



ISSN: 2525-815X

Journal of Environmental Analysis and Progress

Journal homepage: www.jeap.ufrpe.br/

10.24221/jeap.5.2.2020.2841.140-150



Reuso hidroagrícola: uma solução para convivência com a escassez hídrica no Sertão e Agreste pernambucano

Hydro-agricultural reuse: a solution for coping with water scarcity in the Sertão and Agreste of Pernambuco

Ailton Alves de Carvalho^{a*}, Abelardo Antônio de Assunção Montenegro^a, José Nildo Tabosa^b, Thayná Alice Brito Almeida^a, Aureliana Greice Oliveira da Silva^a, Ana Virgínia Marinho Silveira^a

^a Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, Departamento de Engenharia Agrícola. Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife, PE, Brasil. CEP: 52.171-900. E-mail: ailtonalvesst@hotmail.com (*Autor correspondente), montenegro.ufrpe@gmail.com, thayna_tau@hotmail.com; aurelianagleice@hotmail.com, marinho_av@hotmail.com.

^b Instituto Agrônomico de Pernambuco-IPA. Av. Gen. San Martin, n. 1371, Bongi, Recife, Pernambuco, Brasil. CEP: 50761-000. E-mail: nildo.tabosa@ipa.br.

ARTICLE INFO

Recebido 29 Out 2019
Aceito 10 Fev 2020
Publicado 09 Abr 2020

ABSTRACT

Water scarcity in the Pernambuco semiarid associated to the limitation for agricultural production, contribute to the use of treated domestic effluents for hydro-agricultural purposes. However, to intensify water reuse, participatory management actions are needed, especially for rural youth, encouraging them to remain in the countryside. The objective of this study evaluates the viability of agricultural crops with reuse of domestic effluent, associated with water and soil conservation practices in the semiarid. Thus, this study presents results of maize, sunflower and sorghum production irrigated with treated domestic sewage, with the participation of rural farmers and young people. The study was conducted at the Effluent Treatment Station (ETE) located in Mutuca District, Pesqueira-PE. Cropping maize (*Zea mays* L.) in 2016, and sunflower (*Helianthus annuus* L.) in 2017 were carried out in two experimental plots, one without and one with sewage sludge (LE). Sorghum (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf) was planted in 2019 with and without mulch (CM) (dried grass). Monitoring of agrometeorological was realized in a participatory residents and students of a school in the local community. It was found that plant height, stem diameter and leaf number were higher in treatments with LE in sunflower, and stem diameter for corn and sorghum. LE and CM applications promoted soil moisture increase. Through participatory management, actions aimed at intensifying the use of domestic effluents and sewage sludge for hydro-agricultural purposes should be encouraged, promoting food production and increasing income for agricultural producers.

Keywords: Sustainability, water security, social impact.

RESUMO

A escassez de água no semiárido pernambucano, associada à necessidade de produção agrícola contribuem para uso de efluentes domésticos tratados para fins hidroagrícolas. No entanto, para intensificação do reuso de água são necessárias ações de gestão participativa, principalmente aos jovens do meio rural, incentivando a permanência no campo. O estudo objetiva avaliar a viabilidade de cultivos agrícola com o reuso de efluente doméstico tratado, associado a práticas de conservação de água e solo, no semiárido. Desta forma, este estudo apresenta resultados de produção de milho, girassol e sorgo irrigado com esgoto doméstico tratado, com participação de agricultores rurais e jovens locais. O estudo foi desenvolvido na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) localizada no Distrito de Mutuca, Pesqueira-PE. O plantio do milho (*Zea mays* L.), realizado em 2016, e do girassol (*Helianthus annuus* L.), em 2017, foram realizados em duas parcelas experimentais, uma sem e outra

com lodo de esgoto (LE), e o sorgo (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf) foi cultivado em 2019, com e sem cobertura morta (CM) (capim natural). O monitoramento agrometeorológico foi realizado de forma participativa com moradores e alunos de escola da comunidade local. Constatou-se que a altura das plantas, o diâmetro do caule e o número de folhas foram superiores nos tratamentos em que foram adicionados LE no girassol, e no diâmetro do colmo para o milho e sorgo. As aplicações de LE e CM promoveram incremento da umidade do solo. Através da gestão participativa, ações voltadas à intensificação do uso de efluentes domésticos e lodo de esgoto para fins hidroagrícolas devem ser incentivadas, promovendo a produção de alimentos e aumento de renda aos produtores agrícolas.

Palavras-Chave: Sustentabilidade, segurança hídrica, impacto social.

Introdução

O semiárido do Brasil é usualmente afetado por estiagens (Campos, 2014), ocasionando diversos impactos socioeconômicos e ambientais. Este fenômeno é decorrente dos baixos índices de precipitação e da concentração de chuvas em curto tempo (Macedo et al., 2010).

Segundo o relatório da Agência Nacional de Água, 48 milhões de pessoas distribuídas em 4.824,00 localidades do Brasil, foram afetadas por secas entre 2013 e 2016, com severos danos (ANA, 2017).

Estes números ressaltam a necessidade de uso de estratégias para melhorar a convivência com a escassez hídrica, sendo destacado o reuso de água, que deve ser incentivado nas comunidades rurais e urbanas, e deve ser incorporado como estratégia essencial em diferentes níveis de atuação (federal, estadual e municipal), tornando-se um dos instrumentos necessários para garantir a sustentabilidade hídrica (Castro, 2017).

Diversas vantagens no reuso de efluentes domésticos na agricultura são apresentados por Mancuso e Santos (2003) e Lira et al. (2015), com destaques para: redução das descargas de esgoto em corpos hídricos; conservação dos solos pela acumulação de matéria orgânica, possibilitando maior retenção de água e elevação da produção.

Diversas ações no mundo estão voltadas para a reutilização de água, com destaque para fins hidroagrícolas (Meng et al., 2016; Vanham et al., 2018). Através da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, as Nações Unidas também estão pressionando pela adoção mundial de tecnologias de reutilização, como uma ferramenta essencial para atingir seus Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (Ricart & Rico, 2019).

A conservação ambiental e a socialização de tecnologias hídricas são essenciais para a sustentabilidade dos agroecossistemas, sendo o foco dos 17 objetivos da ODS, determinados em 2015, tem como tema “Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável” (ODS, 2015).

A aplicação de efluente tratado é uma alternativa de baixo custo para reduzir a pressão sobre a água de boa qualidade, especialmente nas regiões áridas e semiáridas do mundo (Adhikari et al., 2011). Águas residuais na maioria dos municípios são abundantemente disponíveis no meio urbano (Fujioka et al., 2014), e na maioria das cidades, retornam na forma de esgoto e sem tratamento adequado.

Além disso, existe acentuada limitação na oferta de forragens no semiárido, comprometendo os níveis de produtividade para semiárido brasileiro. Com isso, o uso de plantas forrageiras e sistemas de cultivo eficientes é essencial para melhorar a sustentabilidade agropecuária (Alves et al., 2016).

Estudos sobre a viabilidade de produção agrícola associado ao reuso de água têm sido largamente pesquisado e analisado em condições de campo no Agreste pernambucano, na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Mutuca em Pesqueira, com os cultivos do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.), girassol (*Helianthus annuus* L.), moringa (*Moringa oleífera* L.) e mamoneira (*Ricinus communis* L.) (Miranda, 2010; Lima et al., 2012; Santos, 2015; Santos et al., 2017). Nesta ETE são desenvolvidas diversas ações de ensino, pesquisa e extensão, voltadas para monitoramento agroclimatológico participativo, para a conservação de recursos hídricos e para a produção agrícola.

Neste contexto, este estudo avalia a viabilidade de cultivos agrícola com reuso de efluente doméstico tratado, associado a práticas conservacionistas de água e solo para o semiárido.

Material e Métodos

O estudo foi desenvolvido na ETE, localizada em Mutuca, no Município de Pesqueira, situada próxima à nascente do Rio Ipojuca (Figura 1), implantada através de parceria do Governo do Estado, Governo Federal e a prefeitura municipal. O clima da região é classificado como As (com o verão seco), de acordo com Köppen (Alvares et al., 2013), com pluviometria média anual de 607 mm.

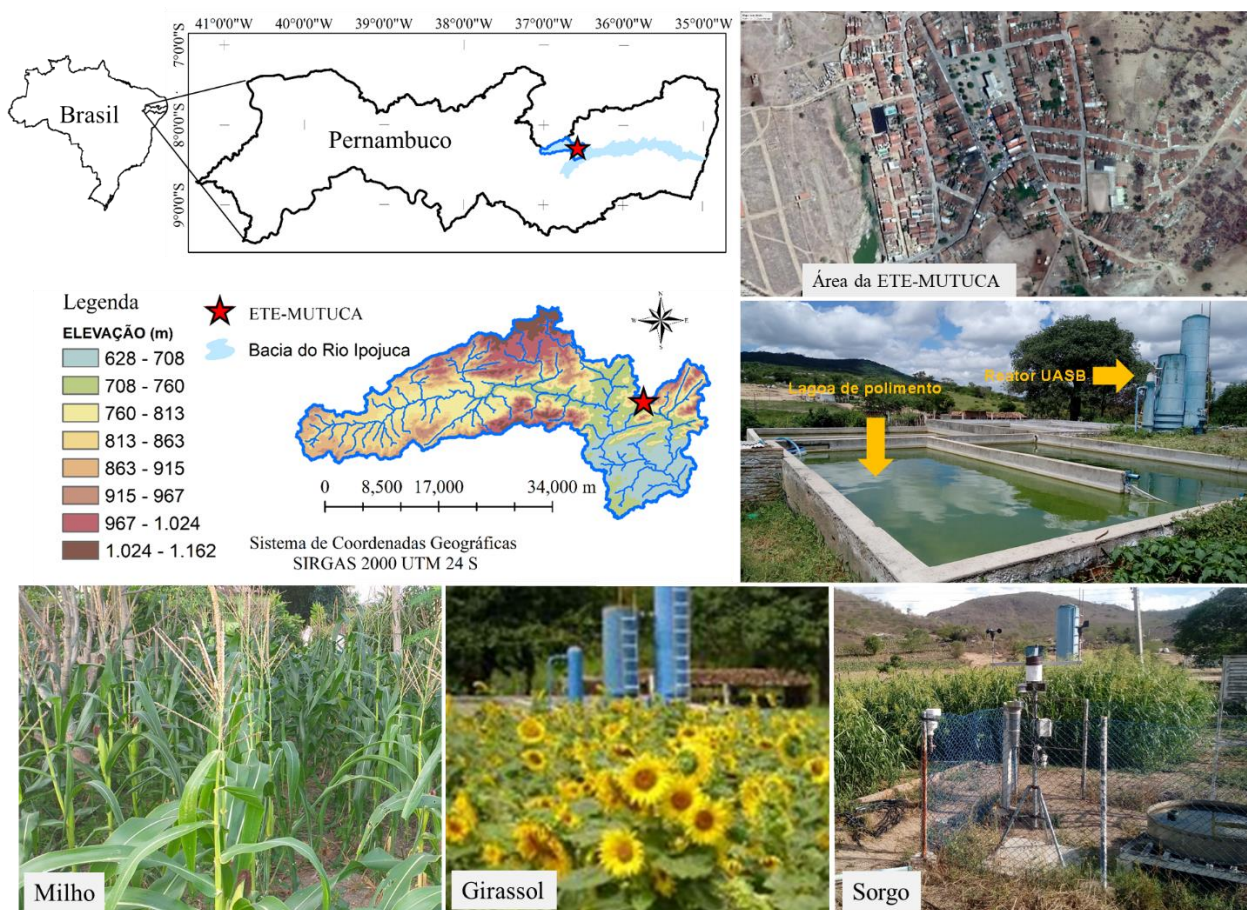


Figura 1. Unidade experimental de tratamento de esgoto doméstico e reuso para fins hidroagrícola, com o cultivo do milho, girassol e sorgo no distrito de Mutuca, Pesqueira-PE. Fotos: Carvalho & Montenegro (milho - 2016), Carvalho, Silva, Silveira & Montenegro (girassol - 2017) e Carvalho & Montenegro (sorgo - 2019).

A ETE de Mutuca recebe o efluente doméstico de 150 residências, aproximadamente 3000 L dia⁻¹. O efluente bruto passa por um tratamento preliminar com grades de barras, seguido para um reator *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB), combinado com um filtro anaeróbio de fluxo ascendente. Neste processo, é gerado o efluente para irrigação e o lodo para adubação.

O solo da área é caracterizado de acordo com a classe de textura como Areia Franca, com teor de areia de 83,92 e 82,92%, argila de 12,44 e 13,44%, silte de 3,64 e 3,64%, densidade do solo de 1,4 e 1,51 g cm⁻³, capacidade de campo de 0,3 e 0,33 cm³ cm⁻³ e ponto de murcha permanente de 0,2 e 0,2 cm³ cm⁻³ para as camadas 0-20 e 20-40 cm, respectivamente (Santos et al., 2017). O solo é classificado como Planossolo Háplico Sáfico Sódico Hipereutrófico (Miranda, 2010), e dotado de sistema de drenagem subterrânea. A irrigação dos cultivos é realizada via gotejamento (xique-xique), com turno de irrigação de dois dias, com adequada uniformidade nos tratamentos.

Utilizou-se a cultivar do milho (cultivar São José – BR 5026) em parcelas experimentais de 5 m por 11 m, correspondendo a uma área de 55

m². O plantio do milho foi realizado entre maio e agosto de 2016. As plantas foram espaçadas 1 m entre plantas e 1 m entre fileiras. Foram realizadas análises biométricas em 40 plantas, o diâmetro do colmo (DC), o número de folhas (NF) e a altura da planta (AP).

O cultivo do girassol (*Helianthus annuus* L.), variedade BRS 122, foi realizado em duas parcelas com dimensão de 5 x 11 m, sendo adicionado a uma parcela o lodo de esgoto (CL) e a outra sem lodo (SL). O cultivo foi conduzido entre os meses de fevereiro a maio de 2017, com a participação de agricultores locais e com discentes do Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, como atividade prática de campo da disciplina Hidráulica Aplicada. As cultivares de girassol foram selecionados de forma a atender alguns objetivos, como: finalidade de consumo (produção de óleo, forrageira ou alimentação humana, e principalmente, fins religiosos, como apontado pelo diagnóstico) alto rendimento de grãos, alto teor de óleo, tolerância ao alumínio e à deficiência de boro.

As ações biométricas do DC, AP e NF de girassol foram realizadas em 6 plantas por parcela,

por alunos da UFRPE, e acompanhadas por alunos do ensino fundamental da Escola Intermediária Henrique Monteiro Leite.

O plantio do sorgo forrageiro foi realizado entre maio e julho de 2019 e foi utilizada a variedade IPA SUDAN 4202 de sorgo ou capim-sudão, com boa adaptação ao clima semiárido, principalmente pela sua precocidade e tolerância a salinidade (até 10 dS m⁻¹), elevado potencial de matéria seca (8 a 12 Mg ha⁻¹), proteína bruta (0,9 a 1,5 Mg ha⁻¹) e forragem (5 Unidades Animal/ha/5 meses), a sua principal aptidão para é feno e com baixo teor de ácido cianídrico (IPA, 2007).

O sorgo foi conduzido em duas parcelas, uma com e outra sem a cobertura morta, utilizando capim natural seco. Foram instalados 40 Tubos de acesso em cada área para monitorar a umidade do solo nas profundidades de 20 e 40 cm.

As leituras de umidade do solo foram realizadas com Sonda de Nêutrons. As leituras foram realizadas a 20 e 40 cm de profundidade. Foi realizada a coleta de 18 amostras de solo deformadas nas duas profundidades para calibração da sonda. As amostras foram acondicionadas em recipientes de alumínio,

levadas em estufa a 105°C para obtenção da umidade gravimétrica (g g⁻¹).

Todas as ações de monitoramento agrônomo e hidrológico foram realizadas de forma a fortalecer o tripé da universidade de ensino, pesquisa e extensão, geralmente com a participação da comunidade escolar Municipal Intermediária Henrique Monteiro Leite e de agricultores locais e universitários da UFRPE. Buscou-se o aprofundamento da importância do saneamento básico, da utilização de água residuária para fins hidroagrícolas, bem como da proteção do meio ambiente, além da relevância da cobertura morta nos cultivos para conservar a umidade do solo e favorecer o desenvolvimento das plantas (Figura 2A, em horta na escola local, com água de abastecimento). Adicionalmente, foi fortalecido e demonstrado o uso do lodo de esgoto como fonte alternativa de adubação e de cobertura do solo. As ações de biometria são de extrema importância para estimular o interesse à visão das crianças e adolescentes, no sentido perceber a influência de cada tratamento (parcela sem aplicação de lodo e com a aplicação) e tentar diferenciar visualmente qual o comportamento em cada variável biométrica (Figura 2B e C).



Figura 2. Realização da aplicação de cobertura morta em canteiro escolar (A), biometria do sorgo (B), e avaliação do crescimento do girassol (C). Experiências com água de abastecimento. Fotos: Carvalho, Silva, Silveira & Montenegro (2019).

As ações biométricas do diâmetro caulinar, altura da planta e número de folhas da cultura do girassol, foram realizadas em 6 plantas por parcela, por alunos da UFRPE, e acompanhadas por moradores locais e estudantes do ensino fundamental e médio de escola local, permitindo

diversas trocas de experiências. Em cada parcela do milho e do sorgo foram realizadas 40 biometrias.

A análise da qualidade do efluente e do lodo de esgoto foi periodicamente realizada para fins de manejo agrícola, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros químicos do efluente tratado e do lodo utilizado nas parcelas de cultivo.

Efluente tratado		Lodo		CONAMA
pH	8,3	pH em água	6,5	
Sólidos totais dissolvidos (mg L ⁻¹)	2869	Areia (g kg ⁻¹)	755	
Ferro Total (mg L ⁻¹)	< 0,01	Argila (g kg ⁻¹)	110	
Manganês Total (mg L ⁻¹)	0,05	C (g kg ⁻¹)	53,5	
Fósforo Total (mg L ⁻¹)	2	N (g kg ⁻¹)	4,2	
Nitrogênio Total (mg L ⁻¹)	23,6	MO (g kg ⁻¹)	92,23	
Ca ²⁺ (mmol L ⁻¹)	1,72	Ca (cmol kg ⁻¹)	13,4	
Mg ²⁺ (mmol L ⁻¹)	4,19	Mg (cmol kg ⁻¹)	2,8	
Na ²⁺ (mmol L ⁻¹)	34,02	K (cmol kg ⁻¹)	13	
K ⁺ (mmol L ⁻¹)	2,19	CTC (cmol kg ⁻¹)	19,45	
Cl ⁻ (mmol L ⁻¹)	26,79	P (mg kg ⁻¹)	30	
SO ₄ ⁻ (mmol L ⁻¹)	2,16	Cu (mg kg ⁻¹)	1,2	1500
NO ₃ ⁻ (mmol L ⁻¹)	0,68	Fe (mg kg ⁻¹)	56,5	
CO ₃ ²⁺ (mmol L ⁻¹)	2	Zn (mg kg ⁻¹)	13,4	2800
HCO ₃ ⁻ (mmol L ⁻¹)	10,61	Mn (mg kg ⁻¹)	46,1	50

Uma vez que o uso de lodo de esgoto na agricultura envolve a adição de nutrientes e matéria orgânica ao solo, foi adotada a Resolução nº 375 do CONAMA nº 375/06 (Brasil, 2006), a qual define também os procedimentos de uso de lodo de esgoto. Os teores de metais no lodo de esgoto utilizado neste experimento são inferiores aos limites estabelecidos, adequando-se ao uso agrícola. A Resolução não estabelece limites máximos de concentração.

A Evapotranspiração de Referência (ET_o) foi determinada pelo Método de Penman-Monteith – FAO 56, a partir de dados da estação meteorológica automática completa da Onset (Modelo – EAC-U30-900), situada na área de estudo.

Além da estação agrometeorológica, que possibilita o cálculo do balanço hídrico, existem também pluviômetros e um Tanque Classe A para monitoramento e determinação da lâmina de água a ser aplicada. As ações de monitoramento agroclimatológico contam com participação de moradores locais.

A determinação o tempo de irrigação (TI) para os cultivos tomou como base os coeficientes de cultivo (K_c), o fator de correção (KL) devido à irrigação localizada não necessitar umedecer toda a área (Keller & Karmeli, 1975), a intensidade de aplicação e a lâmina bruta de irrigação (LB).

Os coeficientes de cultivo (K_c) utilizados para determinar a ET_c do milho, girassol e sorgo,

para a semeadura e estabelecimento - fase I, crescimento vegetativo - fase II, floração e formação da produção - fase III e maturação - fase IV foram de 0,43, 0,70, 1,14 e 1,13 (Allen et al., 2006), e de 0,6, 0,95, 1,09 e 0,69 (Allen et al., 2006) e de 0,4, 1,1, 1,0 e 0,7 (Costa et al., 2017), respectivamente.

A determinação da real quantidade de água aplicada aos cultivos é explicada detalhadamente, como também a obtenção do tempo de irrigação de acordo com cada fase de cultivo, enfatizando sempre a importância da determinação da evaporação, bem como do uso de irrigação localizada para cultivos irrigados com águas residuárias tratadas. Além disso, o uso de equipamentos de proteção individual (EPI) e cuidados com higiene pessoal são repassados aos moradores locais.

As informações biométricas e de umidade do solo foram submetidas à análise de variância, aplicando-se o teste *F*. De acordo com os valores do coeficiente de variação (CV), a variabilidade foi classificada, segundo Warrick & Nielsen (1998), em baixa (CV ≤ 12%); média (12 < CV ≤ 60%) e alta variabilidade (CV > 60%).

Análise geoestatística foi desenvolvida adotando-se o estimador estatístico clássico de semivariâncias, conforme Montenegro & Montenegro (2006). Após a obtenção das semivariâncias, foram testados os ajustes aos modelos gaussiano, esférico e exponencial, sendo

escolhido aquele que melhor ajustou-se aos valores experimentais. Utilizaram-se 40 plantas em cada parcela do milho e do sorgo, avaliadas em malha regular (1 m x 1 m), para análise estatística e geoestatística. O método da krigagem foi adotado para mapeamento.

Os valores discrepantes foram eliminados na análise geoestatística, com base em Hoaglin et al. (1983), que remove os valores abaixo do limite

inferior ($Li = Qi - 1,5 Ai$) ou acima do limite superior ($Li = Qs + 1,5 Ai$), em que Qi representa o quartil inferior e Qs o superior, respectivamente.

Resultados e Discussão

A Figura 3 apresenta os comportamentos da precipitação e da evapotranspiração de referência (ET_o) diária durante o cultivo do milho, do girassol e do sorgo.

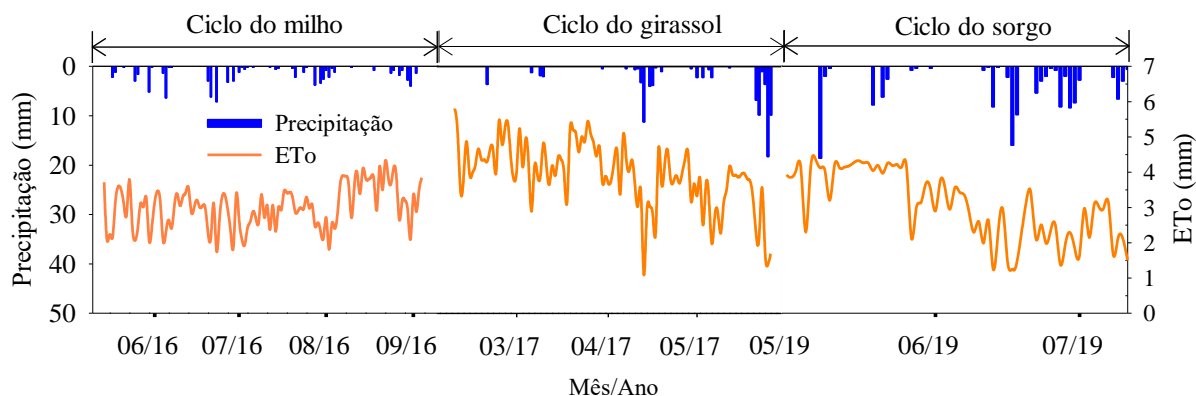


Figura 3. Distribuição diária da precipitação e da evapotranspiração de referência durante os cultivos do milho, girassol e sorgo, na estação de tratamento de esgoto – Mutuca, Pesqueira-PE.

Durante o experimento com o milho, a precipitação total foi de 117,2 mm, com máximo valor diário de 7,2 mm, com regular distribuição observada durante todo o ciclo. A temperatura média foi de 23,2°C, variando de 15,4 a 35,9°C, a evapotranspiração de referência (ET_o) foi de 416 mm, e lâmina de irrigação aplicada de 312 mm.

Durante o cultivo do girassol, a precipitação foi muito baixa de fevereiro ao início de maio, com maiores lâminas precipitadas ocorrendo na fase final de cultivo. O total

precipitado foi de 152 mm. A ET_o acumulada foi de 427 mm.

Em relação às condições meteorológicas locais, a precipitação apresentou adequada distribuição durante o cultivo do sorgo. O total precipitado foi de 129,4 mm, com máxima precipitação diária de 18,6 mm. A ET_o acumulada foi de 218,77 mm, e a lâmina complementar aplicada foi de 36,8 mm.

A biometria do milho, do girassol e sorgo está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros biométricos do milho e girassol com e sem a aplicação de lodo, e do sorgo, com e sem aplicação de cobertura morta.

Tratamentos	AP média	DC média	NF média
	(cm) / CV	(mm) / CV	(Und) / CV
Milho			
Com Lodo	110 ^{ns} / 13,7	17,5* / 13,3	11,1 ^{ns} / 18,1
Sem Lodo	109 / 17,6	14,9 / 13,4	10,9 / 19,9
Girassol			
Com Lodo	118,5* / 18,3	19,6* / 12,5	25,5* / 12,3
Sem Lodo	97,7 / 17,6	18,2 / 15,6	20,2 / 15,7
Sorgo			
Com cobertura	254 ^{ns} / 8,8	8,0* / 15,1	6,2 ^{ns} / 23,5
Sem cobertura	228 / 11,7	7,4 / 22,9	6,4 / 16,6

AP = Altura da Planta; DC = Diâmetro do Colmo e NF = Número de Folhas; * = significativo pelo teste F ($p < 0,05$); ^{ns} = não significativo pelo teste F ($p > 0,05$).

A aplicação de lodo no cultivo do milho não resultou em diferença estatística para AP e NF. Porém, o DC na parcela CL foi 14,86% maior em relação a área SL.

No cultivo do girassol, o tratamento com lodo promoveu o incremento de 17,6% na AP, 7,1% no DC e 20,8% em NF, em comparação ao tratamento sem lodo. Estas características

agronômicas mais elevadas na presença de lodo podem ser atribuídas aos nutrientes presentes no lodo de esgoto, como demonstrado na Tabela 1.

Das variáveis do sorgo, o DC foi a única que apresentou diferença estatística, sendo 8,1% superior ao tratamento CL.

De acordo com Petter et al. (2016), o aumento no DC é importante para o desenvolvimento e sustentação da cultura, ao mesmo tempo que promove maior armazenamento de açúcares e nutrientes.

De uma forma geral, a aplicação de lodo promoveu uma maior uniformidade na ALT, no DC e no NF, como constatado pelos menores CV na maioria das variáveis, nos três cultivos. Todos os parâmetros da cultura foram classificados com médio CV. Carvalho et al. (2019) encontraram menores valores de CV para altura da planta e número de folhas de milho da variedade São José nas condições de solo descoberto em relação à parcela com solo com cobertura natural, em condições de cultivo de sequeiro, no mesmo período do cultivo no Agreste pernambucano. Adicionalmente, encontraram valor superior para AP (175 cm), e semelhante para DC (18,1 mm) e NF (11,8 unidades), em relação à área com CL.

As variáveis biométricas obtidas neste experimento com girassol foram superiores às encontradas por Freitas et al. (2012), trabalhando com reuso de águas residuárias na irrigação do girassol em Aquiraz, Ceará (AP = 112,4 cm, DC = 15,23 mm e NF = 25,3 unidades) na área CL.

Cunha & Lima (2010), em cultivo de sorgo conduzido no Rio Grande do Norte, encontraram

AP de 196 cm, inferior ao encontrado com e sem cobertura, neste experimento.

De acordo com Montenegro et al. (2013) e Borges et al. (2014), a prática da cobertura morta é indispensável para as regiões semiáridas, pois reduz os danos causados pela ação erosiva das gotas de chuva, proporciona incremento da umidade do solo, reduzindo a evaporação e o escoamento, promovendo maior infiltração de água e consequentemente aumentando a sustentabilidade do agroecossistema em condições de semiárido.

Diversas análises experimentais foram realizadas na ETE-Mutuca, sempre com o objetivo de estudar a viabilidade agrícola e ambiental do reuso de água na agricultura e no meio ambiente. Destas análises, destaca-se o estudo da variabilidade espacial e temporal da produção, para o qual a geoestatística está diretamente relacionada, permitindo a associação de parâmetros produtivos com os físico-hídricos da área de estudo. Durante a produção agrícola na ETE, são confeccionados os mapas relacionados ao sistema de produção, permitindo a identificação de zonas homogêneas e, consequentemente, a aplicação de manejo agrícola direcionado e eficiente, de acordo as faixas de produção, aplicando assim, a agricultura de precisão e difundindo esta técnica para agricultores locais. As Figuras 4 e 5 ilustram os semivariogramas e os mapas de krigagem, para a massa verde do sorgo e umidade do solo, respectivamente.

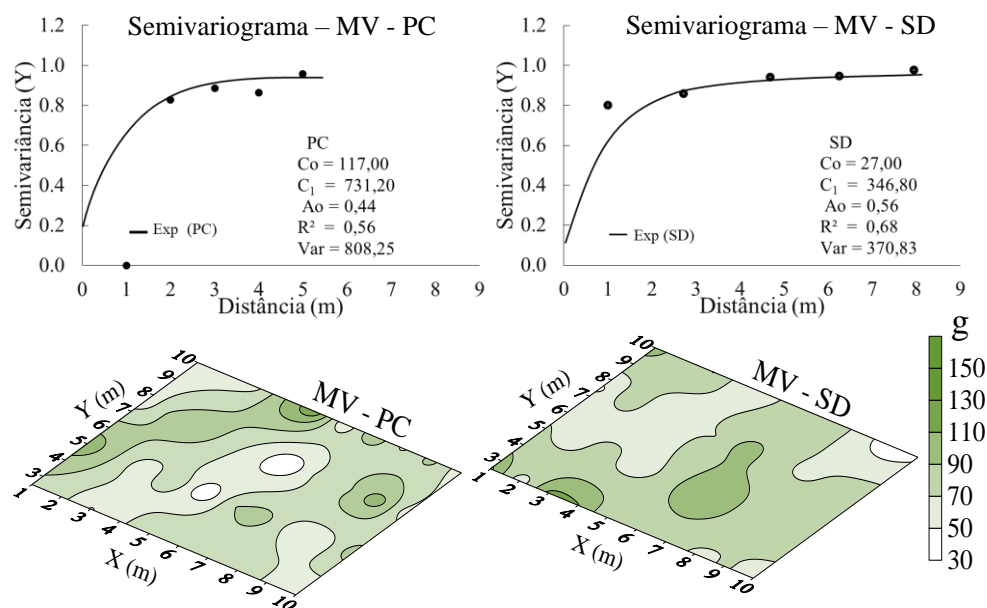


Figura 4. Semivariograma da matéria verde (MV) e mapas de isolinhas da área com (PC) e sem (SD) aplicação de cobertura morta, no cultivo do sorgo.

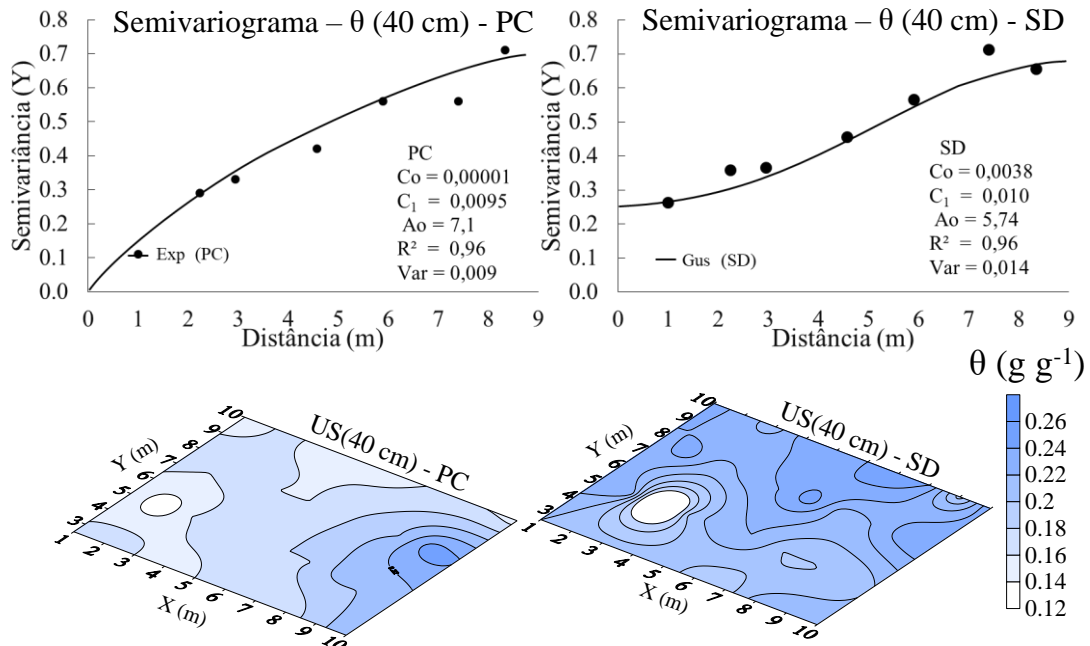


Figura 5. Semivariograma da umidade do solo - US (40 cm) e mapas de isolinhas da umidade do solo na área com (PC) e sem (SD) aplicação de cobertura morta, no cultivo do sorgo.

O mapa de isolinhas apresenta maior variabilidade da produção em PC, porém uma melhor homogeneidade da umidade na área com cobertura morta. Carvalho et al. (2019) ressaltam a importância do uso da cobertura morta para permanência da umidade do solo em condições climáticas de alta demanda atmosférica e para homogeneizar a sua distribuição espacial.

Os mapas permitem assim avaliar a uniformidade de distribuição da produtividade e da água nas áreas, e possibilitar um eventual ajuste, caso necessário.

O manejo adequado da cultura e das práticas agrícolas são de extrema importância para evitar elevadas salinidade e sodicidade. Desta forma, a adoção de lâminas adequadas de irrigação, de uso de variedades tolerantes, e de sistema de drenagem são fundamentais para a permanência da qualidade do solo, controlando o acúmulo de sais (Pedrotti et al., 2015).

Na área de estudo existe elevada variabilidade na condutividade elétrica da água no solo durante o cultivo, como observado nos *box plots* das parcelas com experimento SL, CL, PC e SD (Figura 5).

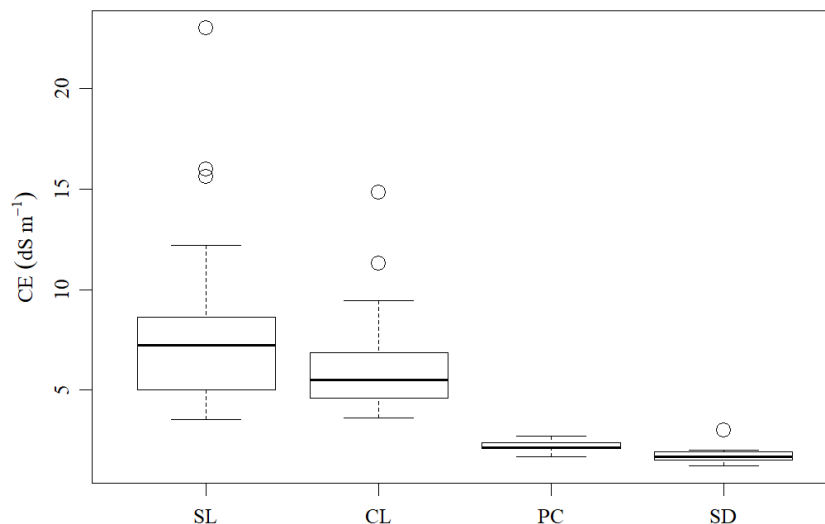


Figura 5. Variabilidade da condutividade elétrica (CE) da água no solo, na parcela sem lodo (SL), com aplicação de lodo (CL), em 2016, e na parcela com (PC) e sem (SD) cobertura morta, em 2019.

As CE mínima, média e máxima foi de 3,5, 7,73 e 22,98 dS m⁻¹ em SL, 3,6, 6,72 e 14,82 dS m⁻¹ em CL, em PC 1,69, 2,21 e 2,71 dS m⁻¹ e em SD de 1,24, 1,83 e 1,92 dS m⁻¹, respectivamente. Constatou-se diferença estatística pelo teste F, com os maiores valores de CE para SL, comparado a CL. Destaca-se que a CE de SL e CL foi avaliada em setembro de 2016 e as CE dos tratamentos PC e SD foram avaliadas agosto de 2019. Desse modo, constata-se uma significativa redução na salinidade do solo na área agrícola, ressaltando assim o adequado manejo conduzido na área, e a viabilidade do uso de efluente doméstico para fins hidroagrícolas. Deve-se destacar que o ano de 2019 foi mais chuvoso que 2016, o que contribuiu para uma maior lixiviação de sais e lavagem do perfil.

De acordo com Souto et al. (2016), uma baixa salinidade é fundamental para garantir a produção agrícola, de acordo com o nível de tolerância da cultura, sendo influenciada por lavagens periódicas promovidas pelas chuvas e pela presença de um sistema de drenagem eficiente.

A CE média foi reduzida em 70%, comparando o monitoramento realizado em setembro de 2017 com o de março de 2019. Esta redução ocorreu em função do manejo da irrigação adotado, sendo influenciada por ocorrência de chuvas intensas, como a de 115 mm ocorrida em 16 de fevereiro de 2019, que promoveu a lavagem dos sais, e do eficiente sistema de drenagem implantado na área de produção da ETE-Mutuca.

Estas informações foram repassadas de forma prática para os agricultores locais, sendo de suma importância para a região.

O melhor desempenho das plantas tratadas com LE é atribuído à disponibilização de nutrientes presentes no lodo, bem como de matéria orgânica que ajudam na conservação da umidade do solo, no desenvolvimento do sistema radicular e na redução da temperatura e da manutenção dos menores valores condutividade elétrica do solo, constatado nos experimentos do milho e do girassol.

A inclusão social, o empoderamento da comunidade, a educação ambiental e o uso de fontes alternativas na utilização dos recursos hídricos foram os princípios básicos considerados na condução deste estudo. A participação efetiva e dinâmica da comunidade local foi essencial nos dias de campo.

A mobilização se torna um poderoso instrumento de cidadania quando uma comunidade reconhecer a importância da ação. A prática de estratégias participativas promove a inclusão social e o empoderamento local, proporcionando oportunidades de sinergia e fortalecendo a comunidade, possibilitando assim maior resiliência a cenários de escassez.

Conclusões

A irrigação com efluentes domésticos e o uso tanto do lodo de esgoto quanto da cobertura morta para fins hidroagrícolas promoveram adequadas produções aos cultivos.

O uso de cobertura morta e de lodo de esgoto como fonte de nutrientes e conservação da umidade do solo teve impacto positivo na produção das culturas.

O uso de cobertura morta promoveu maior homogeneidade na distribuição de umidade do solo, sendo fundamental para a produção de massa verde, com reuso de efluente doméstico.

O manejo da irrigação, a adoção de práticas conservacionistas, a ocorrência de chuvas intensas, e a existência de sistema de drenagem subterrânea contribuíram para o controle dos teores de sais no solo, conservando a sua capacidade produtiva e a sua sustentabilidade, em relação à condutividade elétrica e sodicidade.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq, à Financiadora de Estudos e Projetos-FINEP, à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco-FACEPE (Processo N°. APQ - 0913- 5.03/15) e (IBPG-1758-5.03/15), ao projeto Aliança para Gestão de Recursos Hídricos no Semiárido de Pernambuco (Consórcio UNIVERSITAS) financiado pela FACEPE, (Processo N°. APQ-0300-5.03/17), à Pró-Reitoria de Extensão e Cultura (PROEXC) e ao Instituto Agrônomo de Pernambuco-IPA, por apoiar esta pesquisa.

Referências

- Adhikari, P.; Shukla, M. K.; Mexal, J. G. 2011. Spatial Variability of Electrical Conductivity of Desert Soil Irrigated with Treated Wastewater: Implications for Irrigation Management. *Applied and Environmental Soil Science*, 2011, 1-11. doi:10.1155/2011/504249
- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith. Evapotranspiration del cultivo: guias para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma: FAO, 2006. 298p. (Estudio Riego e Drenaje Paper, 56).
- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Moraes, G.; Leonardo, J.; Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22, 711-728. doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507
- Alves, O. F.; Elias, S.; Leite, M. L. D. M. V.; Azevedo, J. M.; de Souza Silva, J. P. S.; Nascimento, G. F.; Simplício, J. B. 2016.

- Características agrônômicas de cultivares de sorgo em sistema de plantio direto no Semiárido de Pernambuco. *Revista Ciência Agrícola*, 14, 29-36. doi: 10.28998/rca.v14i1.2318
- ANA. 2017. Atlas de irrigação: uso da água na agricultura irrigada. 1. ed. Brasília: Agência Nacional de Águas, Brasília.
- Borges, T. K. S.; Montenegro, A. A. A.; Santos, T. E. M. dos; Silva, D. D. da; Silva Junior, V. P. 2014. Influência de práticas conservacionistas na umidade do solo e no cultivo do milho (*Zea mays* L.) em semiárido nordestino. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38, 1862-1873. doi: 10.1590/S0100-06832014000600021
- Brasil. 2006. Ministério do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 375. MMA: Brasília, 2006. 32p.
- Campos, J. N. B. 2014. Secas e políticas públicas no semiárido: ideias, pensadores e períodos. *Estudos Avançados*, 28, 65-88. doi: 10.1590/S0103-40142014000300005
- Carvalho, A. A.; Montenegro, A. A. A.; Assis, F. M. V.; Tabosa, J. N.; Cavalcanti, R. Q.; Almeida, T. A. B. 2019. Spatial dependence of attributes of rainfed maize under distinct soil cover conditions. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23, 33-39. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v23n1p33-39
- Castro, C. N. 2017. Uma análise sobre diferentes opções de políticas para a agricultura irrigada no Semiárido. *Boletim regional, urbano e ambiental*.
- CONAMA. 2006. Resolução nº. 375 de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Brasília, DF.
- Costa, J. P. N.; Medeiros, J. F.; Nunes, R. M. A.; Cavalcante Junior, G.; Lira, J. F. B. 2017. Crescimento e produção da primeira rebrota de cultivares de sorgo sob diferentes lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 16, 449-459. doi: 10.18512/1980-6477/rbms.v16n3p449-459
- Cunha, E. E.; Lima, J. M. P. 2010. Caracterização de genótipos e estimativa de parâmetros genéticos de características produtivas de sorgo forrageiro. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 710-706. doi: 10.1590/S1516-35982010000400002
- Freitas, C. A.; Silva, A. R.; Bezerra, F. M.; Andrade, R. R.; Mota, F. S.; Aquino, B. F. 2012. Crescimento da cultura do girassol irrigado com diferentes tipos de água e adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi*, 16, 1031-1039. doi: 10.1590/S1415-43662012001000001
- Fujioka, T.; Tu, K. L.; Khan, S. J.; McDonald, J. A.; Roux, A.; Poussade, Y.; Nghiem, L. D. 2014. Rejection of small solutes by reverse osmosis membranes for water reuse applications: A pilot-scale study. *Desalination*, 350, 28-34. doi: 10.1016/j.desal.2014.07.002
- Hoaglin, D. C.; Mosteller, F.; Tykey, J. W. 1983. Análise exploratória de dados: Técnicas robustas, um guia. Lisboa: Salamandra, 446p.
- IPA-Instituto Agrônômico de Pernambuco. 2007. Sorgo Sudão: Sudan 4202 – cultivar tolerante a salinidade e com aptidão para feno. Recife, [s.d.]. Folder.
- Keller, J.; Karmeli, D. 1975. Trickle irrigation desing. Glendora: Rain Bird Sprinklers Manufacturing Corp. 133p.
- Lima, V. L. A.; Azevedo, C. A. V.; Miranda, R. J. A.; Melo, A. A.; Montenegro, A. A. A.; Cruz, R. N. 2012. Recursos Hídricos em Regiões Semiáridas: estudos e aplicações. Uso agrícola de água residuária: Uma visão socioambiental. 1ed. Cruz das Almas: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 1, 130-153.
- Lira, R. M.; Santos, A.; Silva, J. S.; Barnabé, J. M. C.; Barros, M. S.; Soares, H. R. 2015. A utilização de águas de qualidade inferior na agricultura irrigada. *Revista Geama*, 1, 341-362.
- Macedo, M. J. H.; Guedes, R. V. S.; de Sousa, F. D. A. S.; Dantas, F. R. C. 2010. Analysis of the standardized precipitation index for the Paraíba state, Brazil. *Ambiente e gua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 5, 204-214. doi: 10.4136/ambi-agua.130
- Mancuso, P. C. S.; Santos, H. F. dos. 2003. Reúso de água. [s.l.] Editora Manole Ltda.
- Meng, F.; Fu, G.; Butler, D. 2016. Water quality permitting: from end-of-pipe to operational strategies. *Water Research*, 101, 114-126. doi: 10.1016/j.watres.2016.05.078
- Miranda, R. J. A. 2010. Lâminas de Irrigação com Água Residuária e Adubação Orgânica na Cultura do Algodão BRS Safira. Tese (Doutorado), UFRPE, Recife.
- Montenegro, A. A. de A.; Abrantes, J. R. C. B.; Lima, J. L. M. P. de; Singh, V. P.; Santos, T. E. M. 2013. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. *Catena*, 109, 139-149. doi: 10.1016/j.catena.2013.03.018

- Montenegro, A. A. de A.; Montenegro, S. M. G. L. 2006. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10, 30-37. doi: 10.1590/S1415-43662006000100005
- ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. 2015. 17 Objetivos para Transformar Nosso Mundo. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 20 Ago 2019.
- Pedrotti, A.; Chagas, R. M.; Ramos, V. C.; Prata, A. D. N.; Lucas; A. A. T.; Santos, P. B. 2015. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 19, 1308-1324. doi: 105902/2236117016544
- Petter, F. A.; Andrade, F. R.; Zuffo, A. M.; Monteiro, M. M. S.; Pacheco, L. P.; Almeida, F. A. 2016. Doses e épocas de aplicação de potássio no desempenho agrônômico do milho no cerrado piauiense. *Comunicata Scientiae*, 7, 372-382. doi: 10.4322/rca.1295
- Ricart, S.; Rico, A. 2019. Assessing technical and social driving factors of water reuse in agriculture: A review on risks, regulation and the yuck fator. *Agricultural Water Management*, 217, 426-439. doi: 10.1016/j.agwat.2019.03.017
- Santos, C. S. 2015. Conservação de solo e água em unidade de reúsoreuso do semiárido para proteção ambiental, produção agrícola e inclusão social. 2015. 132p. Dissertação (Mestrado) - UFRPE, Recife.
- Santos, C. S.; Montenegro, A. A. D. A.; Santos, M. A.; Pedrosa, E. M. 2017. Evapotranspiration and crop coefficients of Moringa oleífera under semi-arid conditions in Pernambuco. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21, 840-845. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v21n12p840-845
- Souto, A. G. L.; Cavalcante, L. F.; Mesquita, F. O.; Santos, J. B. 2016. Biometria em plantas de noni sob irrigação com águas salinas e lixiviação dos sais do solo. *Revista Ciência Agronômica*, 47, 316-324. doi: 10.5935/1806-6690.20160037
- Vanham, D.; Hoekstra, A. Y.; Wada, Y.; Bouraoui, F.; Roo, A.; Mekonnen, M. M.; van de Bund, W. J.; Batelaan, O.; Pavelic, P.; Bastiaansen, W. G. M.; Kummu, M.; Rockström, J.; Liu, J.; Bisselink, B.; Ronco, P.; Pistocchi, A.; Bidoglio, G. 2018. Physical water scarcity metrics for monitoring progress towards SDG target 6.4: an evaluation of indicator 6.4.2 “Level of water stress”. *Science of The Total Environment*, 614, 218-232. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.056
- Warrick, A. W.; Nielsen, D. R. 1980. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D. (ed.). *Applications of Soil Physics*. New York: Academic, pp. 319-344.