

## TECNOLOGIAS HÍDRICAS COM REÚSO DE EFLUENTES TRATADOS: ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA O SEMIÁRIDO

**ABELARDO ANTÔNIO DE ASSUNÇÃO MONTENEGRO<sup>1</sup>, MOISÉS ALVES DA SILVA NETO<sup>2</sup>, THAYNÁ ALICE BRITO ALMEIDA<sup>3</sup>, BARTHOLOMEU SIQUEIRA JÚNIOR<sup>4</sup>, JUCILENE SILVA ARAUJO<sup>5</sup>, ANA MARINHO SILVEIRA<sup>6</sup>,**

<sup>1</sup> Prof. Dr., Depto. de Engenharia Agrícola e Ambiental, DEAGRI/UFRPE, [montenegro.ufrpe@gmail.com](mailto:montenegro.ufrpe@gmail.com)

<sup>2</sup> Mestrando., Depto. de Engenharia Agrícola e Ambiental, DEAGRI/UFRPE.

<sup>3</sup> Doutoranda., Depto. de Engenharia Agrícola e Ambiental, DEAGRI/UFRPE.

<sup>4</sup> Engenheiro Químico., Companhia Pernambucana de Saneamento- COMPESA.

<sup>5</sup> Dra., Instituto Nacional do Semiárido (INSA).

<sup>6</sup> Prof. Dra., Depto. de Tecnologia Rural, DTR/UFRPE,

Apresentado no  
LIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2024  
6 a 8 de agosto de 2024 – Natal – RN, Brasil

**RESUMO:** A escassez hídrica impacta o desenvolvimento socioeconômico do semiárido pernambucano, limitando a adoção de irrigação para os cultivos, dessa forma restringindo a produção de alimentos. Para enfrentar esse desafio, o presente trabalho objetivou o fortalecimento da agricultura familiar por meio da transferência de tecnologia, distribuindo raquetes de palma e aplicando técnicas conservacionistas, como a cobertura morta, para melhorar a disponibilidade hídrica no solo, bem como a difusão do reúso hidroagrícola junto a pequenos produtores rurais. Para atender às unidades estão implantadas em áreas rurais de Pernambuco, onde se desenvolvem experiências inovadoras com sistemas de reúso hidroagrícola de esgoto doméstico tratado, aplicados em conjunto com técnicas conservacionistas e com o uso de geotecnologias para monitoramento de precisão. Tais soluções sustentáveis implementadas e acessíveis a comunidade agrícola rural fortalecem a capacidade de adaptação das comunidades rurais diante da escassez hídrica e das mudanças climáticas. Os sistemas experimentais têm elevada sustentabilidade e alto potencial de replicação, através da utilização de cobertura morta do solo, composta por material vegetal, e consórcios de espécies forrageiras, que influenciaram significativamente no aumento do número de cladódios da palma forrageira.

**PALAVRAS-CHAVE:** gestão de recursos hídricos; efluentes domésticos; forrageiras

### **WATER TECHNOLOGIES WITH REUSE OF TREATED EFFLUENTS: SUSTAINABLE ALTERNATIVES FOR THE SEMI-ARID**

**ABSTRACT:** Water scarcity impacts the socio-economic development of the semi-arid region of Pernambuco, limiting the adoption of irrigation for crops, thereby restricting food production. To address this challenge, the project focuses on strengthening family farming through technology transfer, distributing palm rafts, and applying conservation techniques such as mulching to improve soil water availability. Additionally, it presents sustainable and accessible solutions that enhance the adaptation capacity of rural communities facing water scarcity and climate change. Three units are implanted in rural areas of Pernambuco, where innovative experiments are being developed with treated domestic sewage hydro-agricultural reuse systems, applied together with conservation techniques and the use of geotechnologies for precision monitoring. The experimental systems have high sustainability and high

potential for replication, through the use of mulching composed of plant material and consortia of forage species, which have significantly influenced the increase in the number of cladodes of the forage palm.

**KEYWORDS:** water resources management; domestic effluents; forage

**INTRODUÇÃO:** No semiárido, o acesso limitado à água para irrigação de culturas e para a pecuária é um desafio significativo. A agropecuária para caprinos e ovinos é usualmente dependente do regime pluviométrico, o qual é irregular. O uso de água tratada na agricultura é essencial para regiões com escassez hídrica, assegurando a sustentabilidade econômica e ambiental em áreas semiáridas. A fim de promover o desenvolvimento da irrigação, é imperativo explorar recursos hídricos alternativos, como a reutilização de águas residuais tratadas, que ajudam a mitigar o desequilíbrio entre o consumo de água e a disponibilidade de recursos renováveis. A produção animal, fundamental para a economia rural e a soberania alimentar, se beneficia significativamente da produção de forragem, uma vez que esta é ideal para o reuso de água tratada devido às suas menores exigências de qualidade. Para enfrentar a limitação de recursos hídricos, a implementação de sistemas de irrigação eficientes é crucial (PALACIOS-DIAZ et al., 2023). O uso da cobertura morta é capaz de incrementar a umidade do solo, e controlar a temperatura. O sistema agrícola com cobertura também tem influência na redução do escoamento superficial, e controle da erosão hídrica, conforme evidenciado em laboratório (MONTENEGRO et al., 2013), e em campo, em cultivo de sorgo (CARVALHO et al., 2021). De semelhante modo, o reúso de efluentes domésticos constitui-se em importante alternativa para a convivência produtiva com escassez, segurança hídrica, fortalecendo o saneamento rural, e fornecendo fonte hídrica para a irrigação de cultivos forrageiros, diminuindo assim as demandas de água doce na agricultura irrigada. Por sua vez, em área de reúso com efluentes domésticos, tem-se verificado o positivo impacto do consórcio de diferentes forrageiras com palma e cobertura morta (de SOUSA et al., 2023), utilizando geotecnologias com drones (ANDRADE et al., 2024). Estão em operação no Estado de Pernambuco, a partir de iniciativas de ensino, pesquisa e extensão da Universidade Federal Rural de Pernambuco em parceria com a Companhia Pernambucana de Saneamento-COMPESA, TPF Engenharia e Instituto Nacional do Semiárido- INSA. As unidades experimentais estão implantadas em áreas rurais do Estado de Pernambuco, possibilitando ampla apropriação por usuários e gestores. Tais unidades experimentais foram viabilizadas a partir de importantes parcerias com empresas públicas e privadas, e recursos oriundos do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e do Ministério da Integração e Desenvolvimento Regional (MIDR), e de fundos estaduais para saneamento, gestão de recursos hídricos, e desenvolvimento científico e tecnológicos. Deve-se destacar que os sistemas sustentáveis de reúso surgiram de demandas da Diretoria de Novos Negócios (DNN) da Companhia Pernambucana de Saneamento - COMPESA e da Diretoria do Instituto Nacional do Semiárido- INSA. Diante disso, o presente trabalho objetivou investigar o efeito de técnicas conservacionistas como aplicação de cobertura morta, em conjunto a aplicação de água de reúso em cultivo de forrageiras em consórcio no semiárido pernambucano.

**MATERIAL E MÉTODOS:** As ações de pesquisa e extensão vem sendo desenvolvidas no semiárido de Pernambuco, nos municípios de Parnamirim, Pesqueira e Caruaru, em áreas experimentais coordenadas pela Universidade Federal Rural de Pernambuco. Tais unidades experimentais contemplam duas bacias hidrográficas afluentes à Bacia do Rio São Francisco (Bacias do Alto Ipanema e do Brígida), e na Bacia do Ipojuca, possuindo em comum elevado déficit hídrico e elevada susceptibilidade a estiagens. A precipitação média anual nestas bacias é de 723 e 432 mm, com evapotranspiração potencial de 1683 e 1600 mm,

respectivamente. As temperaturas médias são de 23°C e 30°C, respectivamente. Soluções baseadas na natureza são apresentadas e discutidas em sistemas sustentáveis com adoção de cobertura morta e cultivo consorciado de palma forrageira possuindo elevado potencial agrícola devido à sua notável adaptação ao ambiente semiárido, em unidades sustentáveis de reuso hidroagrícola de efluentes domésticos tratados, adotando-se diferentes metodologias de tratamento, desde alternativas naturais, baseadas na radiação ultravioleta e nas mantas de lodo, até sistemas convencionais. Além da palma forrageira solteira, tem-se também o cultivo da palma em consórcio com sorgo, moringa e gliricídia, importantes fontes de proteínas e fibras na alimentação animal. Os lotes experimentais contemplem áreas de escala familiar, comunitária, e áreas urbanas. Na Bacia do Alto Ipanema, um sistema piloto familiar foi implementado no município de Pesqueira. Na Bacia do Brígida, o sistema de reuso aplicado no município de Parnamirim opera com esgoto oriundo da estação de tratamento operada pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), com vazão nominal de 17,6 L s<sup>-1</sup>, que adota lagoa facultativa seguida de duas lagoas de maturação. Na Bacia do Alto Ipanema, o sistema de reuso implementado no município de Pesqueira opera com metodologia de tratamento baseada em reatores anaeróbios de fluxo ascendente (reatores tipo UASB), com manta de lodo. A concepção adotada nos sistemas familiares é baseada na metodologia “SARA” (desenvolvida pelo Instituto Nacional do Semiárido- INSA) (Figura 1), sendo composto de caixa de gordura, tanque de equalização, reator UASB e lagoas de polimento. O efluente tratado era encaminhado ao sistema de reúso, constituído por reservatório, motobomba e sistema de irrigação localizada, fertirrigando um plantio de Palma Forrageira. Em Rendeiras, é utilizado um sistema convencional de tratamento de efluentes domésticos da cidade de Caruaru.

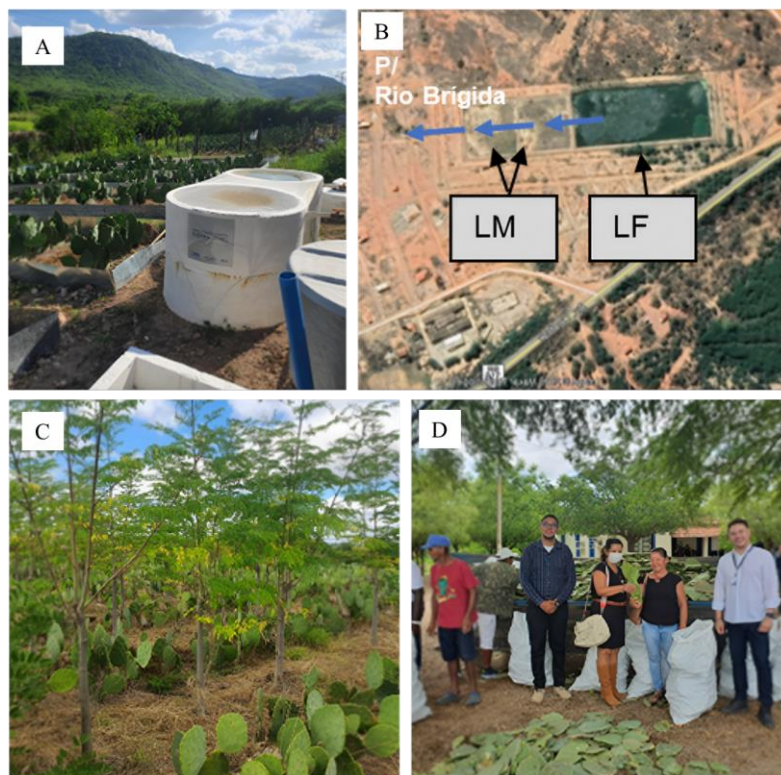


FIGURA 1: Unidade de reuso de Pesqueira-PE, para produção de palma, Sistema SARA-INS (A). Sistema de tratamento natural da COMPESA, em Parnamirim-PE, com uma lagoa facultativa (LF) e duas lagoas de maturação (LM) (B); Plantio de palma consorciada com

cobertura morta em Parnamirim-PE (C). Dia de Campo com distribuição de raquetes no Campus Avançado da UFRPE em Parnamirim-PE (D).

O projeto objetiva não só transferir tecnologia, mas também promover a sua adoção pelos agricultores, ampliando a resiliência e a sustentabilidade da produção agrícola em escala familiar na região. Foram realizados Dias de Campo em uma colaboração da universidade, com líderes e gestores locais, assim como as empresas envolvidas no projeto, sendo elas a TPF engenharia, o Instituto Nacional do Semiárido (INSA) e Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) onde esses eventos contam com a distribuição de raquetes de palma e palestras para disseminar conhecimentos, incentivando a aplicação das técnicas reproduzidas nos experimentos em seu próprio plantio de forrageiras, promovendo uma maior interação entre a universidade, empresas parceiras e a sociedade rural.. As áreas experimentais possuem diferentes tratamentos afim de investigar o potencial do aumento de produtividade de forrageiras com aplicação de técnicas conservacionistas. A Aplicação da cobertura morta foi feita tanto para área de sequeiro, quanto para área irrigada nas 3 áreas experimentais (Figura 2). A aplicação de cobertura morta auxilia na conservação de umidade do solo, diminuindo a taxa de evaporação de água, implicando em maior disponibilidade hídrica para a cultura plantada.

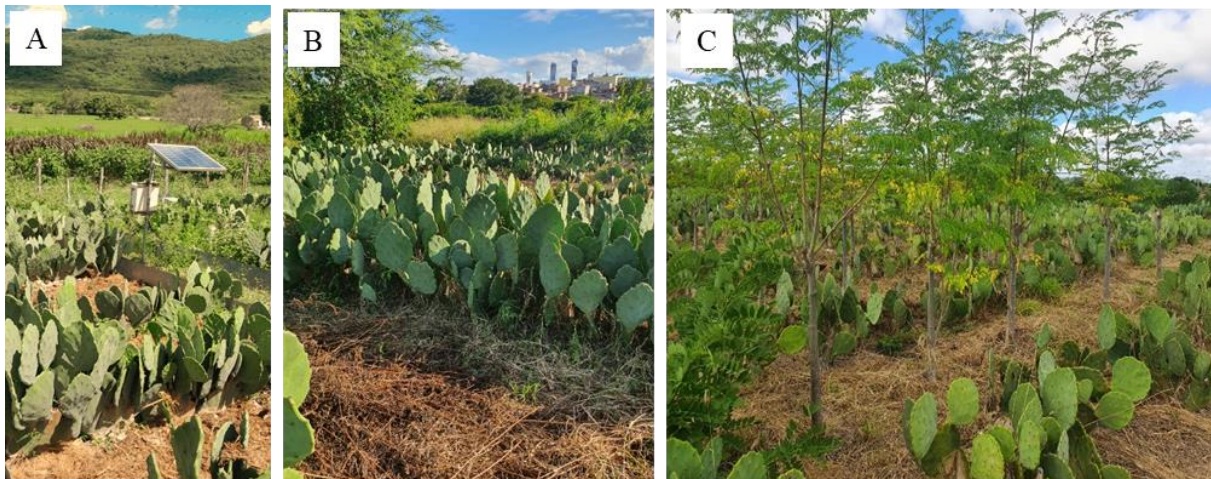


FIGURA 2: Uso de tecnologias hidro-agrícolas: cobertura morta no plantio de palma em Pesqueira (em sequeiro) (A), cobertura morta em Rendeiras (vista da cidade de Caruaru ao fundo)(B), cobertura morta e plantio consorciado de palma em Parnamirim-PE (C).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Em Parnamirim, foram verificadas eficiências de remoção de 73% para a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), no sistema de lagoas facultativas, dessa forma reduzindo significativamente a carga orgânica aplicada no solo. Esse percentual foi superior para os sistemas de tratamento convencionais e com reatores UASB. Os resultados de crescimento da Palma demonstraram que, embora a altura da palma forrageira (AP) variedade Orelha de Elefante Mexicana não ter sido significativamente afetada pela presença da cobertura morta, constata-se o efeito positivo da cobertura no número total de cladódios da planta (NPC), conforme a Tabela 1. Este resultado está de acordo com os observados por de Sousa et al. (2023). O comportamento da variável altura da planta pode estar associado ao efeito benéfico da irrigação com água de reúso, capaz de fornecer nutrientes essenciais aos cultivos e promover o crescimento, mesmo na ausência da proteção do solo.

TABELA 1- Análise de variância para a altura da planta (AP) e número total de cladódios da planta (NCP), aos 15 meses após o início da irrigação com efluente doméstico tratado (em Parnamirim-PE).

Condição de cobertura	AP (cm)	NCP (un.)
Sem cobertura morta	64,50 a	10,64 a
Com cobertura morta	67,97 a	14,61 b

A imagem de voo com drone multiespectral em 02/04/2024 na Figura 3 mostram os efeitos positivos das práticas agrícolas de consórcio e cobertura morta no desenvolvimento dos cultivos. As áreas sem cobertura morta são facilmente identificadas e têm alto grau de compactação, com menores teores de matéria orgânica e umidade do solo. Esse resultado é fomentado pelo que se encontra na literatura sobre outras culturas forrageiras, onde a aplicação de água residuária associada a aplicação de cobertura morta resultou em efeitos benéficos na altura, taxa de crescimento e produtividade do sorgo forrageiro, promovendo maior uniformidade na área de cultivo (CARVALHO et al., 2021).

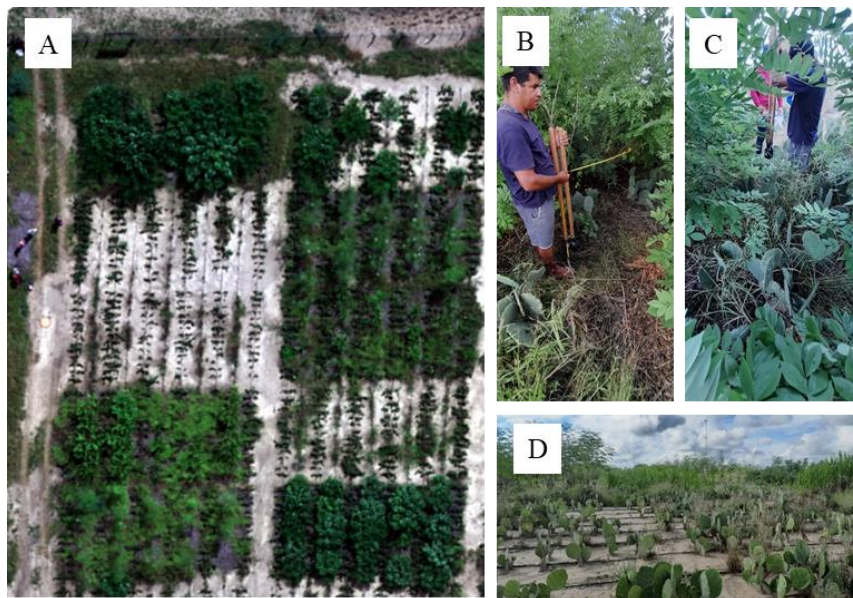


FIGURA 3: Área experimental em Parnamirim-PE, Vão com drone identificando tratamentos e consórcios (A), medições experimentais in situ (B e C), Área com solo nu (D).

No tocante à área que recebe o efluente tratado pela Tecnologia SARA, localizada em Pesqueira, observou-se que sistema promoveu um aumento médio de  $40 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$  na disponibilidade de água na propriedade familiar, reduzindo o consumo anual de água e atendendo às necessidades da agricultura familiar no semiárido, abordando a falta de saneamento básico e aumentando a quantidade de água disponível na propriedade para fins agrícolas. Em relação aos parâmetros de qualidade do efluente tratado, ocorreu uma redução significativa de 92,59% nos níveis de DBO5, com valores de coliformes totais e E.coli equivalentes a 28000 e 1,8 NMP/100mL. Comprovando assim a eficácia do sistema SARA no tratamento do efluente, tornando-se uma opção viável para auxiliar na irrigação e no cultivo de forragem, proporcionando apoio às unidades familiares e reduzindo os impactos da escassez hídrica no semiárido.

Na Tabela 2 é possível observar o efeito das práticas conservacionistas no incremento da produção vegetal, com valores médios de crescimento, em altura e número total de cladódios, superior no tratamento conservacionista quando comparado com o solo descoberto, avaliados em 6 plantas por tratamento.

TABELA 2- Análise de variância para a altura da planta (AP), e o respectivo desvio-padrão (DP), e número total de cladódios da planta (NCP), aos 12 meses após o início da irrigação com efluente doméstico tratado para os respectivos tratamentos (em Mimoso-PE).

Condição de cobertura	AP (cm)	DP	NCP (un.)	DP
Sem cobertura morta	42,4	2,32	6	2,78
Com cobertura morta	56,2	1,55	8	1,33

Nesta unidade também foram promovidos dias de campo em conjunto com as associações de moradores de Barriguda, situada em Sanharó-PE, e Nossa Senhora do Rosário, em Pesqueira, contando com a presença de membros associados, especialistas e coordenador do Cedapp (Centro Diocesano de Apoio ao Pequeno Produtor) e a comunidade acadêmica da UFRPE.

**CONCLUSÕES:** Os sistemas agrícolas apresentados ilustram o potencial de unidades sustentáveis baseadas em engenharia de água e solo em regiões semiáridas. As soluções são baseadas em serviços ambientais e ecossistêmicos propiciados por biossistemas que reúnem espécies vegetais resilientes típicas do Bioma Caatinga, acopladas a técnicas de tratamento de efluentes domésticos naturais, sem adição de compostos químicos. As experiências apresentadas têm forte potencial de propiciar desenvolvimento da agropecuária familiar no nordeste brasileiro. As soluções estão relacionadas com diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, particularmente, os ODS 6 (Água Potável e Saneamento), ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), ODS 12 (Produção e Consumo Sustentáveis), ODS 13 (Ação Climática), e ODS 17 (Parcerias e Meios de Implementação), concebidas de forma participativa, e possibilitando fortalecimento da gestão dos recursos hídricos.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem ao financiamento do CNPq (Projeto MAIDAI- processo 403.488/2020-4, com aportes financeiros da TPF Engenharia e Companhia Pernambucana de Saneamento-COMPESA), FACEPE (processo APQ 0414-5.03/20), Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR), e Instituto Nacional do Semiárido (INSA).

**REFERÊNCIAS:**

ANDRADE, O.B., MONTENEGRO, A.A.A., SILVA NETO, M.A., SOUZA, L.B., ALMEIDA, T.A.B., LIMA, J.P., CARVALHO, A.A., SILVA, M.V., MEDEIROS, V.W.C., SOARES, R.G.F., SILVA, T.G.F., VILAR, B.P.; 2024. UAV-BASED CLASSIFICATION OF INTERCROPPED FORAGE CACTUS: A COMPARISON OF RGB AND MULTISPECTRAL SAMPLE SPACES USING MACHINE LEARNING IN AN IRRIGATED AREA WITH TREATED WASTEWATER EFFLUENT. **AGRIENGINEERING**, 6, 509-525.

CARVALHO, A.A.; MONTENEGRO, A.A.A.; DE LIMA, J. L. M. P.; SILVA, T.G.F.; PEDROSA, E.M.R.; ALMEIDA, T.A.B.; 2021. COUPLING WATER RESOURCES AND AGRICULTURAL PRACTICES FOR SORGHUM IN A SEMIARID ENVIRONMENT. **WATER**, V.13, PP.2288 - 25.

CARVALHO, A. A., MONTENEGRO, A. A. D. A., SILVA, L., COSTA, R. S., & ALMEIDA, G. C. (2021). ANÁLISE DO CRESCIMENTO FISIOLÓGICO DO SORGO IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA ASSOCIADO COM COBERTURA MORTA. **REVISTA BRASILEIRA DE AGRICULTURA IRRIGADA**, 14(5), 4258-4270.

MONTENEGRO, A.A.A.; ABRANTES, J.R.C.B.O.; DE LIMA, J.L.M.P; SINGH, V.; SANTOS, T.E.M.; 2013. IMPACT OF MULCHING ON SOIL AND WATER DYNAMICS UNDER INTERMITTENT SIMULATED RAINFALL. **CATENA**, V.109, P.139 - 149.

DE SOUSA, L. B.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, T. G. F.; CRUZ, R. I. F.; ISIDORO, J. M. G. P.; SILVA NETO, M. A.; SILVA, J. L. D. F.; CARVALHO, A. A.; SILVA, M. V.; LIMA, B. L. C.; ARAÚJO, J. S.; ALMEIDA, T. F. S.; CAVALCANTI, L. V.; ALMEIDA, J. S.; SILVA, L. J. S. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO CULTIVO DE PALMA FORRAGEIRA CONSORCIADA E IRRIGADA COM ÁGUA DE REÚSO EM UMA REGIÃO SEMIÁRIDA DO BRASIL. **XXV SBRH - SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, 2023.

PALACIOS-DIAZ, M. D. P., FERNÁNDEZ-VERA, J. R., HERNÁNDEZ-MORENO, J. M., AMORÓS, R., & MENDOZA-GRIMÓN, V. (2023). EFFECT OF IRRIGATION MANAGEMENT AND WATER QUALITY ON SOIL AND SORGHUM BICOLOR PAYENNE YIELD IN CAPE VERDE. **AGRICULTURE**, 13(1), 192.