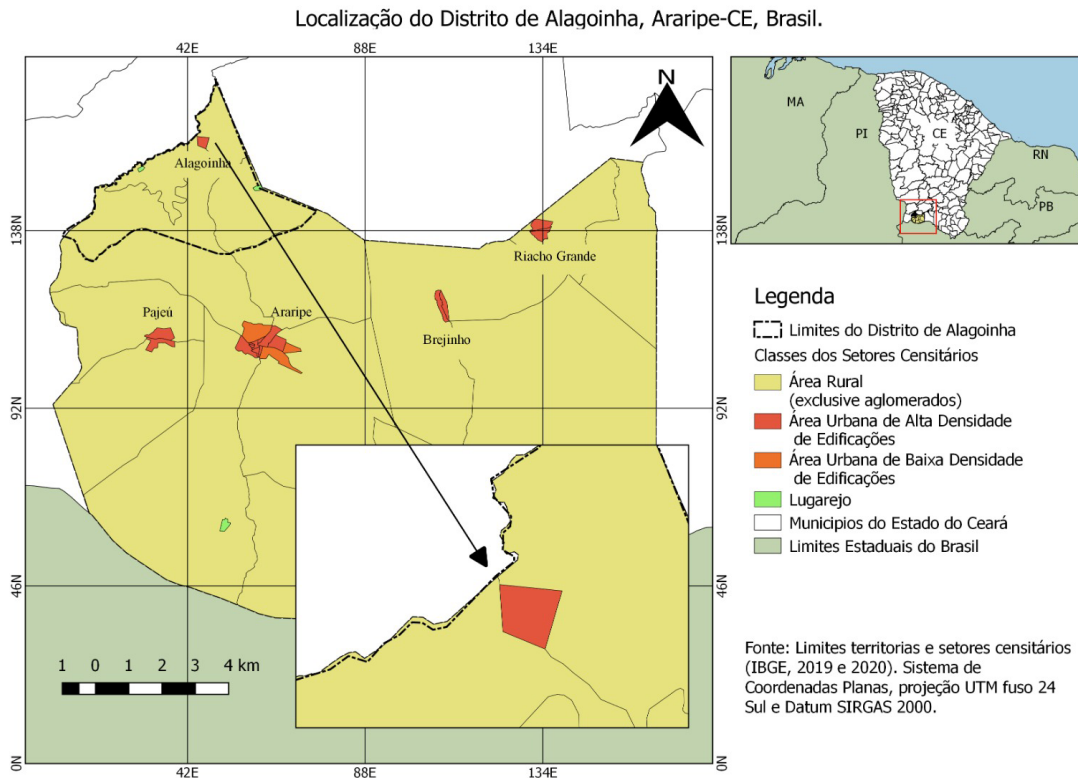


Figura 1 – Localização do Distrito e seus Setores Censitários.

Fonte: Software Qgis, Versão 2.18, adaptado pela autora (2022).

2.2 Oferta de água da chuva no cultivo do milho

Para a estimativa de volumes no aproveitamento da água de chuva, foram considerados os dados da pluviosidade do local de em média 633,4 mm, com a quadra chuvosa do distrito ocorrendo entre quatro e cinco meses e concentradas nos quatro primeiros meses do ano. A Tabela 1 apresenta o calendário de chuvas do município de Araripe (CE).

O milho, cultura investigada neste trabalho, demanda em seu ciclo médio completo cultivado para a produção de grãos secos uma lâmina de

400 a 700 mm de água, dependendo da variabilidade das chuvas (Andrade *et al.*, 2006).

A produtividade média do cultivo de milho foi tomada a partir das informações disponíveis entre os agricultores locais. Ela se situa em torno de 600 Kg.ha⁻¹, considerando 10 sacas x 60 kg por saca, por cada hectare. A área total potencial disponível para o plantio de milho para a investigação neste trabalho foi de 16,5 hectares.

A oferta hídrica potencial proveniente das chuvas anuais foi estimada através da Equação 1.

Tabela 1 – Calendário de chuvas mensais do município de Araripe (CE).

Mês	Normal (mm)	Observado (mm)	Desvio%
Janeiro	112	75.5	-32.6
Fevereiro	131.6	104.5	-20.6
Março	192	206.5	7.6
Abril	148.3	132.9	-10.4
Mai	37.3	75.3	101.9
Junho	5	6.4	27.4
Julho	3.3	3.7	10.6
Agosto	1.2	0	-100
Setembro	3.1	3.8	22.4
Outubro	7	3.7	-47.6
Novembro	22.6	26.5	17.1
Dezembro	61	47.2	-22.7

Fonte: Adaptado dos dados da FUNCEME, 2021.

$$O_{HC} = P \times A_p \quad \text{Equação 1}$$

O_{HC} = Oferta hídrica de chuva na área disponível para plantio (l/ano);

P = Pluviosidade (mm.ano⁻¹);

A_p = Área de plantio (m²).

2.3 Armazenamento e captação de água nas barragens subterrâneas

De acordo com o Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR) (2016), pode-se estimar o volume de água na massa de solo no interior de uma bacia hidráulica para se delinear o seu uso no tempo

com as culturas adequadas. Para uma estimativa simples é proposto um cálculo do volume de água retido pela barragem, levando-se em consideração a declividade da área de 1% semelhante à rocha que está abaixo e a porosidade média do solo de 50%. O volume máximo retido pode ser dado por:

$$V_{(m^3)} = 25 \times C \times Pm^2 \quad \text{Equação 2}$$

V = Volume acumulado na bacia (m³)

C = Comprimento da vala escavada (m)

Pm² = Profundidade média da vala (m)

A barragem subterrânea deve possuir, longitudinalmente (ao longo do curso), inclinação (ou declividade) mais suave possível, a fim de permitir que a água armazenada se estenda a uma maior distância. A inclinação média do terreno é de 0.1%, – 4.0%, e a máxima de 3.3%, – 6.7%.

Para se obter a estimativa da vazão de escoamento da área se utilizou o método racional, desenvolvido pelo irlandês Thomas Mulvaney em 1851, no qual seu uso é limitado a pequenas áreas (até 80 ha). Esse método

é utilizado quando se tem os dados de chuva, mas sem dispor dos dados de vazão. O Método Racional é largamente utilizado na determinação da vazão máxima de projeto para pequenas bacias hidrográficas ($\leq 2 \text{ km}^2$) (Tomaz, 2002).

A equação racional estima a vazão máxima de escoamento de uma determinada área sujeita a uma intensidade máxima de precipitação com um determinado tempo de concentração, a qual é assim representada (Tomaz, 2002):

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360} \quad \text{Equação 3}$$

Q = vazão máxima de escoamento, ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$);

C = coeficiente de run off (adimensional);

I = intensidade média de precipitação ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$);

A = área de contribuição da bacia (hectare).

O valor de *runoff* empregado para o cálculo das estimativas de aproveitamento de água de chuva neste trabalho foi de 0,20 C, correspondente a matas, parques e campos. (Wilken, 1978).

Para se obter o volume total da barragem com base no volume das chuvas e o volume que é escoado na área, o modelo matemático do método racional estimou a quantidade escoada superficialmente, a fim de se avaliar o volume convergente da barragem.

2.4 Determinação da oferta de águas cinzas

Para a determinação do volume gerado de esgoto doméstico, foram considerados os dados disponibilizados pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) do distrito de Alagoinha, que informaram a existência de 405 famílias residentes na localidade com ligações ativas

de água encanada. Esse efluente, correndo a céu aberto, deveria ser captado por meio de canalizações com extensão estimada de cerca de 2.259,23 m e com bombeamento previsto em dois trechos, a fim de garantir afluência até à área onde deverá ser instalada a estação de tratamento dos esgotos gerados. Foi estimado através da Equação 4.

2.4.1 Cálculo da população

A população inicial foi estabelecida considerando um número de residentes de 4,22 habitantes por domicílio, baseando-se no perfil básico municipal (Governo do Estado do Ceará, 2009). Para o cálculo foram consideradas o número de ligações ativas, com base em informações colhidas no local com o operador da estação de tratamento de água de abastecimento.

$$P = Nr \times To$$

Equação 4

P = População (hab.)

Nr = Número de residências (com ligações ativas)

To = Taxa de ocupação (hab./res.)

2.4.2 Cálculo das vazões de esgoto doméstico

Adotou-se a contribuição per capita de 100 L/hab.d para localidades do interior (CAGECE, 2010); o Coeficiente de retorno R = 80% (0,80) (ABNT, 1986); e, para a vazão média, a Equação 5.

2.4.3 Cálculo da vazão de água cinza da comunidade

Para a determinação da quantidade gerada de águas cinzas e a lâmina correspondente, utilizamos as contribuições do efluente total da comunidade.

De acordo com Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) (2009), em seu tra-

balho realizado em uma residência foi identificado o perfil de consumo para testes de um sistema de reúso, em que o percentual de consumo por peça hidrossanitária na residência estudada foram: na cozinha, 15 % de contribuição; nos lavatórios e chuveiros, 29 %; nos tanques e máquinas de lavar roupas, 35 %; e nos vasos sanitários, 21%. A partir desses dados se estimou o índice de águas cinzas de aproximadamente 80%. Com base na vazão média do efluente total gerado e subtraindo dessa fração a porcentagem equivalente de água cinza, obtemos a disponibilidade do volume em dias.

$$\underline{Q}_{med.} = \left(\frac{Pop \times QPC \times R}{86400} \right)$$

Equação 5

$\underline{Q}_{med.}$ = Vazão média (L/s);

Pop = População (hab);

QPC = Consumo per capita (L/hab.dia);

R = Coeficiente de retorno;

De acordo com o PROSAB (2009), podemos considerar os parâmetros e estimar a vazão de águas cinzas pertinentes a comunidade da seguinte forma:

$$Q_{ac} = \underline{Q}_{med.} \times I_{ac}$$

Equação 6

Q_{ac} = Vazão de água cinza (L/dia);

$\underline{Q}_{med.}$ = Vazão de esgoto (L/dia);

I_{ac} = Índice de águas cinzas (80% = 0,8).

2.5 Área possível de ser plantada com a oferta de água armazenada

A necessidade da cultura para uma safra foi medida calculando a lâmina a partir de uma demanda de água admitida em cerca de 465 mm, valor levemente superior ao mínimo necessário para a cultura do milho e que se adequa ao valor

médio de chuvas na região. A duração, em meses, da safra de milho foi admitida como quatro meses.

A extensão da área capaz de ser usada para plantio de milho foi calculada com base na quantidade de água possível de ser armazenada na barragem subterrânea. Para isso, empregou-se a Equação 7:

$$A_p = \frac{D_{HS}}{L_{nc}} \quad \text{Equação 7}$$

A_p = Área de plantio (m^2).

D_{HS} = Demanda hídrica da cultura por safra (L);

L_{nc} = Lâmina de necessidade da cultura ($L.m^{-2}$);

2.6 Concepção técnica do sistema

A elaboração da concepção do sistema de reúso se sucedeu com o estudo da área por meio de características presentes na superfície do território e na topografia do terreno. Analisando as cotas do terreno e os perfis de elevação gerados no Google Earth Pro e as curvas de nível obtidas e manipuladas no software Qgis v.2.18.25., com bases coletadas via banco de dados geomorfológicos do Brasil (TOPODATA) e inseridas no software AutoCAD versão estudantil, foi possível traçar a localização das unidades de captação e tratamento das águas cinzas com intuito ilustrativo.

ser armazenada na barragem subterrânea anualmente. É proposto que seja utilizada para plantio apenas uma área (apresentada posteriormente na Tabela 3) possível de ser irrigada com a água disponível, para que a plantação não seja prejudicada por falta de água. Assim, o valor da oferta hídrica anual acaba se tornando também o valor da demanda hídrica anual da plantação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Balanço hídrico

De acordo com os dados tratados, foi estimado uma oferta anual de 10.344,43 m^3 de águas de chuva e 39.315,46 m^3 de águas cinzas. As dimensões da área usada para plantação, que será irrigada com a oferta anual total de água, foram estimadas com base no volume total de água que é possível de

3.2 Oferta anual de água da chuva e águas cinzas para armazenamento na barragem subterrânea

3.2.1 Disponibilidade de água de chuva

Os valores obtidos de precipitação mensal de água de chuva na área estudada foram obtidos a partir da Equação 1 ($O_{HC} = P \times A_p$), sendo admitidos como pluviosidade (P) os valores apresentados na Tabela 1 para cada mês do ano (valores mensais correspondentes a Normal Climatológica). O valor da área de plantio (A_p) adotado foi de 7,14 ha. Essa área corresponde à fração do terreno investigado neste trabalho, que possui declividade favorável

para que a água das chuvas que precipitam no terreno escoem para o local onde será construída a barragem subterrânea, podendo assim ser armazenada. O valor da área foi estimado a partir da demarcação poligonal, da análise dos perfis de elevação gerados pelo Google Earth Pro e das curvas de nível do terreno estudado. A Tabela 2 expõe os resultados desses cálculos (Água Precipitada na Área).

Para se obter os valores da quantidade de água das chuvas que pode ser captada mensalmente pela barragem subterrânea, por meio do escoamento da água que se precipita na área estudada, foi empregada a Equação 3. Os valores aplicados, assim como os resultados, foram adaptados para os dados a serem exibidos em m³/mês. A Tabela 2 expõe os resultados desses cálculos (Captação de água de chuva).

3.2.2 Disponibilidade de água cinza

A oferta mensal de águas cinzas a ser captada para uso em plantio foi calculada com base nas Equações 4, 5 e 6. O valor exato da população do distrito de Alagoinha não pode ser informado pelos órgãos governamentais do município responsável devido falta de estudos que determinassem a população do distrito isoladamente, sem somar com os valores das vilas próximas. Para a realização dos cálculos, foram admitidos 405 como o número de residentes com ligações de água encanada ativas, 4,22 como taxa de ocupação, consumo médio de 100 L/hab.dia e 0,8 como coeficiente de retorno e índice de águas cinzas no esgoto produzido nas residências. Como

resultado, obtemos o valor de 3.276,29 m³/mês, o mesmo que 39.315,46 m³/ano.

3.2.3 Oferta total de água para ser utilizada no plantio de milho

A oferta total de água armazenada mensal e anualmente na barragem subterrânea pode ser vista na Tabela 2 (Captação total de água), em que os valores apresentados são resultado da soma dos volumes de água de chuva e águas cinzas armazenados mensalmente. A oferta anual de água armazenada na barragem subterrânea para ser usada em uma possível safra adicional de milho foi estimada em 49.659,89 m³.

O uso da Equação 2 nos proporciona saber se a barragem subterrânea comporta a água calculada para ser captada anualmente em seu interior. O comprimento da vala a ser escavada foi estimado em 136 m por meio do software Google Earth Pro 2022, após análise do comprimento da fração do terreno com declividade favorável para a construção da referida barragem. Segundo Melo e Anjos (2017, p. 30) a profundidade média da vala deve ser estimada em 4,5 m, que é o máximo que a maioria das retroescavadeiras podem chegar. Para uma profundidade maior seria necessária escavação manual, que não é indicada devido riscos de desmoronamento de solo. Como resultado, obtemos uma capacidade de armazenamento para a barragem subterrânea de 68.850 m³. Com isso, constatamos que não há risco de sobrecarregar a barragem subterrânea, dado que esse volume se trata do limite máximo de armazenamento suportado.

Tabela 2 – Disponibilidade anual de água de chuva e águas cinzas.

Meses	Precipitação pluviométrica ¹ (mm)	Água precipitada na Área ² (m ³)	Captação de água de chuva ³ (m ³)	Captação de águas cinzas ⁴ (m ³)	Captação total de água ⁵ (m ³)
Janeiro	112	7.996,80	1.599,36	3.276,29	4.875,65
Fevereiro	131,6	9.396,24	1.879,25	3.276,29	5.155,54
Março	192	13.708,80	2.741,76	3.276,29	6.018,05

continua...

Tabela 2 – Continuação...

Meses	Precipitação pluviométrica ¹ (mm)	Água precipitada na Área ² (m ³)	Captação de água de chuva ³ (m ³)	Captação de águas cinzas ⁴ (m ³)	Captação total de água ⁵ (m ³)
Abril	148,3	10.588,62	2.117,72	3.276,29	5.394,01
Mai	37,3	2.663,22	532,64	3.276,29	3.808,93
Junho	5	357,00	71,40	3.276,29	3.347,69
Julho	3,3	235,62	47,12	3.276,29	3.323,41
Agosto	1,2	85,68	17,14	3.276,29	3.293,42
Setembro	3,1	221,34	44,27	3.276,29	3.320,56
Outubro	7	499,80	99,96	3.276,29	3.376,25
Novembro	22,6	1.613,64	322,73	3.276,29	3.599,02
Dezembro	61	4.355,40	871,08	3.276,29	4.147,37
Total anual	724,4	51.722,16	10.344,43	39.315,46	49.659,89

¹ Baseado na normal climatológica de 30 anos (FUNCEME, 2021).

² Precipitação mensal de água de chuva na área de estudo.

³ Água da chuva captada na barragem subterrânea mensalmente.

⁴ Disponibilidade de água cinza no distrito de Alagoinha.

⁵ Volume de água disponível mensalmente para plantio de milho somadas as quantidades adquiridas com chuvas e águas cinzas.

3.3 Estimativa de produção de milho

O período de plantio do milho na região ocorre nos primeiros quatro meses do ano, de janeiro a abril, em que as chuvas suprem completamente a necessidade hídrica da cultura do milho (465 mm). Assim, a água que é armazenada na barragem subterrânea (água de chuva e águas cinzas) no primeiro quadrimestre do ano fica inteiramente disponível para ser utilizada em plantio no segundo ou terceiro quadrimestre, juntamente com o volume de água que já seria obtida nesse período.

Com o emprego da Equação 7 é possível calcular a dimensão da área de estudo que pode ser utili-

zada para plantio de milho nas safras adicionais, tomando como base a quantidade de água que foi possível ser armazenada anualmente na barragem subterrânea. Na Tabela 3 são comparados valores calculados para serem atingidos na quadra chuvosa (primeiro quadrimestre do ano) e em uma possível safra adicional de milho, que são (respectivamente): valores do volume de água disponível para plantio de milho, tamanho da área possível de ser plantada, quantidade de milho que pode ser produzida na área estimada para plantio e o faturamento que pode ser alcançado baseado na variação do preço da saca de milho do ano de 2021, que variou entre R\$ 85,00 e R\$ 100,00 na região de estudo.

Tabela 3 – Estimativa de produção de uma safra adicional comparada a produção no período da quadra chuvosa.

Período	Total de água disponível (m ³)	Área irrigável (ha)	Milho produzido (t)	Faturamento (R\$)	
				85	100
Quadra chuvosa	96.343,5	16,50	9,90	14.025,00	16.500,00
Safra adicional	49.659,89	10,68	6,41	9.077,61	10.679,55

3.4 Concepção técnica proposta

Propõe-se um sistema alternativo adaptado capaz de coletar toda a contribuição de águas cinzas das residências do distrito, por meio de uma rede coletora de águas cinzas.

As águas serão encaminhadas por gravidade e/ou por recalque à uma Estação de Tratamento de águas cinzas composta de decanto-digestores, seguidos de filtros biológicos percoladores, e posterior desinfecção por cloração anterior à aplicação do efluente na área irrigada, sendo instalada no barrilete principal da linha de irrigação através de clorador de pastilha e distribuída na

área conjuntamente com a água da chuva, armazenada na barragem subterrânea por meio de barriletes hidráulico de mistura interconectados a partir de fustes provenientes de reservatórios elevados distintos de acumulação de água cinza e de chuva. A utilização de águas cinzas com realização de tratamento sem desinfecção é aconselhado unicamente para irrigação subsuperficial, para os demais casos a desinfecção é essencial (Government of Western Australia, 2010). Nessa área, o sistema de irrigação proposto a ser projetado será por gotejamento. A Figura 2 ilustra a localização das unidades do sistema, a captação, o armazenamento e a irrigação.

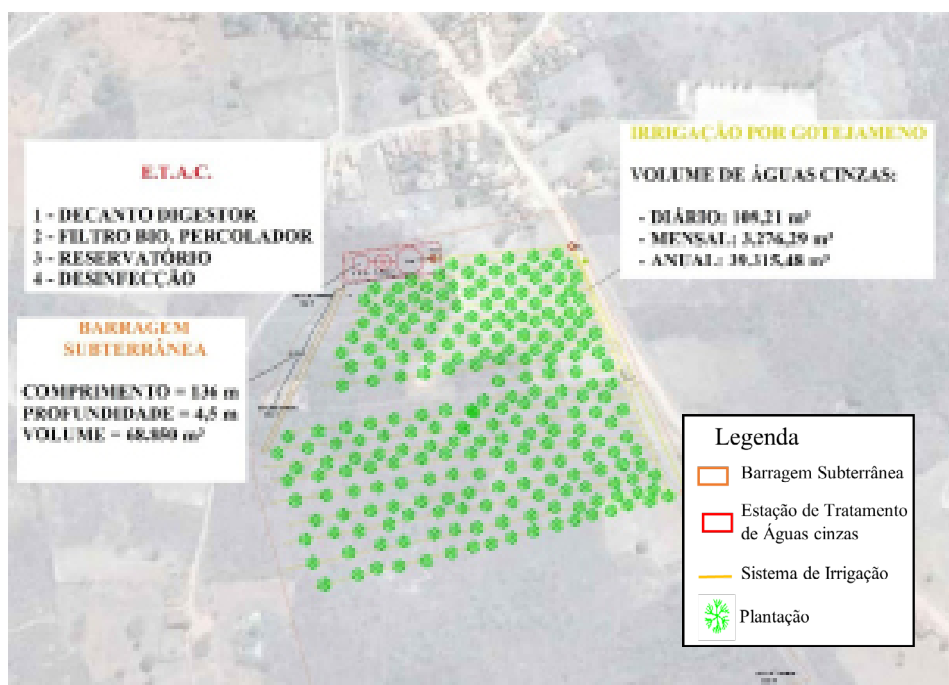


Figura 2 – Sistema de reúso de águas cinzas integrado ao aproveitamento de água de chuva na agricultura irrigada.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma proposta de gestão sustentável da água, no entendimento que a busca por essas alternativas pode contribuir para a mitigação de impactos ambientais significativos associados à diminuição das adversidades na agri-

cultura de sequeiro, à irregularidade das chuvas e ao lançamento de efluentes sem tratamento em corpos hídricos e a céu aberto. A avaliação apresentada é uma ferramenta capaz de contribuir na tomada de decisão por parte de gestores, projetistas e pesquisadores para soluções que

proporcionem uma redução da demanda de água e da poluição ambiental nessa região historicamente acometida com a escassez de água.

Por meio do que foi estimado, vemos que a implantação de sistemas complementares de águas pluviais e cinzas é uma alternativa viável, apresentando significativos valores na produção de milho no período de estiagem (6,41 t) em relação ao produzido na quadra chuvosa (9,9 t). Dos 16,5 ha de área disponível para o plantio, tem-se o potencial de irrigar 10,68 ha com a água prevista a ser armazenada na barragem subterrânea (cerca de 64,72% da área total). O faturamento da safra adicional também se apresentou satisfatório, atingindo 64,72% do valor esperado para uma produção realizada na quadra chuvosa.

Com os dados obtidos, é possível observar a importância que a inclusão de águas cinzas tratadas teria no projeto de irrigação de uma possível safra adicional de milho anual na área de estudo, visto a alta porcentagem que essa tem em relação a toda a água armazenada na barragem subterrânea (cerca de 79,17%). Com isso, inferimos a essencialidade da construção de um sistema de captação e tratamento de águas cinzas para a execução do projeto.

5 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Conceituação: Santana TM; **Metodologia:** Santana TM, Oliveira Júnior JL; **Redação - primeira versão:** Santana TM; **Redação – Revisão & edição:** Santana TM, Araújo GM, Lima DA; **Supervisão:** Oliveira Júnior JL.

6 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conservação e reúso de água em edificações**. São Paulo: SindusCon-SP, 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas Irrigação:** Uso da água na agricultura irrigada. 2. ed. Brasília, DF: ANA, 2021.

ANDRADE, C. L. T. *et al.* Viabilidade e manejo da irrigação da cultura do milho. **Embrapa Milho e Sorgo: Circular Técnica**, Sete Lagoas, v. 85, 2006. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/19629/1/Circ_85.pdf. Acesso em: 23 jan. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9649:** projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969:** Tanque sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes – Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

BRASIL. Lei n. 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984 [...]. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2020.

BRITO, L. T. de L.; MOURA, M. S. B. de; GAMA, G. F. B. (Eds.). **Potencialidades da água de chuva no Semiárido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2007.

CEARÁ. Conselho Estadual do Meio Ambiente. Portaria n. 2, de 21 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre lançamento de efluentes líquidos lançados por fontes poluidoras. **Diário Oficial do Estado**, Fortaleza, 2017.

CIRELLI, A. F.; ARUMÍ J. L.; RIVERA D. Environmental effects of irrigation in arid and semi-arid. **Chilean Journal of Agricultural Research**, Santiago, v. 69, Sup. 1, 2009.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO CEARÁ. **Normas Técnicas para Projetos de Sistema de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário**. v. 2. Fortaleza: HYDROS, 2010.

COSTA, W. D. **Cadernos do Semiárido:** riquezas & oportunidades. v. 3, n. 1. Recife: Editora UFPE, 2015.

FERREIRA, A. C. *et al.*. Tratamento de água de lavanderia para produção agrícola no semiárido. In: BARACUHY, J. G. de V; FURTADO, D. A.; FRANCISCO, P. R. M. (Orgs.). **Unidade de tecnologias integradas para conservação de recursos hídricos**. Campina Grande: Epgraf, 2015. p. 52-57.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **The state of the world's land and water resources for food and agriculture: managing systems at risk**. London: Earthscan, 2011. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i1688e/i1688e.pdf>. Acesso em: 19 out. 2021.

FRAGA, V. da S. **Mudanças na matéria orgânica (C, N e P) de solos sob agricultura de subsistência**. 2002. Tese (Doutorado em Solos) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2002.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **Calendário das Chuvas no Estado do Ceará**. Julho de 2017. Disponível em: <http://www.funceme.br/app-calendario/mes/municipios/media/2021/7>. Acesso em: 5 out. 2021.

GOVERNMENT OF WESTERN AUSTRALIA. **Code of Practice for the Reuse of Greywater in Western Australia 2010**. Perth: Department of Health, 2010.

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. **Perfil Básico Municipal**: Araripe. Fortaleza: IPCE, 2009. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Araripe_2009.pdf. Acesso em: 24 jan. 2024.

HESPANHOL, I. Potencial de Reuso de Água no Brasil: Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 131-158, 2008.

MELO, R. F. de; ANJOS, J. B. dos. Barragem subterrânea: alternativa de captação e armazenamento de água de chuva. **Cadernos do Semiárido**: Riquezas & Oportunidades, Recife, v. 11, n. 11, p. 27-31, 2017.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2015/10/agenda-2030-pt-br.pdf>. Acesso em: 31 maio 2022.

PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO. **Uso Racional de Água e Energia**: Conservação de Água e Energia em Sistemas Prediais e Públicos de Abastecimento de Água. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. **Construções rurais**: barragem subterrânea com lona plástica. Brasília, DF: SENAR, 2016.

SILVA, M. S. L. da et al. Barragem subterrânea: água para produção de alimentos. In: BRITO, L. T. de L.; MOURA, M. S. B. de; GAMA, G. F. B. (Eds.). **Potencialidades da água de chuva no semiárido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2007. p. 126-140.

SOJKA, R. E.; BJORNEBERG, D. L.; ENTRY, J. A. Irrigation: an historical perspective. In: LAL, R. (Ed.). **Encyclopedia of soil science**. 2. ed. London: Taylor & Francis, 2006. p. 945-749. Disponível em: https://www.academia.edu/10299483/Encyclopedia_of_Soil_Science_Second_Edition_English_Version_. Acesso em: 19 out. 2021.

TOMAZ, P. **Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais**. São Paulo: Navegar, 2002.

WILKEN, P. S. **Engenharia de Drenagem Superficial**. São Paulo: CETESB, 1978.