

AILTON ALVES DE CARVALHO

ESTRATÉGIAS PRODUTIVAS EM CULTIVO DE SEQUEIRO E REUSO DE ÁGUA
RESIDUÁRIA PARA CONVIVÊNCIA COM A ESCASSEZ HÍDRICA, PERNAMBUCO
(BRASIL)

RECIFE - PE

2020

AILTON ALVES DE CARVALHO

ESTRATÉGIAS PRODUTIVAS EM CULTIVO DE SEQUEIRO E REUSO DE ÁGUA
RESIDUÁRIA PARA CONVIVÊNCIA COM A ESCASSEZ HÍDRICA, PERNAMBUCO
(BRASIL)

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro

RECIFE - PE

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

321e Carvalho, Ailton Alves de

Estratégias produtivas em cultivo de sequeiro e reuso de água residuária para convivência com a escassez hídrica, Pernambuco (Brasil) / Ailton Alves de Carvalho. – 2020. 155 f.: il.

Orientador: Abelardo Antônio de Assunção Montenegro.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2020.
Inclui referências e apêndice.

1. Mudanças climáticas. 2. Aplicação de cobertura morta. 3. Milho em sequeiro. 4. Sorgo forrageiro I. Montenegro, Abelardo Antônio de Assunção, orientador. II. Título.

CDD 631

AILTON ALVES DE CARVALHO

ESTRATÉGIAS PRODUTIVAS EM CULTIVO DE SEQUEIRO E REUSO DE ÁGUA
RESIDUÁRIA PARA CONVIVÊNCIA COM A ESCASSEZ HÍDRICA, PERNAMBUCO
(BRASIL)

Tese apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

DEFENDIDA em ____/____/_____.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro – DEAGRI/UFRPE
Orientador

Prof. Dr. Ênio Farias França e Silva – DEAGRI/UFRPE
Examinador Interno

Prof. Dr. João Luís Mendes Pedrosa de Lima - FCTUC
Examinador Externo

Dr. Salomão de Sousa Medeiros – INSA
Examinador Externo

Dr. José Nildo Tabosa - IPA
Examinador Externo

A toda a minha família, em especial aos meus pais, Maria da Penha e Adailton Carvalho e irmãos, Anailton e Amilton, pelo incentivo e apoio nas dificuldades e nas conquistas ao longo da vida...

A minha esposa Onáira, pelo amor, compreensão e apoio em todas os momentos da vida...

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus, o Grande Engenheiro do universo, por estar sempre me guiando em todos os passos.

Aos meus avós, Maria do Socorro e Antônio Gonçalo (*in memoriam*), minha eterna gratidão por ensinar a ter fé sempre, para alcançar meus objetivos.

Aos meus queridos e amados pais, Adailton de Carvalho Diniz e Maria da Penha Alves Diniz, pelo amor incondicional, pelos ensinamentos, por incentivar a alcançar meus objetivos e principalmente, por me dar uma das maiores dádivas da vida “a educação”. Aos demais familiares que direta e indiretamente contribuíram para construção da Tese.

À minha esposa, Onáira Fernanda, pelo amor, apoio incondicional e por ser fundamental em todas as minhas conquistas.

Aos amigos Rodolfo Souza, Waldone Renato, André Ferraz, José Edson, Iug Lopes, Frederico Lins e Hélio Lopes, que me apoiaram bastante durante o doutorado.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PGEA), pela formação e estrutura oferecida para realização do doutorado. A todos os professores do PGEA, que ao longo desses quatro anos, contribuíram para meu crescimento profissional.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE, APQ - 0913- 5.03/15 e IBPG-1758-5.03/15), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por todo apoio financeiro na realização do doutorado.

Ao Prof. Dr. Abelardo Montenegro, pela paciência, motivação, conselhos, oportunidades, orientação, dedicação e doação para execução da pesquisa e construção da Tese, acreditando na minha competência e responsabilidade, e com seus conhecimentos repassados, me fez enxergar mais longe e alcançar voos cada vez mais altos. Sempre terá minha sincera admiração.

Aos examinadores, Prof. Dr. Ênio Farias de França e Silva, Prof. Dr. João Luís Mendes Pedroso de Lima, Dr. Salomão de Sousa Medeiros e Dr. José Nildo Tabosa, pela significativa atenção e empenho na correção do trabalho.

A Pró-Reitoria de Extensão e Cultura (PROEXC), em especial a Ana Virgínia Marinho Silveira e ao Instituto Agrônomo de Pernambuco-IPA, por apoiar nas atividades de ensino, pesquisa e extensão.

Ao amigo, Prof. Dr. Thieres George, pelo apoio, incentivo, motivação e conselhos repassados, me fez enxergar mais longe e melhorar meu crescimento profissional.

Aos amigos do Laboratório de Água e Solo (LAS), pela amizade, momentos de aprendizagem, descontração, trabalhos de campo, laboratório, participação em congressos: Adriana Guedes, Adriano Normandia, Daniella Pereira, Hélio Lopes, Liliane Pinheiro, Robertson Fontes, Célia Santos, Fred Mikhail, Frederico Lins, Iug Lopes, Thayná Almeida, Kátia, Beatriz, Andeson, Talita, Hugo Montenegro e Evellyn. Desejo-lhes um caminho iluminado com muita paz e sucesso.

Aos amigos do PGEA pela cooperação e estímulo: Dra. Laercia, Adiel, Andrey, Tadeu Figueirôa, Breno, Carolina, Diego Araújo, Jozé, Fernanda, Jhon Lennon, Jose Edson, José Diórgenes, Juliana Melo, Matheus Tolêdo, Monalisa, Pedro Henrique, Ronaldo, Elves, Sirleide e aos demais... Meu muito obrigado.

Ao vaqueiro Cícero, responsável técnico pela Estação de Tratamento de Esgoto Doméstico em Mutuca, Pesqueira-PE e à professora Rosemilda (Nida), que acreditaram neste trabalho e se apenharam em ajudar no desenvolvimento da pesquisa.

Enfim, a todas as outras pessoas que não foram citadas aqui, mas que de alguma forma colaboraram com este trabalho, meu muito obrigado.

*“Se fiz descobertas valiosas, foi
mais por ter paciência do que
qualquer outro talento” ...*

Isaac Newton

CARVALHO, A. A. de. **Estratégias produtivas em cultivo de sequeiro e reuso de água residual para convivência com a escassez hídrica, Pernambuco (Brasil)**. 2020. 156 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil.

RESUMO GERAL

A forte tendência no aumento da variabilidade de chuvas e elevação da escassez hídrica, provocam incertezas da produção agrícola de sequeiro, e no uso de água de boa qualidade na agricultura irrigada, resultando em pressões para utilização de alternativas como de práticas conservacionistas da umidade no solo e o uso de águas com qualidade inferior para irrigação, com destaque para as águas residuárias. Essas águas encontram-se cada vez mais abundantes, sendo lançadas diretamente em corpos hídricos sem tratamento apropriado, representando um potencial recurso para produção agrícola de plantas forrageiras, mediante um tratamento prévio. Assim, o objetivo com esta pesquisa é avaliar os efeitos das condições climáticas para o semiárido brasileiro que deem subsídio para o uso de estratégias de conservação da água e solo em cultivo de milho em sistema de sequeiro, bem como, para o uso de água residual na produção agrícola e proteção ambiental em bacia hidrográfica no semiárido de Pernambuco. O capítulo 1 aborda a introdução, hipóteses e objetivo geral e específicos e a revisão de literatura. O capítulo 2 traz uma análise das mudanças climáticas para o semiárido brasileiro em relação a precipitação anual, dias chuvosos e temperatura. Em decorrência dos efeitos de mudanças climáticas, o capítulo 3 aborda a variabilidade espacial no solo e nas plantas de milho cultivado no sistema tradicional (sem aplicação de cobertura morta como prática conservacionista da umidade do solo) e com a aplicação cobertura morta. O capítulo 4 avalia o efeito da aplicação de 5 lâminas de irrigação com água residual (60, 80, 100, 120 e 140% da Evapotranspiração da Cultura - ETc) em 4 condições de cobertura do solo (sem cobertura (Testemunha), vegetação nativa, pó de coco e sementes de moringa maceradas) no desenvolvimento do *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf, na salinidade do solo, do lençol freático e no carbono orgânico total. O capítulo 5 aborda o efeito da dependência espacial e temporal das variáveis produtivas do sorgo, da umidade e da condutividade elétrica do solo em área irrigada com água residual na presença e ausência de cobertura morta. O capítulo 6 apresenta resultados de produção de milho, girassol e sorgo irrigado com esgoto doméstico tratado, com participação de agricultores rurais e alunos do ensino fundamental. E, por fim, o capítulo 7 contém as conclusões gerais da Tese. Esta Tese apresenta resultados importantes sobre os efeitos atuais e futuros nas mudanças nos padrões de chuva, de dias chuvosos e na temperatura para o semiárido brasileiro, que apresenta elevada escassez de água. As estratégias para a convivência com os cenários futuros podem ser o uso da cobertura morta, que representa uma prática capaz de mitigar os efeitos das mudanças climáticas e melhorar a produção agrícola. Além disso, o uso de água residual tratada para cultivos agrícolas, em especial do sorgo forrageiro, representa uma importante alternativa para a agricultura irrigada, principalmente em junção com uso de cobertura morta, uma vez que promove melhor incorporação de matéria orgânica no solo e maior preservação da correlação espacial e temporal entre as variáveis de crescimento do sorgo e do solo. Através da gestão participativa, ações voltadas à intensificação do uso efluentes domésticos e de lodo de esgoto para fins hidroagrícolas devem ser incentivadas, promovendo a produção de alimentos e aumento de renda dos produtores agrícolas.

Palavras-chave: Variabilidade climática, Agricultura de sequeiro, Reuso de água, Sustentabilidade, Impacto social, Região do semiárido do Brasil

CARVALHO, A. A. de. **Climate change, productive strategies in rainfed cultivation and wastewater reuse for improvement of living with water scarcity**. 2020. 156 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil.

GENERAL ABSTRACT

The strong trend in increasing the variability of rainfall and increasing water scarcity produce an increase in the uncertainties for rainfed agricultural production, as well as social unrest regarding the use of good quality water in irrigated agriculture, resulting in pressures for the use of alternatives such as conservation practices of soil moisture and the use of inferior water for irrigation, with emphasis on wastewater, which in turn is increasingly abundant, and being directly discharged into water bodies without proper treatment, representing a potential resource for agricultural production of forage plants, through a previous treatment. Thus, the objective of this research is to evaluate the effects of climatic conditions for the Brazilian Northeast that provide subsidies for the use of water and soil conservation strategies in corn cultivation in rainfed systems, as well as for the use of waste water in agricultural production and environmental protection in a hydrographic basin in the semiarid region of Pernambuco. Chapter 1 covers the general and specific introduction, hypotheses and objective and the literature review. Chapter 2 provides an analysis of climate change for the Brazilian Northeast in relation to annual precipitation, rainy days and temperature. Due to the effects of climate change, Chapter 3 addresses the spatial variability in soil and corn plants grown in the traditional system (without applying mulch as a soil moisture conservation practice) and with mulch. Chapter 4 assesses the effect of applying 5 irrigation slides with wastewater (60, 80, 100, 120 and 140% of the Evapotranspiration of Culture - ETC) in 4 conditions of soil cover (without cover (control), native vegetation), coconut powder and macerated moringa seeds) in the development of *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf, in the salinity of the soil, groundwater and total organic carbon. Chapter 5 addresses the effect of spatial and temporal dependence on the productive parameters of sorghum, moisture and electrical conductivity of the soil in an area irrigated with wastewater in the presence and absence of mulch. Chapter 6 presents results of production of corn, sunflower and sorghum irrigated with treated domestic sewage, with the participation of rural farmers and elementary school students. Finally, chapter 7 contains the general conclusions of the Thesis. This Thesis presents important results on the current and future effects on changes in the patterns of rain, rainy days and temperature in northeastern Brazil, with emphasis in the semiarid region, which presents high water scarcity and strategies for living with the future scenarios, the use of mulch represents an essential practice to mitigate the effects of climate change and improve agricultural production. In addition, the use of treated wastewater for agricultural crops, especially forage sorghum, represents an important alternative for irrigated agriculture, especially in conjunction with the use of mulch, since it promotes better incorporation of organic matter in the soil and greater preservation of spatial and temporal correlation between sorghum and soil growth variables. 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: Climatic variability, Rainfed agriculture, Water reuse, Sustainability, Social impact, Semiarid region of Brazil

SUMÁRIO

CAPÍTULO I - Introdução Geral e Revisão	13
1. INTRODUÇÃO	13
2. HIPÓTESES.....	14
3. OBJETIVO GERAL	15
3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
4. REVISÃO DE LITERATURA	15
4. 1. Mudanças climáticas e as necessidades de estratégias de convívio sustentável com a escassez de água	15
4. 2. Uso de cobertura morta em cultivo de sequeiro no semiárido	18
4. 3. Importância do aproveitamento hidroagrícola águas residuárias	19
4. 3. 1. Produção de forragem com água residuária	20
4. 3. 2. Salinização do solo e lençol freático	21
4. 3. 3. Associação de lâminas de irrigação com cobertura morta	22
4. Análise da variabilidade espacial e temporal em cultivos agrícolas	24
4. 5. Descrição dos experimentos e ações integradas de pesquisa-ensino-extensão ..	26
5. ESTRUTURA DOS CAPÍTULOS (ARTIGOS) DA TESE	35
6. REFERÊNCIAS	36
CAPÍTULO II - Trends of rainfall and temperature in northeast Brazil	48
INTRODUCTION	49
MATERIAL AND METHODS.....	50
RESULTS AND DISCUSSION.....	54
CONCLUSIONS	61
ACKNOWLEDGMENTS	62
LITERATURE CITED.....	62
CAPÍTULO III - Spatial dependence of rainfed maize attributes under distinct soil cover conditions.....	66
INTRODUCTION	67
MATERIAL AND METHODS.....	68
RESULTS AND DISCUSSION.....	70
CONCLUSIONS	78
ACKNOWLEDGMENTS	78

LITERATURE CITED.....	78
CAPÍTULO IV - Influência da irrigação com água residuária e cobertura morta, na produtividade do sorgo e na qualidade do solo	82
INTRODUÇÃO.....	84
MATERIAL E MÉTODOS.....	85
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	91
CONCLUSÕES	107
AGRADECIMENTOS	108
REFERÊNCIAS	108
CAPÍTULO V - Variabilidade espaço-temporal do sorgo irrigado com água residuária na presença e ausência de cobertura morta	113
INTRODUÇÃO.....	115
MATERIAL E MÉTODOS.....	116
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	119
CONCLUSÕES	131
AGRADECIMENTOS	131
REFERÊNCIAS	131
CAPÍTULO VI - Reuso hidroagrícola: uma solução para convivência com a escassez hídrica no sertão e agreste pernambucano	135
INTRODUÇÃO.....	136
MATERIAL E MÉTODOS.....	138
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	144
CONCLUSÕES	149
AGRADECIMENTOS	150
REFERÊNCIAS	150
CONSIDERAÇÕES FINAIS	154

CAPÍTULO I

Introdução Geral e Revisão

1. INTRODUÇÃO

A forte tendência no aumento da variabilidade de chuvas e conseqüentemente elevação da escassez de água provoca elevação nas incertezas para a produção agrícola de sequeiro, desenvolvida principalmente no contexto da agricultura familiar, requerendo estratégias para melhoria das áreas de cultivo, principalmente do milho, que é amplamente cultivado no semiárido.

O uso de cobertura morta nos cultivos de sequeiro desponta como uma técnica extremamente importante para a conservação da umidade do solo, promovendo a sua permanência e disponibilizando água por maior período de tempo durante os eventos de precipitação, que são escassos no semiárido.

Os baixos índices pluviométricos registrados no semiárido brasileiro despertam inquietação social quanto ao uso de água de boa qualidade na agricultura irrigada, resultando em pressões para o uso de alternativas como o uso de práticas conservacionistas, como também o uso de água com qualidade inferior para irrigação, com destaque para as águas residuárias que por vez, encontram-se cada vez mais abundantes, e sendo lançadas diretamente em corpos hídricos e sem tratamento apropriado, representando um potencial recurso para produção agrícola de plantas forrageiras.

Apesar do milho ser culturalmente a planta forrageira mais cultivada no Nordeste, o sorgo desponta no contexto de uso com água residuária, sendo uma de suas características suportar elevados estresses ambientais, como em solos salinos ou salino-sódicos, que contribuem para que a cultura seja altamente recomendada.

Na condição de salinidade do solo, a cobertura morta pode representar importante técnica para minimizar os efeitos da salinidade, possibilitando a melhoria da infiltração de água no solo, redução do escoamento superficial e da ascensão capilar, e diminuição do secamento do solo.

A cobertura morta tem proporcionado maior uniformidade no desenvolvimento dos cultivos no tempo e no espaço, possibilitando maior dependência espacial. Deste modo, a identificação da viabilidade em cultivos em sistema de sequeiro, bem como, em condições irrigadas, torna-se necessária para melhorar as áreas de produção agrícola do semiárido.

A Tese está distribuída em capítulos: o capítulo 1 aborda a introdução, hipóteses e objetivo geral e específicos e a revisão bibliográfica; o capítulo 2 traz uma análise das mudanças climáticas para o semiárido brasileiro em relação à precipitação anual, dias chuvosos e temperatura. Em decorrência dos efeitos de mudanças climáticas; o capítulo 3 uma variabilidade espacial no solo e nas plantas de milho cultivado no sistema tradicional (sem aplicação de cobertura morta como prática conservacionista da umidade do solo) e com a aplicação cobertura morta; o capítulo 4 uma avaliação do efeito da aplicação de 5 lâminas de irrigação com água residuária (60, 80, 100, 120 e 140% da Evapotranspiração da Cultura - ETc) em 4 condições de cobertura do solo (sem cobertura (Testemunha), vegetação nativa, pó de coco e sementes de moringa maceradas) no desenvolvimento do *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf, na salinidade do solo, do lençol freático e no carbono orgânico total; o capítulo 5 o efeito da dependência espacial e temporal das variáveis produtivas do sorgo, da umidade e da condutividade elétrica do solo em área irrigada com água residuária na presença e ausência de cobertura morta; o capítulo 6 resultados de produção de milho, girassol e sorgo irrigado com esgoto doméstico tratado, com participação de agricultores rurais e alunos do ensino fundamental.

Assim, o objetivo desta pesquisa é avaliar as tendências das condições climáticas para o semiárido brasileiro e as estratégias de conservação da água e solo em cultivo em sistema de sequeiro, bem como para o uso de água residuária na produção agrícola e proteção ambiental.

2. HIPÓTESES

As mudanças nos padrões de chuva e da temperatura estão ocorrendo no Nordeste, com maior intensidade na área de abrangência do semiárido;

A cobertura morta é uma prática adequada para conservação da umidade do solo e da dependência espacial, melhorando o cultivo em sequeiro;

A irrigação deficitária associada à cobertura do solo na produção de sorgo no semiárido pode incrementar a eficiência do uso da água e prevenir a salinização do solo;

A salinidade do solo em áreas irrigadas com água residuária pode ser minimizada com manejo e com os eventos naturais de chuva;

A irrigação deficitária, bem como com lâminas de lixiviação, associadas com cobertura morta podem melhorar o desempenho produtivo do sorgo sem afetar a sustentabilidade no tempo e no espaço do agroecossistema irrigado com água residuária.

3. OBJETIVO GERAL

Avaliar a tendência nas condições climáticas para o semiárido brasileiro que deem subsídio para o uso de estratégias de conservação da água e solo em cultivo de milho em sistema de sequeiro, bem como para o uso de água residuária para produção agrícola e proteção ambiental em bacia hidrográfica no semiárido pernambucano, com ênfase em cultivo do sorgo forrageiro com uso de práticas conservacionistas de solo e água.

3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar as tendências de mudanças climáticas semiárido brasileiro, em particular na precipitação e no número de dias chuvosos;
- Avaliar a variabilidade espacial de atributos físicos do solo e na produção do milho sob regime de sequeiro na presença e na ausência de cobertura morta;
- Investigar o desempenho produtivo do sorgo forrageiro, irrigado com diferentes lâminas de água residuária, com e sem aplicação de cobertura morta;
- Verificar a dependência espacial das variáveis produtivas do sorgo, da umidade e da condutividade elétrica do solo em área irrigada com água residuária na presença e ausência de cobertura morta;
- Avaliar cultivos agrícolas com o reuso de água residuária tratada, associado a práticas de conservação de água e solo, no Semiárido.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Mudanças climáticas e as necessidades de estratégias de convívio sustentável com a escassez de água

O problema das mudanças climáticas e aumento da escassez hídrica é um tema em destaque para todo o planeta, sendo uma das prioridades nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que buscam soluções globais até 2030, estando diretamente relacionadas aos objetivos: ODS 2 – fome zero e agricultura sustentável; ODS 6 - água potável e saneamento; ODS 12 – consumo e produção responsáveis; ODS 13 – ação contra a mudança global do clima; ODS 14 – vida na água e ODS 17 – parcerias e meios de implementação (ODS, 2015).

Estes objetivos buscam fortalecer um gerenciamento sustentável dos recursos naturais, em especial aos recursos hídricos, sendo necessários a tomada de medidas urgentes sobre as

mudanças climáticas, para a promoção de ações inovadoras que assegurem a qualidade de vida digna às gerações presentes e futuras (ODS, 2015).

No semiárido brasileiro, historicamente as secas registradas são desde um período curto de um ano, até mais de sete anos consecutivos, que ao longo da história tem ocasionado diversas mortes de pessoas e animais (CAMPOS, 2014). Porém, estes eventos vêm sendo intensificados nos últimos anos, levando à necessidade de investigação em relação aos efeitos das mudanças climáticas relacionados à precipitação, dias chuvosos e temperatura.

Uma forma de detectar a ocorrência de mudanças climáticas em determinada região é por meio da avaliação de séries históricas de precipitação e temperatura, permitindo avaliar as possíveis consequências para a sociedade (SILVA et al., 2017).

Naturalmente, a precipitação exibe elevada variabilidade espaço-temporal, sendo condicionada a fatores topográficos, dinâmicas de massa de ar, bem como de condições de uso do solo (QUEIROZ, 2018; SCHMIDT; LIMA; JESUS, 2018). Segundo Back; Oliveira; Henn (2012) e Silva et al. (2015), o entendimento da dinâmica do regime pluviométrico na escala espacial e temporal torna-se de suma importância no planejamento de projetos hidrológicos, agrícolas e na preservação dos ecossistemas.

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas ressalta que o aquecimento global tem causado maior variabilidade nos regimes de precipitação (ARNETH, A. et al., 2019). Este fato vem sendo observado nos regimes pluviais no Brasil e no mundo, motivados pela ocorrência de fenômenos naturais extremos (CARRETAS, 2014).

Um dos métodos mais utilizados para determinar a análise de tendência é o Teste não paramétrico de Mann-Kendall, que é amplamente utilizado para detectar tendências monotônicas em séries temporais hidrometeorológicas. Baseia-se na hipótese nula (H_0) em que os dados se apresentam identicamente distribuídos (ausência de tendência) e na hipótese alternativa (H_A) em que os dados seguem uma tendência monotônica na série temporal. O teste confirma a existência de uma tendência positiva ou negativa de acordo com a estatística do teste S para um determinado nível de confiança (PINHEIRO; GRACIANO; SEVERO; 2013; XU et al., 2018).

A estatística de teste (S) foi aplicada segundo Pinheiro; Graciano e Severo (2013) e Xu et al. (2018), pela Eq. (1):

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x(j) - x(i)) \quad (1)$$

em que:

$x(i)$ - série de tempo de $i = 1, 2, 3, \dots, n-1$;

$x(j)$ - série de tempo de $j = i+1, \dots, n$, $x(j)$ é maior que $x(i)$;

n - comprimento do registro do conjunto de dados.

Cada ponto $x(i)$ é usado como ponto de referência de $x(j)$, os resultados são gravados como $\text{sign}(\theta)$ ($1, \theta > 0$; $0, \theta = 0$; $-1, \theta < 0$).

Se o conjunto de dados for distribuído de forma idêntica e independente, então a média de S é zero e a variância de S é a Eq. (2):

$$\text{Var}(S) = \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^q t(t-1)(2t+5) \right] / 18$$

(2)

em que:

n - número do conjunto de dados;

t - número de dados com valores repetidos em um determinado grupo;

q - número de grupos contendo valores repetidos.

Para uma longa série temporal, o valor estatístico S pode ser transformado em Z com as seguintes condições: $Z = \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}$, $S > 0$; $0, S = 0$; $Z = \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}$, $S < 0$). Quando $-1,96 \leq Z \leq 1,96$, aceita-se a hipótese nula (H_0), o que indica que não existe uma tendência na série temporal. A tendência é significativa no nível de confiança de 0,95 se $|Z| > 1,96$, e no nível de confiança de 0,99 se $|Z| > 2,58$. Um valor de Z positivo indica que a sequência tem uma tendência aumentada, enquanto um Z negativo reflete uma tendência decrescente (PINHEIRO; GRACIANO; SEVERO, 2013; XU et al., 2018).

Após a identificação das tendências, realiza-se análise da magnitude da tendência por meio do Teste da Curvatura de Sen (SEN, 1968), de acordo com a Eq. (3):

$$\beta = \left(\frac{x_j - x_k}{j - k} \right), \text{ para } i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

em que:

β - estimador da declividade Sen. Quando os valores são positivos, a tendência é positiva, e quando os valores são negativos, a tendência é negativa;

x_j e x_k - são os valores dados nos tempos j e k ($j > k$), respectivamente.

A compreensão das mudanças nas condições climáticas é fundamental para as tomadas de decisões. No Brasil, de acordo com Silva et al. (2015), a ocorrência de eventos extremos como chuvas intensas, bem como de secas severas estão deixando cada vez mais a sociedade vulnerável. Nos eventos extremos, em relação às chuvas intensas, diversos problemas podem ser observados em relação a enchentes e degradação ambiental; no entanto, relacionado às secas, diversas perdas são observadas principalmente em relação à agricultura, deixando vulneráveis principalmente os agricultores de base familiar.

4. 2. Uso de cobertura morta em cultivo de sequeiro no semiárido

No semiárido brasileiro, em função do curto período chuvoso durante o ano, existem dificuldades em produção de cobertura morta para aplicação nos cultivos em sequeiro na forma de plantio direto (SILVA et al., 2011). Desta forma, deve-se aproveitar a farta disponibilidade de biomassa disponível nas proximidades da área de plantio, dando preferência às culturas que não constituam fonte de alimento humano ou animal, mas que seja material resistente e fibroso (COSTA et al., 2015), que pode ser oriundo de plantas daninhas da própria área cultivo.

Nos locais com escassez hídrica, o uso de prática conservacionista como cobertura morta é recomendada para reduzir as perdas de água por escoamento superficial e promover a infiltração da umidade no solo (CARVALHO et al., 2011b; SANTOS; MONTENEGRO; SILVA, 2011; MONTENEGRO et al., 2013a; ABRANTES, LIMA.; MONTENEGRO, 2015), e consequentemente melhorar o desempenho do cultivo de sequeiro, como constatado no cultivo do milho no Agreste de Pernambuco por Borges et al. (2014), ou em áreas irrigadas.

Ademais, a cobertura morta promove o aumento da matéria orgânica no solo, contribui para melhoria nas características químicas, físicas e biológicas (SANTOS et al., 2007), suprime o crescimento de ervas daninhas (EID; BAKRY; TAHA, 2013) e melhora a condição microclimática local (SARKAR; SINGH, 2007), com destaque para redução da oscilação da temperatura do solo, como comprovado por Montenegro et al. (2013a).

Silva et al. (2011), trabalhando com milho em sistema de plantio direto durante 7 anos consecutivos, constataram que o sistema com cobertura morta promoveu maior produtividade em relação ao sistema tradicional (sem cobertura morta). Borges et al. (2014) também encontraram respostas semelhantes em um ciclo de cultivo. Estes trabalhos comprovam que, para reduzir os problemas da escassez de chuvas no tempo e no espaço, e consequentemente melhorar a produção, o uso da cobertura morta deve-se fazer presente nos lotes agrícolas.

4. 3. Importância do aproveitamento hidroagrícola águas residuárias

Uma estratégia para minimizar a escassez de recursos hídricos para produção agrícola é o uso de água residuária, possibilitando atividade agropecuária mesmo em situação de secas, que por sua vez, estão mais recorrentes. Esta temática é fortemente destacada no Objetivo 6 da ODS, que visa assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos (ODS, 2015). Deste modo, o aproveitamento hidroagrícola de águas residuárias pode resultar na redução de diversos problemas sociais, ao reduzir o lançamento de esgoto bruto nos corpos hídricos; ambientais, ao reduzir a contaminação da água e solo; e econômicos ao promover maior produção agrícola, principalmente no semiárido do Brasil, onde os problemas com secas são frequentes.

Segundo o relatório da Agência Nacional de Água (ANA), 48 milhões de pessoas foram afetadas por secas (duradouras) ou estiagens (passageiras) no território nacional entre 2013 e 2016. Neste período, foram registradas 4.824 localidades com eventos de seca com severos danos aos habitantes. Somente em 2016, ano mais crítico em impactos para a população, 18 milhões de habitantes foram afetados por estes fenômenos climáticos que causam escassez hídrica, sendo que 84% dos impactados residentes no Nordeste (ANA, 2017b). Para reduzir os impactos das secas, o reuso de água pode se tornar uma opção relevante.

No Brasil, mais de 110 mil km de trechos de rios estão com a qualidade comprometida devido ao excesso de carga orgânica, sendo que em 83.450 km não é mais permitida a captação para abastecimento público devido à poluição (ANA, 2017a).

Estes fatores despertam inquietação social, causando diversos problemas socioambientais, com destaque para a contaminação dos solos, dos mananciais de superfície e subterrâneos, tornando a destinação adequada destes recursos hídricos uma necessidade urgente e prioritária para todas as modalidades geradoras de esgoto (MEDEIROS et al., 2015). No Brasil, cerca de 43% da população possui esgoto coletado e tratado, e 12% utilizam-se de fossa séptica, enquanto 45% não possui tratamento de esgoto, retornando ao ambiente de forma bruta (ANA, 2017a).

Desta forma, a utilização de águas residuárias tratadas pode garantir disponibilidade hídrica para a agricultura irrigada, destinando a água de boa qualidade para usos mais nobres (POHL; LENZ, 2017).

Diversas vantagens no reuso de água residuária 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 húmus e consequentemente concentração de matéria orgânica, possibilitando maior retenção de água, elevação da produção de alimentos, consequentemente melhorando os níveis de saúde, da qualidade de vida e condições sociais da população.

A irrigação com água residuária é uma alternativa de baixo custo para reduzir a pressão sobre os recursos de água doce, especialmente nas regiões áridas e semiáridas do mundo (ADHIKARI; SHUKLA; MEXAL, 2011). Águas residuais são frequentemente abundantes em áreas urbanas, onde a demanda de água é elevada (FUJIOKA et al., 2014). Além disso, a maioria das cidades não possui saneamento adequado, sendo as águas residuárias lançados geralmente nos corpos hídricos, degradando-os.

Uma vez que a constante expansão das áreas urbanas produz elevadas quantidades de águas residuárias, estas deveriam ser tratadas para atender a demanda crescente por água (REKIK et al., 2017). O reuso já é largamente utilizado na agricultura irrigada nos Estados Unidos da América (Califórnia, Florida, Arizona e Texas), bem como na Argentina, México, Espanha, França, Itália, Grécia e Portugal, onde se adotam projetos de reutilização controlada para a agricultura (MARECOS; ALBUQUERQUE, 2010).

4. 3. 1. Produção de forragem com água residuária

A acentuada redução anual na oferta em quantidade e qualidade das forragens durante a estação seca do ano limita o desenvolvimento da pecuária no semiárido brasileiro. Com isso, o uso de plantas forrageiras e a adoção de sistemas de cultivo com alta eficiência hídrica são de grande relevância, para melhorar a sustentabilidade agropecuária (ELIAS et al., 2016).

Para a produção de ração, o sorgo forrageiro destaca-se entre uma das mais importantes culturas no mundo (TABOSA et al., 2007). Além disso, é uma das espécies agrícolas mais adaptada ao semiárido brasileiro, por apresentar moderada tolerância à escassez hídrica e à salinidade (MONTEIRO et al., 2004).

Ainda que o milho represente um dos principais segmentos do agronegócio no Brasil em área cultivada e em volume produzido, vários fatores são responsáveis também pelo destaque da cultura do sorgo, como: a planta possui de 85 a 90% do valor nutritivo do milho; as variedades têm apresentado maiores produções de matéria seca, principalmente em condições inferiores de fertilidade ou sob estresse hídrico, apresentando também boa eficiência

no consórcio com várias culturas, elevada capacidade de rebrota após o primeiro corte, e possibilitando maior produção de forragem (ARAÚJO et al., 2007; RESENDE et al., 2016).

A boa tolerância à seca apresentada pelo sorgo é um fator de destaque para a sua escolha, sendo esta característica atribuída principalmente ao sistema radicular denso e prolífico, promovendo elevada capacidade de manter a abertura estomática em baixos níveis de água no solo, através de ajuste osmótico, contribuindo para sua capacidade de suportar estresse hídrico (FARRÉ; FACI, 2006).

O cultivo do sorgo irrigado vem sendo destaque em diversas pesquisas no semiárido, irrigado com águas com elevada salinidade (AQUINO et al., 2007; GUIMARÃES et al., 2016), na redução da lâmina evapotranspiração pela cultura (ABDEL-MOTAGALLY, 2010; BAUMHARDT et al., 2006; ECK; MUSICK, 1979; KLOCKE et al., 2012; TOLK; HOWELL; MILLER, 2013; ZWIRTES et al., 2015), com uso de cobertura morta (SOUSA et al., 2017a) e com água residuária (CAMPI et al., 2014; CHAGANTI et al., 2020).

No entanto, são escassos estudos destinados a otimizar a combinação de lâminas de irrigação com água residuária tratada associando uso de cobertura morta, e seus efeitos na dinâmica hidrossalina da água no solo e no lençol freático, durante vários ciclos de cultivo. Esta prática pode estimular o desenvolvimento da agropecuária para o semiárido brasileiro, enquanto reduz os impactos socioambientais promovidos pelo lançamento direto das águas residuárias nos corpos hídricos.

4. 3. 2. Salinização do solo e lençol freático

A utilização de água residuária tratada na agricultura irrigada pode ser considerada uma alternativa essencial para uso racional e eficiente da água, minimizando os descartes nos corpos hídricos e reduzindo o consumo de água de boa qualidade. Porém, o uso de águas residuárias domésticas requer o acompanhamento e monitoramento do solo e da água para evitar a salinização e a contaminação do agroecossistema, e então a inviabilização das áreas de cultivo (CAVALCANTE; DEON; SILVA, 2016).

O manejo inadequado na aplicação das águas residuárias pode resultar em efeitos negativos no solo, que vão desde modificações nas características físico-químicas, até riscos de contaminação por patógenos, dependendo do tipo de tratamento e do sistema de aplicação do efluente (BATISTA et al., 2017; EMONGOR et al., 2005).

O descarte no solo de águas residuárias domésticas tratadas por sistema não avançado de tratamento aumenta a disponibilidade de nutrientes, porém, geralmente estas águas podem apresentar elevadas concentrações de sais, conseqüentemente elevando a condutividade elétrica do solo, reduzindo a capacidade das plantas em absorver água e causando impactos negativos em fatores microbiológicos, como redução do estoque de carbono e comprometendo a qualidade produtiva do solo (BARBOSA et al., 2018).

Segundo Montenegro et al. (2013b), a qualidade do solo e do lençol freático quanto à salinidade deve ser monitorada para um adequado gerenciamento agroambiental, uma vez que a expansão da agricultura irrigada provoca um elevado consumo de água, aumentando o risco de degradação dos recursos naturais disponíveis. Além disso, no semiárido brasileiro o elevado déficit hídrico contribui significativamente para o incremento da salinidade do solo nas áreas irrigadas.

O manejo inadequado da água residuária na irrigação pode resultar em diversos impactos ambientais, como a lixiviação de sais para as águas subterrâneas (LIRA et al., 2015). Desta forma, é necessário identificar a viabilidade do uso da água residuária na irrigação quanto da salinização do solo e da água do lençol freático.

4. 3. 3. Associação de lâminas de irrigação com cobertura morta

As elevadas taxas atuais de uso da água na agricultura são insustentáveis em muitas regiões onde a escassez de água é significativa, criando uma necessidade urgente de identificar estratégias de melhorias da irrigação (LOPEZ et al., 2017). Desta forma, a redução da quantidade de água aplicada aos cultivos irrigados (irrigação deficitária) é uma estratégia indispensável na gestão da água (CHUKALLA; KROL; HOEKSTRA, 2017), possibilitando a ampliação de áreas de cultivo e melhoria da produtividade da água (YANG et al., 2018).

As irrigações deficitárias consistem na aplicação de lâminas de irrigação inferiores à necessidade hídrica das culturas (RODRIGUES et al., 2013). Estas lâminas apesar de potencialmente reduzir a produtividade, podem se tornar economicamente viável para ambientes com limitados recursos hídricos, principalmente para regiões áridas e semiáridas que apresentam chuvas distribuídas de forma irregular (ZWIRTES et al., 2015).

A gestão dos recursos hídricos ao nível de exploração agrícola que engloba a adoção de práticas de manejo da irrigação deficitária, vem sendo destaque em diversos trabalhos, a exemplos de: feijoeiro (STONE; MOREIRA, 2001), na eficiência produtiva do tomateiro em Minas Gerais (MORALES et al., 2015), na produção de pastagem de capim-elefante em Minas

Gerais (MOTA et al., 2010), no desempenho produtivo do melão no Rio Grande do Norte (FARIAS et al., 2003), na avaliação da resiliência e produtividade da palma forrageira em Pernambuco (CARVALHO et al., 2017; QUEIROZ et al., 2016), no rendimento de etanol no milho (LIU et al., 2013), na produtividade e retorno econômico do sorgo no Rio Grande do Sul (ZWIRTES et al., 2015) e no Kansas nos Estados Unidos (KLOCKE et al., 2012), na produtividade da pimenta na China (YANG et al., 2018), no rendimento do trigo irrigado no Egito (EISSA et al., 2018), na produtividade da melancia no Iran (NAJAFABADI et al., 2018) e no rendimento da cevada, milho e cebola na Espanha (MARTÍNEZ-ROMERO et al., 2017).

Nagaz; Masmoudi; Mechlia (2012) alertam para o risco da salinização do solo nas lâminas de 60% da ETc ou inferior utilizando águas de salinidade elevada.

Puga et al. (2016) recomendam como estratégia para redução do acúmulo de sais no solo o uso da fração de lixiviação, que consiste em aplicar uma lâmina de água além da necessidade da cultura, para que os sais provenientes da água de irrigação e/ou presentes no solo sejam lixiviados da zona radicular, permitindo assim bons rendimentos das culturas.

As águas residuárias geralmente apresentam elevadas concentrações de sais, e o seu uso sustentável na agricultura requer a adoção de estratégias de manejo voltadas para a seleção de espécies tolerantes à salinidade, bem como aplicações de lâminas que excedam a demanda hídrica da cultura para evitar o acúmulo de sais na zona radicular (DIAS et al., 2016).

Lima et al. (2006) e Carvalho et al. (2011b) recomendam a adoção de lâminas de lixiviação em condições de semiárido em áreas irrigadas com água moderadamente salina, porém, com associação com cobertura morta.

A eficiência da irrigação pode ser melhorada usando a prática da cobertura do solo para reduzir a secagem entre os eventos de irrigação, e assim, os picos na concentração de sais na zona radicular podem ser evitados (KARLBERG et al., 2007).

A associação de irrigação deficitária com uso de cobertura morta é uma prática testada no cultivo da beterraba por Carvalho et al. (2011a) e recomendada para aumentar a eficiência do uso da água.

Lima et al. (2006), trabalhando com lâmina correspondente a 80% da evapotranspiração da cultura do pimentão, associada ao uso de cobertura morta na densidade de 1000 kg ha⁻¹, obtiveram frutos significativamente maiores, comparados ao tratamento sem cobertura, enquanto observaram menores incrementos de salinidade no solo ao final do ciclo da cultura.

Sousa et al. (2017b), trabalhando com diferentes lâminas de irrigação associada à cobertura do solo para a cultura do sorgo, em condições de semiárido, recomendaram a associação destas práticas agrícolas para melhorar a produtividade da cultura.

Biswas et al. (2015) aplicando lâminas de 50, 75 e 100% da evapotranspiração da cultura, associadas ao uso de cobertura morta no tomateiro, obtiveram melhor custo benefício com a lâmina de 50% da evapotranspiração, associada à cobertura morta.

A técnica da aplicação da cobertura morta no cultivo é sempre recomenda para a Região Semiárida, pois proporciona menor oscilação da temperatura do solo, reduzindo a evaporação, e promovendo maior retenção de água (SOUSA et al., 2017c).

4. Análise da variabilidade espacial e temporal em cultivos agrícolas

O entendimento da dinâmica espacial e temporal em cultivos agrícolas permite uma agricultura de precisão, fornecendo adequado gerenciamento das áreas de produção (ADHIKARI; SHUKLA; MEXAL; 2011) em condições de sequeiro ou cultivos irrigados.

A variabilidade espacial dos atributos do solo e das plantas em áreas irrigadas é amplamente avaliado (DALCHIAVON et al., 2012; VIAN et al., 2016; ARAÚJO et al., 2019), porém, existe a carência de estudos voltados para o comportamento da variabilidade espacial da produção agrícola, e de fatores do solo em área irrigada com água residuária associando práticas conservacionistas, bem como, em áreas de sequeiro em áreas na produção da agricultura familiar.

A análise da variabilidade espacial pode ser realizada por meio da geoestatística, que se baseia na hipótese de que os vizinhos mais próximos apresentam maior semelhança em relação aos mais distantes dos pontos avaliados (YAMAMOTO e LANDIM, 2015). Para averiguar a semelhança entre os vizinhos, pode-se utilizar o estimador clássico do semivariograma (BERNARDI et al., 2014; YAMAMOTO e LANDIM, 2015), Eq. (4):

$$Y(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \quad (4)$$

sendo $Y(h)$ a semivariância, $N(h)$ é o número de pares de pontos observados e separados por intervalos de distância h , $Z(x_i)$ o valor inicial e $Z(x_i + h)$ o valor final do par no espaço e x_i .

Após a obtenção das semivariâncias, foram testados os ajustes aos modelos exponencial (Eq. (5)), esférico (Eq. (6)) e gaussiano (Eq. (7)) (Figura 1) (YAMAMOTO e LANDIM, 2015), sendo escolhido aquele que melhor ajustou-se aos valores experimentais de acordo com a

validação cruzada, produzindo erros normalizados próximos de zero e desvio-padrão normalizado próximo de 1 (um), segundo o critério de Jack-Knifing (VIEIRA; CARVALHO; GONZÁLEZ; 2010). Na ausência de dependência espacial, ou seja, quando não é possível um ajuste aos modelos descritos anteriormente, tem-se o efeito pepita puro (EPP).

$$Y(h) = C_0 + C \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right] \quad (5)$$

$$Y(h) = C_0 + C \left[1,5 \frac{h}{a} - 0,5 \left(\frac{h}{a}\right)^3 \right] \quad (6)$$

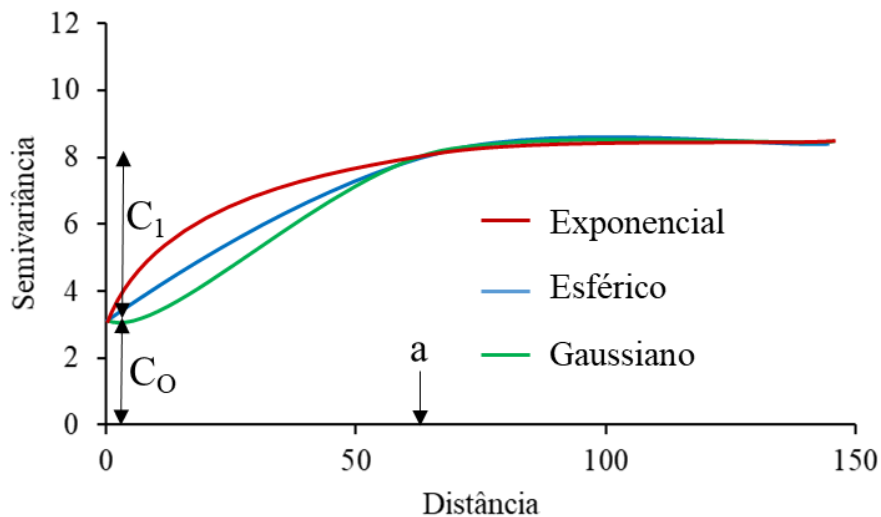
para $h < a$

$$Y(h) = C_0 + C \text{ para } h \geq a$$

$$Y(h) = C_0 + C \left[1 - \exp\left(-\left(\frac{h}{a}\right)^2\right) \right] \quad (7)$$

em que, C_0 é o efeito pepita, C_1 a soleira, $C = (C_0 + C_1)$ a variância espacial e (a) o alcance espacial.

Figura 1. Comportamento dos modelos de semivariogramas, exponencial, esférico e gaussiano. Adaptado de Bernardi et al. (2014).



Após o ajuste do semivariograma, determinou-se o Grau de Dependência (GD) espacial, que estabelece o critério de fraca dependência quando uma determinada razão é inferior a 25%,

moderada para uma razão entre 25 e 75%, e forte quando a razão é superior a 75% (ZIMBACK, 2001), Eq. (8).

$$GD (\%) = \left(\frac{C_1}{(C_0 + C_1)} \right) * 100 \quad (8)$$

O mapeamento que ilustra a variabilidade espacial foi realizado mediante a krigagem, confeccionando os mapas de isolinhas, Eq (9).

$$[Z(X_o)]^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_{(x_i)} \quad (9)$$

em que, $[Z(X_o)]^*$ é a estimativa do valor desconhecido $Z_{(x_i)}$ no ponto X_o , λ_i são os pesos atribuídos ao estimador da krigagem (ALMEIDA et al., 2011).

4. 5. Descrição dos experimentos e ações integradas de pesquisa-ensino-extensão

As atividades de pesquisa voltadas para o convívio com a escassez de recursos hídricos devem ser realizadas sempre de forma aplicada, principalmente quando desenvolvidas por instituições públicas, dando destaque ao aspecto de produção agrícola e pecuária nas atividades de base familiar, buscando assegurar a qualidade de vida da população.

Os cenários de escassez em quantidade e qualidade são continuamente observados no Estado de Pernambuco, afetando negativamente a saúde e a qualidade de vida da população, com redução das atividades rurais nos cultivos em sequeiro e irrigados, afetando conseqüentemente a pecuária leiteira e de carne. Os fortes eventos de estiagem no Estado têm comprometido diretamente a agricultura e a pecuária, que se desenvolvem com margens de lucro reduzidas ou com prejuízos, prejudicando a qualidade de vida e a permanência das famílias no campo. Adicionalmente, cenários de escassez e eventos climáticos extremos devem estar presentes na matriz de planejamento dos órgãos gestores de recursos hídricos, para as quais as instituições de ensino e pesquisa, e os Institutos Tecnológicos devem contribuir com subsídios e de inovação tecnológica inclusiva.

Atrelado à inovação tecnológica que é foco de pesquisa desta Tese existe o Consórcio UNIVERSITAS, que tem o intuito de aprofundar pesquisas colaborativas em escala estadual e regional de interesse estratégico para o Estado de Pernambuco, e ampliar a articulação interinstitucional em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação. O Consórcio é constituído por

quatro universidades públicas e uma universidade vocacional, a saber: A Universidade Federal de Pernambuco- UFPE, a Universidade Federal Rural de Pernambuco- UFRPE, a Universidade de Pernambuco- UPE, a Universidade do Vale do São Francisco- UNIVASF e a Universidade Católica de Pernambuco- UNICAP. O Consórcio possui como tema central os recursos hídricos no Estado de Pernambuco, considerando cenários e realidades representativas das mesorregiões do semiárido, e visando investigar alternativas tecnologicamente apropriadas e potencialmente implementáveis de convívio produtivo com a escassez. Para o tema “recursos hídricos do semiárido”, inseriu-se no arranjo institucional o Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, objetivando ampliar a capilaridade e a abrangência das ações científicas.

Projetos em parceria com diversas instituições voltadas para o convívio com a escassez hídrica são destaques no Estado da Paraíba, a exemplo do projeto “segurança forrageira e produção madeireira em bases agroecológicas no semiárido brasileiro”, que utiliza água residuária na irrigação, desenvolvido no município de Frei Martinho (PB) (INSA, 2020). Desta forma, estas tecnologias são fundamentais para o desenvolvimento do semiárido brasileiro, bem como, as voltadas para o cultivo em sequeiro, e devem ser integradas ao ensino, pesquisa e extensão e largamente disseminadas.

A integração do ensino, pesquisa e extensão é essencial para assegurar a sustentabilidade às atividades econômicas, sociais e ambientais, sendo também uma oportunidade prática para visualizar situações-problemas de forma participativa, objetivando alcançar soluções voltadas para o desenvolvimento sustentável em escala local e regional, recentemente sendo pautado pelos ODS.

O desenvolvimento do raciocínio científico tem relevante importância na formação do estudante profissional, permitindo maior autonomia e capacidade de melhor compreender as publicações científicas e acadêmicas disponíveis em sua área de atuação (FIGUEIREDO; MOURA, TANAJURA; 2016).

Além da capacidade de compreender, o aluno deve desenvolver e relacionar o conhecimento científico com a execução de ações de extensão universitária, formando um laço de igual importância entre o ensino-pesquisa-extensão (FIGUEIREDO; MOURA, TANAJURA; 2016).

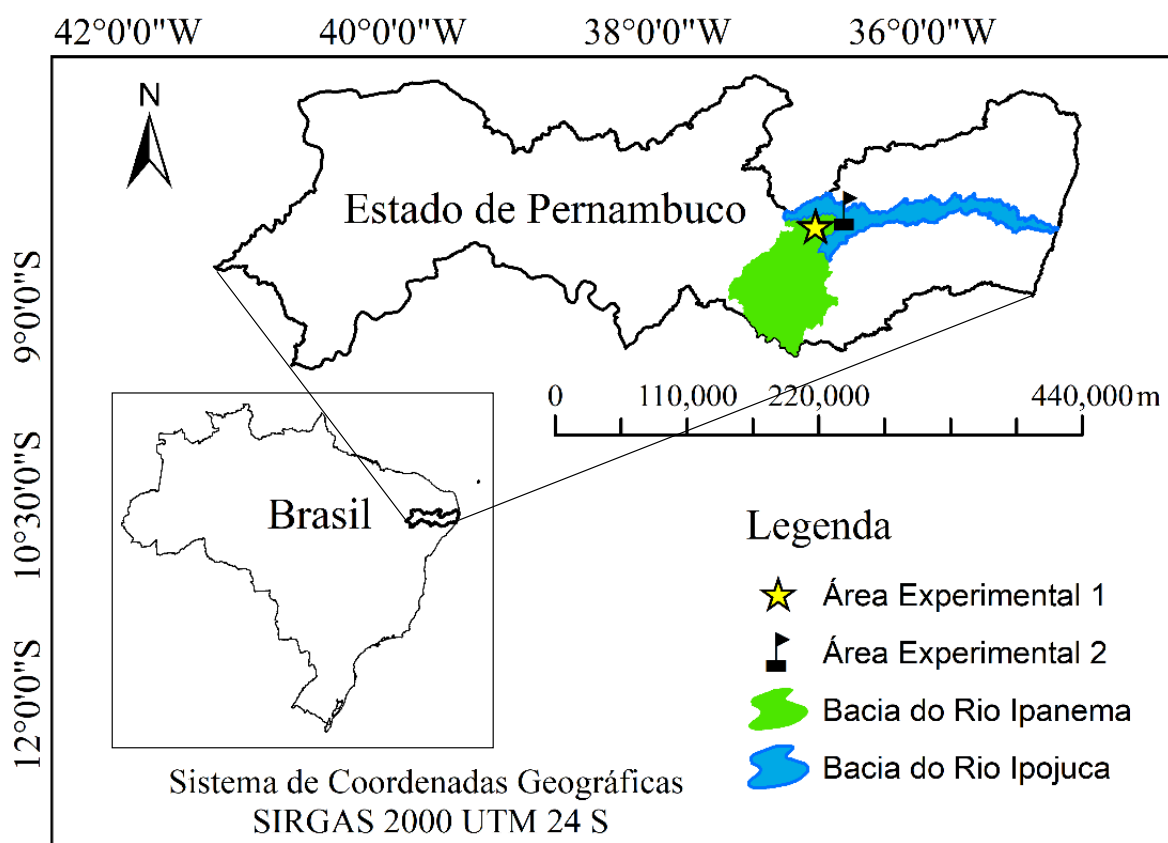
Apesar da agricultura familiar possuir elevada relevância na economia brasileira, apenas uma pequena porção do setor agropecuário recebe ações de extensão, sendo estas ações importantes para que o agricultor consiga superar os desafios impostos pelas conjunturas

econômicas e ambientais, possibilitando o seu desenvolvimento para se manter no setor agropecuário (LORENZI et al., 2019).

Esta pesquisa de Tese busca uma aproximação com os agricultores nos seguimentos de agricultura no sistema de sequeiro na Bacia do Rio Ipanema, e na agricultura irrigada com água residuária tratada na Bacia do Ipojuca (Figura 2), buscando uma melhor convivência com a escassez de água no cenário atual e futuro.

Figura 2. Localização da área experimental com cultivo de sequeiro (Área Experimental 1) na bacia do Ipanema e irrigado com água residuária (Área Experimental 2) na bacia do Ipojuca.

Fonte: Autor



As ações de pesquisa desenvolvidas nas áreas de experimentos foram associadas a práticas de extensão junto à agricultores, crianças, adolescentes e autoridades públicas locais, buscando a melhoria de práticas agrícolas que permitam que os agricultores superem os desafios das mudanças climáticas, bem como os do setor econômico e social.

Na área de experimento 1, anteriormente ao período experimental, foram realizados trabalhos com práticas conservacionistas como aplicação de cobertura morta e barramento com

pedras para evitar o rápido escoamento superficial da água, nos cultivos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), milho (*Zea mays* L.) e palma forrageira (*Opuntia cochenillifera*) em sistema de sequeiro (SANTOS; MONTENEGRO; PEDROSA; 2009; BORGES et al., 2014; LOPES; MONTENEGRO; LIMA; 2019). Para esta Tese, foi trabalhada a cultura do milho em 2016 na condição com e sem cobertura morta em parcela com dimensões de 4,5 m x 11 m (Figura 3A). Em todas as atividades experimentais de campo foram realizados dias de campo das práticas conservacionistas aplicadas (Figura 3B).

Figura 3. Aplicação da cobertura morta em cultivo do milho em sequeiro (A), e ação de extensão mostrando a importância da cobertura morta para o desenvolvimento dos cultivos (B) em 2016.

Fonte: Autores.



O milho representa para a população nordestina brasileira uma das culturas mais importante no aspecto social e econômico, sendo cultivada principalmente pela agricultura familiar (70% da área plantada do Nordeste), apesar da ocorrência de inúmeros insucessos nos cultivos, principalmente em função do irregular regime pluviométrico (CARVALHO et al., 2003).

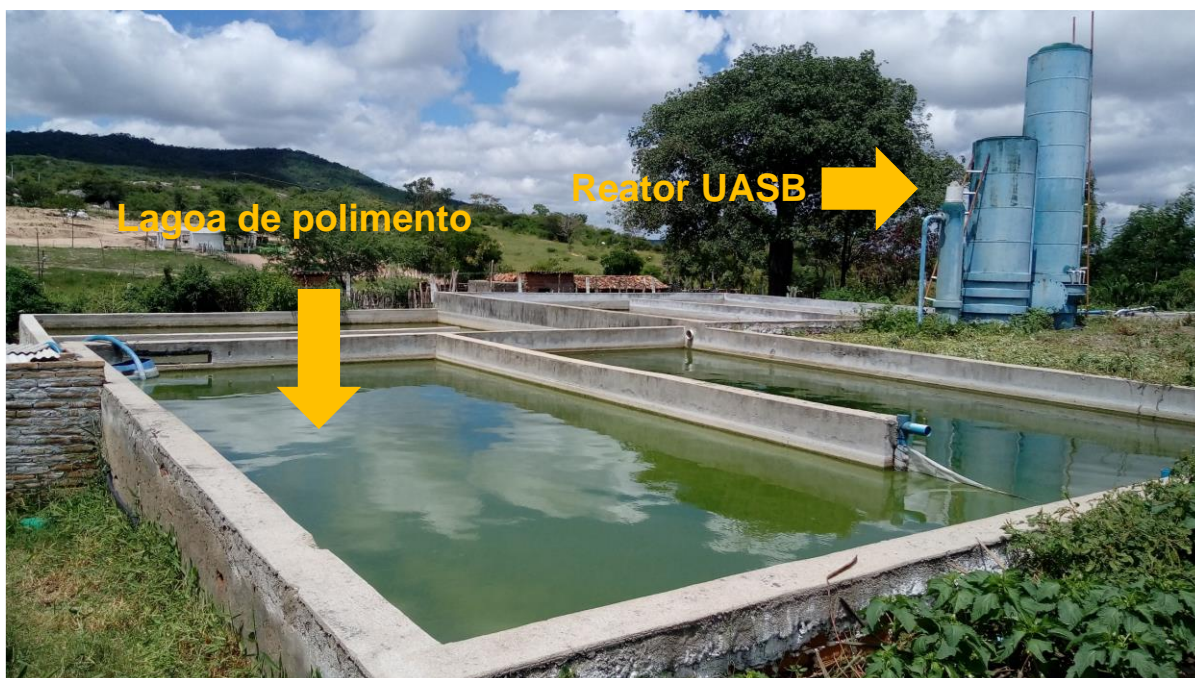
A cultivar de milho utilizada no cultivo de sequeiro (Figura 3) foi a São José (BR 5026), com aptidão para grão, milho verde e forragem. A cultivar é adaptada ao semiárido pela sua rusticidade e precocidade, bem como pela capacidade de suportar as adversidades edafoclimáticas, sendo recomendado para a agricultura familiar (IPA, 1995).

Na área de experimento 2, anteriormente ao período experimental, foram realizados estudos sobre a viabilidade da produção agrícola com água residuária proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Mutuca em Pesqueira, com os cultivos do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) Variedade BRS Safira, girassol (*Helianthus annuus* L.) Variedade

BRS 122, moringa (*Moringa oleífera* L.) e mamoneira (*Ricinus communis* L.) (Miranda, 2010; Lima et al., 2012; Santos, 2016; Santos et al., 2017, respectivamente).

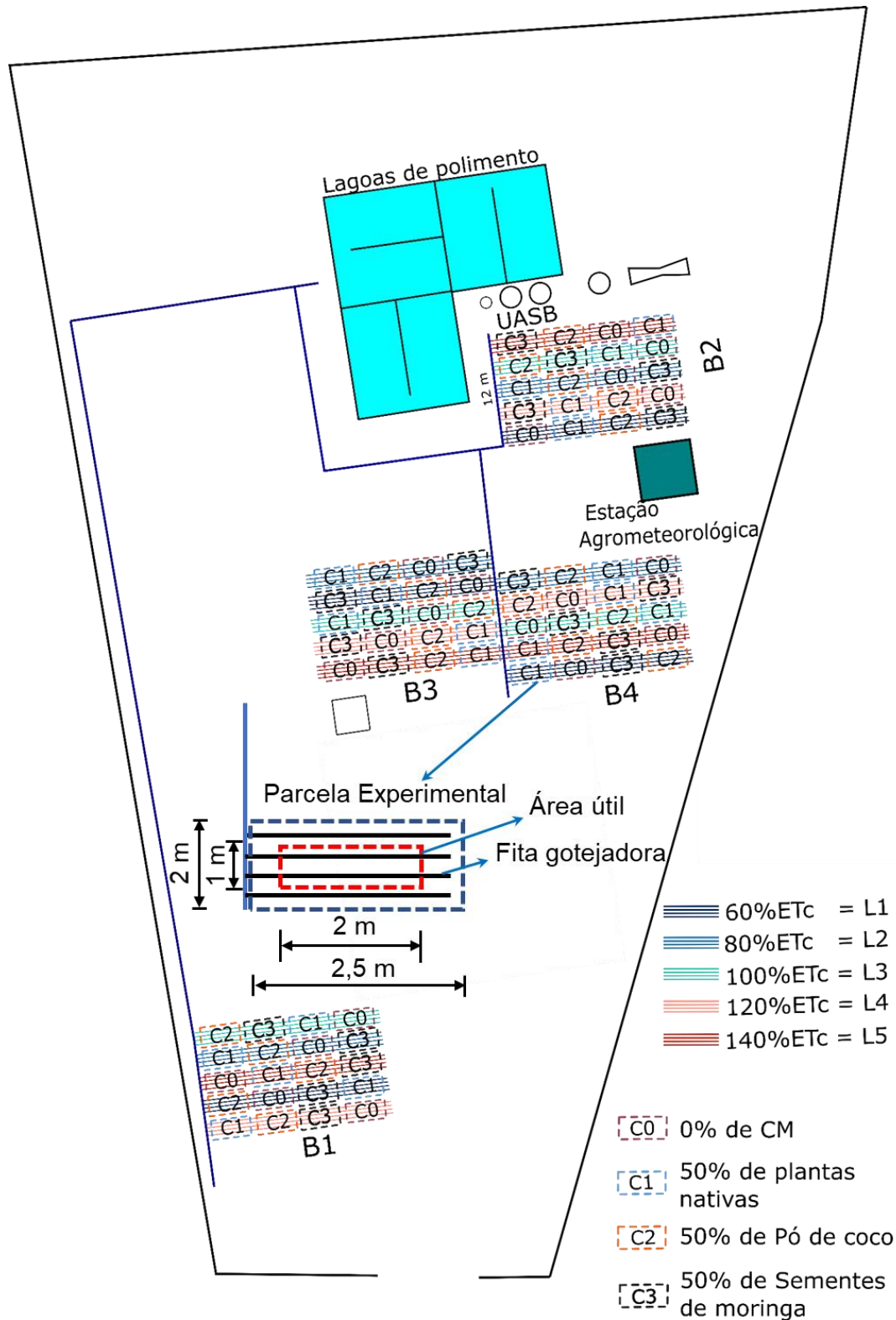
A estação de tratamento de esgotos existente no Distrito de Mutuca é constituída de um tratamento preliminar com grades de barra, desarenador e calha Parshall; em seguida, um reator UASB, combinado com um filtro anaeróbico de fluxo descendente e lagoa de polimento (Figura 4).

Figura 4. Estação de tratamento de esgoto (ETE-MUTUCA). Fonte: Autor.



O experimento realizado com o sorgo forrageiro (2018 a 2019) foi em delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições, em esquema fatorial (5 x 4), no qual as parcelas foram constituídos por 5 lâminas de irrigação (60, 80, 100, 120 e 140% da Evapotranspiração da Cultura - ETc) e as subparcelas com as 4 condições de cobertura do solo (0% (Testemunha), 50% do solo com cobertura de vegetação nativa, 50% com pó de coco e 50% com sementes de moringa maceradas). Cada subparcela tinha 5 m² (2,5 x 2 m) de área total, sendo 2 m² (2 x 1 m) de área útil (Figura 5).

Figura 5. Esquema da montagem do experimento na área da estação de tratamento de esgoto (ETE). Fonte: Autor.



A Evapotranspiração de Referência (ET_o) foi estimada pelo método de Penman-Monteith – FAO 56, obtida com dados da estação meteorológica automática completa da Onset (Modelo – EAC-U30-900) situada na área de estudo, fornecendo registros de temperatura e

umidade relativa do ar, radiação solar global, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento e precipitação (Figura 6).

Figura 6. Estação agrometeorológica localizada na unidade experimental. Fonte: Autor.



A E_{To} foi determinada pela equação de Penman-Monteith (Eq. (10)):

$$E_{To} = \frac{0,408 * \Delta (R_n - G) + \left(\frac{Y * 900}{T + 273} \right) * U_2 * (e_s - e_a)}{\Delta + Y(1 + 0,34 * U_2)} \quad (10)$$

e_a é a pressão atual de vapor (kPa) Eq. (11), e e_s a pressão de saturação de vapor (kPa) Eq. (12); é denominado déficit de saturação.

$$e_s = 0,6108 * \exp \left[\frac{17,27 * T_{med}}{T_{med} + 237,3} \right] \quad (11)$$

$$e_a = \frac{e_s * UR_{med}}{100} \quad (12)$$

em que: Δ , é a declividade da curva de pressão de vapor em relação à temperatura ($kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$); R_n , é o saldo de radiação diário ($MJ \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); G é o fluxo total diário de calor no solo ($MJ \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); Y é o coeficiente psicrométrico ($kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$); U_2 é a velocidade do vento a 2 m de altura ($m \text{ s}^{-1}$); e_s é a pressão de saturação de vapor (kPa); e_a é a pressão atual de vapor (kPa); T é a temperatura média do ar ($^\circ C$).

As lâminas de irrigação foram aplicadas de acordo com evapotranspiração da cultura (E_{Tc}), correspondendo a 60, 80, 100, 120 e 140% da E_{Tc} .

Os coeficientes de cultivo (K_c) utilizado para determinar a ET_c do sorgo foi de acordo com a fase fenológica: semeadura e estabelecimento - fase I (0,4); crescimento vegetativo - fase II (1,1); floração e formação da produção - fase III (1,00); e maturação - fase IV (0,7) (COSTA et al., 2017).

O fator de correção (K_L) é utilizado devido à irrigação localizada não necessitar umedecer toda a área, sendo utilizada a seguinte equação Eq. (13) (KELLER e KARMELI, 1975):

$$K_L = 0,1 \sqrt{P} \quad (13)$$

em que, P é a porcentagem da área molhada (PAM), %. O valor de P adotado foi de 50%.

A ET_{c-loc} localizada então foi determinada com a seguinte equação Eq. (14):

$$ET_{c-loc} = ET_0 * K_c * K_L \quad (14)$$

A intensidade de aplicação (Eq. (15) e a lâmina bruta de irrigação (LB) (Eq. (16) foram determinadas para encontrar o tempo de irrigação (T_i) (Eq. (17) (MARQUES, 2013):

$$I_a = \frac{N \times q}{A} \quad (15)$$

$$LB = \frac{ET_0}{E_i} * K_L \quad (16)$$

$$T_i = \frac{LB}{I_a} \quad (16)$$

em que, I_a é a intensidade de aplicação (mm h^{-1}); N é número de gotejadores por planta (adimensional); q é a vazão do gotejador (L h^{-1}); A é a área ocupada pela planta (m^2); LB é a lâmina bruta de irrigação (mm h^{-1}); E_i é a eficiência de irrigação (%) e T_i é tempo de irrigação (h).

Na ETE também foram desenvolvidas diversas ações de ensino, pesquisa e extensão, voltadas para monitoramento biométrico dos cultivos do milho, girassol e sorgo (Figuras 7A, 7B e 7C), respectivamente. O monitoramento agrometeorológico é realizado de forma participativa, com destaque para o acompanhamento da evaporação no Tanque Classe A (Figura 7D), do uso de práticas conservacionistas da umidade do solo e eleva a produção agrícola (Figura 7E e 7F), realizados por alunos e pesquisadores da UFRPE, agricultores locais e alunos da Escola Intermediária Henrique Monteiro Leite.

Figura 7. Análises biométricas milho (A), girassol (B), sorgo (C), acompanhamento do monitoramento da evaporação (D), sorgo com cobertura morta (E) e aplicação de cobertura morta em canteiro comunitário escolar (F). Fonte: Autor.



Esta estação de tratamento de esgoto doméstico é de importância para conservação ambiental de nascentes do Rio Ipojuca, que de acordo com a ANA (2017a) se encontra entre os mais poluídos do Brasil. Além disso, nas proximidades das nascentes do Rio no Município de Pesqueira, e a elevada escassez de recursos hídricos prejudicam as atividades agropecuárias na região. Desta forma, a ETE-Mutuca representa uma possibilidade viável para aumento da produção de forragem, principalmente durante os períodos de estiagem.

A avaliação da qualidade da água do lençol freático foi realizada mediante a coleta de água em piezômetro instalado na área (Figura 8A). A umidade do solo foi determinada utilizando uma sonda de nêutrons, modelo 503 DR HYDROPROBE® (Figura 8B). A instalação dos tubos de acesso permitiu leituras de umidade do solo a 0,2 m e 0,4 m de profundidade.

Figura 8. Instalação de piezômetro para monitoramento da água do lençol freático (A) e monitoramento participativo da leitura da umidade do solo na ETE-Mutuca. Fonte: Autor.



5. ESTRUTURA DOS CAPÍTULOS (ARTIGOS) DA TESE

O capítulo 2 apresenta um artigo publicado na Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (AGRIAMBI), abordando uma análise das mudanças climáticas para o Nordeste brasileiro em relação à precipitação anual, dias chuvosos e temperatura, destacando principalmente os efeitos atuais e futuros, com destaque para o semiárido (CARVALHO et al., 2020).

O capítulo 3 aborda a variabilidade espacial no solo e nas plantas de milho cultivado em sequeiro no sistema tradicional (sem aplicação de cobertura morta como prática conservacionista da umidade do solo) e com a aplicação de cobertura morta, sendo cultivado no ano de 2016, um dos períodos consecutivos mais secos já registrados no semiárido brasileiro (2012 a 2018). Este artigo foi publicado na Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (AGRIAMBI) (CARVALHO et al., 2019), e apresenta forte relação com o artigo de mudanças climáticas (CARVALHO et al., 2020), fortalecendo o uso da cobertura morta como atenuante da elevada irregularidade da precipitação no cenário atual e futuro, com destaque para o Agreste de Pernambuco.

O capítulo 4 apresenta um artigo sobre o efeito da aplicação de 5 lâminas de irrigação com água residuária tratada (60, 80, 100, 120 e 140% da Evapotranspiração da Cultura - ETc) em 4 condições de cobertura do solo (sem cobertura (Testemunha), vegetação nativa, pó de coco e sementes de moringa maceradas) no desenvolvimento do *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf, na salinidade do solo e do lençol freático e no carbono orgânico total durante três cortes do sorgo forrageiro, entre novembro de 2018 e abril de 2019 no Município de Pesqueira, PE.

O capítulo 5 aborda o efeito da dependência espacial e temporal das variáveis produtivas do sorgo, da umidade e da condutividade elétrica do solo em área irrigada com água residuária na presença e ausência de cobertura morta. Este artigo foi desenvolvido após o experimento anterior (capítulo 5), sendo avaliado os cortes 4 e 5 do sorgo forrageiro, entre maio e novembro de 2019.

O capítulo 6 apresenta um artigo (aceito para publicação na revista *Journal of Environmental Analysis and Progress (JEAP)*) com resultados de produção de milho, girassol e sorgo irrigado com esgoto doméstico tratado, sendo avaliados mediante a participação da sociedade local (agricultores rurais e alunos de escola do ensino fundamental e médio). Os resultados de produção foram obtidos entre 2016 e 2019, em área da estação de tratamento de esgoto doméstico no Distrito de Mutuca no Município de Pesqueira, PE, integrando o ensino, pesquisa e extensão, visando assegurar a sustentabilidade às atividades econômicas, sociais e ambientais locais.

Todas as pesquisas e ações de extensão desenvolvidas nesta Tese são voltadas para o desenvolvimento sustentável em escala local e regional, sendo fortemente destacadas pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Além disso, estas pesquisas e ações de extensão estão atreladas à criação e disseminação de tecnologias para conservação da água e solo do Consórcio UNIVERSITAS, sendo fundamentais para subsidiar órgãos públicos, dentre eles a Agência Pernambucana de Água e Clima (APAC), o Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) e a Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos de Pernambuco, estabelecendo políticas de gestão de água para melhoria da convivência com escassez hídrica no semiárido brasileiro.

6. REFERÊNCIAS

ABDEL-MOTAGALLY, F. M. F. Evaluation of water use efficiency under different water regimes in grain sorghum (*Sorghum bicolor*, L. Monech). **World Journal of Agricultural Sciences**, v.6, p.499–505, 2010.

ABRANTES, J. R. C. B.; LIMA, J. L. M. P.; MONTENEGRO, A. A. A. Desempenho da modelagem cinemática do escoamento superficial para chuvas intermitentes em solos com cobertura morta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.2, p.166–172, 2015.

ADHIKARI, P.; SHUKLA, M. K.; MEXAL, J. G. **Spatial Variability of Electrical Conductivity of Desert Soil Irrigated with Treated Wastewater: Implications for Irrigation Management.** Research article. Disponível em:

<<https://www.hindawi.com/journals/aess/2011/504249/>>. Acesso em: 23 out. 2017.

ALMEIDA, A. Q.; RIBEIRO, A.; PAIVA, Y. G.; RASCON, N. J. L.; LIMA, E. P. Geoestatística no estudo de modelagem temporal da precipitação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.354–358, 2011.

ANA. **Atlas de irrigação: uso da água na agricultura irrigada.** 1. ed. Brasília: Agência Nacional de Águas, Brasília, 2017b.

ANA. **Atlas Esgotos: despoluição de bacias hidrográficas.** 1. ed. Brasília: Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Brasília, 2017a.

AQUINO, A. J. S.; LACERDA, C. F.; BEZERRA, M. A.; GOMES FILHO, E.; COSTA, R. N. T. Crescimento, partição de matéria seca e retenção de Na⁺, K⁺ e Cl⁻ em dois genótipos de sorgo irrigados com águas salinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.961–971, 2007.

ARAÚJO, D. C. D. S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, D. P. D.; RODRIGUES, R. A. Temporal stability of soil moisture in banana cropping area in the Brazilian semiarid region. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, p.852-859, 2019.

ARAÚJO, V. L.; RODRIGUEZ, N. M.; GONÇALVES, L. C.; RODRIGUES, J. A. S.; BORGES, I.; BORGES, A. L. C. C.; SALIBA, E. O. S. Qualidade das silagens de três híbridos de sorgo ensilados em cinco diferentes estádios de maturação. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, p.168–174, 2007.

BACK, A.J.; OLIVEIRA, J. L. R.; HENN, A. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações para desagregação da chuva diária em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.391-398, 2012.

BARBOSA, E. A. A. MATSURA, E. E.; SANTOS, L. N.; NAZÁRIO, A. A.; GONÇALVES, I. Z.; FEITOSA, D. R. C. Soil attributes and quality under treated domestic sewage irrigation in sugarcane. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, p.137–142, 2018.

BATISTA, A. A.; DUTRA, I.; CARMO, F. F.; IZIDIO, N. S. C.; BATISTA, R. O. Quality in papaya fruit produced with treated domestic sewage. **Revista Ciência Agronômica**, v.48, p.70–80, 2017.

BAUMHARDT, R. L.; TOLK, J. A.; HOWELL, T. A.; ROSENTHAL, W. D. Sorghum Management Practices Suited to Varying Irrigation Strategies. **Agronomy Journal**, v.99, p.665–672, 2006.

BERNARDI, A. D. C.; NAIME, J. D. M.; RESENDE, A. D.; INAMASU, R. Y.; BASSOI, L. Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. **Embrapa Instrumentação-Livro técnico** (INFOTECA-E), 2014.

BISWAS, S. K.; AKANDA, A. R.; RAHMAN, M. S.; HOSSAIN, M. A. Effect of drip irrigation and mulching on yield, water-use efficiency and economics of tomato. **Plant Soil Environ**, v.61, p.7–102, 2015.

BORGES, T. K. DE S.; MONTENEGRO, A.A. A.; SANTOS, T. E. M., SILVA, D. D.; SILVA JUNIOR, E, V. P. Effect of conservation practices on soil moisture and maize (*Zea mays* L.) cropping in the semi-arid northeast of Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.1862–1873, 2014.

CAMPI, P.; NAVARRO, A.; PALUMBO, A.D.; SOLIMANDO, M.; LONIGRO, A.; MASTRORILLI, M. Productivity of energy sorghum irrigated with reclaimed wastewaters. **Italian Journal of Agronomy**, p.115–119, 2014.

CAMPOS, J. N. B. Secas e políticas públicas no semiárido: ideias, pensadores e períodos. **Estudos Avançados**, v.28, p.65–88, 2014.

CARRETAS, F. L. **Sistema automático de baixo custo para a medição da altura da base das nuvens e da visibilidade atmosférica**. Évora: Universidade de Évora, 2014. 108p. Dissertação Mestrado

CARVALHO, A. A.; SILVA, T. G. F.; SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; ARAUJO, G. G. L.; TOLÊDO, M. P. S. Soil moisture in forage cactus plantations with improvement practices for their resilience. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, p.481–487, 2017.

CARVALHO, A. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; ASSIS, F. M. V.; TABOSA, J. N.; CAVALCANTI, R. Q.; ALMEIDA, T. A. B. Spatial dependence of attributes of rainfed maize under distinct soil cover conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, p.33-39, 2019.

CARVALHO, A.A.; MONTENEGRO, A.A. A.; SILVA, H. P.; LOPES, I.; MORAIS, J. E. F.; SILVA, T. G. F. Trends of rainfall and temperature in Northeast Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.24, p.15–23. 2020.

CARVALHO, D. F.; NETO, O. D. H.; RIBEIRO, R. L. D.; GUERRA, J. G. M.; ROUWS, J. R. C. Manejo da irrigação associada a coberturas mortas vegetais no cultivo orgânico da beterraba. **Engenharia Agrícola**, v.31, p.269–277, 2011a.

CARVALHO, H. W.; CARDOSO, M. J.; TABOSA, J. N.; PACHECO, C. A.; LIRA, M. A.; CARVALHO, B. C. Adaptabilidade e estabilidade de variedades de milho no sertão Nordeste no período de 1999 a 2003. In: Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 26. Belo Horizonte, 2006.

CARVALHO, J. F.; MONTENEGRO, A. A. A.; SOARES, T. M.; SILVA, Ê. F. F.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Produtividade do repolho utilizando cobertura morta e diferentes intervalos de irrigação com água moderadamente salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.256–263, 2011b.

CAVALCANTE, K. L.; DEON, M. D.; SILVA, H. K. P. DA. Acidez e matéria orgânica de solo irrigado com efluente de estações de tratamento de esgoto de Petrolina-PE. **Revista Semiárido De Visu**, v.4, p.181–189, 2016.

CHAGANTI, V. N.; GANJEGUNTE, G.; NIU, G.; ULERY, A.; FLYNN, R.; ENCISO, J. M.; MEKI, M. N.; KINIRY, J. R. Effects of treated urban wastewater irrigation on bioenergy sorghum and soil quality. **Agricultural Water Management**, v.228, 2020.

CHUKALLA, A. D.; KROL, M. S.; HOEKSTRA, A. Y. Marginal cost curves for water footprint reduction in irrigated agriculture: guiding a cost-effective reduction of crop water consumption to a permit or benchmark level. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.21, p.3507–3524, 2017.

COSTA, E. J. B.; SOUZA, E. S.; JUNIOR, G. B.; NUNES FILHO, J. O. S.; LIMA, J. R. D. S.; TABOSA, J. N.; LEITE, M. L. D. M. V. Cultivo de sorgo em sistema de vazante com e sem cobertura morta. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.14, p.182–195, 2015.

COSTA, J. P. N.; MEDEIROS, J. F.; NUNES, R. M. A.; CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; LIRA, J. F. B. Crescimento e produção da primeira rebrota de cultivares de sorgo sob diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.16, p.449–459, 2017.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob Sistema Plantio Direto. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, p.453–461, 2012.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F. S.; SOUZA NETO, O. N.; QUEIROZ, I. S. R. **Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade.** Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. 2.ed. Fortaleza: INCTSal, Cap.11, p. 151-162, 2016.

ECK, H. V.; MUSICK, J. T. Plant Water Stress Effects on Irrigated Grain Sorghum. I. Effects on Yield 1. **Crop Science**, v.19, p.589–592, 1979.

EID, A. R.; BAKRY, B. A.; TAHA, M. H. Effect of pulse drip irrigation and mulching systems on yield, quality traits and irrigation water use efficiency of soybean under sandy soil conditions. **Agricultural Sciences**, v.4, 2013.

EISSA, M. A.; REKABY, S. A.; HEGAB, S. A.; RAGHEB, H. M. Effect of deficit irrigation on drip-irrigated wheat grown in semi-arid conditions of Upper Egypt. **Journal of Plant Nutrition**, v.41, p.1576–1586, 2018.

ELIAS, O. F. A. S.; LEITE, M. L. D. M. V.; AZEVEDO, J. M.; SILVA, J. P. S. S.; NASCIMENTO, G. F.; SIMPLÍCIO, J. B. Características agronômicas de cultivares de sorgo em sistema de plantio direto no semiárido de pernambuco. **Revista Ciência Agrícola**, v.14, p.29–36, 2016.

EMONGOR, V.; NKEGBE, E.; KEALOTSWE, B.; KOORAPETSE, I.; SANKWASA, S.; KEIKANETSWE. Pollution Indicators in Gaborone Industrial Effluent. **Journal of Applied Sciences**, v.5, p.147–150, 2005.

FARIAS, C. H. A.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; MEDEIROS, J. F.; COSTA, M. C.; NASCIMENTO, I. B.; SILVA, M. C. C. Crescimento e desenvolvimento da cultura do melão sob diferentes lâminas de irrigação e salinidade da água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, p.445–450, 2003.

FARRÉ, I.; FACI, J. M. Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. **Agricultural Water Management**, v.83, p.135–143, 2006.

FIGUEIREDO, W. P. S.; MOURA, N. P. R.; TANAJURA, D. M. Ações de pesquisa e extensão e atitudes científicas de estudantes da área da saúde. **Arquivos de Ciências da Saúde**, v.23, p.47–51, 2016.

FUJIOKA, T.; TU, K. L.; KHAN, S. J.; MCDONALD, J. A.; ROUX, A.; POUSSADE, Y.; DREWES, J. E.; NGHIEM, L. D. Rejection of small solutes by reverse osmosis membranes for water reuse applications: A pilot-scale study. **Desalination**, v.350, p.28–34, 2014.

GUIMARÃES, M. J. M.; SIMÕES, W. L.; TABOSA, J. N.; SANTOS, J. E. D.; WILLADINO, L. Cultivation of forage sorghum varieties irrigated with saline effluent from fish-farming under semiarid conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, p.461–465, 2016.

INSA - Instituto Nacional do Semiárido. **Segurança forrageira e produção madeireira em bases agroecológicas no Semiárido brasileiro**. Disponível em: <<https://portal.insa.gov.br/noticias/1495-insa-promovera-dia-de-campo-em-frei-martinho-pb-sobre-palma-forrageira-irrigada-com-agua-de-reuso>>. Acesso em 13 de fevereiro de 2020.

IPA - Instituto Agrônomo de Pernambuco. **São José - BR 5026 (seleção IPA): Cultivar de milho desenvolvida para Pernambuco, selecionada contra ataque das lagartas do cartucho e da espiga**. 1.ed. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco, 7f, 1995.

ARNETH, A. et al. IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. 2019. 43p.

KARLBERG, L.; ROCKSTRÖM, J.; ANNANDALE, J. G.; STEYN, J. M. Low-cost drip irrigation—A suitable technology for southern Africa?: An example with tomatoes using saline irrigation water. **Agricultural Water Management**, v.89, p.59–70, 2007.

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

KLOCKE, N. L.; CURRIE, R. S.; TOMSICEK, D. J.; KOEHN, J. W. Sorghum yield response to deficit irrigation. **Transactions of the ASABE**, v.55, p.947–955, 2012.

LIMA, P. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; LIRA JUNIOR, M. A.; SANTOS, F. X.; PEDROSA, E. M. R. Efeito do manejo da irrigação com água moderadamente salina na produção de pimentão. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.1, 2006.

LIMA, V. L. A.; AZEVEDO, C. A. V.; MIRANDA, R. J. A.; MELO, A. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; CRUZ, R. N. **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, v.1, p.130-153, 2012.

LIRA, R. M.; SANTOS, A. N.; SILVA, J. S.; BARNABÉ, J. M. C.; BARROS, M. S.; SOARES, H. R. A utilização de águas de qualidade inferior na agricultura irrigada. **Revista Geama**, v.1, p.341–362, 2015.

LIU, L.; KLOCKE, N.; YAN, S.; ROGERS, D.; SCHLEGEL, A.; LAMM, F.; CHANG, S.I.; WANG, D. Impact of Deficit Irrigation on Maize Physical and Chemical Properties and Ethanol Yield. **Cereal Chemistry**, v.90, p.453–462, 2013.

LOPES, I.; MONTENEGRO, A. A. A.; LIMA, J. L. M. P. Performance of Conservation Techniques for Semiarid Environments: Field Observations with Caatinga, Mulch, and Cactus Forage Palma. **Water**, v.11, p.1-15, 2019.

LOPEZ, J. R.; WINTER, J. M.; ELLIOTT, J.; RUANE, A. C.; PORTER, C.; HOOGENBOOM, G. Integrating growth stage deficit irrigation into a process based crop model. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.243, p.84–92, 2017.

LORENZI, L. K.; CANAN, L. P.; BREDA, B. S.; FONSÊCA, G. S.; FRIESTINO, J. K. O. fortalecimento da agricultura familiar: relato de experiência de formação interdisciplinar no programa de extensão. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, 2019.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. DOS. **Reúso de água**. [s.l.] Editora Manole Ltda, 2003.

MARECOS, H.; ALBUQUERQUE, A. **Reutilização de Águas Residuais**. [s.l.] Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2010.

MARQUES, M. A. D. Lâminas e frequências de irrigação para a cultura do tomateiro tipo grape, em Casa Nova, BA. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Vale do São Francisco. 2013.

MARTÍNEZ-ROMERO, A.; MARTÍNEZ-NAVARRO, A.; PARDO, J.J.; MONTOYA, F.; DOMÍNGUEZ, A. Real farm management depending on the available volume of irrigation water (part II): Analysis of crop parameters and harvest quality. **Agricultural Water Management**, v.192, p.58–70, 2017.

MEDEIROS, S. S.; PEREZ-MARIN, A. M.; JÚNIOR, J. A. S.; REIS, C. F.; GHEYI, H. R. Potencial hídrico-nutricional da água residuária de suinocultura na irrigação do algodoeiro cultivado em condições semiáridas. **IRRIGA**, v.20, p.248-260, 2015.

MIRANDA, R. J. A. 2010. Lâminas de Irrigação com Água Residuária e Adubação Orgânica na Cultura do Algodão BRS Safira. Tese (Doutorado), UFRPE, Recife.

MONTEIRO, M. C. D.; ANUNCIAÇÃO FILHO, C. J. D. A.; TABOSA, J. N.; OLIVEIRA, F. J. D.; REIS, O. V. D.; BASTOS, G. Q. Avaliação do desempenho de sorgo forrageiro para o semi-árido de pernambuco. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.3, 2004.

MONTENEGRO, A. A. A.; ABRANTES, J. R. C. B.; LIMA, J. L. M. P.; SINGH, V. P.; SANTOS, T. E. M. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. **CATENA**, v.109, p.139–149, 2013a.

MONTENEGRO, S. G. L.; SILVA JUNIOR, J. G.; MONTENEGRO, A. A. A.; CARVALHO, J. F.; ALBUQUERQUE FILHO, J. A. C. Experimentação e modelagem do avanço de saís no perfil do solo em área cultivada com repolho sob alternativas de manejo de irrigação, no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, p.148–155, 2013b.

MORALES, R. G. F.; RESENDE, L. V.; BORDINI, I. C.; GALVÃO, A. G.; REZENDE, F. C. Caracterização do tomateiro submetido ao déficit hídrico. **Scientia Agraria**, v.16, n.1, 2015.

MOTA, V. J. G.; REIS, S.T.; SALES, E.C.J.; JÚNIOR, R.; RIBEIRO, V.; OLIVEIRA, F.G.; WALKER, S.F.; MARTINS, C.E.; CÓSER, A. C. Lâminas de irrigação e doses de nitrogênio em pastagem de capim-elefante no período seco do ano no norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.1191–1199, 2010.

NAGAZ, K.; MASMOUDI, M. M.; MECHLIA, N. B. Impacts of irrigation regimes with saline water on carrot productivity and soil salinity. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v.11, p.19–27, 2012.

NAJAFABADI, M. Y.; SOLTANI, F.; NOORY, H.; DÍAZ-PÉREZ, J. C. Growth, Yield and Enzyme Activity Response of Watermelon Accessions Exposed to Irrigation Water Deficit. **International Journal of Vegetable Science**, v.24, p.323–337, 2018.

ODS. 2015. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. **17 Objetivos Para Transformar Nosso Mundo**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>>. Acesso em 11 de janeiro de 2020.

PINHEIRO, A.; GRACIANO, R. L. G.; SEVERO, D. L. Tendência das séries temporais de precipitação da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, p.281-290, 2013.

POHL, S. C.; LENZ, D. M. Utilização de efluente tratado em complexo industrial automotivo. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v.22, p.551–562, 2017.

PUGA, A.P.; MELO, L.C.A.; ABREU, C.A. et al. J. Leaching and fractionation of heavy metals in mining soils amended with biochar. **Soil and Tillage Research**, v.164, p.25-33, 2016.

QUEIROZ, M. G. D.; SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; SIQUEIRA, S. M.; SOUZA, C. A. A.; SOUSA CARVALHO, H. F. Relações hídrico-econômicas da palma forrageira cultivada em ambiente semiárido. **IRRIGA**, v.1, p.141–154, 2016.

QUEIROZ, M. G. **Impacto do desmatamento na interação biosfera-atmosfera do Domínio Caatinga**. 221p. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2018.

REKIK, I.; CHAABANE, Z.; MISSAOUI, A.; BOUKET, A. C.; LUPTAKOVA, L.; ELLEUCH, A.; BELBAHRI, L. Effects of untreated and treated wastewater at the morphological, physiological and biochemical levels on seed germination and development of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), alfalfa (*Medicago sativa* L.) and fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.). **Journal of Hazardous Materials**, v.326, p.165–176, 2017.

RESENDE, B. P. M.; JAKELAITIS, A.; TAVARES, C. J.; MARANGONI, R. E.; CUNHA, P. C. R. Consórcio de sorgo com espécies forrageiras. **REVISTA AGRO@MBIENTE ON-LINE**, v.10, p.57–64, 2016.

RODRIGUES, G. C.; PAREDES, P.; GONÇALVES, J. M.; ALVES, I.; PEREIRA, L. S. Comparing sprinkler and drip irrigation systems for full and deficit irrigated maize using multicriteria analysis and simulation modelling: Ranking for water saving vs. farm economic returns. **Agricultural Water Management**, v.126, p.85–96, 2013.

SANTOS, C. S. **Conservação de solo e água em unidade de reuso do semiárido para proteção ambiental, produção agrícola e inclusão social**. 2016. 131f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

SANTOS, C. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, M. A.; PEDROSA, E. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da *Moringa oleifera* no semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, p.840–845, 2017.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; PEDROSA, E. M. R. Características hidráulicas e perdas de solo e água sob cultivo do feijoeiro no semi-árido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.217–225, 2009.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, D. D. Umidade do solo no semiárido pernambucano usando-se reflectometria no domínio do tempo (TDR). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.670–679, 2011.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, Ê. F. F.; LIMA NETO, J. A. Perdas de carbono orgânico, potássio e solo em Neossolo Flúvico sob diferentes sistemas de manejo no semi-árido. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.2, 2007.

SARKAR, S.; SINGH, S. R. Interactive effect of tillage depth and mulch on soil temperature, productivity and water use pattern of rainfed barley (*Hordium vulgare* L.). **Soil and Tillage Research**, v.92, p.79–86, 2007.

SCHMIDT, D. M.; LIMA, K. C.; JESUS, E. S. Variability Climatic of Water Availability in the Semiarid of the State of Rio Grande do Norte. **Anuário do Instituto de Geociências**, v.41, p.483-491, 2018.

SEN, P. K. Estimates of the Regression Coefficient based on Kendall's Tau. **Journal of American Statistic Association**, v.63, 1379-1389, 1968.

SILVA, A.S.; SILVA, I. F.; SILVA NETO, L. F.; SOUZA, C. Semeadura direta na produção do milho em agricultura de sequeiro na região Nordeste do Brasil. **Ciência Rural**, v.41, p.1556–1562, 2011.

SILVA, R. O. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SOUZA, W. M. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.22, p.579-589, 2017.

SILVA, W. L.; DEREZYNSKI, C. P.; CHANG, M.; FREITAS, M.; MACHADO, B. J. S.; CHARGEL, L. T.; RUGGERI, J. Tendências observadas em indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.30, p.181-194, 2015.

SOUSA, P. G. R.; VIANA, T. V. A.; CARVALHO, C. M.; AZEVEDO, B. M.; SOUSA, J. D. P. F.; HOLANDA CAMPELO, D. Características agronômicas do sorgo forrageiro submetido à lâminas de irrigação e cobertura morta no Semiárido. **REVISTA BRASILEIRA DE AGRICULTURA IRRIGADA**, v.11, p.2239–2248, 2017a.

SOUSA, P. G. R.; VIANA, T. V. A.; CARVALHO, C. M.; SILVA, L. S.; BRASIL, S. D. O. S.; AZEVEDO, B. M. Desempenho agronômico do sorgo em função de lâminas de irrigação e cobertura do solo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.11, n.8, p.2194–2205, dez. 2017c.

SOUSA, P. G. R.; VIANA, T. V. A.; CARVALHO, C. M.; SOUSA, A. M.; MENEZES COSTA, C. P.; AZEVEDO, B. M. Efeito de diferentes lâminas de irrigação e cobertura do solo

no crescimento da cultura do sorgo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.11, p.1528–1537, 2017b.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.3, p.473–481, 2001.

TABOSA, J. N.; COLAÇO, W.; DOS REIS, O. V.; SIMPLÍCIO, J. B.; CARVALHO, H. W.; DIAS, F. M. Sorghum genotypes evaluation under salinity levels and gamma ray doses. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.6, 2007.

TOLK, J. A.; HOWELL, T. A.; MILLER, F. R. Yield component analysis of grain sorghum grown under water stress. **Field Crops Research**, v.145, p.44–51, 2013.

VERAS, R. S.; ALENCAR, I. F. O.; HOLANDA, V. P. D.; SOARES, T. R.; SALES, R. J. M. Aplicação de um modelo matemático para estudar a qualidade de água do rio Piranhas-Açu/RN tomando como referência os parâmetros DBO e coliformes termotolerantes. **Revista Tecnologia**, v.36, p.64–78, 2016.

VIAN, A. L.; SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R.; Simon, D. H. Damian, J. M.; Bredemeier, C. Variabilidade espacial da produtividade de milho irrigado e sua correlação com variáveis explicativas de planta. **Ciência Rural**, v.46, p.464–471, 2016.

VIEIRA, S. R.; CARVALHO, J. R. P. D.; GONZÁLEZ, A. P. Jack knifing for semivariogram validation. **Bragantia**, v.69, p.97-105, 2010.

XU, M.; KANG, S.; WU, H.; YUAN, X. Detection of spatio-temporal variability of air temperature and precipitation based on long-term meteorological station observations over Tianshan Mountains, Central Asia. **Atmospheric Research**, v.203, p.141-163, 2018.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. Oficina de textos, 2015.

YANG, H.; LIU, H.; ZHENG, J.; HUANG, Q. Effects of regulated deficit irrigation on yield and water productivity of chili pepper (*Capsicum annuum* L.) in the arid environment of Northwest China. **Irrigation Science**, v.36, p.61–74, 2018.

ZIMBACK, C. R. L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade. 2001. 114 f. (Livre-Docência em Levantamento do Solo e Fotopedologia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

ZWIRTES, A. L.; CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; KUNZ, J.; REIMANN, G. K. Desempenho produtivo e retorno econômico da cultura do sorgo submetida à irrigação deficitária. **Engenharia Agrícola**, v.35, p.676–688, 2015.

CAPÍTULO II

CARVALHO, A.A.; MONTENEGRO, A.A. A.; SILVA, H. P.; LOPES, I.; MORAIS, J. E. F. SILVA, T. G. F. DA. Trends of rainfall and temperature in northeast Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.24, p.15–23, 2020. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n1p15-23>

TRENDS OF RAINFALL AND TEMPERATURE IN NORTHEAST BRAZIL

ABSTRACT

For climate change scenarios, there is a high degree of complexity, with impacts on the future availability of water resources. In this context, studies related to changes in rainfall time series are essential in order to identify environmental vulnerability. The objective of this study was to analyze trends in the rainfall regime, number of rainy days and temperature for stations located at different continentality and altitude conditions in Northeast Brazil. Meteorological data of the Instituto Nacional de Meteorologia were used, being classified according to the location in relation to the continent: coastal strip (14 stations), strip of 150-300 km up to 300 m altitude (14 stations) and above 300 m (five stations), between 400 and 600 km from the coast up to 300 m (four stations) and above 300 m (eight stations). All the 45 stations used have a historical series with a data period of more than 30 years. The trend of rainfall and rainy days was obtained through the Mann-Kendall and regression analyses, at significance levels of 0.01 and 0.05, respectively. There were trends of reduction in the number of rainy days, in the coastal strip, as well as reduction in rainfall and rainy days, both in the strip of 150-300 km from the coast and in the Sertão region, with no significant effect of continentality in the strip of 400-600 km from the coast. For temperature, except for Maceió, AL, Brazil, there is a trend of increase in near future.

Key words: continentality, rainfall modeling, climate variability

TENDÊNCIAS DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL E DA TEMPERATURA NO NORDESTE BRASILEIRO

RESUMO

Nos cenários de mudanças climáticas verifica-se elevada complexidade, estando previstos impactos na disponibilidade futura de recursos hídricos. Nesse contexto, estudos relacionados às alterações nas séries temporais do regime pluvial são essenciais para identificar a vulnerabilidade ambiental. Assim, objetivou-se analisar as tendências no regime pluvial, no número de dias de precipitação e temperatura em estações situadas em diferentes condições de continentalidade e altitude no Nordeste brasileiro. Foram utilizados dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia, sendo classificados de acordo a faixa de localização em relação ao continente: faixa litorânea (14 estações), na faixa de 150-300 km até 300 m de altitude (14 estações) e acima de 300 m (cinco estações), entre 400 e 600 km do litoral até 300 m (quatro estações) e acima de 300 m (8 estações). Todas as 45 estações utilizadas possuem série histórica com período de dados superior a 30 anos. A tendência da precipitação e dias de chuva foi investigada através da análise Mann-Kendall e de regressão, para os níveis de significância de 0,01 e 0,05, respectivamente. Foram identificadas tendências de redução no número de dias de precipitação, na faixa litorânea, bem como redução na precipitação e nos dias com chuva, tanto na faixa de 150 a 300 km do litoral, quanto na região do Sertão, não havendo efeito significativo da continentalidade na faixa de 400 a 600 km do litoral. Para a temperatura, com exceção de Maceió, AL, Brasil, observa-se tendência de incremento em futuro próximo.

Palavras-chave: continentalidade, modelagem da precipitação, variabilidade climática

INTRODUCTION

Severe droughts and floods are phenomena related to rainfall variability and can significantly affect agricultural production and the environment, particularly in arid and semiarid regions (PINHEIRO et al., 2013; SUN e MA, 2015).

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2013) emphasizes that global warming has caused higher variability in rainfall regimes. This fact has been observed in the rainfall regimes in Brazil and worldwide, induced by the occurrence of extreme natural phenomena (CARRETAS, 2014).

Marcuzzo et al. (2012) analyzed data from 37 pluviometric stations with 30 years of data in the state of Goiás, Brazil, and observed that every month had a variation greater than the annual average, indicating greater dispersion. Pingale et al. (2014), investigating the trend

of rainfall in 33 cities in the semiarid region of Rajasthan, India, found positive and negative trends.

Montenegro e Ragab (2010) found that the increase in temperature and the greater temporal variability in rainfall caused changes in the availability of water resources, leading to the reduction of surface runoff and recharge.

Evaluations of trends in rainfall regimes are essential in agricultural planning and preservation of ecosystems (BACK et al., 2012), since rainfall is the climatic variable with highest spatial-temporal variability, conditioned to the factors of altitude, latitude, continentality and the dynamics of air masses in the atmosphere (BURIOL et al., 2004).

Thus, this study aimed to analyze trends in the total annual rainfall, number of rainy days and temperature under different conditions of continentality and altitude in Northeast Brazil.

MATERIAL AND METHODS

The area of this study is the Northeast region of Brazil, where records of daily rainfall and number of rainy days (NRD) were analyzed in the pluviometric stations of the Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2018). The meteorological stations were organized in relation to the distance from the coast and according to the altitude intervals.

Stations of the coastal region, in the strip of 150-300 km up to 300 m altitude (14 stations) and above 300 m (five stations), between 400 and 600 km from the coast up to 300 m (four stations) and above 300 m (8 stations) (Table 1) were selected, obeying the continuity and with a minimum period of records of 30 years of data as recommended by WMO (1989).

Table 1. Geographic location and descriptive statistics of the stations analyzed in the Northeast region

ID	Station	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Annual rainfall		NRD		Temperature	
					Mean (mm year ⁻¹)	CV (%)	Mean (n° days)	CV (%)	Mean (° C)	CV (%)
Coastal region										
1	Aracajú - SE	-10.95	-37.04	16.5	1144	52.5	109	27.5	27.1	2.6
2	Canavieiras - BA	-15.66	-38.95	3.9	1688	26.7	176	23.9	24.7	1.8
3	Caravelas - BA	-17.73	-39.25	2.9	1347	21.3	168	14.3	25.5	1.8
4	Fortaleza - CE	-3.81	-38.53	26.5	1613	34.8	161	19.3	26.8	1.6

5	João Pessoa - PB	-7.10	-34.86	7.4	1917	32.5	183	18.6	26.5	2.1
6	Macau - RN	-5.15	-36.57	32.0	573	42.6	64	32.8	27.4	2.7
7	Maceió - AL	-9.66	-35.70	64.5	1952	23.9	206	17.5	25.3	2.6
8	Natal - RN	-5.91	-35.20	48.6	1620	28.6	161	16.2	26.3	1.8
9	Parnaíba - PI	-3.08	-41.76	79.5	1229	47.2	106	27.4	27.0	2.3
10	Porto de Pedras - AL	-9.18	-35.43	50.0	1782	20.7	190	14.7	26.1	1.8
11	Recife - PE	-8.05	-34.95	10.0	2291	21.8	218	8.7	25.7	1.5
12	Salvador -BA	-13.01	-38.53	51.4	1944	23.1	201	13.4	25.5	1.7
13	São Luiz - MA	-2.53	-44.21	50.9	2267	26.8	140	20.7	26.6	2.1
14	Turialva - MA	-1.56	-45.36	44.1	2207	25.6	159	18.9	26.9	1.8
150 to 300 km away from the coast (up to 300 m altitude)										
15	Bacabal - MA	-4.21	-44.76	25.1	1722	27.8	102	46.1	27.5	3.6
16	Caldeirão - PI	-4.28	-41.8	160.0	1330	37.9	85	40.0	27.4	2.8
17	Caxias - MA	-4.86	-43.35	103.6	1592	28.7	97	29.9	27.4	2.7
18	Crateús - CE	-5.16	-40.66	296.8	748	40.4	80	26.3	26.9	3.7
19	Cruzeta - RN	-6.43	-36.58	226.5	729	35.7	61	44.3	27.1	2.2
20	Iguatu - CE	-6.36	-39.29	217.7	998	28.6	80	31.3	26.9	2.4
21	Itaberaba - BA	-12.51	-40.28	249.9	681	33.0	117	29.1	24.5	2.5
22	Patos - PB	-7.01	-37.26	249.1	748	34.5	66	37.9	27.5	2.2
23	Paulo Afonso - BA	-9.36	-38.21	252.7	544	32.5	94	31.9	25.9	1.9
24	Quixeramobim - CE	-5.16	-39.28	79.5	756	35.2	86	29.1	26.8	4.4
25	São Gonçalo - PB	-6.75	-38.21	233.1	926	37.4	78	33.3	26.7	2.7
26	Seridó (Caicó) - RN	-6.46	-37.08	169.9	644	41.6	71	32.4	28.3	2.3
27	Teresina - PI	-5.08	-42.81	74.4	1234	31.8	101	25.7	27.1	2.6
28	Zé Doca - MA	-3.26	-45.65	45.3	1809	18.0	139	23.0	26.9	3.1
150 to 300 km away from the coast (above 300 m altitude)										
29	Água Branca - AL	-9.28	-37.90	605.3	968	31.5	103	35.9	23.1	2.3
30	Arcoverde - PE	-8.41	-37.08	680.7	651	35.8	100	24.0	23.0	4.0
31	Ituaçu - BA	-13.81	-41.30	531.4	587	31.2	79	31.7	24.2	3.4
32	Monte Santo - BA	-10.43	-39.29	464.6	624	29.3	111	22.5	24.1	3.3
33	Monteiro - PB	-7.88	-37.06	603.7	630	39.4	64	31.3	24.2	2.7
400 to 600 km away from the coast (up to 300 m altitude)										
34	Balsas - MA	-7.53	-46.03	259.4	1265	20.2	91	25.3	26.5	3.4
35	Florianópolis - PI	-6.76	-43.01	123.3	971	32.2	96	20.8	27.7	3.8
36	Imperatriz - MA	-5.53	-47.48	123.3	1473	21.9	101	30.7	26.9	3.2
37	Picos - PI	-7.03	-41.48	207.9	736	31.4	74	28.4	27.8	4.1
400 to 600 km away from the coast (above 300 m altitude)										
38	Barra - BA	-11.08	-43.16	401.6	661	30.9	56	21.4	26.4	2.9
39	Bom Jesus da Lapa - BA	-13.26	-43.41	439.9	816	24.1	75	18.7	25.8	3.5
40	Carinhanha - BA	-14.28	-43.76	450.2	802	25.1	72	20.8	25.6	2.6
41	Correntina - BA	-13.33	-44.61	549.5	995	25.0	80	16.3	24.1	3.2
42	Ouricuri - PE	-7.90	-40.04	459.3	614	41.0	75	30.7	25.8	4.5
43	Paulistana - PI	-8.13	-41.13	374.2	571	40.8	57	31.6	26.9	3.6
44	Petrolina - PE	-9.38	-40.48	370.5	472	38.8	49	30.6	26.9	2.6
45	Remanso - BA	-9.63	-42.10	400.5	634	31.2	48	25.0	26.7	2.4

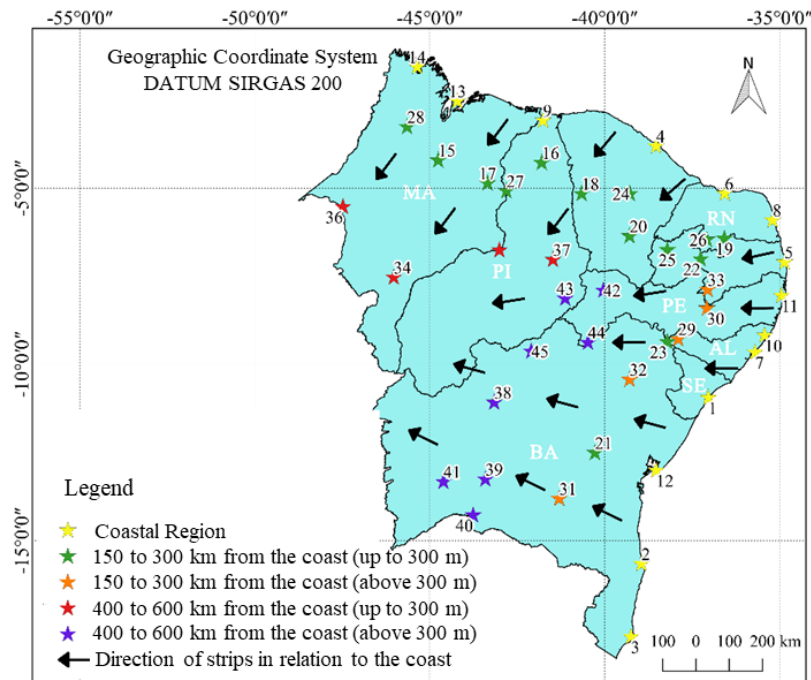
NRD – Number of rainy days; CV – Coefficient of variation

A descriptive statistical analysis of central tendency (mean), dispersion (coefficient of variation) and adherence to normal distribution was performed using the Kolmogorov-Smirnov test (KS) at $p \leq 0.05$, for the records of total annual rainfall and average annual temperature, and for the number of rainy days (NRD) values.

The coefficient of variation (CV) was classified according to the criterion of Warrick e Nielsen (1980), which considers the degree of variability as low ($CV < 12\%$), medium ($12 \leq CV \leq 60\%$) and high ($CV > 60\%$).

The geographic locations of the INMET pluviometric stations in which the trend of rainfall, NRD and temperature were evaluated are shown in Figure 1.

Figure 1. Location of the stations in the Brazilian Northeastern states



The arrows represent the direction of the analyses in relation to the coast (150, 300, 400 and 600 km)

The studied period was from 1961 to 2017. Each rainfall series was evaluated for the trend of Total Annual Rainfall (TAR), Total Annual Number of Rainy Days (TANRD), average temperature (Temp) and NRD. Its temporal evolution was verified by means of the Deviations

of Rainfall from the Mean (DRM) and of the Deviations of Rainy Days from the Mean (DRDM), in order to identify any changes in the climatological behavior over the years.

The non-parametric Mann-Kendall test is widely used to detect monotonic trends in hydrometeorological time series. It is based on the null hypothesis (H_0), in which the data are identically distributed (no trend), and on the alternative hypothesis (H_A), in which the data follow a monotonic trend in the time series. The test confirms the existence of a positive or negative trend according to the S test statistic for a given level of confidence (PINHEIRO et al., 2013; XU et al., 2018).

The test statistic (S) was applied according to the methodology of Pinheiro et al. (2013) and Xu et al. (2018), described by Eq. 1:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x(j) - x(i)) \quad (1)$$

where:

$x(i)$ - time series of $i = 1, 2, 3, \dots, n - 1$;

$x(j)$ - time series of $j = i+1, \dots, n$, $x(j)$ is higher than $x(i)$; and,

n - length of the data set record.

Each point $x(i)$ is used as the reference point of $x(j)$, and the results are recorded as $\text{sign}(\theta)$ ($1, \theta > 0$; $0, \theta = 0$; $-1, \theta < 0$).

If the data set is distributed identically and independently, then the average of S is zero and the variance of S is (Eq. 2):

$$\text{Var}(S) = \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^q t(t-1)(2t+5) \right] / 18 \quad (2)$$

where:

n - size of the data set;

t - number of data with values repeated within a certain group; and,

q - number of groups containing repeated values.

For a long time series, the statistical value S can be transformed into Z , according to the following conditions: $Z = \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}$, $S > 0$; $0, S = 0$; $Z = \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}$, $S < 0$). When $-1.96 \leq Z \leq 1.96$, the null hypothesis (H_0) is accepted, which indicates that there is no trend in the time series. The trend is significant at 0.95 confidence level if $|Z| > 1.96$, and at 0.99 confidence level if $|Z| >$

2.58. A positive Z value indicates that the sequence has an upward trend, whereas a negative Z reflects a downward trend (PINHEIRO et al., 2013; XU et al., 2018).

After the trends are identified, their magnitude is analyzed using the Sen curvature test (Sen, 1968), according to Eq. 3:

$$\int \beta = \left(\frac{x_j - x_k}{j - k} \right), \text{ for } i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

where:

β - Sen's slope estimator. When the values are positive, the trend is positive, and when the values are negative, the trend is negative; and,

x_j and x_k - are the values given at the times j and k ($j > k$), respectively.

The behavior of the annual time series of meteorological variables was evaluated by adopting the calculation of the moving averages, employing the order five for the data, aiming to avoid fluctuations and smoothing the data (FERREIRA et al., 2015).

Future projection for rainfall and NRD was then carried out for the next 30 years based on the Mann-Kendall trend analysis and the β (Sen's slope) coefficient, up to 2047, assuming that no significant change will occur on the climate variability patterns in near future.

For geostatistical analysis, the classical statistical estimator of semivariance was adopted. After obtaining the semivariances, the Gaussian, spherical and exponential models were tested, and the one which best fitted to the experimental values according to the cross-validation and which produced standardized errors close to zero was chosen, according to Jackknifing criterion (MONTENEGRO e MONTENEGRO, 2006).

From the fit of the semivariograms, the spatial distribution analysis was performed through the Kriging method in order to map the climatic variables correlated in space (MONTENEGRO e MONTENEGRO, 2006), for the variables rainfall, number of rainy days and temperature.

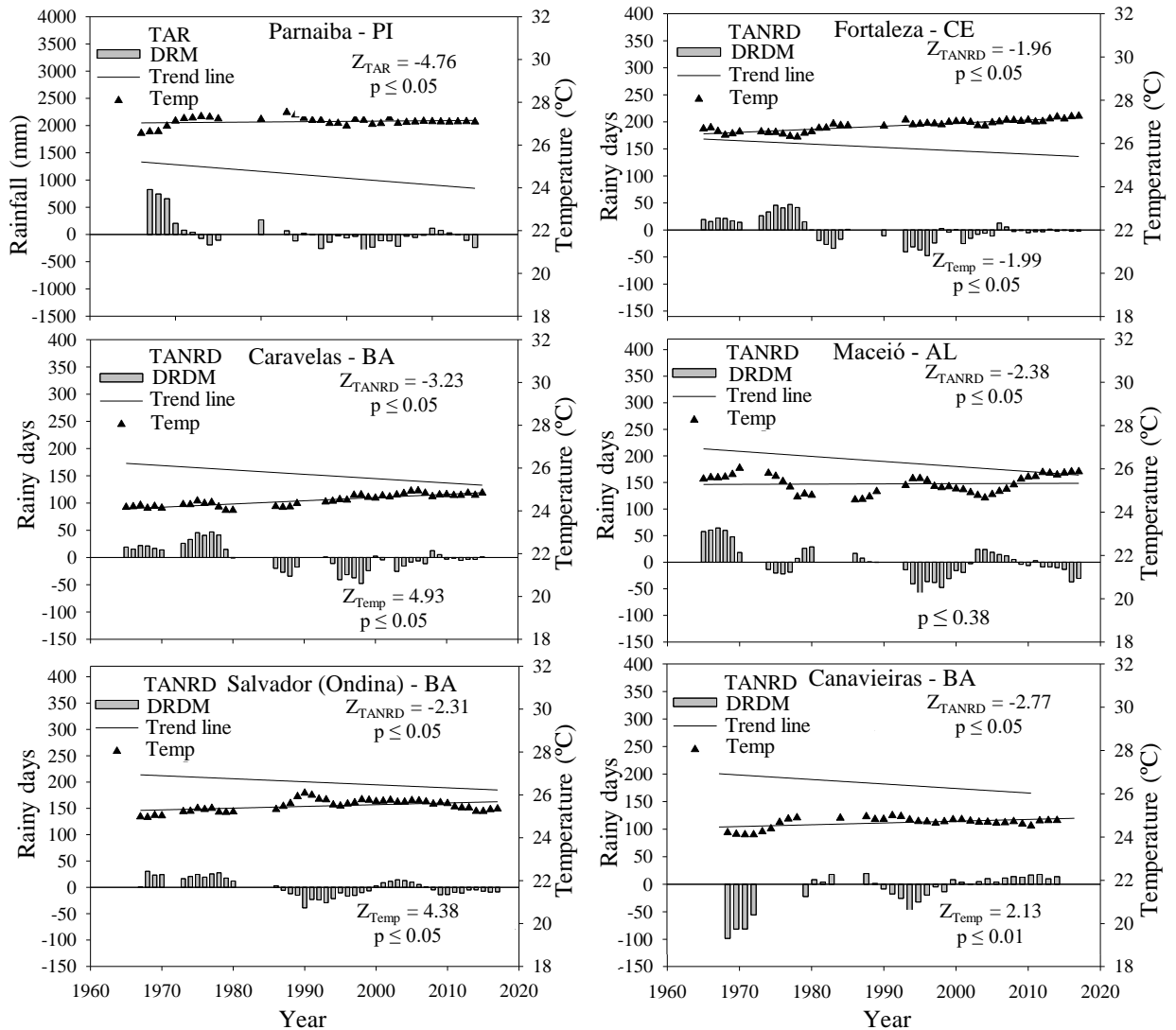
The degree of spatial dependence was based on Cambardella et al. (1994), according to the following classification: strong (less than 25%), moderate (between 25 and 75%) or weak (above 75%) spatial dependence.

RESULTS AND DISCUSSION

The trends of Total Annual Rainfall (TAR), Total Annual Number of Rainy Days (TANRD), Mean temperature (Temp), Deviations of Rainfall from the Mean (DRM),

Deviations of Rainy Days from the Mean (DRDM) and the respective Z values of the coastal strip of Northeast Brazil are presented in Figure 2.

Figure 2. Trend of rainfall (TAR), total annual number of rainy days (TANRD), temperature (Temp), deviations of rainfall from the mean (DRM) and Z values for the coastal strip of Northeast Brazil between 1961 and 2017



The station of Parnaíba, PI, was the only one which showed a trend of reduction in TAR, with an estimated value of 118 mm for 30 years. The others had a trend of reduction for NRD in Caravelas, BA (23 days), Salvador, BA (17 days), Fortaleza, CE (19 days), Maceió, AL (28 days) and Canavieiras, BA (29 days).

Except for Maceió, AL, a trend of increase in the temperature was observed. These changes in the temperature pattern, according to Fall et al. (2011), may be associated with

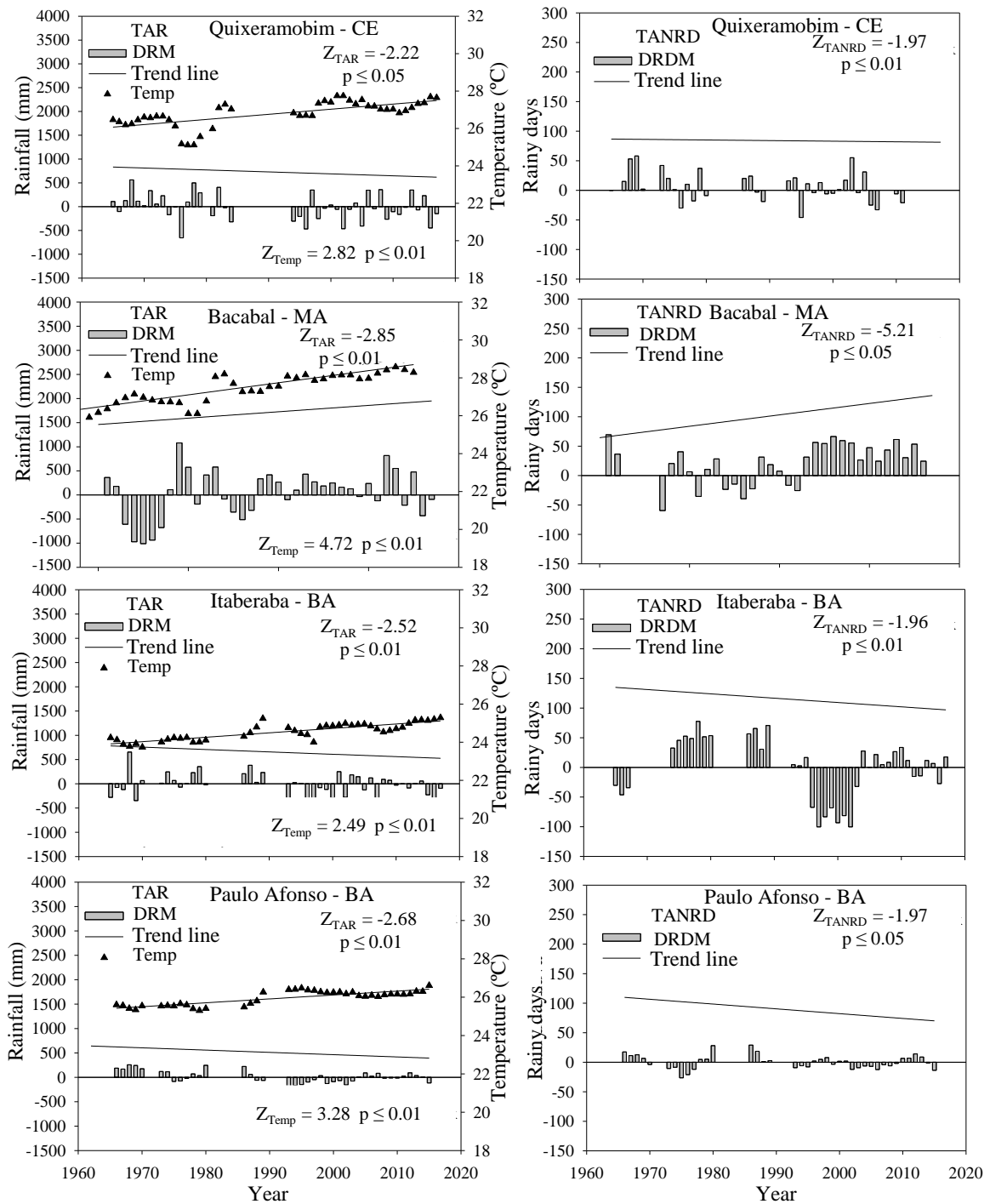
human activities, particularly related to excessive emissions of greenhouse gases, from agriculture, livestock farming and industry, regarded as the main cause of global warming (MAHLSTEIN e KNUTTI, 2010).

The reductions in TANRD represent a higher concentration of rainfall, consequently resulting in the increase of its intensity and, therefore, in major damage risk to urban and rural environments, possibly increasing of floods events and soil degradation.

According to Silva et al. (2012), intense rainfall can aggravate erosion processes in the semiarid region in areas with shallow soils and with restrict natural drainage. In addition, knowledge on rainfall trend is important for the analysis of environmental impacts and dimensioning of hydraulic structures for flood control and urban drainage (Mello e Viola, 2013).

The stations within the strip of 150-300 km from the coast showed a trend only at altitudes up to 300 m, both for rainfall and total annual number of rainy days (TANRD), with increase of rainfall in Bacabal, MA, and reduction in Itaberaba, BA, Paulo Afonso, BA, and Quixeramobim, CE (Figure 3). The temperature tended to increase in these stations.

Figure 3. Trend of rainfall (TAR), total annual number of rainy days (TANRD), temperature (Temp), deviations of rainfall from the mean (DRM) and Z values from the coast of Northeast Brazil between 1961 and 2017



The trends for the stations of Quixeramobim, CE, Itaberaba, BA and Paulo Afonso, BA, until the year 2017 are of reduction in rainfall (121, 148 and 140 mm) and in rainy days (3, 21 and 24 days), as well as increase of temperature (0.9, 0.69 and 0.6 °C), respectively.

Asfaw et al. (2018) found a reduction of up to 101 mm in the average annual rainfall in the Woleka basin in Ethiopia. Xavier et al. (2014) point out that the changes in rainfall regimes

may threaten the biodiversity of Brazilian biomes, particularly the Caatinga, rich in fauna and flora, which has undergone significant impacts, partly due to the reduction in native vegetation, increasing the Areas Susceptible to Desertification (ASD).

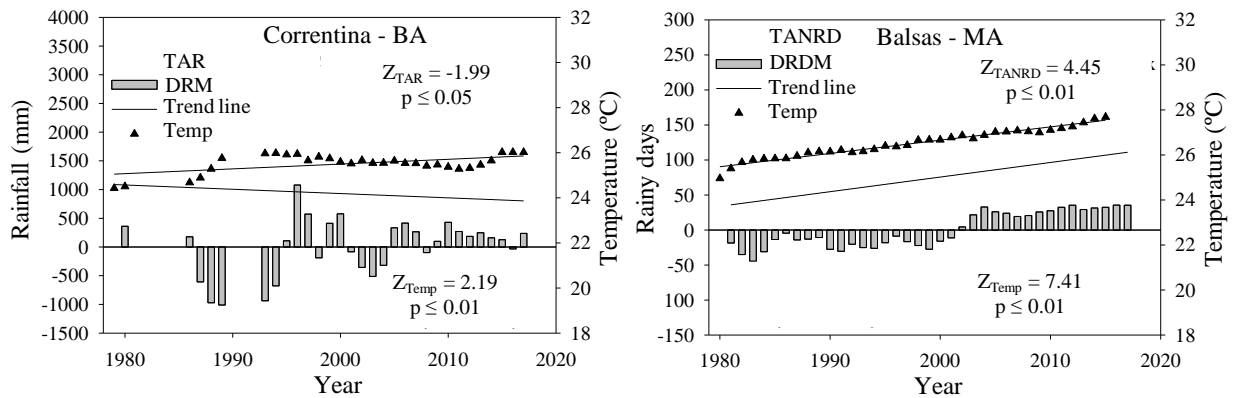
According to Souza et al. (2015), there are more than 1,338 km² in Northeast Brazil classified as ASD. In these areas, desertification should be regarded as a complex environmental problem, which impacts the support capacity of ecosystems, and where studies analyzing rainfall trends and the number of rainy days are of great relevance to support sustainable environmental management.

The trend of increase and reduction in rainfall was observed for four stations, and the trend for NRD showed the same behavior. A trend of increase in the consecutive dry days was observed for the Agreste Pernambucano and Sertão Pernambucano mesoregions (NÓBREGA et al., 2015). Great variability of rainfall and number of rainy days in Northeast Brazil was observed by Silva et al. (2011), who warn about the possible environmental and socioeconomic impact related to rainfed agriculture.

The coefficients of determination (R^2) of the equations for rainfall and rainy days were low and ranged from 0.02 to 0.48, but were significant for the trend analysis. These low values are due to high uncertainties in studies on the rainfall regime. Ferreira et al. (2015), Asfaw et al. (2018) and Xu et al. (2018) also found R^2 values always below 0.5 for the trend equations.

In the strip of 450-600 km from the coast for altitudes of up to 300 m, only the station of Balsas, MA, showed a trend of increase in NRD and temperature. For the altitude from 300 to 600 m, the station of Correntina, BA, Brazil, showed a trend of reduction in rainfall and increase of temperature (Figure 4).

Figure 4. Trend of rainfall (TAR), total annual number of rainy days (TANRD), temperature (Temp), deviations of rainfall from the mean (DRM) and Z values for the strip of 450-600 km from the coast of Northeast Brazil between 1961 and 2017



Rainfall distribution in the Northeast region has an impact on the occurrence and location of extreme events (drought and floods). The more distant from the coast, the higher the rainfall variability and the lower the rainfall values.

The trend of change in the TAR, TANRD, DRM, DRDM from the mean and NRD was not clearly identified in Northeast Brazil, for the studied period, since the stations located on the coast showed a trend only for NRD isolated from rainfall. In the stations of the strip from 150 to 300 km, the trends were verified for number of rainy days, while in the strip from 450 to 600 km the stations showed isolated trends.

Xu et al. (2018) also report a lack of clarity in the rainfall trends in different magnitudes of topographic elevation. In addition, changes in the trend magnitudes in sites of low elevation may be associated to the topographic conditions of alluvial valleys and to orographic effects.

The high spatial and temporal variability of rainfall can be observed in the relative difference for rainfall and NRD in all localities, particularly in the strip from 150 to 300 km (Figure 3).

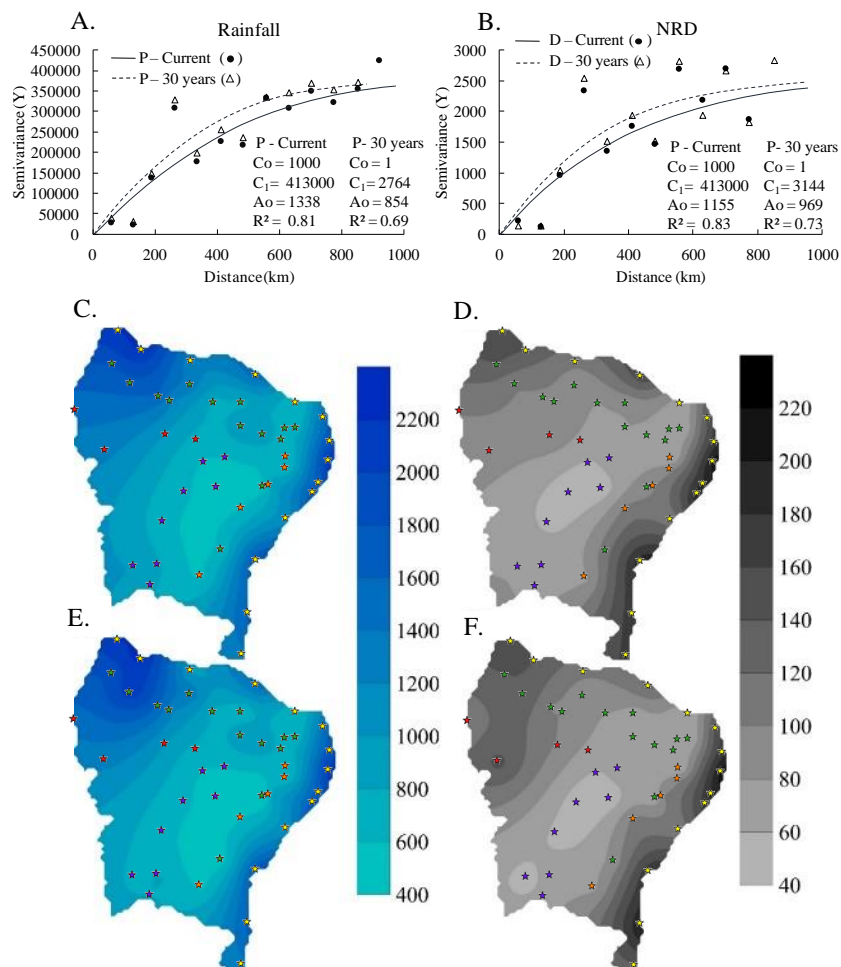
The different patterns of rainfall and NRD observed, despite having regional trends of increase and decrease in rainfall and rainy days, promoted changes in rainfall intensity for different localities in the context of continentality, and it is necessary to reevaluate water security in the region. Sayemuzzaman e Jha (2014) and Steinke e Barros (2015) highlight the importance of understanding the climate, in the aspect of rainfall trend, in order to support agricultural planning and thus mitigate the losses of biodiversity and crops yields and, consequently, alleviate the socioeconomic impacts.

Given the greater complexity in rainfall and NRD patterns, with trends of both increase and decrease and greater variability, observed through the coefficient of variation, classified as low to medium with minimum values (21.3 and 8.7%) and maximum values (52.5 and 46.1%),

respectively, as well as a lower temperature variability, with CV values ranging from 1.5 to 4.5% (classified as low) (Table 1), the complementary spatial geostatistical analysis of the future scenarios by kriging was performed only for rainfall and NPD.

The experimental and theoretical semivariograms, fitted and the spatial distribution of rainfall for the current scenario (Rainfall, P – Current and NRD, D – Current) and estimated scenarios for 30 years in the future (Rainfall, P – 30 years and NRD, D – 30 years), are shown in Figures 5A and B, respectively. All experimental semivariograms were adequately fitted to the exponential model, with the respective fitting parameters of the semivariogram (nugget effect (C_0), sill (C_1), range (A_0) and coefficients of determination (R^2)), showed in figure 5.

Figure 5. Semivariograms of rainfall (A) and number of rainy days (NRD) (B) for the Brazilian northeast region for the current scenario (1961-2017) and future scenario (1961-2047) and isoline maps for rainfall (mm) in the current (C) and future (E) scenarios and NRD in the current (D) and future (F) scenarios for the Brazilian northeast region, obtained by kriging



The two semivariograms of rainfall and NRD showed strong spatial dependence. The validation was performed according to the standard deviation of the residual statistics (0.83, 0.75, 0.78 and 0.83) and for mean errors (-0.034, -0.047, -0.038 and -0.047), for rainfall and days until 2017, rainfall and days estimated for 30 years, respectively.

The ranges (A_0) and R^2 values obtained for rainfall in the current scenario (1338 km and $R^2 = 0.81$) were higher than those corresponding to the future scenario (854 km and $R^2 = 0.69$). The same behavior was observed for NRD with ranges for the current scenario (1155 km and $R^2 = 0.83$) and future scenario (969 km and $R^2 = 0.73$). With the reductions in the ranges for the scenarios of 30 years, the Northeast Brazil will have greater spatial variability of rainfall and NRD, especially in the region encompassing the Sertão. These results demonstrate greater spatial dependence in the current scenario and greater variability in the future scenario.

Silva et al. (2012), studying the rainfall and number of rainy days in Northeast Brazil, observed high variability in the dry and rainy seasons, influencing the agricultural production in the microregions located in the semiarid areas.

Figure 5E, projecting the trend for 2047, shows a reduction in rainfall mainly in the central portion of the Northeast region, in the area encompassing the Sertão in relation to the current scenario (Figure 5C).

The trend of reduction in rainfall accompanies the reduction of rainy days in the current scenario (Figure 5D) for the Northeastern Sertão in relation to the future scenario (Figure 5F). These results show changes in rainfall patterns more concentrated in the Northeastern Sertão area, which may cause intensification of water deficit.

Assessing the behavior of rainfall, Nóbrega et al. (2016) found a trend of reduction in rainfall in Pernambuco State. The authors also emphasize that the irregular spatial-temporal distribution of rainfall in the Northeastern Sertão is associated to prolonged periods of water restriction and negatively influences the water level of rivers, turning this region more vulnerable to extreme events.

CONCLUSIONS

The central portion of the Northeast region has higher trend of variation in rainfall, number of rainy days and temperature.

There will be greater spatial variability of rainfall and number of days without rain for Northeast Brazil, especially for the central region encompassing the Sertão.

The trend analysis shows reduction in the number of rainy days on the Northeastern coast, while in the central region there is reduction in both rainfall and number of rainy days, and trend of increase in temperature for regions more distant from the coast.

Greater increases in temperature and reductions in total annual rainfall and number of rainy days are observed in Northeast Brazil.

ACKNOWLEDGMENTS

To the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), to the Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), to the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) and to the Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE - IBPG-1758-5.03/15) for the support to the study.

LITERATURE CITED

ASFAW, A.; SIMANE, B.; HASSEN, A.; BANTIDER, A. Variability and time series trend analysis of rainfall and temperature in northcentral Ethiopia: A case study in Woleka sub-basin. **Weather and Climate Extremes**, v.19, p.29-41, 2018.

BACK, A. J.; OLIVEIRA, J. L. R.; HENN, A. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações para desagregação da chuva diária em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.391-398, 2012.

BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; CHAGAS, A. C. de. Distribuição geográfica da precipitação pluviométrica no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Eletrônica Vidya**, v.24, p.133-145, 2004.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of American Journal**, v.58, p.1501-1511, 1994.

CARRETAS, F. L. **Sistema automático de baixo custo para a medição da altura da base das nuvens e da visibilidade atmosférica**. Évora: Universidade de Évora, 2014. 108p.

FALL, S.; WATTS, A.; NIELSEN-GAMMON, J.; JONES, E.; NIYOGI, D.; CHRISTY, J. R.; PIELKE, R. A. Analysis of the impacts of station exposure on the U.S.

Historical climatology network temperatures and temperature trends. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v.116, p.1-15, 2011.

FERREIRA, D. H. L.; PENEREIRO, J. C.; FONTOLAN, M. R. Análises estatísticas de tendências das séries hidro-climáticas e de ações antrópicas ao longo das sub-bacias do Rio Tietê. **Holos**, v.2, p.50-68, 2015.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa - BDMEP**. Available at: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Accessed in: Jun. 2018.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **The physical science basis (AR5). Contribution of working group I to the fifth assessment report**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013. 1535p.

MAHLSTEIN, I.; KNUTTI, R. Regional climate change patterns identified by cluster analysis. **Climate Dynamics**, v.35, p.587-600, 2010.

MARCUZZO, F.; FARIA, T. G.; PINTO FILHO, R. DE F. Chuvas no Estado de Goiás: Análise histórica e tendência futura. **Revista Acta Geográfica**, v.6, p.125-137, 2012.

MELLO, C. R. DE; VIOLA, M. R. Mapeamento de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.37-44, 2013.

MONTENEGRO, A. A. DE A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.30-37, 2006.

MONTENEGRO, A. A. DE A.; RAGAB, R. Hydrological response of a Brazilian semiarid catchment to different land use and climate change scenarios: Modelling study. **Hydrological Processes**, v.24, p.2705-2723, 2010.

NÓBREGA, R. S.; FARIAS, R. F. DE L.; SANTOS, C. A. C. Variabilidade temporal e espacial da precipitação pluviométrica em Pernambuco através de índices de extremos climáticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.30, p.171-180, 2015.

NÓBREGA, R. S.; SANTIAGO, G. A. C. F.; SOARES, D. B. Tendências do controle climático oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.18, p.276-292, 2016.

PINGALE, S. M.; KHARE, D.; JAT, M. K.; ADAMOWSKI, J. Spatial and temporal trends of mean and extreme rainfall and temperature for the 33 urban centers of the arid and semi-arid state of Rajasthan, India. **Atmospheric Research**, v.138, p.73-90, 2014.

PINHEIRO, A.; GRACIANO, R. L. G.; SEVERO, D. L. Tendência das séries temporais de precipitação da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, p.281-290, 2013.

SAYEMUZZAMAN, M.; JHA, M. K. Seasonal and annual precipitation time series trend analysis in North Carolina, United States. **Atmospheric Research**, v.137, p.183-194, 2014.

SEN, P. K. Estimates of the Regression Coefficient based on Kendall's Tau. **Journal of American Statistician Association**, v.63, 1379-1389, 1968.

SILVA, B. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, F. B. DA; ARAÚJO FILHO, P. F. de. Chuvas intensas em localidades do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.17, p.135-147, 2012.

SILVA, V. P. R. DA; PEREIRA, E. R. R.; AZEVEDO, P. V. DE; SOUSA, F. DE A. S.; SOUSA, I. F. DE. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.131-138, 2011.

SOUZA, B. I. DE; ARTIGAS, R. C.; LIMA, E. R. V. DE. Caatinga e desertificação. **Mercator**, v.14, p.131-150, 2015.

STEINKE, T. E.; BARROS, J. R. Tipos de tempo e desastres urbanos no Distrito Federal entre 2000 e 2015. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.8, p.1435-1453, 2015.

SUN, C.; MA, Y. Effects of non-linear temperature and precipitation trends on Loess Plateau droughts. **Quaternary International**, v.372, p.175-179, 2015.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. **Spatial variability of soil physical properties in the field**. In: Hillel, D. (ed.). Applications of Soil Physics. New York: Academic, 1980. Cap.2, p.319-344.

WMO - World Meteorological Organization. **Calculation of monthly and annual 30-year standard normals: prepared by a Meeting of Experts**. Washington, D. C., USA, (Geneva: WMO). 1989.

XAVIER, D. R.; BARCELLOS, C.; BARROS, H. DA S.; MAGALHÃES, M. A. F. M.; MATOS, V. P.; PEDROSO, M. DE M. Organização, disponibilização e possibilidades de análise de dados sobre desastres de origem climática e seus impactos sobre a saúde no Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v.19, p.3657-3668, 2014.

XU, M.; KANG, S.; WU, H.; YUAN, X. Detection of spatio-temporal variability of air temperature and precipitation based on long-term meteorological station observations over Tianshan Mountains, Central Asia. **Atmospheric Research**, v.203, p.141-163, 2018.

CAPÍTULO III

CARVALHO, A. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; ASSIS, F.; TABOSA, J. N.; CAVALCANTI, R. Q.; ALMEIDA, T. A. Spatial dependence of rainfed maize attributes under distinct soil cover conditions. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.23, p.33-39, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n1p33-39>

SPATIAL DEPENDENCE OF RAINFED MAIZE ATTRIBUTES UNDER DISTINCT SOIL COVER CONDITIONS

ABSTRACT

Maize crop under rainfed conditions is widely grown in the Brazilian Northeast on communal farms for human and animal consumption. The application of mulch could be adopted to enhance rainwater harvesting and soil moisture levels, although such practice is rarely applied in rainfed cultivation. This study aimed to evaluate the spatial variability of maize productivity, based on soil physical attributes and plant growth and yield, under a rainfed regime in the presence and absence of mulch in the Brazilian semi-arid region. The study was conducted from May to September 2016 in Pesqueira-PE, during which the development and production of maize in experimental plots were evaluated, and maize was grown using the traditional cropping system with and without mulching. Two grids with 40 points in a 4 × 10 m mesh were established, with spacing of 1 m for soil sampling and maize biometric evaluation. For statistical analysis, 30 samples were randomly selected from each plot. Maize cultivated in the presence of mulch showed higher development, with symmetrical distribution for all variables except for soil moisture and stem diameter. Sand content, soil moisture, height of the first cob, number of leaves, leaf length, plant height, and cob weight presented moderate to strong spatial scale dependence for the two cropping conditions, with higher spatial dependence consistently observed for the development parameters in the covered area.

Key words: rainfed agriculture, kriging, coconut powder, mulching, São José cultivar

DEPENDÊNCIA ESPACIAL DE ATRIBUTOS DO MILHO EM SEQUEIRO SOB DISTINTAS CONDIÇÕES DE COBERTURA DO SOLO

RESUMO

O cultivo de milho em sequeiro é amplamente explorado no Nordeste Brasileiro pela agricultura familiar, para alimentação humana e animal. Para melhorar a captação da água da chuva e a umidade do solo, pode-se adotar a cobertura morta, embora essa prática ainda seja raramente aplicada no cultivo de milho de sequeiro. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a variabilidade espacial da produtividade do milho, com base nos atributos físicos do solo e no crescimento e produção da planta, sob regime de sequeiro na presença e na ausência de cobertura morta na Região Semiárida. O estudo foi realizado de maio a setembro de 2016 em Pesqueira-PE, avaliando o desenvolvimento e a produção de milho em parcelas experimentais, adotando-se o sistema tradicional sem cobertura morta e com cobertura. Estabeleceu-se dois grids com 40 pontos em malha de 4 x 10 m, com espaçamento de 1 m para amostragem de solo e avaliação biométrica. Para análise estatística, foram sorteadas trinta amostras aleatoriamente em cada parcela. O milho cultivado na presença de cobertura apresentou maior desenvolvimento, com distribuição simétrica para todas as variáveis, exceto para a umidade do solo e o diâmetro do colmo. O teor de areia, a umidade do solo, a altura da primeira bifurcação, o número de folhas, o comprimento da folha, a altura da planta e o peso da espiga apresentaram de moderada a forte dependência espacial para as duas condições, com maior dependência espacial sempre observada para os parâmetros de desenvolvimento na área com cobertura morta.

Palavras-chave: agricultura de sequeiro, krigagem, pó de coco, cobertura morta, cultivar São José

INTRODUCTION

As one of the main agricultural products in the Brazilian Northeast, maize is highly relevant to human nutrition and animal livestock. However, maize productivity in the semiarid northeast is sensitive to rainfall regimes, cultivation practices, and climate conditions (BRITO et al., 2005; NEVES et al., 2015).

In the semiarid region of Pernambuco State, maize is usually cultivated on hillslopes during the rainy season. Maize presents high water use efficiency and high dry matter production per unit of absorbed water (BORGES et al., 2014).

In order to enhance crop production under rainfed conditions, soil management adopting conservation practices is highly recommended, especially in areas with high evapotranspiration rates (SALES et al., 2016). In particular, mulching with dry bean straw (SANTOS et al., 2010) and rice straw (MONTENEGRO et al., 2013; ABRANTES et al., 2015) presents high performance for soil and water conservation.

The adoption of mulching by soil water management practices is fundamental for soil moisture control and crop development, soil water storage enhancement, infiltration, and crop transpiration (ZHANG e SHAO, 2013; BORGES et al., 2014; VEREECKEN et al., 2014). Mulching performance is influenced not only by vegetation cover, topography, soil texture, and agricultural activity (LEI et al., 2011; SANTOS et al., 2011), but also by the straw material and cover density (MONTENEGRO et al., 2013; YANG et al., 2014).

Due to the spatial variability of interdependent variables affecting crop production, predicting maize productivity under rainfed conditions is a challenge (HURTADO et al., 2009). Hence, the present study aimed to investigate the content of soil moisture pattern and green maize productivity in a rainfed field cultivation in the semiarid Brazilian Northeast, evaluate the impact of mulching cover on such variables, and consider small-scale spatial variability.

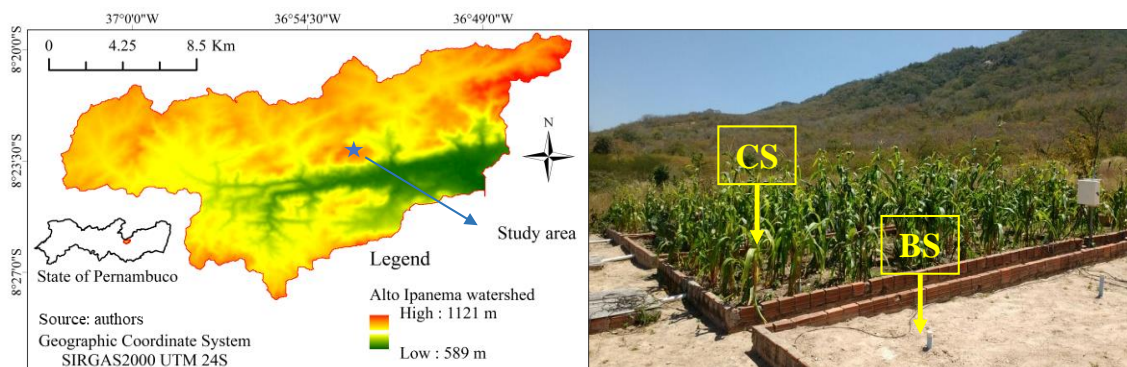
MATERIAL AND METHODS

This study was conducted in Pesqueira municipality - Pernambuco State, in the representative basin of Alto Ipanema, in an area of 183 km² located in the semiarid Agreste Region, between 8° 34' 17" and 8° 18' 11" South latitude and 37° 1' 35" and 36° 47' 20" West longitude. The climate is steppe-type semiarid and very hot, according to Köppen. The annual mean rainfall is 703 mm, mean temperature is 23 °C, and the potential evapotranspiration is 1,683 mm annually (SANTOS et al., 2012). The dominant vegetation is hypoxerophilous Caatinga (MONTENEGRO e MONTENEGRO, 2006).

The experiment was conducted on a hillslope in the basin with a 5% slope. The soil of the area was classified as abruptic eutrophic Yellow Argisol (EMBRAPA, 2011), with a clay loam texture, exhibiting an impediment layer at 75 cm depth. The soil density was 1.48 kg dm⁻³ and had volumetric moisture contents of 0.16 and 0.10 cm³ cm⁻³ for the field capacity and wilting point, respectively (BORGES et al., 2014).

Maize (São José cultivar) developed by the Agronomic Institute of Pernambuco State (IPA) was grown in experimental plots 4.5 m wide and 11 m long, corresponding to an area of 49.5 m², with the larger dimension along the slope. The monitoring was performed along the X and Y axes, totaling 40 (10 × 4) points per area. Area 1 was under bare soil condition (no mulch), and Area 2 was provided mulching with 8 t ha⁻¹ density coconut straw, following the recommendation of Montenegro et al. (2013) for both infiltration enhancement and soil temperature control. Figure 1 presents the experimental maize plots and the experiment location at the Ipanema River Watershed.

Figure 1. Digital elevation map of Alto Ipanema Representative Basin, and view of the experimental plot, in Pesqueira municipality, Pernambuco State, Brazil.



Maize cropping was carried out on May 6, 2016: three seeds were sown per pit at a depth of 2.5 cm, rows were spaced 1 m apart, and plants were spaced 0.5 m apart. Thinning was conducted 30 days after sowing (DAS), leaving one plant per pit. Border plants were not included in the analysis. At 120 DAS, plant biometrics were taken for: crop height (CH), crop stalk diameter (CSD), number of leaves (NL), length of the A3 leaf (DA3L), weight of green cob (WGC), and height of the first cob insertion (HFC), following the methodology of Borges et al. (2014).

Rainfall and climate variables for reference evapotranspiration estimation (ET_o) using Penman-Monteith Method (FAO56) were measured in a Campbell Scientific automatic weather station installed at the representative catchment.

The antecedent one-month total rainfall before cropping was 80.1 mm, and during the experiment it was 179.8 mm. The average temperature was 22.9 °C, ranging from 19.8 to 27.5

°C. The cumulative reference evapotranspiration was 368.41 mm during the experimental period.

Soil moisture was evaluated in soil samples collected near each plant by the gravimetric method, at the 0–20 cm layer. Soil samples were exposed to 105 °C for 24 h at the Soil and Water Laboratory of the Federal Rural University of Pernambuco State (UFRPE). Soil texture was evaluated following the methodology of EMBRAPA (2011).

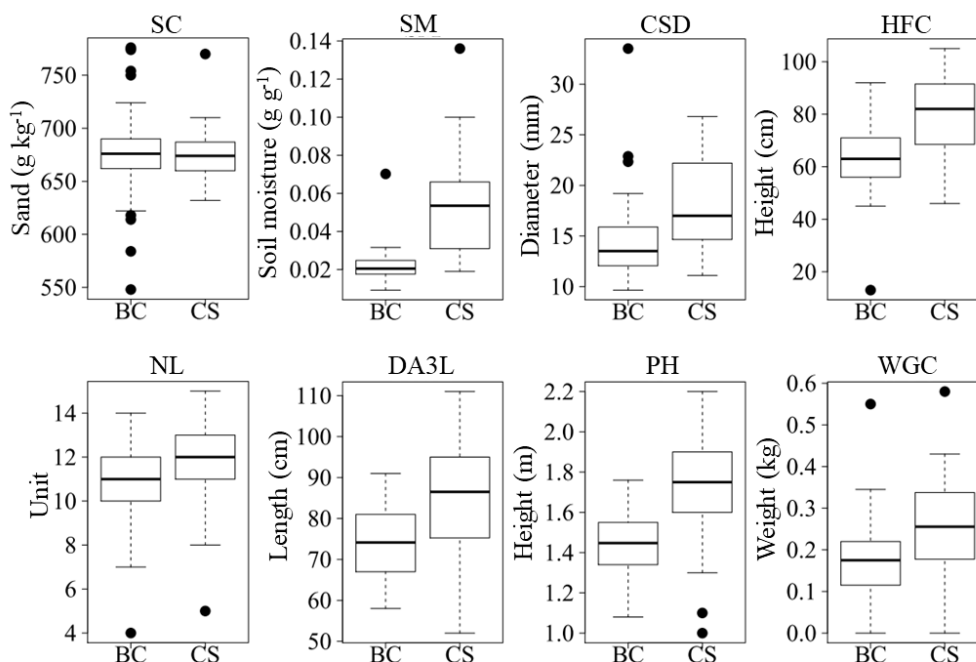
Classic statistical analysis was carried out and normality was evaluated by the Kolmogorov-Smirnov Test with a 5% significance level. Thirty soil samples were randomly selected from each field, as suggested by Castro et al. (2016), in order to conduct the statistical analysis. The coefficient of variation (CV) was classified according to Warrick e Nielsen (1980) criteria as follows: Low variability ($CV < 12\%$), intermediate variability ($12 \leq CV \leq 60\%$), and high variability ($CV > 60\%$).

For geostatistical analysis, a classical estimator for the experimental semivariance was adopted according to Montenegro e Montenegro (2006). Thus, semivariance theoretical fits were tested for the Gaussian, Spherical, and Exponential models. Forty sampling points (40 plants) were analyzed for both PC and SD treatments using a regular 1 x 1 m mesh. Outliers were detected and removed based on the Hoaglin et al. (1983) criteria, which classify outliers as values lower than L_i ($L_i = Q_i - 1.5 A_i$) or higher than L_s ($L_s = Q_s + 1.5 A_i$), where Q_i and Q_s are the lower (25th) and upper (75th) quartiles, respectively, and $A_i = Q_s - Q_i$ represents the interquartile range. The Spatial Dependence Index (SDI) calculated according to Cambardella et al. (1994) as the ratio between the nugget effect and the sill of the theoretical semivariograms, which represent the nugget semivariance as the percentage of total semivariance. This criterion establishes strong dependence when a given ratio is lower than 25%, moderate for a ratio between 25 and 75%, and weak when the ratio is higher than 75%. The adjusted models were validated using the Jack-Knifing geostatistical technique.

RESULTS AND DISCUSSION

Characteristics of the classical statistical analysis for both bare soil (BS) and covered soil (CS) can be verified by inspection of the box plots, shown in Figure 2. The sand content (SC), median values for soil moisture (SM), crop stalk diameter (CSD), height of the first cob insertion (HFC), number of leaves (NL), length of the A3 leaf (DA3L), plant height (PH), and weight of the green cob (WGC) for both plots are represented.

Figure 2. Box plots for the sand content (SC), median values for soil moisture (SM), crop stalk diameter (CSD), height of the first cob insertion (HFC), number of leaves (NL), length of the A3 leaf (DA3L), plant height (PH), and weight of the green cob (WGC) for BS and CS plots.



The first and third quartiles exhibit adequate symmetry around the median value, which is located approximately at the center of the boxes and is consistent with the normal distribution hypothesis. It is worth mentioning that the mean soil moisture at the covered plot (0.055) was 59% higher than it was at the bare soil plot (0.022), indicating the effectiveness of the 8 t ha⁻¹ coconut straw mulching density in increasing soil moisture content. Such results are in accordance with those obtained by Santos et al. (2010) and Borges et al. (2014) for previous experiments at the same plots and with those of Montenegro et al. (2013) obtained in laboratory experiments. Montenegro et al. (2013) showed that mulching increases soil moisture, enhances infiltration and, hence, contributes to agrosystem service at the Caatinga Biome.

The Table 1 presents the classical statistics for the soil physical attributes and crop development variables for the experimental plots at 120 DAS.

Table 1. Classical statistics for sand content, soil moisture, maize development parameters, and maize production for the absence (BS) and for the presence of mulching (CS) at 120 DAS.

	Treatments	Variables							
		SC	SM	CSD	HFC	NL	DA3L	PH	WGC
Mean	CS	675.30	0.05	18.08	79.37	11.82	83.83	175	0.25

	BS	677.73	0.02	14.64	64.47	10.52	74.14	144	0.17
P		0.08	<0.001	0.406	0.01	0.004	0.006	<0.001	0.07
CV (%)	CS	3.47	48.63	25.13	19.38	16.57	17.18	15.77	52.73
	BS	6.50	40.56	28.52	21.59	15.75	12.26	11.66	55.78
SDI (%)	CS	33.33	12.96	----	33.33	37.50	1.96	11.36	11.11
	BS	15.12	39.22	----	12.69	0.01	5.37	10.00	44.44

CV - coefficient of variation; SDI - spatial dependence index; SC - Sand content, (g kg⁻¹); SM - Soil moisture, g g⁻¹; CSD -

Crop stalk diameter, mm; HFC - Height of the first cob insertion, cm; NL - Number of leaves, Unit; DA3L - Length of the A3

leaf, cm; PH - Plant height, m; WGC - Weight of the green cob, kg; Significance level of $p < 0.05$ by the F test.

Mulching (CS) positively affected ($p < 0.05$) variables SM, HFC, NL, DA3L, and PH. Similar results were found by Borges et al. (2014), who attributed their findings to higher rainfall retention between rainfall intervals which subsequently influenced crop development.

Statistical interactions among the variables SC, CSD, and WGC for both conditions were not verified.

Spatial dependence varied from moderate to strong for soil variables and for crop characteristics (Table 1), meaning that such measurements were not randomly distributed at the experimental plots that were not fertilized. Analyzing the impact of fertilization on spatial dependence of rainfed maize production, Hurtado et al. (2009) reported that SDI was moderate to strong when crops were not fertilized, which is consistent with our findings.

Mulching increased the mean values for CSD, HFC, NL, DA3L, PH, and WGC by 19, 19, 11, 12, 18 and 32%, respectively, when compared to treatment without conservation practice. For all crop variables evaluated, moderate variability was observed under mulching.

The highest rainfall rates occurred during the begin of the of the cycle, with a cumulative value of 98.8 mm between May 9 and 10, 2016; the remaining 81 mm of total rainfall was approximately distributed throughout the rest of experimental period. The highest values of daily ETo occurred in the final period of cultivation with 5.99 mm, and the total cumulative value was 368.41 mm.

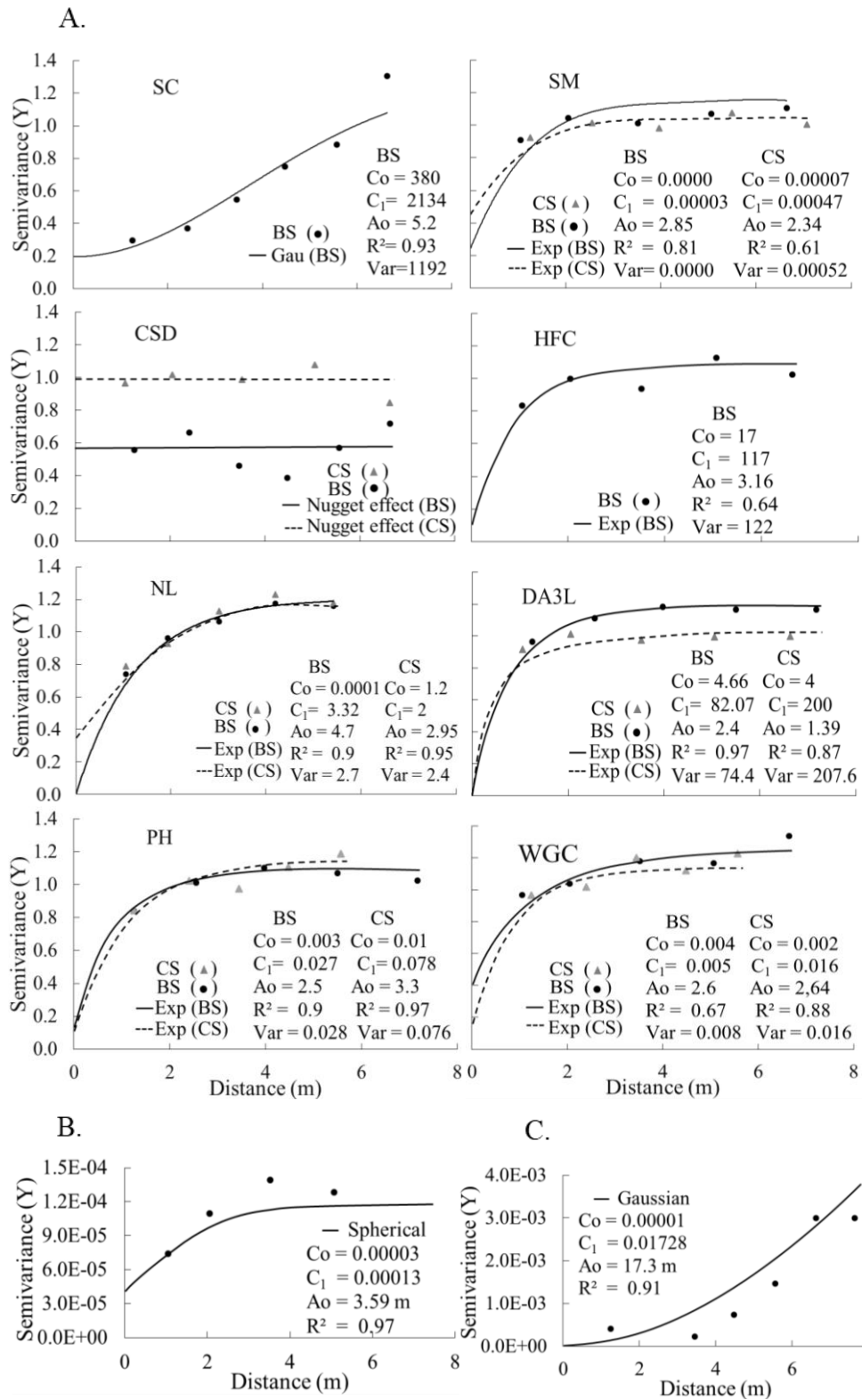
Green cob production (of 10.2 t ha⁻¹) under mulching was higher than it was for the bare soil condition (BS) (6.9 t ha⁻¹), with a total precipitation of 179.8 mm in the crop cycle. Reference values proposed by IPA (1995) for the São José cultivar ranged from 8 to 12 t ha⁻¹ for the weight of the green cob. Therefore, the experimental values verified that the rainfed mulching treatment was adequate. Thus, only PC treatment promoted production according to the proposed range. Recent research on this variety in the Agreste region of Pernambuco produced 22 t ha⁻¹ of total green matter under dry conditions, with 183 mm of precipitation in

the crop cycle (TABOSA et al., 2014). Borges et al. (2014) examined mulch cover (7 t ha^{-1}) and rock barriers under natural rainfall condition using the maize variety São José; with 487 mm of total precipitation during the entire cycle, they obtained a green cob matter productivity of 3.24 t ha^{-1} (52.47%) higher than treatment with bare soil.

A Spearman correlation matrix for soil moisture and crop development parameters was constructed. High correlations were observed only between crop characteristics, such as between the height of the first cob insertion (HFC) and the plant height (PH), in both BS and CS conditions, with a correlation coefficient equal to 0.74. In general, Spearman coefficients express weak classical correlation. Indeed, the correlation coefficient between soil moisture and plant height was 0.07 and 0.11 for BS and CS, respectively. Such a result does not necessarily mean that variables are not correlated from a spatial point of view. This issue will be discussed in the next section regarding the geostatistical analysis of field data.

Experimental and theoretical semivariograms are presented in Figure 3A for soil physical attributes and biometric maize variables for both BS and CS conditions. Only the crop stalk diameter (CSD) exhibited random variation and then a pure nugget effect pattern. For all other variables, spatial dependence was detected. Except for the sand content (SC) (which was fit to a Gaussian model), all variables with spatial dependence exhibited exponential behavior.

Figure 3. Scaled experimental and theoretical semivariograms for sand content - SC (g kg^{-1}), soil moisture - SM (g g^{-1}), crop stalk diameter – CSD (mm), height of the first cob insertion – HFC (cm), number of leaves – NL (Unit), length of the A3 leaf - DA3L (cm), plant height – PH (m), productivity (kg), for BS and CS conditions (A). Crossed semivariograms for soil moisture (SM) versus plant height (PH) for plots BS (B) and CS (C).



To investigate the spatial correlation between soil moisture and crop height, cross semivariograms were produced for the experimental plots (Figures 3B and 3C). Although the point-to-point correlation was weak, spatial correlation was detected for both plots and,

exhibiting an exponential (Exp) behavior in BS and a Gaussian (Gau) pattern for CS. The scale of dependence for the cross-correlation increased significantly for the covered plot, and the spatial dependence changed from moderate to strong.

The CS treatment was adjusted to the exponential model, but with R² lower than 0.6, with adjusted parameters (Co, C1, Ao, R², and Var) for SC (317, 634, 6.7, 0.54, and 552) and HFC (15, 250, 0.87, 0.54, and 237).

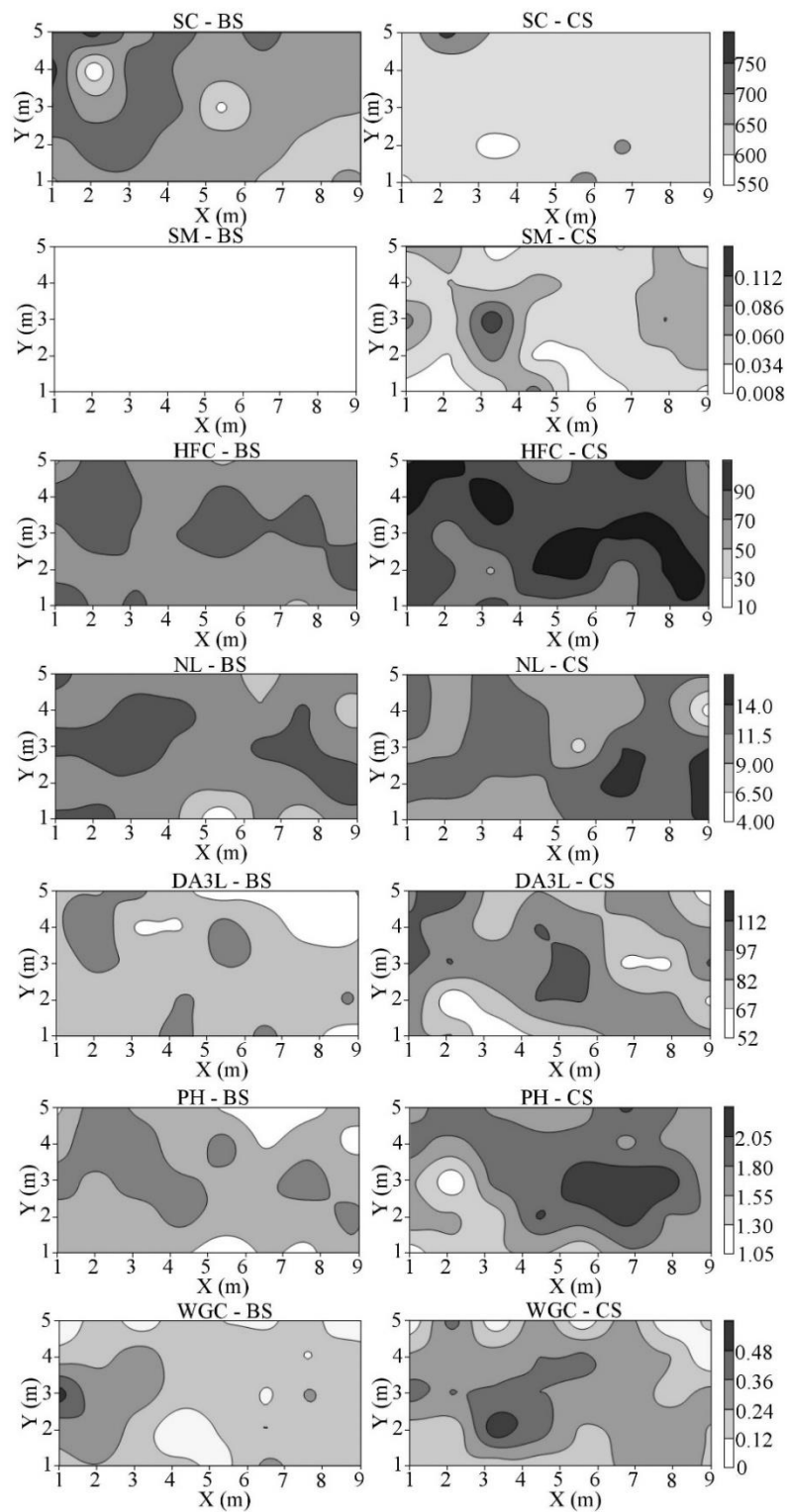
Semivariograms for the variables SC, SM, HFC, NL, DA3L, PH, and WGC were validated according to the standard deviation of the residual statistics for CS (1.130, 1.068, 1.037, 1.120, 1.068, 1.000, and 1.071) and BS (1.107, 1.064, 1.150, 0.999, 1.048, 0.971, and 1.040), as well as for average errors of CS (-0.005, 0.043, 0.011, 0.006, 0.007, 0.028, and 0.049) and BS (-0.050, 0.001, 0.021, 0.019, 0.017, 0.055, and 0.030).

Crop stalk diameter (CSD) did not exhibit spatial dependence in either plot, thus presenting a pure nugget effect behavior. All other crop variables presented spatial dependence at the sampled scale, and the experimental semivariance was best fitted to an exponential model. It is noteworthy that the highest scales of dependence were obtained for the height of the first cob insertion (HFC) and plant height (PH), and for both variables the scale of dependence increased when mulching was adopted.

Lima et al. (2015) found that mulching is an effective practice in controlling runoff and thus enhances infiltration and soil moisture. At the same plots adopted in this study, Borges et al. (2014) verified that soil moisture highly increased rainfed maize production.

Strong spatial dependence was observed for the variable SM with the variable HP in US (R² of 0.97) and CP (R² of 0.91). The spatial variation by kriging mapping of the plant variables, soil moisture, and texture in plots BS and CP are displayed in Figure 4. The cover plot promoted higher values for SM and other plant variables compared to the plot with BS. This result is likely associated with the presence of coconut powder, which may enable the soil to retain greater moisture for a longer period of time.

Figure 4. Isoline maps for the sand content - SC (g kg^{-1}), soil moisture - SM (g g^{-1}), height of the first ear - HFC (cm), number of leaves - NL (Unit), length of the A3 sheet - DA3L (cm), plant height - PH (m), and weight of green ear - WGC (kg) for BS and CS.



The map of SC in BS presented higher values and variability, mainly at the upper left portion of the map. Compared to SM, lower values of this variable are observed at the end of maize cultivation (0.008 to 0.034 g g⁻¹), and only a small portion of the area in the median to

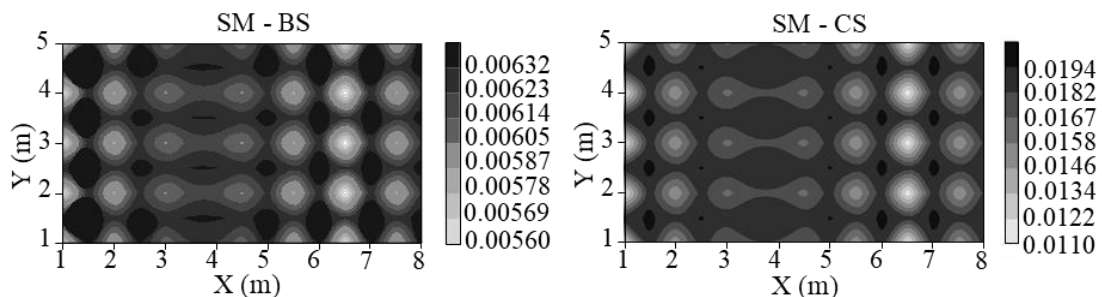
direct corner with values from 0.034 to 0.086 g g⁻¹. In the area with CP, SM presented values in the range of 0.008 to 0.112 g g⁻¹. There was a greater variability in SM for the BS area.

The highest values of PH in CS (1.8 to 2.05 m) occurred at the central and northern portions of the area, while the highest values in BS (1.3 to 1.55 m) were distributed in the western central portion of the study area. The lack of mulch resulted in lower infiltration and surface retention of water in BS. Meanwhile, in CS the presence of mulch promoted higher infiltration and water retention, consequently resulting in higher water content in the soil. This result can be verified in the map of SM-CS, wherein the highest values were observed compared to SM-BS. Borges et al. (2014) also observed higher soil moisture with mulching compared to plots without mulching.

The areas with the highest WGC in PC had a strong relationship with the highest ranges of HP and SM, highlighting the strong relationship between mulching and agricultural production. The biometric variables of maize (HFC, NL, DA3L, PH, and WGC) presented moderate to high spatial dependence for treatment with coconut powder (CP). Silva et al. (2010) emphasized that the spatial variability of soil physical attributes influences the developmental factors and production of agricultural crops. Abrantes et al. (2015) reported that mulching is an essential management practice for the maintenance of a sustainable agroecosystem, as planting in bare soil can promote its degradation. Teame et al. (2017) reinforced that mulching practices promote soil conservation, contribute to water infiltration, reduce evapotranspiration, and improve the local microclimate.

The reliability of the soil moisture mappings can be evaluated on the basis of the kriging standard deviation, as shown in Figure 5. A spatially similar pattern of uncertainty can be noted for both uncovered and mulch conditions.

Figure 5. Map of the standard deviation of kriging for soil moisture for BS and CS.



The standard error maps demonstrate that the soil moisture map estimates were reliable, as the errors were relatively low (mainly in sites closer to the sample points where smaller standard errors are observed). Similar error values were observed by Ferraz et al. (2017) in coffee plantations.

CONCLUSIONS

Maize grown with mulch (8 Mg ha⁻¹) presented superior development for all plant variables compared to cultivation in bare soil.

The soil and plant variables of the corn variety São José presented moderate to strong small-scale spatial dependence for both covered soil and bare soil.

Mulching increased the cross-correlation spatial dependence scale between SM and PH from moderate to strong; notwithstanding, such variables have not presented classical correlation.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors extend their gratitude to the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), the Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), the Fundação de Amparar à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE - IBPG-1758-5.03/15), the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) and to the Instituto Agrônômico de Pernambuco (IPA) for supporting this research.

LITERATURE CITED

ABRANTES, R. C. B.; LIMA, J. L. M. P. DE; MONTENEGRO, A. A. A. Desempenho da modelagem cinemática do escoamento superficial para chuvas intermitentes em solos com cobertura morta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, p.166-172, 2015.

BORGES, T. K. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, T. E. M. DOS; SILVA, D. D. DA; SILVA JUNIOR, V. P. 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**, v.38, p.1862-1873, 2014.

BRITO, A. R. DE M. B.; TABOSA, J. N.; CARVALHO, H. W. L. DE; SANTOS, M. X. DOS; TAVARES, J. A.; DIAS, F. M.; Nascimento, M. M. A. do; Tavares Filho, J. J.; Souza,

E. M. de. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho no Estado de Pernambuco. **Revista Ciência Agronômica**, v.36, p.348-353, 2005.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of American Journal**, v.58, p.1501-1511, 1994.

CASTRO, D. B.; PEDROSA, E. M. R.; MONTENEGRO, A. A. A.; ROLIM, M. M.; LEITÃO, D. A. H. S.; OLIVEIRA, A. K. S. Spatial variability of Regosol chemical attributes in guava management with neem under semi-arid conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, p.618-624, 2016.

EMBRAPA - **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

FERRAZ, G. A. E S.; SILVA, F. M. DA; OLIVEIRA, M. S. DE; CUSTÓDIO, A. A. P.; FERRAZ, P. F. P. Variabilidade espacial dos atributos da planta de uma lavoura cafeeira. **Revista Ciência Agronômica**, v.48, p.81-91, 2017.

HOAGLIN, D. C.; MOSTELLER, F.; TYKEY, J. W. **Análise exploratória de dados: Técnicas robustas, um guia**. Lisboa: Salamandra, 1983. 446p.

HURTADO, S. M. C.; RESENDE, A. V. DE; SILVA, C. A.; CORAZZA, E. J.; SHIRATSUCHI, L. S. Variação espacial da resposta do milho à adubação nitrogenada de cobertura em lavoura no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.300-309, 2009.

IPA - Instituto Agronômico de Pernambuco. **São José - BR 5026 (seleção IPA): Cultivar de milho desenvolvida para Pernambuco, selecionada contra ataque das lagartas do cartucho e da espiga**. 1.ed. Recife: Instituto Agronômico de Pernambuco, 1995. 7p.

LEI, Y.; LUBO, G.; HUAXING, B.; QINGKE, Z.; XIAOYAN, W. Spatiotemporal dynamics of soil moisture in silvopastoral system in the Loess Plateau of west Shanxi province. **Procedia Environmental Sciences**, v.8, p.153-160, 2011.

LIMA, C. A. DE; MONTENEGRO, A. A. DE A.; SANTOS, T. E. M. DOS; ANDRADE, E. M. DE; MONTEIRO, A. L. N. M. Práticas agrícolas no cultivo da mandioca e suas relações com o escoamento superficial, perdas de solo e água. **Revista Ciência Agronômica**, v.46, p.697-706, 2015.

MONTENEGRO, A. A. DE A.; ABRANTES, J. R. C. B.; LIMA, J. L. M. P. DE; SINGH, V. P.; SANTOS, T. E. M. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. **Catena**, v.109, p.139-149, 2013.

MONTENEGRO, A. A. DE A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.30-37, 2006.

NEVES, A. L. A.; SANTOS, R. D. DOS; PEREIRA, L. G. R.; TABOSA, J. N.; ALBUQUERQUE, I. R. R. DE; NEVES, A. L. A.; OLIVEIRA, G. F.; VERNEQUE, R. DA S. Agronomic characteristics of corn cultivars for silage production. Semina: **Ciências Agrárias**, v.36, p.1799-1806, 2015.

SALES, R. P.; PORTUGAL, A. F.; MOREIRA, J. A. A.; KONDO, M. K.; PEGORARO, R. F. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, v.47, p.429-438, 2016.

SANTOS, K. S.; MONTENEGRO, A. A. DE A.; ALMEIDA, B. G. DE; MONTENEGRO S. M. G. L.; ANDRADE, T. DA S.; FONTES JÚNIOR, R. V. DE P. Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.828-835, 2012.

SANTOS, T. E. M. DOS; MONTENEGRO, A. A. DE A.; SILVA, D. D. Umidade do solo no semiárido pernambucano usando-se reflectometria no domínio do tempo (TDR). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.670-679, 2011.

SANTOS, T. E. M DOS.; SILVA, D. D. DA; MONTENEGRO, A. A. DE A. Temporal variability of soil water content under different surface conditions in the semiarid region of the Pernambuco state. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.34, p.1733-1741, 2010.

SILVA, J. J. N.; MONTENEGRO, A. A. DE A.; SILVA, E. F. F.; FONTES JUNIOR, R. V. P.; SILVA, A. P. N. Variabilidade espacial de parâmetros de crescimento da mamoneira e de atributos físico-químicos em Neossolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.921-931, 2010.

TABOSA, J. N. SOUZA, A. R. DE; SILVA, A. B. DA; BARROS, A. H. C.; BRITO, A. R. M. B. Potencial de gramíneas forrageiras sob estresse hídrico em Neossolo Regolítico no semiárido de Pernambuco. In: Reunião Nordestina de Ciência do Solo, 2, 2014, Ilhéus. **Anais...** Bahia: UFBA/FAPESB, 2014. CD-Rom

TEAME, G.; TSEGAY, A.; ABRHA, B. Effect of organic mulching on soil moisture, yield, and yield contributing components of Sesame (*Sesamum indicum* L.). **International Journal of Agronomy**, v.2017, p.1-6, 2017.

VEREECKEN, H.; HUISMAN, J. A.; PACHEPSKY, Y.; MONTZKA, C.; KRUK, J. VAN DER; BOGENA, H.; WEIHERMÜLLER, L.; HERBST, M.; MARTINEZ, G.; VANDERBORGHT, J. On the spatio-temporal dynamics of soil moisture at the field scale. **Journal of Hydrology**, v.516, p.76-96, 2014.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D. (ed.). Applications of soil physics. **New York: Academic**, 1980. Cap.2, p.319-344.

YANG, L.; WEI, W.; CHEN, W.; WANG, J. Response of temporal variation of soil moisture to vegetation restoration in semi-arid Loess Plateau, China. **Catena**, v.115, p.123–133, 2014.

ZHANG, P.; SHAO, M. Temporal stability of surface soil moisture in a desert area of northwestern China. **Journal of Hydrology**, v.505, p.91-101, 2013.

CAPÍTULO IV

INFLUÊNCIA DA IRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA E APLICAÇÃO DE COBERTURA MORTA, NA PRODUTIVIDADE DO SORGO E NA QUALIDADE DO SOLO

RESUMO

As tendências de elevação da escassez hídrica e aumento da variabilidade de chuvas tem provocado preocupação em relação à produção agrícola no semiárido, incentivando a busca por alternativas, como a utilização de águas de qualidade inferior, com destaque para as residuárias, que se encontram cada vez mais abundantes, sendo lançadas sem tratamento apropriado diretamente em corpos hídricos. O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho produtivo do sorgo forrageiro, irrigado com diferentes lâminas de água residuária tratada, com e sem aplicação de cobertura morta, e a influência desses tratamentos na salinidade do solo e da água, bem como na dinâmica de matéria orgânica durante três cortes. O estudo foi realizado em área experimental agrícola da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) no Distrito de Mutuca, Pesqueira, em Pernambuco, Região Nordeste do Brasil. O sorgo foi implantado em novembro de 2018, e conduzido durante três cortes, até abril de 2019. Foi utilizada uma variedade de sorgo (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf) de ciclo rápido, com principal aptidão para feno. O delineamento experimental empregado foi em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições, em esquema fatorial (5 x 4). As parcelas foram constituídas por 5 lâminas de irrigação (60, 80, 100, 120 e 140% da Evapotranspiração da Cultura - ETc), e as subparcelas com 4 condições de cobertura do solo (sem cobertura (Testemunha), vegetação nativa, pó de coco e sementes de moringa maceradas). Foram realizadas análises biométricas de altura (AP), diâmetro do colmo (DC), número de perfilhos (NP), índice de área foliar (IAF), massa seca (MS) e produtividade (PRO), bem como monitorou-se a condutividade elétrica do solo e do lençol freático, e a dinâmica de matéria orgânica. A elevação das lâminas de irrigação até 140% da ETc promoveu aumento linear dos índices de desenvolvimento do sorgo (AP, DC, NP, IAF, MS e PRO), para os cortes dois e três, resultando em produções de 12,3 e 15,6 Mg ha⁻¹, superiores aos índices correspondentes à lâmina de 60% da ETc em 15,3% e 24,7%, respectivamente. A aplicação de cobertura morta promoveu elevação em 24% na produtividade em relação à área sem aplicação da prática conservacionista. O pó de coco apresentou elevado

potencial para controlar a salinidade em áreas irrigadas com água residuária, ao mesmo tempo, promoveu maior incorporação de matéria orgânica, incrementando assim a capacidade das plantas superarem os estresses ambientais.

Palavras-chave: *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf., reuso de água, práticas conservacionistas.

INFLUENCE OF IRRIGATION WITH WASTEWATER AND MULCH APPLICATION, ON SORGHUM PRODUCTIVITY AND SOIL QUALITY

ABSTRACT

Trends of increasing water scarcity and increasing rainfall variability have caused social unrest in relation to agricultural production with good quality water, resulting in pressures in relation to the search for alternatives, such as the use of low quality water, with highlight to the residences, which in turn are increasingly abundant, and being dumped without treatment directly into water bodies, representing an excellent resource for agricultural production of forage plants. In this sense, the objective of this work is to evaluate the productive performance of forage sorghum, irrigated with different depth of wastewater, with and without mulch application, and the influence of these factors on the soil salinity and groundwater, as well, in the dynamics of organic matter in the agricultural area, during three cuts. The study was carried out in the experimental agricultural area of the Effluent Treatment Station (ETE) in the district of Mutuca, Pesqueira, Pernambuco State, Northeast Region of Brazil. The sorghum was cropped in November 2018, and conducted during three cuts until April 2019. A variety of sorghum (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf) of fast cycle, with main aptitude for hay, was used. The experimental design used consists of randomized blocks (DBC), with four replications, in a factorial scheme (5 x 4), in which the plots were constituted by 5 irrigation depths (60, 80, 100, 120 and 140 % of crop Evapotranspiration - ETc), and the subplots with 4 soil cover conditions, (without cover (control), native vegetation, coconut powder and macerated moringa seeds). In relation to cultivation, biometric analyzes of height, stem diameter, number of tillers, leaf area index, dry mass and productivity were performed, and while on the ground, analyzes of its electrical conductivity and groundwater were carried out, as well as the dynamics of organic matter. The elevation of the irrigation depths up to 140% of the ETc, promoted a linear increase in the sorghum development indexes (AP, DC, NP, IAF, MS and PRO), for cuts two and three, resulting in yields of 12.3 and 15.6 Mg ha⁻¹, higher than the depth of 60% of ETc by

15.3% and 24.7%, respectively. Mulch application promoted a 24% increase in productivity in relation to the area without application of conservation practice. Coconut powder showed a high potential to reduce salinity in areas irrigated with wastewater, at the same time, promoting higher incorporation of organic matter and, consequently, greater capacity of plants to overcome environmental stresses.

Key words: Sorghum sudanense (Piper) Stapf., Water reuse, conservationist practices.

INTRODUÇÃO

Atualmente, a produção agrícola no semiárido brasileiro vem sendo cada vez mais comprometida pela diminuição dos recursos hídricos disponíveis, consequência principalmente da tendência de redução das chuvas e elevação da sua variabilidade espacial, bem como, de redução dos dias chuvosos (CARVALHO et al., 2020).

A forte pressão exercida pelos centros urbanos nas atividades agrícolas, voltadas principalmente para irrigação, resulta em uso de alternativas como utilização de águas com qualidade inferior, com destaque para as residuárias, que se encontram cada vez mais abundantes e poluindo os recursos hídricos de boa qualidade. Nesse sentido, a reutilização da água é vista cada vez mais como uma alternativa sustentável para substituir a água doce, bem como para melhorar a qualidade do meio ambiente, especialmente em regiões semiáridas (ADHIKARI et al., 2011; FLÖRKE et al., 2018; CHAGANTI et al., 2020).

As águas residuárias geralmente apresentam elevadas concentrações de sais, e o sucesso do seu uso sustentável na agricultura requer a adoção de estratégias de manejo voltadas para a seleção de espécies tolerantes a salinidade, bem como aplicações de lâminas que evitem o acúmulo de sais na zona radicular (DIAS et al., 2016).

Em relação à cultura tolerante a salinidade, destaca-se o sorgo (*Sorghum sudanense*), que apresenta elevada produção em condições de ambientes com baixa fertilidade, tolerante a escassez hídrica e com alto poder de brotação, sendo altamente cultivado no mundo (REZA et al., 2019). Além disso, o sorgo vem despertando o interesse para cultivo com água residuária em diversas regiões, devido a sua capacidade de adaptação a diferentes estresses ambientais, como a salinidade do solo, e por consumir menos água que culturas tradicionais como o milho (CHAGANTI et al., 2020).

O uso de espécies que apresentam baixo consumo de água torna-se fundamental, uma vez que as elevadas taxas atuais de uso da água na agricultura são insustentáveis nas regiões

áridas e semiáridas, onde a escassez de água é significativa, requerendo estratégias de irrigação (LOPEZ et al., 2017), principalmente com águas com elevadas cargas de sais. Desta forma, a identificação da quantidade de água aplicada aos cultivos irrigados é um elemento indispensável na gestão da água (CHUKALLA; KROL; HOEKSTRA, 2017), possibilitando a ampliação de sua conservação e melhoria da produtividade da água em larga escala de tempo (YANG et al., 2018).

Em se tratando do uso de águas residuárias, diversos problemas já foram observados em relação à salinização do solo em áreas irrigadas por longos períodos, afetando principalmente as propriedades hidráulicas do solo, em situações de águas residuárias com baixo teor de matéria orgânica (ABD-ELWAHED, 2018). Neste sentido, o uso de cobertura morta torna-se fundamental para a melhoria da drenagem, favorecendo a permanência da umidade do solo, diminuindo a sua temperatura superficial (BORGES et al., 2014), beneficiando a concentração de matéria orgânica, e possibilitando o incremento de nutrientes, conseqüentemente elevando o desenvolvimento das plantas (MANGIERI et al., 2019).

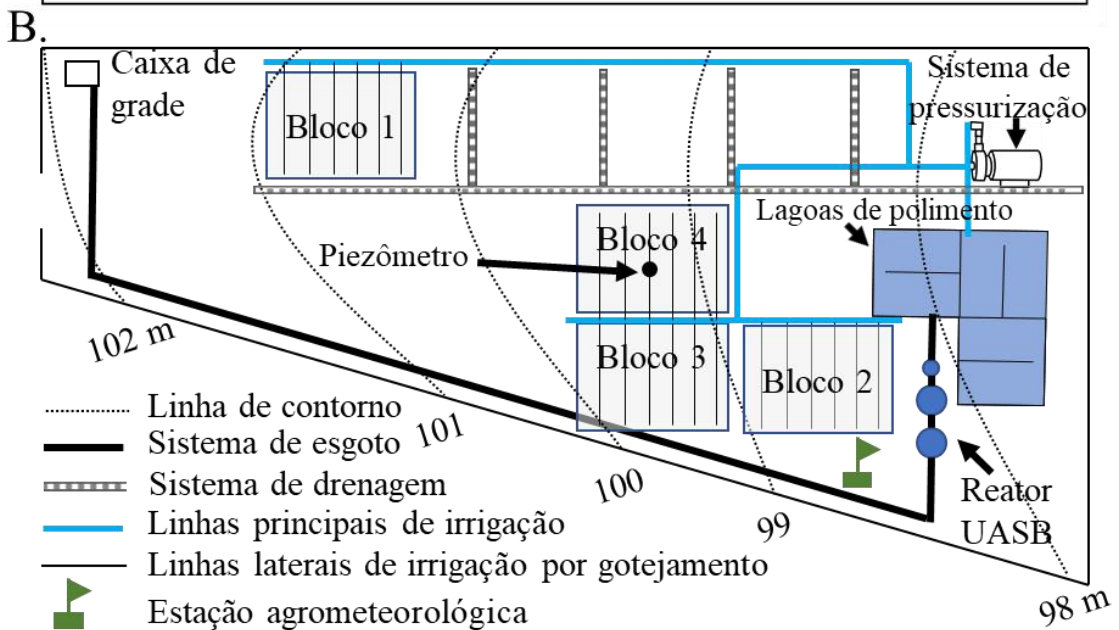
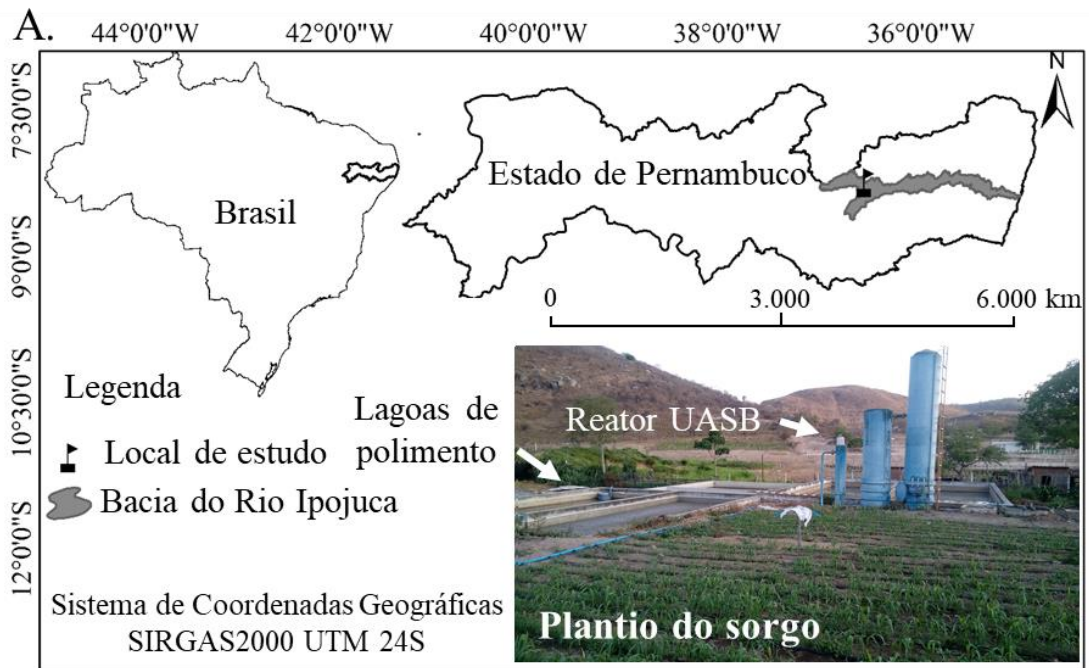
Assim, este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho produtivo do sorgo forrageiro irrigado com diferentes lâminas de água residuária, com e sem aplicação de cobertura morta, e a influência destes fatores na salinidade do solo e do lençol freático, bem como na dinâmica de matéria orgânica na área agrícola em três cortes.

MATERIAL E MÉTODOS

Características da área de estudo

O estudo foi realizado na área experimental agrícola da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) no distrito de Mutuca, Pesqueira, situada próximo à nascente do rio Ipojuca (Figura 1A). Mutuca apresenta uma população aproximada de 7.500 habitantes e a ETE trata as águas residuárias de cerca de 280 casas. O clima da região é classificado como As (com o verão seco) de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013), com precipitação média anual de 607 mm.

Figura 1. Localização da Bacia hidrográfica, Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) (A) e a descrição da área cultivada com sorgo forrageiro e o sistema de drenagem (B).



No levantamento topográfico planimétrico, constata-se baixa variação mediante as linhas de contorno, com declividade de 6% encontrada para a área.

As águas residuárias da rede coletora de esgoto do Distrito, inicialmente passa por uma caixa com grade para separação dos materiais grosseiros, que são carreados juntos ao efluente. Após esta etapa, são conduzidos para os reatores UASB, são tratados e depositados nas lagoas de estabilização, onde são bombeados para o cultivo do sorgo nos blocos (1, 2, 3 e 4). Na área, existe um sistema de drenagem instalado à profundidade

média de 0,65 m, e para os escoamentos foram utilizados tubos de polietileno de alta densidade, corrugados e perfurados, contendo brita ao seu redor e sendo revestido por uma manta fina e coberto com areia para facilitar a drenagem (Figura 1B).

Características agronômicas da variedade de sorgo

A variedade utilizada foi a IPA SUDAN 4202, conhecida também como sorgo-do-Sudão (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf), de origem africana e adaptada ao semiárido principalmente pela sua precocidade. Apresenta elevada eficiência no uso da água, é adaptado as condições de estresse hídrico e possui expressiva aptidão para produção de forragem, na forma de feno, silagem e pastejo. A variedade do sorgo apresenta altura média de 230 cm, alta capacidade de perfilhamento e rebrota. A colheita varia de 45 a 70 dias após plantio e as plantas possuem capacidade de tolerância à salinidade (até 10 dS m⁻¹) (IPA, 2007).

Características do solo e da água de irrigação

O solo da área é caracterizado como Planossolo Háptico Sáfico Sódico Hipereutrófico, com teor de areia de 83,92%, argila de 12,44%, silte de 3,64%, densidade do solo de 1,4 g cm⁻³, capacidade de campo de 0,3 cm³ cm⁻³ e ponto de murcha permanente de 0,2 cm³ cm⁻³, para a camada 0-0,2 m (SANTOS et al., 2017). Em análise química do solo constatou-se: pH do solo 8,1; fósforo (P-Total) com 295 ppm; cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) > 5 cmol_c dm⁻³; potássio (K⁺) 0,9 cmol_c dm⁻³; sódio (Na²⁺) 0,64 cmol_c dm⁻³; ausência de alumínio e saturação por base (V%) >90%.

A água residuária utilizada na irrigação foi proveniente das lagoas de polimento, após tratamento em reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB). A sua característica é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros químicos da água residuária tratada utilizada durante os cultivos.

Parâmetro (Unidade)	Concentração
pH	8,30
CE (dS m ⁻¹)	5,70
STD (mg L ⁻¹)	2869,0
N-Total (mg L ⁻¹)	23,6
P -Total (mg L ⁻¹)	2,0
K ⁺ (mg L ⁻¹)	85,8
Ca ²⁺ (mg L ⁻¹)	34,5
Mg ²⁺ (mg L ⁻¹)	50,9

Na ⁺ (mg L ⁻¹)	782,0
Nitrato (mg L ⁻¹)	42,4
Cloretos (mg L ⁻¹)	950,0
Sulfato (mg L ⁻¹)	103,7
Bicarbonato (mg L ⁻¹)	647,2

Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental empregado foi em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições, em esquema fatorial (5 x 4), sendo as parcelas constituídas por 5 lâminas de irrigação (60, 80, 100, 120 e 140% da Evapotranspiração da Cultura (ET_c)), e as subparcelas com 4 condições de cobertura do solo (0% (Testemunha), 50% do solo com cobertura de vegetação nativa, 50% com pó de coco e 50% com sementes de moringa maceradas). Cada subparcela possuía dimensão de 5 m² (2,5 x 2 m) de área total e 2 m² (2 x 1 m) de área útil. A densidade de cobertura morta adotada foi de 8 t ha⁻¹.

Cada parcela apresentava 4 linhas de plantio, sendo espaçadas 0,5 m. As plantas avaliadas foram as das fileiras centrais (área útil).

Sistema e manejo da irrigação

O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento (Xique-Xique) com orifícios de 1,6 mm e espaçados a cada 0,2 m. A eficiência da aplicação de água foi de 90%, conforme Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) (JUSTI et al., 2010).

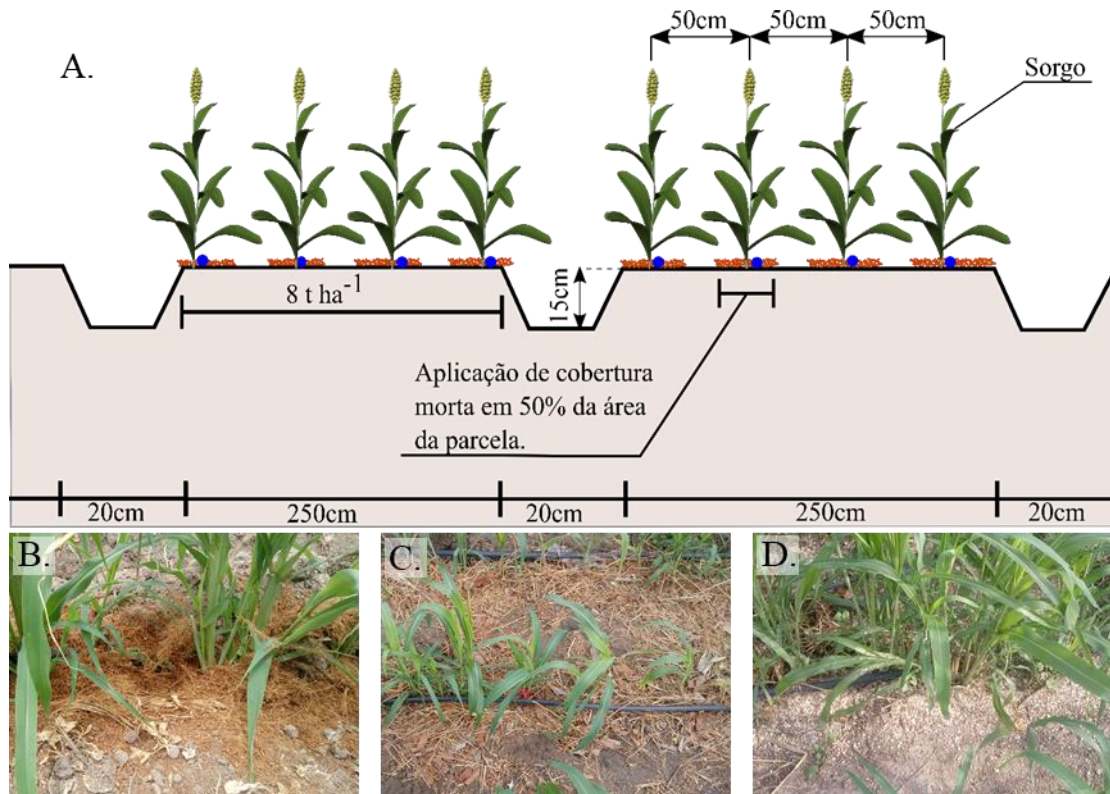
Para os cálculos da evapotranspiração de referência (ET_o) pelo método de Penman-Monteith – FAO 56, foram utilizados informações de uma estação agrometeorológica automática completa da Onset (Modelo – EAC-U30-900) situada na área de estudo, fornecendo registros de temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar global, pressão atmosférica, velocidade do vento e precipitação.

Os coeficientes de cultivo (K_c) utilizados para determinar a ET_c (ET_c = ET_o * K_c) baseou-se na fase fenológica: fase I - Semeadura e estabelecimento (0,4); fase II - crescimento vegetativo (1,1); fase III - floração e formação da produção (1,00); e fase IV - maturação (0,7) (COSTA et al., 2017). As irrigações foram realizadas adotando-se um turno de rega de 2 dias.

Preparo da área e plantio do sorgo

Antecedendo o plantio, realizou-se o preparo da área com aração, delimitação e separação das parcelas com um sulco de profundidade de 15 cm e largura de 30 cm, para evitar interferência superficial da umidade do solo entre os tratamentos (Figura 2). As coberturas mortas foram aplicadas após a germinação do sorgo.

Figura 2. Esquema ilustrativo do espaçamento entre parcelas (A) nos tratamentos com pó de coco (B), cobertura natural (C) e moringa (D).



A cobertura natural foi composta por 80% de gramíneas (capim carrapicho - *Cenchrus echinatus* L.; capim-corrente - *Urochloa mosambicensis* Hack. Dandy) e 20% por leguminosas (Bredo - *Amaranthus deflexus* L.; Pega-pinto - *Boerhavia diffusa* L.; Beldroega - *Portulaca oleracea* L.) de crescimento espontâneo na área de estudo. As plantas foram cortadas e secas ao ar antes da aplicação. As sementes de moringa foram trituradas antes de serem aplicadas nas parcelas. A reposição das coberturas mortas foi realizada ao início de cada corte do sorgo.

O plantio do sorgo foi realizado em sulcos com profundidade de 0,05 m, dispondo as sementes de modo a perfazer uma densidade de 12 plantas por metro linear. Realizou-se o raleamento em todas as parcelas para garantir uniformidade aos tratamentos.

A implantação ocorreu no dia 10 de novembro de 2018, sendo o cultivo conduzido por 60 dias e colhido no dia 6 de janeiro de 2019, na qual, foi realizado o primeiro corte. O segundo corte correu no dia 28 de fevereiro de 2019 (54 dias). O terceiro corte ocorreu no dia 22 de abril de 2019 (54 dias).

Análises biométricas de biomassa e índices fisiológicos

Avaliou-se a altura da planta (obtida a partir da medição da base do colmo até o ponto de inserção da lâmina foliar mais alta), diâmetro basal do colmo e produção total de matéria seca (SILVA, 1999; BORGES et al., 2014).

Para a determinação da biomassa seca, foram coletadas três plantas em cada parcela, acomodadas em sacos de papel e transferidas para estufa de circulação forçada à 65°C por 72 horas ou até atingir peso constante (SILVA, 1999).

A determinação da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e a estimativa do índice de área foliar (IAF) foram obtidos com o auxílio de um ceptômetro modelo Accupar LP- 80. As medidas foram efetuadas em três locais dentro de cada parcela e sobe o dossel do sorgo, entre às 11 e 14h, mediante céu claro (PADILLA et al., 2012).

Avaliação da qualidade do solo e do lençol freático

Para a determinação da qualidade do solo quanto à condutividade elétrica (CE), foram realizadas coletas de amostras de solo nas parcelas experimentais no início e no final de cada corte. Para o monitoramento da CE e do nível da água do lençol freático, foi instalado um piezômetro a 1,12 m de profundidade na área do experimento, sendo monitorado durante os três cortes. Adicionalmente, foram coletadas amostras da água da irrigação durante o experimento.

Para avaliação da qualidade do solo, analisou-se a dinâmica de carbono e matéria orgânica do solo. A metodologia usada foi a proposta por Yeomans e Bremner (1988), que se baseia na determinação do $K_2Cr_2O_7^{2-}$ mediante a titulação com sulfato ferroso amoniacal ($0,4 \text{ mol L}^{-1}$). Posteriormente foi realizada a determinação dos teores de carbono orgânico (CO) total e matéria orgânica, como recomendado por Carmo e Silva (2012).

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F para as fontes de variação lâminas de irrigação e cobertura do solo.

Para análise dos efeitos causados pelas lâminas de irrigação, foi aplicada análise de regressão, ajustando ao modelo linear ou quadrático, selecionados após análise dos parâmetros da equação pelo teste F, com efeito significativo para $p < 0,05$ (*) e $p < 0,01$ (**) de probabilidade, e pelo maior valor do coeficiente de determinação. Para os efeitos sobre as variáveis estudadas dentro da fonte de variação “cobertura morta”, os dados foram analisados considerando o valor de significância dado pelo teste F a 5% de probabilidade. Além disso, os tratamentos foram analisados pelo teste de Tukey (considerando o teste F com valor de $p < 0,05$).

Determinaram-se os coeficientes de correlação de Spearman entre a CE, matéria orgânica, massa seca e produtividade do sorgo no final do terceiro corte.

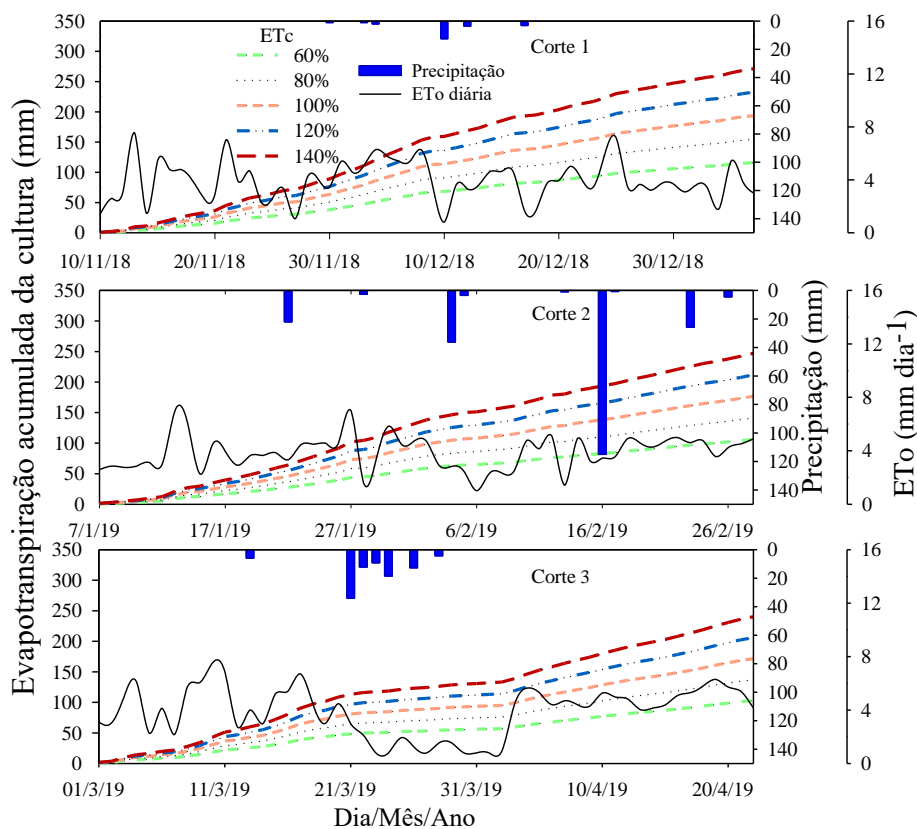
Todas as análises estatísticas, gráficas e de correlação foram realizadas utilizando os pacotes computacionais do RStudio (R CORE TEAM, 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Demanda hídrica durante o cultivo do sorgo

As precipitações totais ao longo dos cultivos foram de 23, 212,1 e 96,9 mm, distribuída em 6, 9 e 7 dias, e com máximas diárias de 12,5, 115 e 34,1 mm, durante os cortes 1, 2 e 3, respectivamente (Figura 3). Chuvas intensas podem ocorrer nesta área de cultivo, como já constatado por Santos et al. (2017), ao registrar o acumulado de 120 mm em apenas 1 dia, no mês de fevereiro em 2015.

Figura 3. Variação temporal da precipitação, da evapotranspiração da cultura (ETc) acumulada para as lâminas de 60%, 80%, 100%, 120% e 140% da ETc, e da evapotranspiração de referência (ETo) diária durante os três cortes do sorgo forrageiro.



A ETo diária apresentou maior variação durante o primeiro corte, período em que foi registrado o menor regime hídrico.

As demandas hídricas do sorgo para às lâminas de 60, 80, 100, 120 e 140% da ETc, foram de 116, 155, 194, 233 e 271 mm, de 106, 141, 177, 212 e 247 mm e de 103, 137, 172, 206 e 240 mm, para os cortes 1 (60 dias), 2 (54 dias) e 3 (54 dias), respectivamente.

Crescimento e produção do sorgo em diferentes regimes hídricos com água residuária

Com base na análise de variância aplicada para os valores de altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC), número de perfilho (NP), índice de área foliar (IAF), massa seca (MS) e produtividade (PRO), verificou-se interação LI x C (lâmina de irrigação vs. cobertura morta) para todas as variáveis no corte 1. Não foi observada interação em AP no corte 2 e AP e NP no corte 3, de acordo com as significâncias de $p < 0,01$ e $p < 0,05$ (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da significância estatística para altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC), índice de áreas foliar (IAF), perfilho (NP), massa seca (MS) e produtividade (PRO).

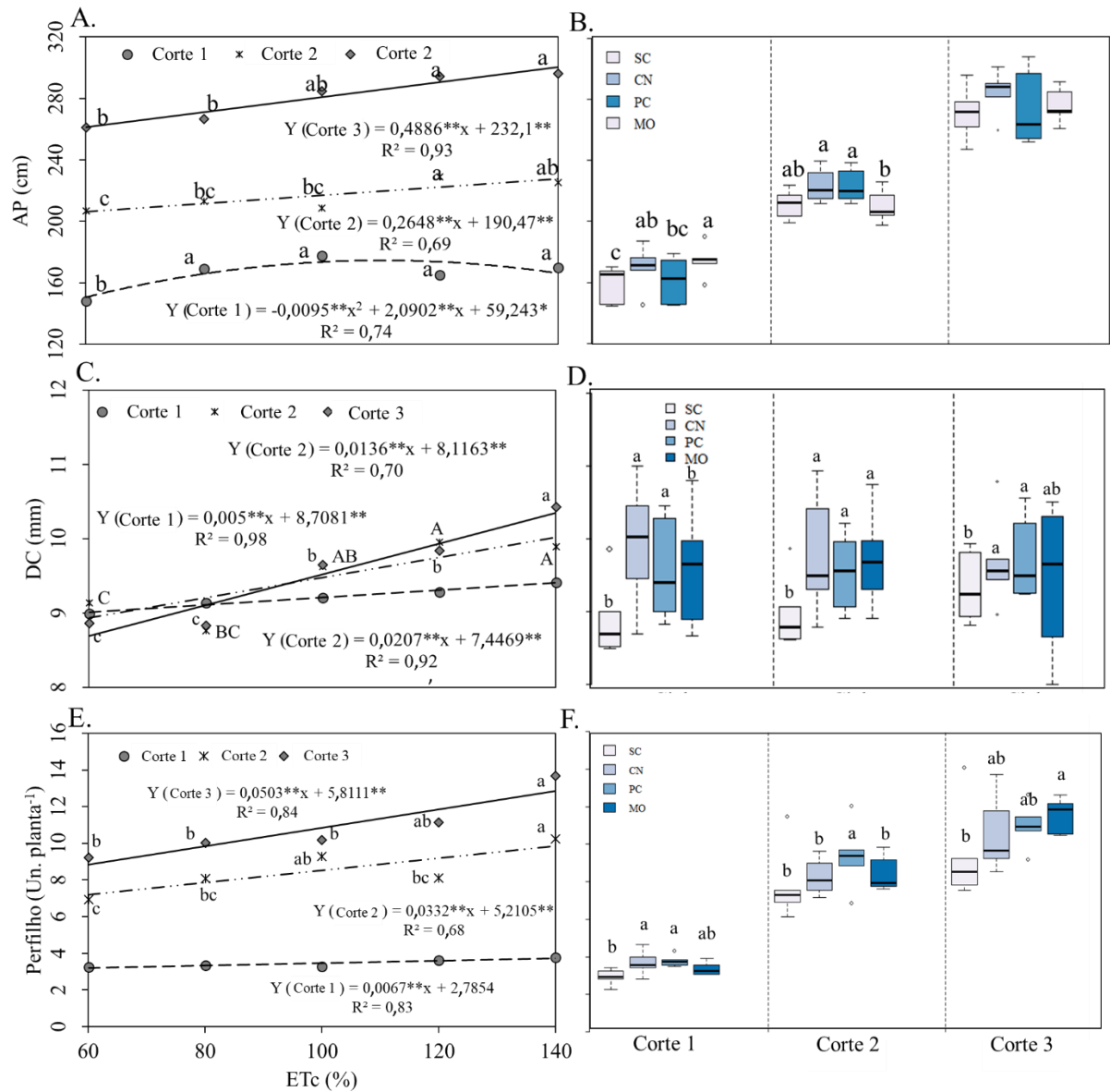
Corte 1							
<i>P>F</i>							
Fonte de variação	GL	AP	DC	NP	IAF	MS	PRO
Bloco	3	0,005	0,002	0,165	---	0,368	0,369
Lâmina (LI)	4	0,001	<0,00	0,404	---	0,000	<0,00
Erro (LI)	12				---		
Cobertura (C)	3	<0,00	<0,00	0,000	---	<0,00	<0,00
LI x C	12	0,001	0,000	0,019	---	<0,00	<0,00
Erro (C)	45				---		
CV1%		18,34	4,84	25,53	---	11,46	15,07
CV2%		6,18	5,92	18,00	---	12,80	4,76
Corte 2							
Bloco	3	0,000	0,019	0,238	---	0,535	0,643
Lâmina (LI)	4	0,004	0,000	0,000	---	0,047	0,000
Erro (LI)	12				---		
Cobertura (C)	3	0,004	<0,00	0,000	---	0,017	<0,00
LI x C	12	0,508	0,000	<0,00	---	0,000	<0,00
Erro (C)	45				---		
CV1%		7,14	5,62	15,05	---	18,45	18,59
CV2%		7,37	5,94	12,84	---	11,22	5,07
Corte 3							
Bloco	3	0,030	0,031	0,906	0,573	0,077	0,095
Lâmina (LI)	4	0,002	<0,00	0,002	<0,001	<0,00	<0,00
Erro (LI)	12						
Cobertura (C)	3	0,211	0,004	0,002	0,803	0,018	<0,00
LI x C	12	0,100	<0,00	0,051	0,005	<0,00	<0,00
Erro (C)	45						
CV1%		8,10	4,55	22,04	9,68	7,07	6,12
CV2%		7,59	8,39	16,29	12,10	10,01	16,33

Obteve-se efeito significativo do fator isolado LI em AP, DC, MS e PRO no corte 1, de AP, DC, NP, MS e PRO no corte 2 e AP, DC, IAF, NP, MS e PRO no corte 3 ($p<0,01$). Já em relação à cobertura morta (C), constatou-se efeito significativo isolado para AP, DC, MS e PRO para os cortes 1 e 2, enquanto, para o corte 3, ocorreu para AP, NP, MS e PRO ($p<0,01$).

Observou-se comportamento linear crescente de acordo com análise de regressão para as variáveis AP, DC e NP nos três cortes, e quadrático para AP no corte 1 (Figura 4A). Sousa et al. (2017) aplicando cinco lâminas crescentes de irrigação em área com cobertura morta no solo na cultura do sorgo, também constataram efeito linear crescente para AP.

Figura 4. Comportamento de AP, DC e NP do sorgo em função de lâminas de irrigação com água residuária (A, C e E) e Box plot nas condições de cobertura do solo (B, D e F) para os cortes 1, 2 e 3 do sorgo. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p<0,05$) e são

indicadas por letras minúsculas. Os coeficientes da regressão significativos são para $p < 0,01$ (**) e $p < 0,05$ (*).



A máxima AP estimada para o corte 1 foi de 174,2 cm, para uma ETC correspondente a 110% da ETC. Para o corte 2 e 3, as máximas AP estimadas foram para as lâminas correspondentes a 140% da ETC, constatando valores de 227,5 e 300 cm, evidenciando acréscimos de 10,3 e 14,5% em relação a ETC de 60%, respectivamente. De acordo com o IPA (2007), a altura média para esta variedade de sorgo é de 230 cm. Desta forma, a lâmina de 140% da ETC no corte 3 promoveu acréscimo de 30,0% em relação ao valor da literatura.

Segundo Oliveira et al. (2013), para o *Sorghum sudanense* cultivado em solo salino, normalmente no primeiro corte pode-se constatar um menor crescimento em relação aos

demais, uma vez que as plantas apresentam maior sensibilidade aos íons de sais no início do cultivo.

Com base na comparação de médias entre as condições de cobertura do solo em AP, constatou-se diferença significativa entre os tratamentos no corte 1, com CN (169,6 cm) e MO (174,2 cm) estatisticamente iguais, e superiores a SC (158,7cm). No corte 2, CN e PC, com valores médios de 224 e 223,87 cm, respectivamente, foram superiores a MO (209,4 cm) (Figura 4B). Os tratamentos com cobertura morta destacaram-se em relação à área sem aplicação de práticas conservacionistas, principalmente no primeiro corte, onde a cultura está se estabelecendo e se adaptando aos estresses ambientais, como da salinidade do solo.

Costa et al. (2015), trabalhando com a mesma variedade de sorgo utilizada neste experimento, em sistema de sequeiro e em área com elevada salinidade do solo no Sertão de Pernambuco, constaram melhor desempenho da cultura em altura na condição de cobertura morta, em relação à área sem aplicação da prática conservacionista.

De acordo com Borges et al. (2014), a cobertura morta destaca-se como prática conservacionista para o semiárido, pois favorece a infiltração da água, proporcionando melhor aproveitamento da chuva e contribuindo para o desenvolvimento das culturas, principalmente ao reduzir a perda de água por escoamento superficial.

O DC destacou-se no terceiro corte na LI de 140% da ETc, evidenciando diâmetro estimado de 10,3 mm, sendo superior significativamente aos demais. Além disso, na LI de 140% da ETc o DC foi superior aos demais (letras em maiúsculas) ($p < 0,05$) (Figura 4C). As lâminas de irrigação não influenciaram o DC no corte 1. Os tratamentos CN e PC foram responsáveis por maiores valores de DC durante os cortes do sorgo, principalmente em relação a SC (Figura 4D).

Os Box plots da Figura 4 apresentaram poucos valores discrepantes (outliers) entre as coberturas mortas, em todos os cortes. Também é possível verificar que o DC foi a variável que apresentou os valores distribuídos mais próximos à mediana.

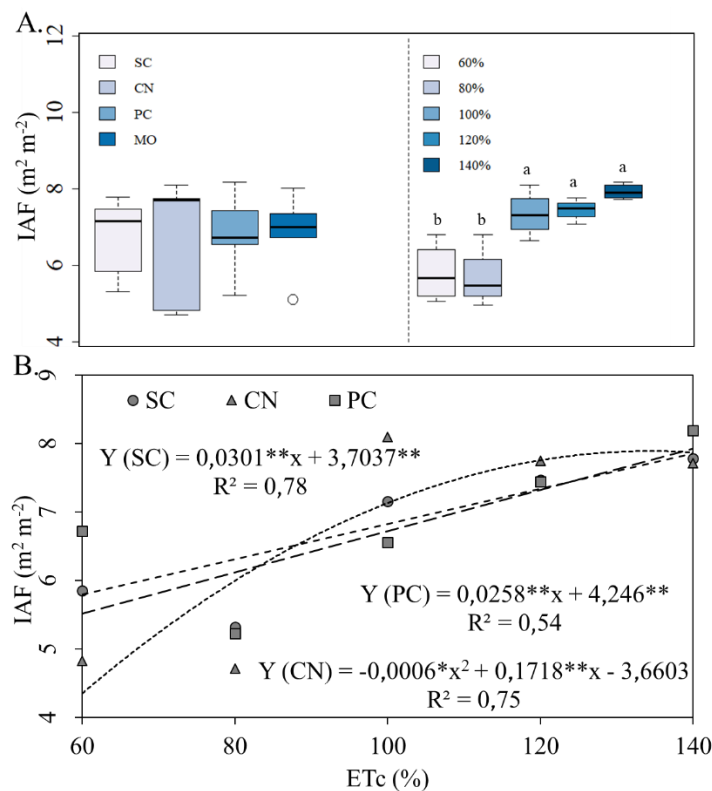
O NP não diferiu significativamente entre as LI ao longo do corte 1. Já para o corte 2, as LI de 100 e 140% da ETc foram superiores as demais ($p < 0,05$) e no corte 3, as de 120 e 140% (Figura 4E). O modelo de regressão linear crescente proporcionou para as plantas irrigadas no corte 2 e 3, acréscimos de 37,3% (9,4 unidades de NP) e 45,5% (10,3 unidades de NP), estimado para a ETc de 140% em relação a de 60%, respectivamente.

As plantas nas áreas com cobertura morta sobressaíram em NP em relação às áreas sem aplicação (SC) (Figura 4F). Estes resultados indicam que as plantas em condição de cobertura morta ficam menos susceptíveis aos estresses ambientais, com destaque para a elevada radiação no semiárido, e conseqüentemente elevam a produção de perfilho e produtividade.

De acordo com Kuraparthi; Sood; Gill (2008), o potencial de perfilhamento é de suma importância no cultivo do sorgo forrageiro, estando diretamente relacionado à elevação da área foliar e conseqüentemente de produção de material seca vegetal.

As LI de 100, 120 e 140% da ET_c resultaram em valores de IAF de 7,29, 7,42 e 7,93 m² m⁻², respectivamente, sendo superiores (p<0,05) aos das LI de 60 e 80% (Figura 5A). Kirchner et al. (2017) trabalhando com cinco LI (60, 80, 100, 120 e 140% da ET_o) no cultivo do sorgo forrageiro, constaram baixa elevação no IAF com o aumento das lâminas de irrigação, sendo o maior índice (4,8 m² m⁻²) constatado na LI de 120% da ET_o.

Figura 5. Box plot do Índice de área foliar (IAF) do sorgo, dentro das coberturas mortas (C) no solo, das lâminas de irrigação (LI) com água residuária (A) e da interação (C x LI) (B). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey (p<0,05), e são indicadas por letras minúsculas. Os coeficientes da regressão significativos são para p<0,01 (**) e p<0,05 (*).



As LI resultaram em efeito significativo nos tratamentos SC, CN e PC, com máximo IAF estimado de $7,9 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, de acordo com o modelo quadrático para CN, aplicando uma lâmina de 134,2% da ETc. Em relação a SC e PC, ambas apresentaram IAF estimado de $7,8 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, de acordo com o modelo linear para uma ETc de 140%. Hernández et al. (2019) trabalhando com sorgo forrageiro, encontraram resultados similares de IAF ($7 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$).

Os valores elevados de IAF na cultura do sorgo podem ser atribuídos a um adequado manejo do cultivo, na qual ocorre apropriada interceptação da radiação solar, refletindo positivamente na produtividade (KIRCHNER et al., 2017).

Na Tabela 3, verifica-se diferença estatística ($p < 0,05$) para todas as condições de cobertura do solo (SC, CN, PC e MO) dentro das lâminas de 60, 80 e 100% da ETc. Os resultados indicam que, a aplicação de cobertura morta promove elevação do IAF.

Tabela 3. Média do índice de área foliar (IAF) do sorgo para os tratamentos SC, CN, PC e MO, e lâminas de irrigação (60, 80, 100, 120 e 140% da ETc).

Tipos de cobertura do solo	IAF ($\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$)				
	ETc (%)				
	60	80	100	120	140
SC	5,84 ab BC	5,32 ab C	7,15 ab AB	7,47 A	7,78 A
CN	4,82 b B	4,7 b B	8,09 a A	7,74 A	7,71 A
PC	6,72 a ABC	5,22 b C	6,55 b BC	7,43 AB	8,19 A
MO	5,1 b B	6,71 a A	7,35 ab A	7,01 A	8,03 A

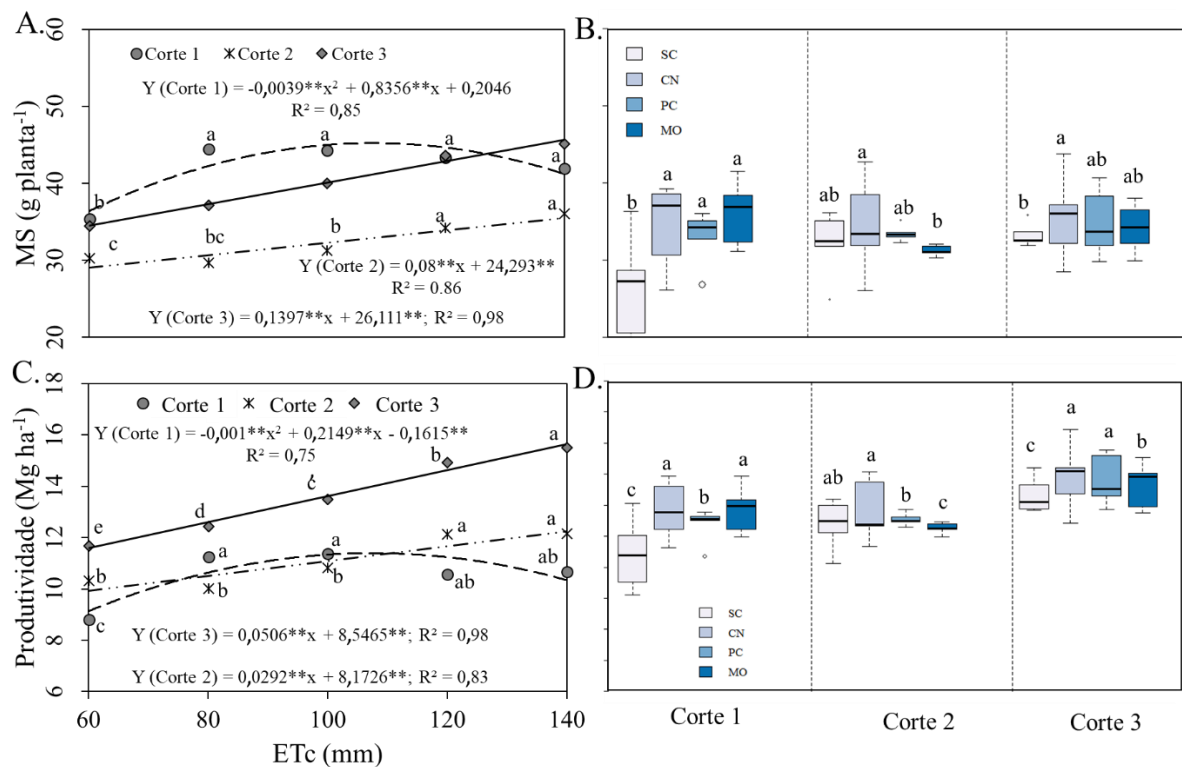
Médias na mesma coluna, seguidas pelas mesmas letras minúsculas, e nas linhas pelas letras maiúsculas, não diferiram entre si de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$), em relação às condições de uso do solo e nas linhas, em relação às lâminas de irrigação aplicadas.

Na LI de 60% da ETc, PC destacou-se em relação à CN e MO, já em 80%, MO foi superior à CN e PC, e em 100% da ETc, CN foi superior apenas comparado à PC. O comportamento do IAF foi crescente em relação à elevação da ETc até 140% em SC, PC e MO. Além disso, as LI de 60 e 80% da ETc foram as que promoveram os menos IAF em todas as coberturas do solo.

O IAF elevado na cultura do sorgo reflete uma adequada interceptação da radiação solar fotossinteticamente ativa, promovendo maior produtividade de matéria seca (SCHNEIDER et al., 2019). Porém, quando as plantas estão em estresses promovidos pelo solo, clima e manejo, resultam em menor transpiração, transporte de solutos e conseqüentemente em redução do IAF (TAIZ e ZEIGER, 2013). Desta forma, pode observar que a cultura do sorgo se adaptou melhor

nas lâminas de 100, 120 e 140% da ETc, resultando em maior desenvolvimento em altura (Tabela 3), bem como produtividade (Figura 6).

Figura 6. Massa Seca (MS) (A) e produtividade (PRO) (C) do sorgo em função de Lâminas de irrigação com água residuária e Box plot da MS (B) e PRO (D) nas condições de cobertura do solo. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), e são indicadas por letras minúsculas. Os coeficientes da regressão significativos são para $p < 0,01$ (**) e $p < 0,05$ (*).



O aumento da LI proporcionou um efeito quadrático na produção de MS no corte 1, com máximo valor obtido de 45 g planta⁻¹, para uma ETc de 107,1% (Figura 6A).

Os cortes 2 e 3 apresentaram comportamento linear, sendo a LI de 140% da ETc quem resultou em maiores produções em MS, com valores estimados de 35,5 e 45,7 g planta⁻¹, respectivamente.

A cobertura morta CN e PC destacaram-se em produtividade de MS em relação à MO e SC (Figura 6B).

Do ponto de vista da produtividade, os cortes 2 e 3 foram os que mais se destacaram, observando as maiores produtividades para uma ETc de 140%, proporcionando produções estimadas de 12,3 e 15,6 Mg ha⁻¹ e superiores a LI de 60% da ETc em 23,6% e 34,9%, respectivamente (Figura 6C). Comportamento crescente em produtividade do sorgo no segundo

corte também foram constatados por Kirchner et al. (2017), trabalhando com lâminas de 60, 80, 100, 120 e 140% da ETo.

Os resultados obtidos em relação à cobertura morta (Figura 6D), indicam que CN de resultou em maiores valores médios de produtividade. Este efeito pode ser atribuído a menor degradação apresentada pela cobertura entre os intervalos de cortes.

Em relação aos cortes 1 e 3, as produtividades na área com CN foram 24 e 8% superiores à área SC, respectivamente. Costa et al. (2015) constataram que à cobertura morta chegou a elevar em 62% a produção de matéria seca em cultivares de sorgo forrageiro, comparando a áreas sem aplicação de cobertura.

De acordo com Borges et al. (2014), a permanência da cobertura morta no solo é um fator fundamental para conservação da umidade, favorecendo o desenvolvimento das plantas.

Elias et al. (2016), trabalhando com sistema de plantio direto, constataram elevadas produtividades utilizando quatro variedades de sorgo, destacando o uso da cobertura morta como atenuante da alta evapotranspiração, favorecendo um melhor desenvolvimento das plantas.

Efeitos das lâminas de irrigação com água residuária e cobertura morta na condutividade elétrica e matéria orgânica do solo

Foi verificado efeito significativo isolado da CE sobre as condições de cobertura do solo para o corte 1 e 3, e para o carbono orgânico total (COT) e matéria orgânica total (MOT) no corte 3. Em relação à interação entre lâminas e cobertura, constatou-se efeito significativo o corte 1, 2 e 3 na CE, e no corte 3 para MOT, de acordo com as significâncias de $p < 0,01$ e $p < 0,05$ (Tabela 4).

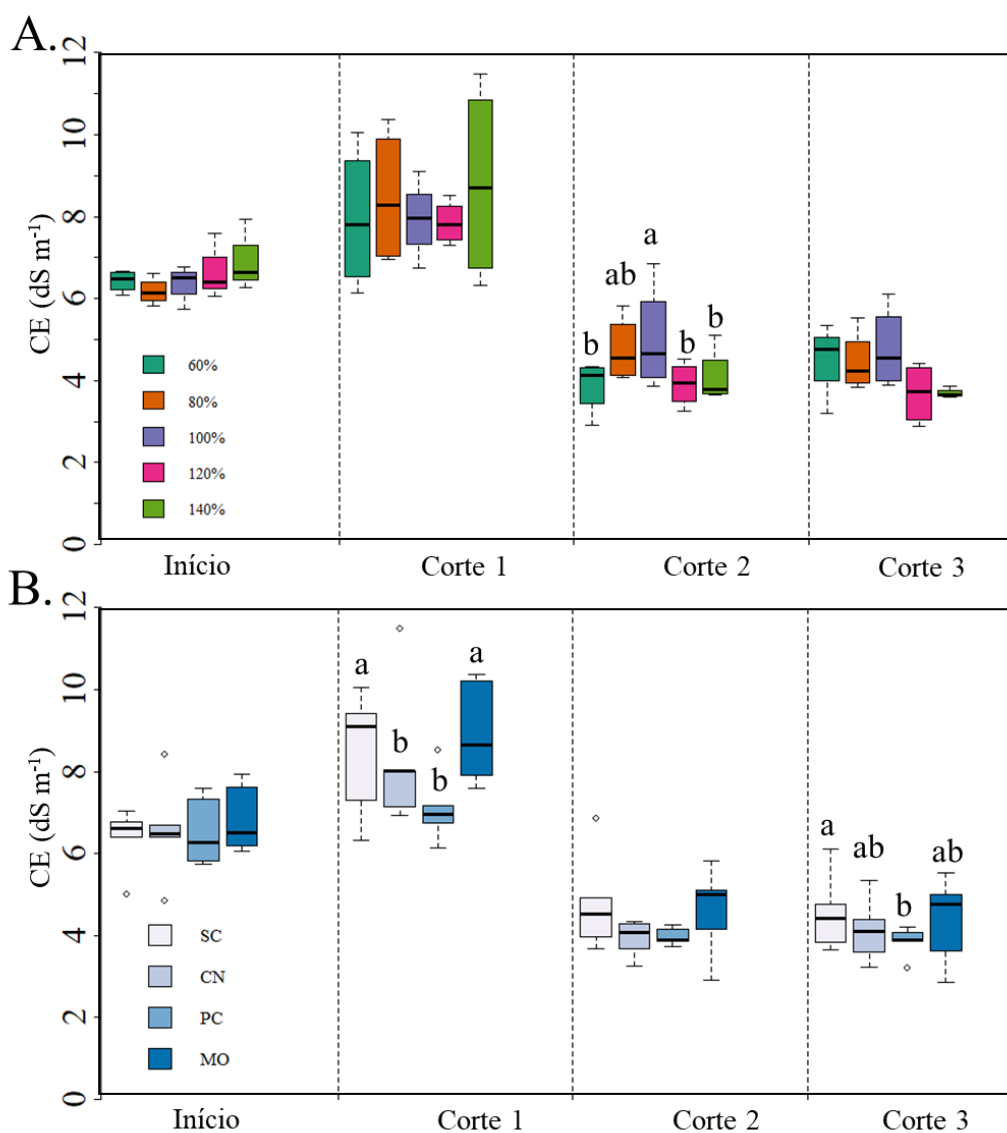
Tabela 4. Resumo da significância estatística para a condutividade elétrica (CE), carbono orgânico total (COT) e matéria orgânica total (MOT).

Fonte de variação	GL	<i>P>F</i>							
		CE (dS m ⁻¹)				COT (g kg ⁻¹)		MOT (g kg ⁻¹)	
		início	corte 1	corte 2	corte 3	início	corte 3	início	corte 3
Bloco	3	0,020	0,847	0,267	0,846	0,021	0,042	0,026	0,018
Lâmina (LI)	4	0,07	0,112	0,042	0,112	0,172	0,419	0,258	0,398
Erro (LI)	12								
Cobertura (C)	3	0,631	0,023	0,051	0,022	0,222	0,04	0,258	0,046
LI x C	12	0,319	<0,000	0,050	<0,000	0,944	0,088	0,968	0,412
Erro (C)	45								
CV1%		17,82	34,96	28,56	34,96	12,83	33,07	13,24	32,57

CV2% 18,40 19,07 30,08 19,07 19,43 30,18 19,43 20,96

A CE do solo, no início do cultivo, em relação às lâminas de irrigação (60, 80, 100, 120 e 140 % da ETC), apresentaram baixa variação nos valores, bem como, proximidade entre as medianas, com magnitudes entre 6 e 7 dS m^{-1} . No final do corte 2, constatou-se que as LI proporcionaram incrementos na CE ao solo, com médias variando de 8 a 9 dS m^{-1} (Figura 7A).

Figura 7. Box plot da condutividade elétrica em função de cada tratamento dentro lâminas de irrigação com água residuária (A) e condições de uso do solo (B). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), e são indicadas por letras minúsculas.



Em relação as LI, destaca-se que ocorreu redução da CE para todos os tratamentos nos cortes 2 e 3, com reduções médias de 50 e 49% em relação ao corte 1. Esse comportamento está associado ao manejo da irrigação adotado de forma correta, sendo influenciada também, por ocorrência de chuvas intensas, como a de 115 mm, registrada em 16 de fevereiro de 2019, promovendo a lavagem dos sais. Além disso, na área existe eficiente sistema de drenagem, que também contribuiu para esta redução.

No final do corte 2, constatou-se redução da CE do solo, com diferença significativa entre os tratamentos, sendo as LI de 80 e 100% da ETC, os tratamentos que apresentaram os valores mais elevados, com médias de 4,6 e 4,9 dS m⁻¹, respectivamente. Esta redução foi um fator fundamental para contribuição no maior crescimento e na produtividade do sorgo nos cortes 2 e 3.

A cultura submetida ao estresse salino será afetada na redução do crescimento, consequência principalmente da redução do potencial osmótico do solo, restringindo a disponibilidade de água ou acúmulo excessivo de íons nos tecidos vegetais, podendo também, ocasionar toxicidade iônica e desequilíbrio nutricional (SOUSA et al., 2010). Desta forma, as menores alturas ocorridas no primeiro corte do sorgo (Figuras 4A e 4B) indicam forte relação com a condutividade elevada durante o período (Figura 7A).

A condutividade elétrica (CE) representa uma variável química importante para descrever a qualidade do solo em termos de sais, sendo altamente recomendado o seu monitoramento para identificar possíveis alterações em áreas com aplicação de águas residuárias (ADHIKARI et al., 2011). Do ponto de vista agrícola, a qualidade do solo é relacionada a capacidade ser produtivo de forma economicamente viável, com estruturas físicas, químicas e biológicas dentro dos limites naturais e que possui poder resiliente (THOUMAZEAU et al., 2019). Assim, pode-se supor que a irrigação com água residuária no cultivo do sorgo em área com eficiente sistema de manejo, não afeta sua capacidade produtiva e a resiliência do solo ao longo de três cortes.

As áreas com os sistemas de uso do solo SC e MO apresentaram maiores valores médios de CE no corte 1, sendo estatisticamente diferentes de CN e PC ($p < 0,05$) (Figura 7B). Baixas variações entre as médias foram observadas no corte 2, bem como não ocorreu diferença significativa entre os tratamentos. Todavia, no corte 1 e 3, o tratamento com pó de coco (PC) apresentou baixas concentrações de CE, sendo estatisticamente inferior a SC, CN e MO.

Em relação ao semiárido, o pó de coco vem demonstrando elevado potencial para cultivo agrícola, com destaque, melhoria na capacidade de infiltração de água no solo (BORGES et al., 2014; CARVALHO et al., 2019). Assim, a cobertura provocou a diminuição da salinidade do solo, com a lixiviação dos sais da zona radicular.

As médias da condutividade elétrica (CE) para as parcelas com cobertura morta e lâminas de irrigação no início do experimento apresentaram elevadas semelhanças (Tabela 5).

Tabela 5. Médias da CE no cultivo do sorgo forrageiro para os tratamentos condições de cobertura morta (SC, CN, PC e MO) dentro das lâminas de irrigação (60, 80, 100, 120 e 140% da ETc).

Início						
Condições de cobertura do solo	ETc (%)					
	60	80	100	120	140	
SC	6,60	6,60	6,78	6,41	6,62	
CN	6,10	6,10	6,48	6,41	6,68	
PC	6,36	5,83	5,73	6,59	6,28	
MO	6,67	6,19	6,52	6,05	6,94	
Corte 1						
SC	10,38 a A	9,70 ab AB	9,33 AB	7,41 BC	6,33 b C	
CN	6,99 b A	7,24 b B	8,18 B	8,17 B	11,91 a A	
PC	6,14 b	7,02 b	6,81	8,72	7,26 b	
MO	8,87 ab AB	10,7 a AB	8,04 AB	7,71 B	10,54 a A	
Corte 2						
SC	3,81 B	4,82 AB	6,93 a A	4,41 B	3,48 B	
CN	4,21	3,92	4,15 b	3,03	3,49	
PC	4,12	4,02	3,68 b	3,56	3,71	
MO	2,67 B	5,81 A	4,92 ab AB	4,01 AB	5,04 AB	
Corte 3						
SC	4,67 ab AB	3,65 b B	6,12 a A	4,28 AB	3,47 B	
CN	5,29 a A	4,26 a B	3,95 b AB	3,00 AB	3,41 B	
PC	2,99 b	3,92 ab	3,73 b	4,07	3,68	
MO	4,66 ab AB	5,48 a A	4,90 ab AB	2,62 A	3,42 BC	

Médias na mesma coluna, seguidas pelas mesmas letras minúsculas, e nas linhas pelas letras maiúsculas, não diferiram entre si de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$), em relação às condições de uso do solo e nas linhas, em relação às lâminas de irrigação aplicadas.

As lâminas de irrigação de 60, 80 e 100% da ETc dentro do tratamento SC no corte 1 resultaram em maiores valores médios de CE, 10,38, 9,7 e 9,33 dS m⁻¹, respectivamente. Para a cobertura MO, a menor CE foi constatada na lâmina de 120% da ETc. Ainda em relação ao

corte 1, o tratamento PC foi quem mais influenciou na redução da CE, apresentando médias de 6,14, 7,02 e 7,26 dS m⁻¹, para as lâminas de 60, 80 e 140% da ETc, respectivamente.

No corte 2, já com valores bem inferiores ao corte 1, constatou-se maior valor de CE na lâmina de 100% da ETc (6,93 dS m⁻¹) em SC, sendo superiores estatisticamente as demais. A menor CE (2,67 dS m⁻¹) foi constatada na lâmina de 60% da ETc, para MO. Já em relação ao corte 3, evidenciou-se elevado poder de redução da CE no tratamento PC nas lâminas de 60, 80 e 100% da ETc, com médias 2,99, 3,92 e 3,73 dS m⁻¹.

Efeitos da irrigação com água residuária na dinâmica da água do lençol freático

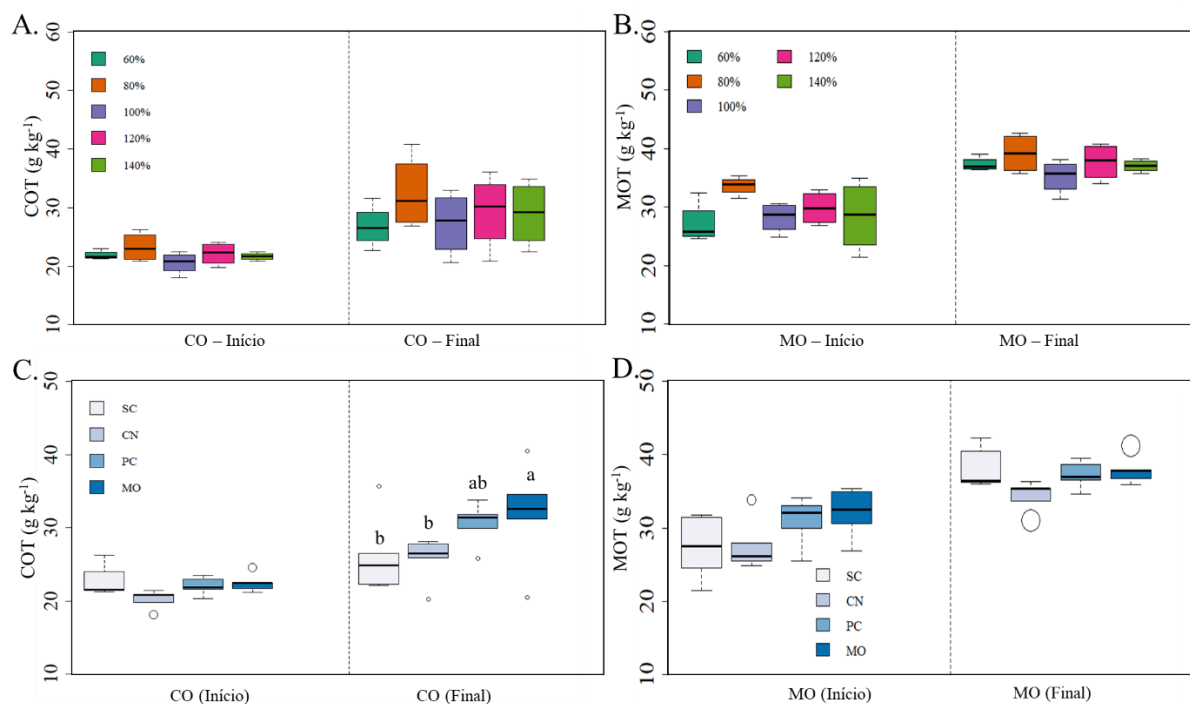
A CE do lençol freático raso apresentou valores de 6,83, 6,03, 5,51 e 7,31 dS m⁻¹, e o nível variando em 0,87, 0,70, 0,30 e 0,67 m, para o início do experimento, final do primeiro, segundo e terceiro corte, respectivamente. Para este estudo, constatou-se que ocorreu baixa variação da CE na área irrigada com água residuária. Estes resultados indicam que é possível cultivar sorgo na área por vários cortes, sem ocorrer grandes variações de salinidade do lençol freático.

Outro fator importante atribuído à cobertura morta é a diminuição do movimento ascendente em condição de lençol freático raso, reduzindo possível ascensão de água subterrânea salina (GARDNER e MILTON, 1958). Muito provavelmente, as coberturas CN e PC foram mais eficientes neste aspecto, uma vez que sua degradação foi visivelmente menor durante os cortes.

Chaganti et al. (2020) destacaram a hipótese de que a lixiviação dos sais da zona radicular pode prejudicar as partes mais profundas do solo, como o lençol freático, porém, em estudos realizados com sorgo forrageiro irrigado com água residuária, não constaram alterações significativas na dinâmica da CE, em região do semiárido do Texas dos Estados Unidos.

A Figura 8 exibe os Box plot da concentração de carbono e matéria orgânica do início do experimento e no final do terceiro corte, abordando as análises de acordo com as lâminas de irrigação e as condições de cobertura morta no solo.

Figura 8. Box plot da concentração de carbono orgânico total (COT) e matéria orgânica total (MOT) dentro das lâminas de irrigação com água residuária (A) e condições de uso do solo (B). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), e são indicadas por letras minúsculas.



Os tratamentos com as lâminas (Figura 8A) e cobertura morta (Figura 8C) para início do experimento, apresentaram baixa variação de COT em relação à mediana. Para COT no final do experimento COT (Final), constatou-se diferença significativa entre as médias ($p < 0,05$), sendo os maiores valores observados nos tratamentos com pó de coco (PC) e moringa (MO), apresentando incrementos de 15,1 e 18,9% de COT, respectivamente, comparado à área sem aplicação de cobertura morta.

De acordo com Santos et al. (2008), as perdas de carbono orgânico por erosão ou lixiviação podem ser significativamente maiores em solos sem proteção de cobertura morta, comparado as áreas com cobertura. Desta forma, apesar das irrigações com água residuária promoverem incremento de COT nos tratamentos SC, os mesmos foram significativamente menores quando comparado as áreas com aplicação de cobertura.

O elevado destaque do COT das parcelas em que foram aplicadas MO deve estar associado a superior mineralização que ocorre no material vegetal por ser de origem de uma planta leguminosa. Este comportamento foi observado por Qian et al. (2015), ao constatarem que coberturas mortas da família Leguminosae tem efeito significativamente maior para incremento do COT no solo, quando comparado a coberturas como de plantas da família Poaceae.

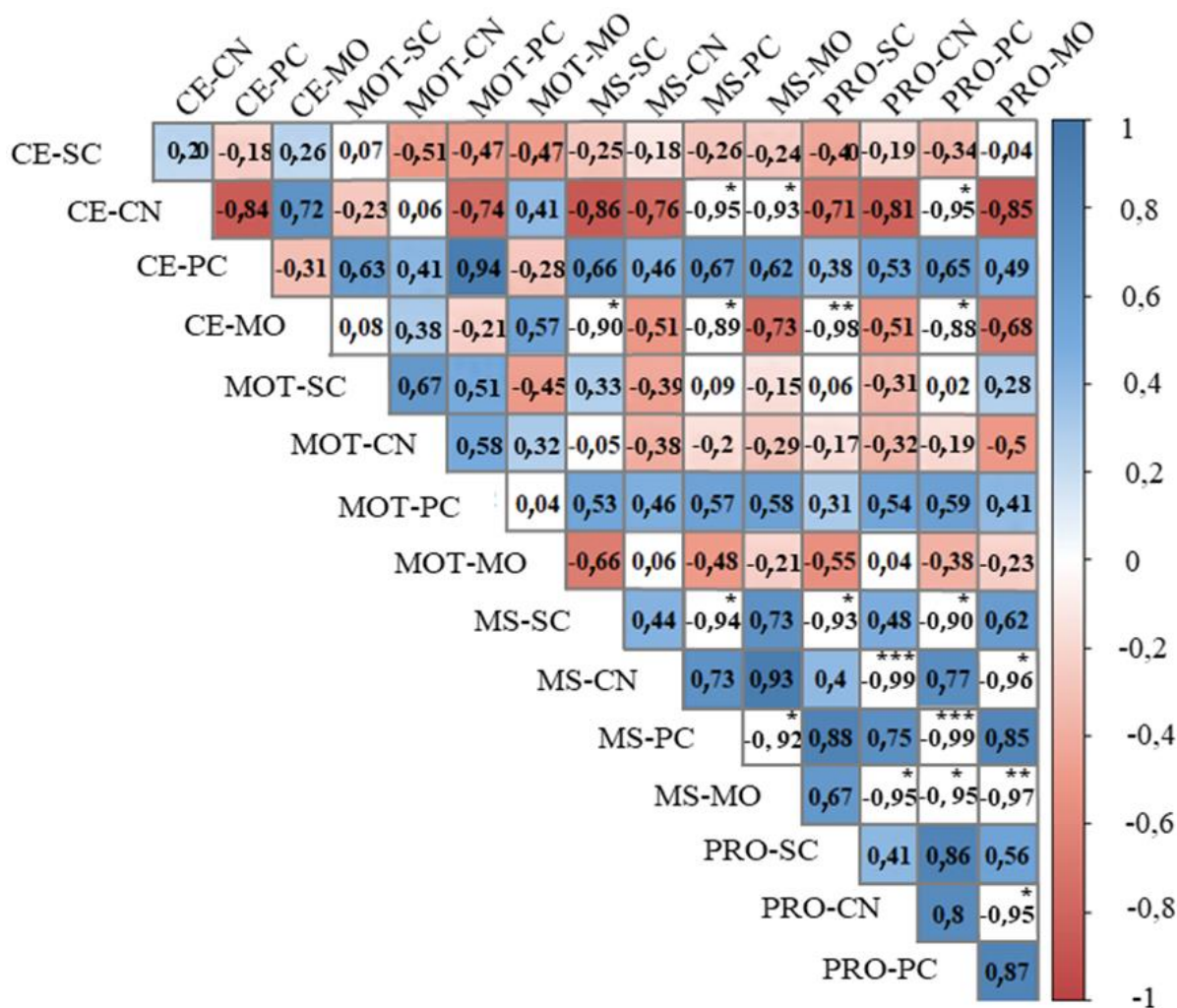
As lâminas de irrigação elevaram o COT e a MOT ao longo do cultivo, porém não se constatou diferença estatística. Apesar das LI não resultarem em diferenças em relação ao COT

e MOT neste experimento, Henrique et al. (2010) e Urra et al. (2019) ressaltam para as importantes contribuições das águas residuárias no fornecimento de nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas, bem como, de matéria orgânica ao solo, elevando assim, a capacidade de retenção de água.

Efeitos da condutividade elétrica (CE) e contribuições da matéria orgânica (MOT) do solo, na biomassa e na produtividade do sorgo

Como medida do efeito da CE e a contribuição de MOT para a produção de matéria seca e produtividade no final do terceiro corte do sorgo, foram calculados os coeficientes de correlação de Spearman (Figura 9). Os valores de coeficientes de Spearman próximos de 1 ou -1, indicam forte dependência ou alta correlação, enquanto, próximos de 0, sugerem instabilidade ou fraca dependência (HEATHMAN et al., 2012).

Figura 9. Matriz de correlação com os coeficientes de Spearman, entre a condutividade elétrica (CE), a matéria orgânica total (MOT), a massa seca (MS) e a produtividade (PRO), dentro das condições de cobertura do solo (SC, CN, PC e MO), formando as combinações: (CE-SC), (CE-CN), (CE-PC), (CE-MO), (MOT-SC), (MOT-CN), (MOT-PC), (MOT-MO), (MS-SC), (MS-CN), (MS-PC), (MS-MO), (PRO-SC), (PRO-CN), (PRO-PC) e (PRO-MO). A significância da correlação está representada pela escala de cores juntamente com a simbologia ($p < 0,001$ (***) ; $p < 0,01$ (**) e $p < 0,05$ (*)).



A CE no tratamento CN (CE-CN) promoveu fortes correlações negativas (valores próximos de -1) em relação aos índices de (MS-CN) (-0,76) e (PRO-CN) (-0,81). Desta forma, evidencia-se que a salinidade exerceu forte influência na redução da produtividade do sorgo na condição de aplicação de CN, apesar da tolerância da cultura até 10 dS m⁻¹ (IPA, 2007).

Coelho et al. (2014), avaliando a produção de dez variedades de sorgo, constataram correlação elevada da salinidade das águas de irrigação (0; 2,5; 5,0; 7,5; 10 e 12,5 dS m⁻¹) com redução da produtividade.

A presença de correlações moderadas (0,67 e 0,65) foram observadas entre a CE em PC em relação à MS ((CE-PC) x (MS-PC)) e PRO ((CE-PC) x (PRO-PC)), respectivamente. Estes resultados refletem que mesmo na condição de elevada CE do solo, o sorgo tende a produzir de forma satisfatória. Desta forma, provavelmente o pó de coco resultou em melhorias no solo em relação à capacidade de lixiviação dos sais da zona radicular. Segundo Silva e Jerônimo (2012), a melhoria da infiltração da água no solo é uma característica importante atribuído ao pó de

coco. Este efeito também é condizente com os resultados obtidos na Figura 7B, no final do terceiro corte à qual PC promoveu os menores valores de CE.

As relações da MOT em PC com os índices MS e PRO foram moderadamente fortes, com tendências positivas para a condição de cobertura PC (MOT-PC x MS-MO) (0,57) e (MOT-PC x PRO-MO) (0,59). Assim, é altamente provável que PC é facilmente mineralizada e disponibilizada ao solo na forma MOT, sendo também complementada pela água residuária e favorecendo uma elevação em MS e PRO.

De acordo com Stone (2013), a matéria orgânica explica fortemente a produtividade das culturas. Porém, Basso et al. (2011) não constataram correção da matéria orgânica total com a produtividade do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) em sistema de plantio direto, em sucessão ao cultivo da soja.

Considerando todas as correlações, a MOT explicou de forma satisfatória a produção de matéria seca e da produtividade apenas quando aplicado PC, enquanto à CE apresentou fortes correlações negativas com a MS e PRO.

CONCLUSÕES

Os rendimentos obtidos de produtividade do sorgo irrigado com água residuária são compatíveis aos rendimentos obtidos por irrigação com água de boa qualidade, relatados na literatura.

As elevações das lâminas de irrigação até 140% da ETc promovem aumentos lineares no desenvolvimento do sorgo, nos cortes 2 e 3.

O IAF foi positivamente influenciado pelo aumento das lâminas de irrigação, bem como pela aplicação de cobertura morta.

A aplicação de cobertura morta promove maior desenvolvimento do sorgo, podendo elevar sua produtividade em até 24% em relação à área sem aplicação da prática conservacionista.

O pó de coco apresentou elevado potencial para controlar a salinidade em áreas irrigadas com água residuária, ao mesmo tempo em que promoveu maior incorporação de matéria orgânica, incrementando assim a capacidade das plantas superarem os estresses ambientais.

Constatou-se forte influência da condutividade elétrica na redução da produtividade do sorgo.

A irrigação com água residuária em área com adequado sistema de manejo em três ciclos de cultivo do sorgo não resultou na salinização do solo, permanecendo com elevada capacidade produtiva e com resiliência.

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 (IBPG-1758-5.03/15), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) ao Instituto Agrônômico de Pernambuco-IPA, por apoiar esta pesquisa e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

REFERÊNCIAS

- ABD-ELWAHED, M. S. Influence of long-term wastewater irrigation on soil quality and its spatial distribution. **Annals of Agricultural Sciences**, v.63, p.191–199, 2018.
- ADHIKARI, P.; SHUKLA, M.K.; MEXAL, J.G. Spatial Variability of Electrical Conductivity of Desert Soil Irrigated with Treated Wastewater: Implications for Irrigation Management. **Applied and Environmental Soil Science**. V.2011, 2011.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES, G., LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711–728, dez. 2013.
- BASSO, F. C.; ANDREOTTI, M.; CARVALHO, M. P. LODO, B. N. Relações entre produtividade de sorgo forrageiro e atributos físicos e teor de matéria orgânica de um Latossolo do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.41, n.1, p.135-144, 2011.
- BORGES, T. K. DE S.; MONTENEGRO, A.A. A.; SANTOS, T. E. M., SILVA, D. D.; SILVA JUNIOR, E, V. P. Effect of conservation practices on soil moisture and maize (*Zea mays* L.) cropping in the semi-arid northeast of Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.6, p.1862–1873, dez. 2014.
- CARMO, D. L. DO; SILVA, C. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.4, p.1211–1220, 2012.
- CARVALHO, A. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; ASSIS, F.; TABOSA, J. N.; CAVALCANTI, R. Q.; ALMEIDA, T. A. Spatial dependence of attributes of rainfed maize under distinct soil

cover conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, n.1, p.33-39, 2019.

CARVALHO, A.A.; MONTENEGRO, A.A. A.; SILVA, H. P.; LOPES, I.; MORAIS, J. E. F.; SILVA, T. G. F. Trends of rainfall and temperature in Northeast Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.24, p.15–23. 2020.

CHAGANTI, V. N.; GANJEGUNTE, G.; NIU, G.; ULERY, A.; FLYNN, R.; ENCISO, J. M.; MEKI, M. M.; KINIRY, J. R. Effects of treated urban wastewater irrigation on bioenergy sorghum and soil quality. **Agricultural Water Management**, v. 228, 2020.

CHUKALLA, A. D.; KROL, M. S.; HOEKSTRA, A. Y. Marginal cost curves for water footprint reduction in irrigated agriculture: guiding a cost-effective reduction of crop water consumption to a permit or benchmark level. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.21, n.7, p.3507–3524, jul. 2017.

COELHO, D. S.; SIMÕES, W. L.; MENDES, A.; DANTAS, B. F.; RODRIGUES, J. A.; SOUZA, M. A. D. Germinação e crescimento inicial de variedades de sorgo forrageiro submetidas ao estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.1, p.25-30, 2014.

COSTA, E. J. B.; SOUZA, E. S.; JUNIOR, G. B.; NUNES FILHO, J. O. S.; LIMA, J. R. D. S.; TABOSA, J. N.; LEITE, M. L. D. M. V. Sorgo em sistema de vazante com e sem cobertura morta. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 14, n. 2, p. 182-195, 2015.

COSTA, J. P. N.; MEDEIROS, J. F.; NUNES, R. M. A.; CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; LIRA, J. F. B. Crescimento e produção da primeira rebrota de cultivares de sorgo sob diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.16, n.3, p.449–459, dez. 2017.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F. S.; SOUZA NETO, O. N.; QUEIROZ, I. S. R. **Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade**. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. 2.ed. Fortaleza: INCTSal, Cap.11, p. 151-162, 2016.

ELIAS, O. F. A. S.; LEITE, M. L. D. M. V.; AZEVEDO, J. M.; SILVA, J. P. S. S.; NASCIMENTO, G. F.; SIMPLÍCIO, J. B. Características agronômicas de cultivares de sorgo em sistema de plantio direto no semiárido de Pernambuco. **Revista Ciência Agrícola**, v.14, n.1, p.29-36, 2016.

- FLÖRKE, M., SCHNEIDER, C., MCDONALD, R.I. Water competition between cities and agriculture driven by climate change and urban growth. **Nature Sustainability**, v.1, p.51–58, 2018.
- HEATHMAN, G. C.; COSH, M. H.; HAN, E.; JAKEE, L.; MCAFEE, S. Field scale spatiotemporal analysis of surface soil moisture for evaluating point-scale in situ networks, **Geoderma**, v.170, p.195-205, 2012.
- GARDNER, W. R.; FIREMAN, M. Laboratory Studies of Evaporation from Soil Columns in the Presence of a Water Table. **Soil Science**, v.85, p.244–249, 1958.
- HENRIQUE, I. N.; SOUSA, J. T.; CEBALLOS, B. S. O.; BRASIL, D. P. Remoção biológica de fósforo em reatores em bateladas sequenciais com diferentes tempos de retenção de sólidos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 15, p. 197-204, 2010.
- IPA-Instituto Agronômico de Pernambuco. Sorgo Sudão: **Sudan 4202 – cultivar tolerante a salinidade e com aptidão para feno**. Recife, [s.d.]. Folder. 2007.
- JUSTI, A. L.; VILAS BOAS, M. A.; SAMPAIO, S. C. Índice de capacidade do processo na avaliação da irrigação por aspersão. **Engenharia Agrícola**, v.30, p.264-270, 2010.
- KIRCHNER, J.H.; ROBAINA, A.D.; PEITER, M.X.; MEZZOMO, W.; TORRES, R.R.; GIRARDI, L.B.; PIMENTA, B.D.; ROSSO, R.B.; PEREIRA, A.C.; LOREGIAN, M.V. Variation of leaf area index of the forage sorghum under different irrigation depths in dynamic of cuts. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 2, p. 111-124, 2017.
- KURAPARTHY, V.; SOOD, S.; GILL, B. S. Genomic targeting and mapping of tiller inhibition gene (*tin3*) of wheat using ESTs and synteny with rice. **Funct Integr Genomics**, v.8, p.33–42, 2008.
- LOPEZ, J. R.; WINTER, J. M.; ELLIOTT, J.; RUANE, A. C.; PORTER, C.; HOOGENBOOM, G. Integrating growth stage deficit irrigation into a process based crop model. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.243, p.84–92, 2017.
- MANGIERI, V.L.; TAVARES FILHO, J.; MANGIERI, V.L.; TAVARES FILHO, J. Avaliação de matéria orgânica, densidade e porosidade do latossolo vermelho em contato com lixiviado de resíduos sólidos urbanos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.24, p.1251–1258, 2019.
- OLIVEIRA, V. P.; MARQUES, E. C.; DE LACERDA, C. F.; PRISCO, J. T.; GOMES FILHO, E. Physiological and biochemical characteristics of Sorghum bicolor and Sorghum sudanense

subjected to salt stress in two stages of development. **African Journal of Agricultural Research**, v. 8, n. 8, p. 660-670, 2013.

PADILLA, F. L. M.; MAAS, S. J.; GONZÁLEZ-DUGO, M. P.; MANSILLA, F.; RAJAN, N.; GAVILÁN, P.; DOMÍNGUEZ, J. Monitoring regional wheat yield in Southern Spain using the GRAMI model and satellite imagery. **Field Crops Research**, v.130, p.145–154, mar. 2012.

QIAN, X.; GU, J.; PAN, H.; ZHANG, K.; SUN, W.; WANG, X.; GAO, H. Effects of living mulches on the soil nutrient contents, enzyme activities, and bacterial community diversities of apple orchard soils. **European Journal of Soil Biology**, v.70, p.23–30, 2015.

R Core Team (2018). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

REZA, A.; SHIM, S.; KIM, S.; AHMED, N.; WON, S.; RA, C. Nutrient Leaching Loss of Pre-Treated Struvite and Its Application in Sudan Grass Cultivation as an Eco-Friendly and Sustainable Fertilizer Source. **Sustainability**, v.11, 2019.

SANTOS, C. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, M. A.; PEDROSA, E. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da Moringa oleifera no semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, n.12, p.840–845, dez. 2017.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA JR., V. P.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Erosão hídrica e perda de carbono orgânico em diferentes tipos de cobertura do solo no semiárido, em condições de chuva simulada. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 13, n. 2, p. 29-34, 2008.

SCHNEIDER, J.R.; CARON, B.O.; ELLI, E.F.; SCHWERZ, F.; ENGROFF, T.D.; SCHNEIDER, J.R.; CARON, B.O.; ELLI, E.F.; SCHWERZ, F.; ENGROFF, T. D. Solar radiation use efficiency and gross protein of sorghum forage are modified by the cutting management. **Ciência Animal Brasileira**, v.20, p.1-13, 2019.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA, 1999. 370p.

SILVA, G.; JERÔNIMO, C. E. Estudo de alternativas para o aproveitamento de resíduos sólidos da industrialização do coco. **Revista Monografias Ambientais**, v.10, p.2193–2208, 2012.

SOUSA, G. G.; LACERDA, C. F.; CAVALCANTE, L. F.; GUIMARÃES, F. V.; BEZERRA, M. E. D. J.; SILVA, G. L. Nutrição mineral e extração de nutrientes de planta de milho irrigada

com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 14, n. 11, 2010.

SOUSA, P. G. R.; ARAÚJO VIANA, T. V.; CARVALHO, C. M.; SOUSA, A. M.; MENEZES COSTA, C. P.; AZEVEDO, B. M. Efeito de diferentes lâminas de irrigação e cobertura do solo no crescimento da cultura do sorgo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.11, n.4, p.1528 - 1537, 2017.

STONE, L.F.; FERREIRA, E.P. B.; DIDONET, A.D.; HEINEMANN, A.B.; OLIVEIRA, J.P. Correlação entre a produtividade do feijoeiro no sistema de produção orgânica e atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.19–25, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2013. 954p.

THOUMAZEAU, A.; BESSOU, C.; RENEVIER, M.-S.; TRAP, J.; MARICHAL, R.; MARESCHAL, L.; DECAËNS, T.; BOTTINELLI, N.; JAILLARD, B.; CHEVALLIER, T.; SUVANNANG, N.; SAJJAPHAN, K.; THALER, P.; GAY, F.; Brauman, A. Biofunctool®: a new framework to assess the impact of land management on soil quality. Part A: concept and validation of the set of indicators. **Ecological Indicators**, v.97, p.100–110, 2019.

URRA, J.; ALKORTA, I.; MIJANGOS, I.; EPELDE, L.; GARBISU, C. Application of sewage sludge to agricultural soil increases the abundance of antibiotic resistance genes without altering the composition of prokaryotic communities. **Science of the Total Environment**, n.647, p.1410–1420, 2019.

YANG, H.; Liu, H.; ZHENG, J.; HUANG, Q. Effects of regulated deficit irrigation on yield and water productivity of chili pepper (*Capsicum annuum* L.) in the arid environment of Northwest China. **Irrigation Science**, v.36, n.1, p.61–74, 2018.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, n.13, p.1467–1476, out. 1988.

CAPÍTULO V

VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DO SORGO IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA NA PRESENÇA E AUSÊNCIA DE COBERTURA MORTA

RESUMO

A utilização de água residuária para agricultura irrigada está ganhando aceitação, representando uma opção agronômica e ambientalmente viável. O objetivo deste trabalho foi avaliar a dependência espacial e temporal das variáveis produtivas do sorgo, da umidade e da condutividade elétrica do solo em área irrigada com água residuária, na presença e ausência de cobertura morta. O estudo foi realizado na Estação Experimental de Tratamento e Reuso de Esgoto Doméstico, Município de Pesqueira, Estado de Pernambuco, Região Nordeste do Brasil. Realizou-se análise biométrica da altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC), número de perfilhos (NP) biomassa seca (MS), índice de área foliar (IAF) e produtividade (PRO) do sorgo no quarto e quinto corte. No solo foram realizadas leituras de umidade e da condutividade elétrica nas profundidades de 0,2 e 0,4 m, nas áreas com e sem aplicação (SD) da cobertura morta (PC). Realizou-se teste de normalidade, estatística descritiva e posterior análise geoestatística. Para análise da preservação da correlação espacial entre atributos da planta e do solo foi utilizada a matriz de correlação de Spearman. A cobertura morta promoveu maior desenvolvimento do sorgo no quinto corte, quando o regime pluviométrico foi mais irregular, favorecendo as plantas em PC, com elevação de 20,9, 46,2 e 29,1% em AP, MS e IAF, respectivamente em relação às de SD. Constatou-se adequados ajustes para os semivariogramas nos dois cortes. A preservação da correlação entre as variáveis foi constatada entre NP x PRO, em PC (0,66 e 0,89) e SD (0,75 e 0,93), no quarto e quinto corte do sorgo, respectivamente. Para a umidade do solo, constatou-se preservação da correlação apenas no cultivo em PC para $\theta_{0,2\text{ m}} \times \theta_{0,4\text{ m}}$, com correlações de 0,64 e 0,66 no quarto e quinto corte, nesta ordem. Esta preservação da correlação também foi evidenciada nos mapas de isolinhas. A cobertura morta resultou no aumento de correlações entre variáveis, em relação à área sem aplicação da prática conservacionista. A aplicação da cobertura morta no cultivo do sorgo irrigado é altamente recomendada, uma vez que promove a preservação da correlação espacial e temporal entre as variáveis de crescimento do sorgo e do solo.

Palavras-Chave: Geoestatística, reuso de água, *Sorghum sudanense*

SPACE-TEMPORAL VARIABILITY OF IRRIGATED SORGHUM WITH RESIDUARY WATER IN THE PRESENCE AND ABSENCE OF MULCH COVER

ABSTRACT

The use of wastewater for irrigated agriculture is gaining wide acceptance, representing an agronomic and economically feasible option. The objective of this study was to evaluate the spatial and temporal dependence of the productive variable of sorghum, soil moisture and electrical conductivity in irrigated area with wastewater in the presence and absence of mulch. The study was carried out at the Experimental Station for Treatment and Reuse of Domestic Sewage, Pesqueira Municipality, State of Pernambuco, Northeast Region Brazil. Biometric analysis of plant height (AP), stalk diameter (DC), number of tillers (NP), dry biomass (MS), leaf area index (IAF) and productivity (PRO) of sorghum were performed for the fourth and fifth cut. Soil moisture and electrical conductivity readings were performed at depths of 0.2 and 0.4 m, in areas with (PC) and without (SD) mulch application. Normality test, descriptive statistics and subsequent geostatistical analysis were performed. Spearman's correlation matrix was used to analyze the preservation of the spatial correlation between plant and soil attributes. The mulch promoted higher sorghum development for the fifth cut, when the rainfall regime was more irregular, favouring the plants in PC, with elevation of 20.9, 46.2 and 29.1% in AP, MS and IAF, respectively in relation to SD. Good adjustments were found for the semivariograms for the two cuts. The preservation of the correlation between variables was found between NP x PRO, in PC (0.66 and 0.89) and SD (0.75 and 0.93), in the fourth and fifth cut of sorghum, respectively. For soil moisture, it was found that the correlation was preserved only in PC cultivation for $\theta_{0.2\text{ m}} \times \theta_{0.4\text{ m}}$, with correlations of 0.64 and 0.66 in the fourth and fifth cut, in this order. This preservation of the correlation was also evidenced for the isoline maps. This preservation of the correlation was also evidenced in the isoline maps. Mulch application resulted in a higher number of moderately and highly strong correlations, in relation to the area without application of conservation practice. Hence mulch for the cultivation of irrigated sorghum is highly recommended, since it promotes the preservation of the spatial and temporal correlation among the growth variables of sorghum and soil parameters.

Key words: Geostatistics, water reuse, *Sorghum sudanense*

INTRODUÇÃO

A utilização de água residuária tratada para agricultura irrigada está ganhando ampla aceitação em muitas partes do mundo (GATTA et al., 2015), representando uma opção agrônômica e ambientalmente viável principalmente em regiões áridas e semiáridas que possuem elevada demanda hídrica para irrigação (BECERRA-CASTRO et al., 2015), diminuindo os custos em captação de água, preservando as fontes estabelecidas e reduzindo o uso de fertilizantes (NORTON-BRANDÃO et al., 2013).

A irregularidade da precipitação no semiárido brasileiro aliado à necessidade de aumentar a produção de forragem, intensifica a busca de práticas alternativas de cultivo, com destaque para o reuso de águas residuárias (LIRA et al., 2015), bem como o uso de plantas que se adaptem à irrigação com águas residuárias domésticas (CHAGANTI et al., 2020).

Das culturas forrageiras propícias para cultivo com água residuária, o sorgo forrageiro vem ganhando destaque, apresentando moderada tolerância à salinidade, elevada eficiência no uso da água, produção de matéria seca e proteína bruta, resultando em excelente viabilidade agropecuária (CAMPI et al., 2016; CARVALHO et al., 2020b; CHAGANTI et al., 2020).

Entretanto, para avaliar a viabilidade do agroecossistema ao cultivo, o monitoramento e entendimento da dinâmica espaço-temporal do crescimento, da produção agrícola e suas relações com a umidade e salinidade do solo, são essenciais para um gerenciamento adequado das áreas irrigadas com águas residuárias (ADHIKARI et al., 2011; BECERRA-CASTRO et al., 2015; CHAGANTI et al., 2020).

Uma das práticas que proporciona viabilidade na produção dos cultivos agrícolas é a adoção da cobertura morta, possibilitando maior permanência e melhor distribuição da água no solo (MONTENEGRO et al., 2013). Além disso, esta prática mostra-se também eficiente incremento da dependência espacial, como constatado por Carvalho et al. (2019) em estudo da variabilidade espacial do cultivo de milho em sequeiro no semiárido, comparando a presença e ausência de cobertura morta.

Em atividades agrícolas, apesar da variabilidade na dinâmica do crescimento dos cultivos e do solo, existe elevada correlação entre estes atributos, sendo importante a manutenção da continuidade desta correlação ao longo do tempo e do espaço (SOUZA et al., 2011), caracterizando maior capacidade de resiliência agrícola da área de cultivo.

O comportamento da variabilidade espacial dos atributos do solo e das plantas em áreas irrigadas com água de boa qualidade, vem sendo avaliado (VIAN et al., 2016; ARAÚJO et al.,

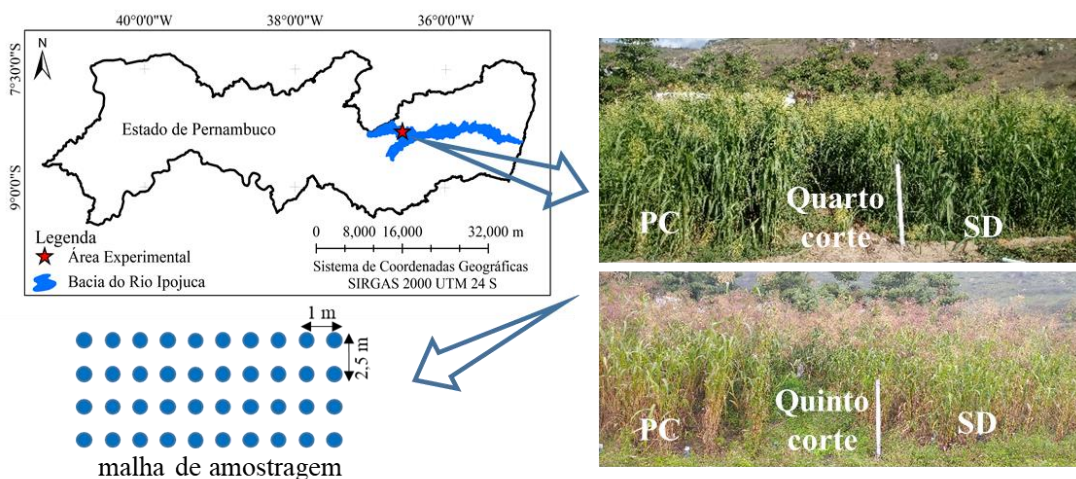
2019). Porém, existe a carência de estudos voltados para análise do comportamento da variabilidade espacial da produção agrícola e de fatores do solo em área irrigada com água residuária, associando práticas conservacionistas.

Desta forma, objetivou-se com esse trabalho avaliar a dependência espacial e temporal das variáveis produtivas do sorgo, da umidade e da condutividade elétrica do solo em área irrigada com água residuária na presença e ausência de cobertura morta.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na estação experimental de tratamento e reuso de esgoto doméstico, localizada no Município de Pesqueira, Pernambuco. A área está situada próxima à nascente do Rio Ipojuca (um dos mais poluídos do estado), e foi cultivado o sorgo forrageiro em parcela com cobertura morta (PC) e outra o solo descoberto (SD), sem a aplicação da cobertura morta (Figura 1). O clima da região é classificado como Bsh, semiárido quente, de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013).

Figura 1 - Mapa da localização geográfica da Estação Experimental de Tratamento e Reuso de Esgoto Doméstico, inserida na Bacia do Rio Ipojuca, no Município de Pesqueira, PE; produção de sorgo, na parcela com cobertura e sem cobertura; malha experimental.



As parcelas experimentais possuíam dimensões de 10 x 10 m, e a malha de amostragem foi regular, sendo coletada uma amostra da planta e do solo em 40 pontos com espaçamento entre linhas de 1 m e entre plantas de 2,5 m (Figura 1).

O solo da área experimental é classificado como Planossolo Háplico Sáfico Sódico Hipereutrófico de textura predominantemente areia franca, conforme EMBRAPA (2011), com teor de areia de 85,59%, 10,77% de argila e 3,64% de silte para a camada 0-0,2 m de solo; e com 84,25% de areia, 12,77% de argila e 2,98% de silte para a camada 0,2-0,4 m. Em análise química do solo, constatou-se: pH de 8,1; fósforo (P) com 295 ppm; cálcio (Ca) e magnésio (Mg) $> 5 \text{ cmolc dm}^{-3}$; potássio (K) $0,9 \text{ cmolc dm}^{-3}$; sódio (Na) $0,64 \text{ cmolc dm}^{-3}$; ausência de alumínio e saturação por base (V%) $> 90\%$.

A água residuária tratada utilizada na irrigação foi proveniente das lagoas de polimento da estação, após passar pelos reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB). A sua característica é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros químicos da água residuária tratada utilizada durante os cultivos.

Parâmetro (Unidade)	Concentração
pH	8,3
Sólidos totais dissolvidos (mg L^{-1})	2869
Ferro Total (mg L^{-1})	$< 0,01$
Manganês Total (mg L^{-1})	0,05
Fósforo Total (mg L^{-1})	2
Nitrogênio Total (mg L^{-1})	23,6
Ca^{2+} (mmol L^{-1})	1,72
Mg^{2+} (mmol L^{-1})	4,19
Na^{2+} (mmol L^{-1})	34,02
K^{+} (mmol L^{-1})	2,19
Cl^{-} (mmol L^{-1})	26,79
SO_4^{-} (mmol L^{-1})	2,16
NO_3^{-} (mmol L^{-1})	0,68
CO_3^{2-} (mmol L^{-1})	2
HCO_3^{-} (mmol L^{-1})	10,61
CE (dS m^{-1})	3,41

As irrigações eram realizadas nas segundas, quartas e sextas- feira, através de sistema de gotejo (Xique-Xique), com eficiência de aplicação de 90%, conforme Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) (JUSTI et al., 2010).

A Evapotranspiração de Referência (ET_o) foi determinada com base no Método de Penman-Monteith (FAO-56), utilizando as variáveis agrometeorológicas registradas na estação automática existente, fabricada pela Onset (Modelo – EAC-U30-900).

Os coeficientes de cultivo (K_c) utilizados para determinar a ET_c (ET_c = ET_o * K_c) baseou-se na fase fenológica: fase I - Semeadura e estabelecimento (0,4); fase II - crescimento

vegetativo (1,1); fase III - floração e formação da produção (1,00); e fase IV - maturação (0,7) (COSTA et al., 2017). As irrigações foram realizadas adotando-se um turno de rega de 2 dias.

O sorgo forrageiro avaliado foi o SUDAN 4202 (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf), que possui boa adaptação ao clima semiárido, principalmente pela sua precocidade e tolerância à salinidade (até 10 dS m⁻¹) (IPA, 2007).

Foi avaliado o quarto (70 dias) e o quinto (118 dias) corte do sorgo, sendo as variáveis biométricas analisadas: número de folhas (NF), altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC), número de perfilho (NP), índice de área foliar (IAF), biomassa seca (MS) e produtividade (PRO). A produtividade baseou-se nas avaliações de NP, MS e número de plantas por metro linear para as áreas.

A determinação da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e a estimativa do índice de área foliar (IAF) foram realizadas com o auxílio de um ceptômetro modelo Accupar LP- 80. As medidas foram efetuadas em três locais dentro de cada parcela, entre às 11 e 14 h, mediante céu claro sob o dossel do sorgo (PADILLA et al., 2012).

A umidade do solo foi determinada utilizando uma sonda de nêutrons, modelo 503 DR HYDROPROBE®. A instalação dos tubos de acesso permitiu leituras a 0,2 m ($\theta_{0,2m}$) e 0,4 m ($\theta_{0,4m}$) de profundidade. Coletou-se amostras de solo em 20 pontos para avaliação da umidade com base no método gravimétrico (EMBRAPA, 2011). Simultaneamente às coletas de solo, foram realizadas leituras com a sonda de nêutrons para a construção da equação de calibração, após a obtenção da umidade a base de massa, conforme realizado por Souza et al. (2011), obtendo-se assim a equação calibrada para cada profundidade:

$$\theta = 0,0086 + 0,361 * CN (0,2 \text{ m})$$

$$\theta = 0,0148 + 0,363 * CN (0,4 \text{ m})$$

em que θ representa a umidade do solo (g g⁻¹) e CN é a contagem relativa de nêutrons. O coeficiente de determinação encontrado para a calibração foi de 0,91 e 0,88, para a profundidade 0,2 m e 0,4 m, respectivamente.

A condutividade elétrica (CE em dS m⁻¹) do solo foi obtida através da leitura da solução do solo (EMBRAPA, 2011).

Realizou-se análise de estatística descritiva clássica, verificando médias centrais (médias e medianas), dispersão (quartis, desvio padrão e coeficiente de variação-CV), a presença de valores discrepantes e extremos, por Box-plots, como também teste F ao nível de

1 e 5% de probabilidade, para todas as variáveis. Os valores discrepantes foram filtrados segundo o critério de Hoaglin et al. (1992).

O coeficiente de variação (CV) foi classificado de acordo com o critério de Warrick e Nielsen (1980), o qual considera baixo ($CV < 12\%$), médio ($12 \leq CV \leq 60\%$) e alto ($CV > 60\%$) o grau de variabilidade.

Avaliou-se a normalidade dos dados por meio do teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov (KS).

Para análise geoestatística adotou-se o estimador estatístico clássico de semivariância, conforme utilizado por Montenegro e Montenegro (2006). Após a obtenção das semivariâncias, foram testados os ajustes aos modelos, gaussiano (Gaus), esférico (Esf) e exponencial (Exp), sendo escolhido aquele que melhor ajustou-se aos valores experimentais de acordo com a validação cruzada, produzindo erros normalizados próximos de zero e desvio-padrão normalizado próximo de 1 (um), segundo o critério de Jack-Knifing (VIEIRA et al., 2010). Na ausência de dependência espacial, ou seja, quando não foi possível um ajuste aos modelos descritos anteriormente, tem-se o efeito pepita puro (EPP).

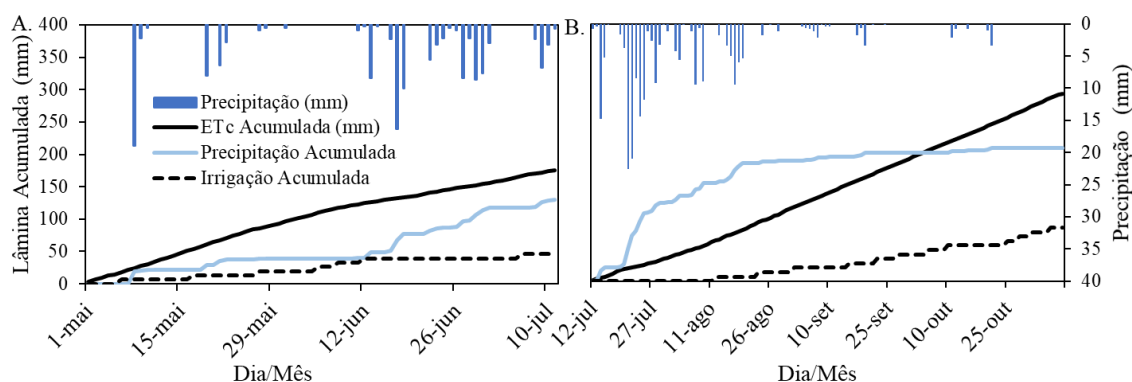
O grau de dependência espacial (GD) foi calculado de acordo com Zimback (2001), como a razão entre o efeito pepita e o patamar dos semivariogramas teóricos. Este critério estabelece uma fraca dependência quando uma determinada razão é inferior a 25%, moderada para uma razão entre 25 e 75%, e forte quando a razão é superior a 75%.

Avaliou-se a existência de correlação entre os dados mediante o teste não paramétrico de Spearman. Os valores de coeficientes de Spearman próximos de 1 ou -1, indicam forte dependência ou alta correlação, enquanto próximos de 0, sugerem instabilidade ou fraca dependência (HEATHMAN et al., 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

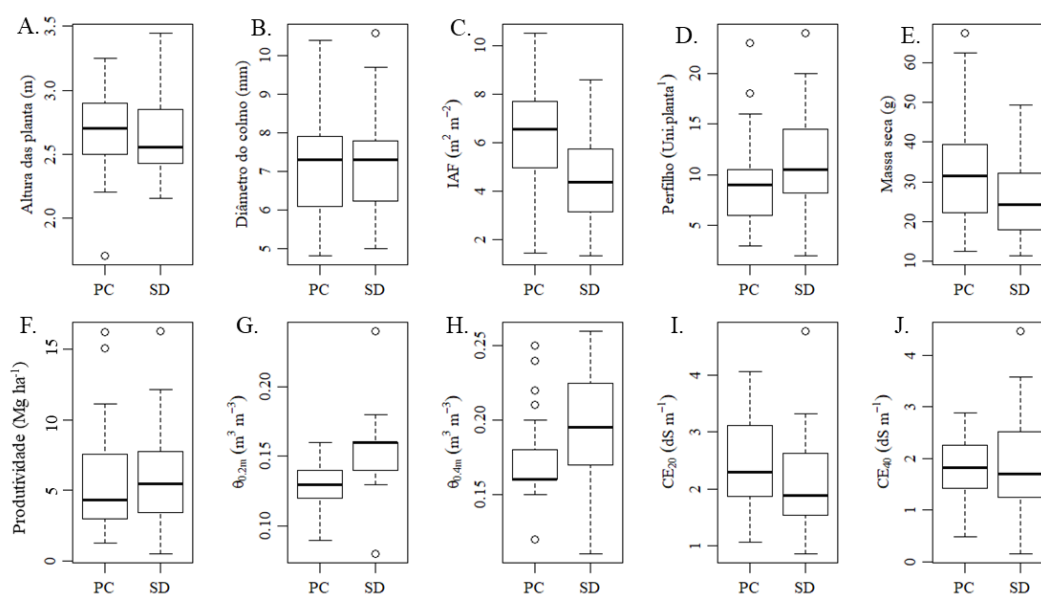
Em relação às condições locais de clima semiárido, a precipitação apresentou regular distribuição durante o cultivo do sorgo no quarto e quinto corte. O total precipitado foi de 129,4 e 207,6 mm, com máxima precipitação diária de 18,6 e 22,6 mm, para os cortes 4 e 5, respectivamente. A ETc acumulada foi de 175,0 e 290,7 mm, com máxima de 5.0 e 5.9 mm, e a lâmina complementar aplicada foi de 45.6 e 83,1 mm para as cortes 4 e 5 (Figuras 2A e 2B), respectivamente.

Figura 2 - Evapotranspiração potencial (ET_o), irrigação e precipitação acumulada e diária durante o experimento em Pesqueira, PE. (A) Quarto ciclo; (B) Quinto ciclo.



Constatou-se diminuição nos valores centrais na altura da planta em SD (Figura 3A) e na produtividade em PC (Figura 3F) e na $\theta_{0,4\text{ m}}$ em PC (Figura 3H). Observa-se claramente um aumento nos valores (tendências) centrais (linha horizontal dentro da caixa do Box-plot) no diâmetro do colmo (Figura 3B), no número de perfilho em PC (Figura 3D). Forte assimetria foi constatada na distribuição de umidade, para SD a 0,2 m ($\theta_{0,2\text{ m}}$) (Figura 3G) e PC em 0,4 m ($\theta_{0,4\text{ m}}$) (Figura 3H).

Figura 3 - Box-Plot da altura da planta (A), diâmetro do colmo (B), IAF (C), número de perfilhos (D), massa seca (E), produtividade (F), umidade do solo a 0,2 m (G) e a 0,4 m (H), condutividade elétrica a 0,2 m (I) e a 0,4 m (J) para as áreas com (PC) e sem (SD) cobertura morta, no quarto corte do sorgo.



Em relação aos valores extremos “outliers”, ou seja, que divergem dos demais dentro do conjunto de dados, constatou-se em maior número na umidade do solo em PC ($\theta_{0,4\text{ m}}$) (Figura 3H).

O menor conteúdo de água em PC nas duas camadas do solo neste corte do sorgo, muito provavelmente deve estar associado à elevada retenção de água pela cobertura morta em situação de baixos índices de precipitação, como apresentado durante o período final ao cultivo, próximo às análises de biometria e umidade do solo.

A umidade do solo foi mais elevada em SD no quinto corte (Figura 4G e 4H). Este efeito está associado ao maior consumo da umidade pelo sorgo ocorrido nas parcelas PC, demonstrados em altura da planta (Figura 4A) e IAF (Figura 4C) que foram maiores em PC, bem como pela não interceptação da precipitação pela cobertura morta. Este comportamento da retenção da precipitação pela cobertura morta foi constatado por Lyra et al. (2010) e Araújo et al. (2019), que também ressaltam para o papel do dossel da planta na retenção de parte da precipitação. Desta forma, quanto maior o IAF, maior a possibilidade de interceptação, corroborando também com os resultados obtidos neste experimento, em que, o IAF em PC foi mais elevado (Figura 3C) e (Figura 4C). Estes resultados são de elevados interesses práticos, uma vez que comprovam que a cobertura morta favorece a uma maior retenção de água e resulta em maior desenvolvimento vegetativo do sorgo.

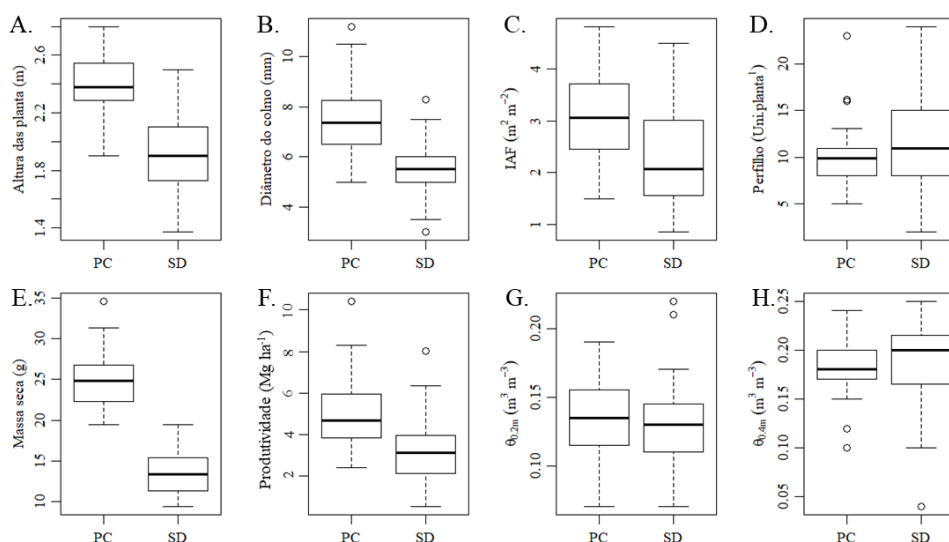
De acordo com Lyra et al. (2010), a cobertura morta em situação de chuva intensa promove melhor distribuição da água no solo, favorecendo a infiltração, a redução do escoamento superficial e a permanência da umidade, porém, quando a chuva é menos intensa, a infiltração pode diminuir devido à interceptação pela cobertura morta. Além disso, de acordo com Montenegro et al. (2013), a cobertura morta promove menor variação na temperatura do solo, bem como não resulta em elevada diminuição em sua magnitude, comparado ao solo sem a cobertura, principalmente quando ocorre irrigação.

A CE (Figura 3G) apresentou valores superiores em PC a 0,2 m de profundidade. Este efeito fortemente está associado às chuvas com baixa intensidade durante o experimento, sendo elas interceptadas pela cobertura morta, diminuindo a lixiviação dos sais para as camadas mais profundas.

No quarto corte do sorgo, os valores nas duas condições de uso do solo (PC e SD) apresentam distribuições semelhantes, com regular variabilidade.

Para o quinto corte do sorgo, observam-se variações semelhantes na distribuição dos valores dentro das caixas dos Box-plot, porém no comportamento entre as variáveis da planta, as de PC sobressaíram as de SD (Figuras 4A, 4B, 4C, 4E e 4F).

Figura 4 - Box-Plot da altura da planta (A), diâmetro do colmo (B), IAF (C), número de perfilhos (D), massa seca (E), produtividade (F), umidade do solo a 0,2 m (G) e a 0,4 m (H), para as áreas com (PC) e sem (SD) cobertura morta, no quinto corte do sorgo.



A variável altura da planta (Figura 4A), diâmetro do colmo (Figura 4B), massa seca (Figura 4E) e produtividade (Figura 4F) em PC, apresentaram maiores medianas em relação à SD.

A umidade do solo a 0,2 m ($\theta_{0,2m}$) apresentou maiores valores de mediana em PC (Figura 4G). Desta forma, a cobertura morta contribuiu para a permanência da umidade do solo, favorecendo o desenvolvimento das plantas. Resultados semelhantes foram constatados por Carvalho et al. (2019), trabalhando com cultivo do milho em sequeiro no Agreste de Pernambuco.

A estatística clássica não apresentou diferença significativa entre as variáveis da planta para o quarto corte do sorgo (Tabela 2). Este efeito está também associado à regularidade da precipitação ocorrida durante o ciclo, promovendo adequada disponibilidade hídrica para as plantas em PC e SD.

Tabela 2. Estatística descritiva das características da planta (AP, DC, NP, MS, IAF e PRO), da umidade do solo ($\theta_{0,2\text{ m}}$, $\theta_{0,4\text{ m}}$) e da condutividade elétrica ($CE_{0,2\text{ m}}$ e $CE_{0,4\text{ m}}$) na parcela com cobertura (PC) e solo descoberto (SD), para o quarto e quinto cortes.

		Quarto corte									
Tratamentos		AP	DC	NP	IAF	MS	PRO	$\theta_{0,2\text{ m}}$	$\theta_{0,4\text{ m}}$	$CE_{0,2\text{ m}}$	$CE_{0,4\text{ m}}$
Média	PC	2,68 ^{ns}	7,17 ^{ns}	9,28 ^{ns}	6,4 ^{ns}	31,8 ^{ns}	5,82 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,17*	2,43 ^{ns}	1,83 ^{ns}
	SD	2,63	7,23	11,61	4,45	25,59	5,92	0,15	0,19	2,07	1,95
CV(%)	PC	11,58	17,32	45,2	32,27	41,05	60,47	11,99	14,34	31,38	31,87
	SD	11,84	18,79	44,47	40,03	37,35	55,95	14,56	17,03	39,11	46,68
		Quinto corte									
Média	PC	2,39*	7,52 ^{ns}	10,03 ^{ns}	3,09*	24,91*	4,93 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,19*		
	SD	1,89	5,46	12,05	2,29	13,39	3,25	0,13	0,18		
CV(%)	PC	8,42	18,78	26,24	29,15	13,32	31,96	26,24	22,57		
	SD	13,46	21,66	19,95	38,42	18,89	45,97	19,95	15,97		

Altura da planta (AP, m), diâmetro do colmo (DC, mm), número de perfilhos (NP, Um. Planta⁻¹), índice de área foliar (IAF, m² m⁻²), massa verde (MS, g), produtividade (PRO, Mg ha⁻¹), umidade do solo a 0,2 m ($\theta_{0,2\text{ m}}$, m³ m⁻³) e a 0,4 m ($\theta_{0,4\text{ m}}$, m³ m⁻³) e condutividade elétrica a 0,2 m ($CE_{0,2\text{ m}}$, dS m⁻¹) e a 0,4 m ($CE_{0,4\text{ m}}$, dS m⁻¹). * representa a significância a 5% de probabilidade; ns - não significativo pelo teste F

No quinto corte, as plantas em PC sobressaíram em 20,9 e 46,2% em AP e MS em relação as de SD, respectivamente. Além disso, o sorgo em PC apresentou IAF 29,1% superior em relação à área SD. Estes resultados corroboram com a afirmativa de Meki et al. (2017), em que o IAF representa uma importante variável de crescimento vegetal, e quanto mais elevados são os valores, maior tendência em acumulação de biomassa.

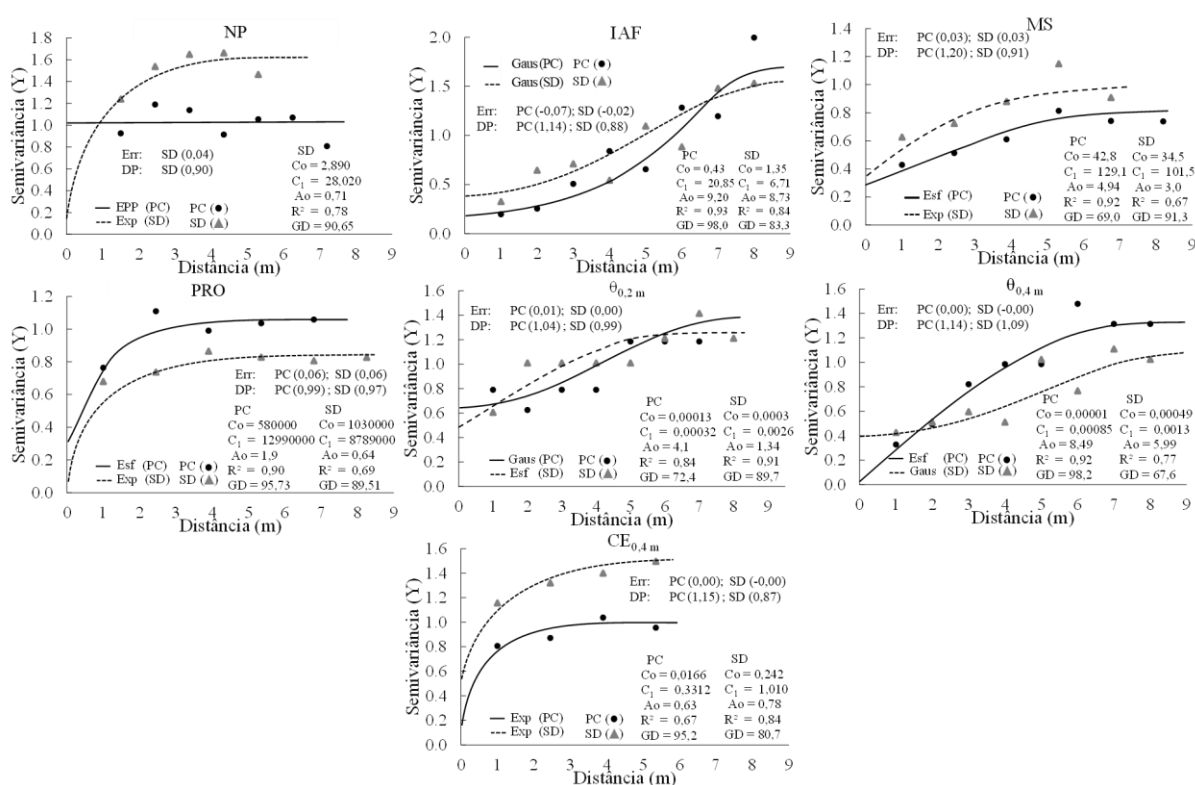
A umidade do solo para o quinto corte, apresentou diferença significativa apenas para 0,4 m de profundidade, com PC superior à SD. Neste contexto, PC além de suprir melhor as plantas, promoveu maior permanência da umidade do solo. Lima et al. (2015) ressaltam que a utilização de cobertura morta sobre o solo é uma prática conservacionista essencial na manutenção da umidade, principalmente no semiárido brasileiro, sendo fundamental para elevação da produção em condições de cultivos de sequeiros ou irrigados (MONTENEGRO et al., 2013; CARVALHO et al., 2019).

O CV para as variáveis da planta e do solo foram classificados entre baixa e média variabilidade, de acordo com Warrick e Nielsen (1980).

Na Figura 5 são apresentados os semivariogramas com os ajustes para AP, DC, NP, IAF, MS, PRO, $\theta_{0,2\text{ m}}$, $\theta_{0,4\text{ m}}$, $CE_{0,2\text{ m}}$ e $CE_{0,4\text{ m}}$, bem como o grau de dependência espacial

(GD), o erro (Err) e o desvio-padrão (DP) normalizado para PC e SD, no quarto corte do sorgo.

Figura 5 - Semivariogramas escalonados da altura das plantas (AP), diâmetro do colmo (DC), números de perfilhos (NP), massa seca (MS), produtividade (PRO), índice de área foliar (IAF), umidade do solo a 0,2 m ($\theta_{0,2\text{ m}}$) e a 0,4 m ($\theta_{0,4\text{ m}}$), condutividade elétrica (CE) a 0,2 m ($CE_{0,2\text{ m}}$) e a 0,4 m ($CE_{0,4\text{ m}}$) no solo, para as áreas com (PC) e sem (SD) cobertura morta, no quarto corte do sorgo.



Os semivariogramas ajustados em PC para IAF, MS, PRO, $\theta_{0,2\text{ m}}$, $\theta_{0,4\text{ m}}$ e $CE_{0,4\text{ m}}$, apresentam dependência espacial nas informações biométricas e de solo, com alcances (Ao) de 9,20, 4,94, 1,9, 4,10, 8,49, e 0,63, e R^2 de 0,93, 0,92, 0,90, 0,84, 0,92, e 0,67, respectivamente. Já em relação à SD, os ajustes foram para NP, IAF, MS, PRO, $\theta_{0,2\text{ m}}$, $\theta_{0,4\text{ m}}$ e $CE_{0,4\text{ m}}$, com alcances (Ao) de 0,71, 8,73, 3,0, 0,64, 1,34, 5,99 e 0,78 e R^2 de 0,78, 0,84, 0,67, 0,69, 0,91, 0,77 e 0,84, respectivamente.

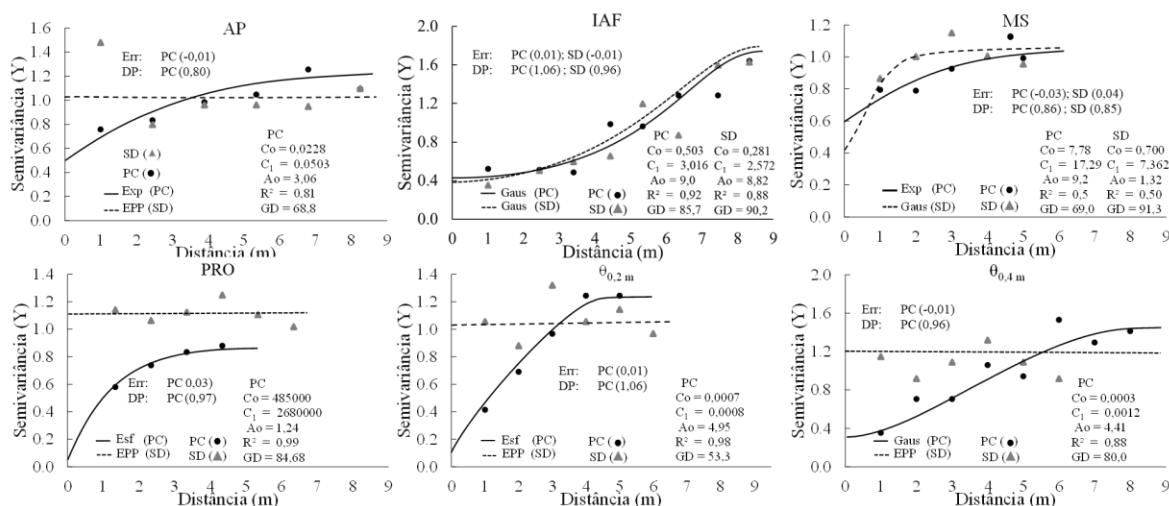
Constatou-se efeito pepita puro (EPP) para AP, DC e CE $_{0,2\text{ m}}$ em PC e SD, e em NP no tratamento PC. As demais variáveis possibilitaram ajustes dos semivariogramas e a validação de acordo com o critério de Jack-Knifing.

Pode-se verificar que a cobertura morta incrementou o comprimento de correlação espacial para a umidade do solo, para as profundidades de 20 e 40 cm, obtendo-se semivariogramas com maiores alcances na presença de cobertura morta, portanto, suavizando-se a variabilidade espacial no quarto corte. Adicionalmente, a cobertura morta reduziu a variabilidade de pequena escala, a qual é representada pelo efeito pepita C_0 , na profundidade de 40 cm.

As malhas experimentais adotadas possibilitaram estimativas adequadas das semivariâncias, com número de pares mínimos de 36 e máximos de 166, para as distâncias de separação de 1 e 9 m, respectivamente. Os números de pares apresentam-se adequados conforme Montenegro e Montenegro (2006), com mínimos de 30 pares de pontos.

Na Figura 6 são ilustrados os semivariogramas com os ajustes para AP, DC, NP, IAF, MS, PRO, $\theta_{0,2\text{ m}}$ e $\theta_{0,4\text{ m}}$, o grau de dependência espacial (GD), o erro (Err) e o desvio-padrão (DP) normalizado para PC e SD, no quinto corte do sorgo.

Figura 6 - Semivariogramas escalonados da altura das plantas (AP), diâmetro do colmo (DC), número de perfilhos (NP), massa seca (MS), produtividade (PRO), índice de área foliar (IAF), umidade do solo a 0,2 m ($\theta_{0,2\text{ m}}$) e a 0,4 m ($\theta_{0,4\text{ m}}$) para as áreas com (PC) e sem (SD) cobertura morta no quinto corte do sorgo.



Os semivariogramas ajustados em PC para AP, IAF, MS, PRO, $\theta_{0,2\text{ m}}$ e $\theta_{0,4\text{ m}}$, apresentaram dependência espacial, proporcionando alcances (A_0) de 3,06, 9,0, 9,2, 1,24, 4,95, e 4,41, e R^2 de 0,81, 0,92, 0,5, 0,99, 0,98, e 0,88, respectivamente. Já em relação à SD, os ajustes foram para IAF e MS, promovendo alcances A_0 de 8,82 e 1,32 e R^2 de 0,88 e 0,5, respectivamente.

O grau de dependência espacial (GD) das variáveis da planta e do solo foram classificados de moderado a forte nos dois cortes (Figura 5 e 6). Porém, nitidamente observa-se redução na dependência espacial em relação à SD no quinto corte, constatado pela presença de EPP em NP, MS, PRO, $\theta_{0,2\text{ m}}$, $\theta_{0,4\text{ m}}$, sendo que no quarto corte estas variáveis possibilitaram ajustes. Em relação a PC, a dependência espacial foi mantida no quinto corte. Carvalho et al. (2019), avaliando a dependência espacial do milho, constataram que a cobertura morta promove maior padrão de uniformidade no desenvolvimento das plantas.

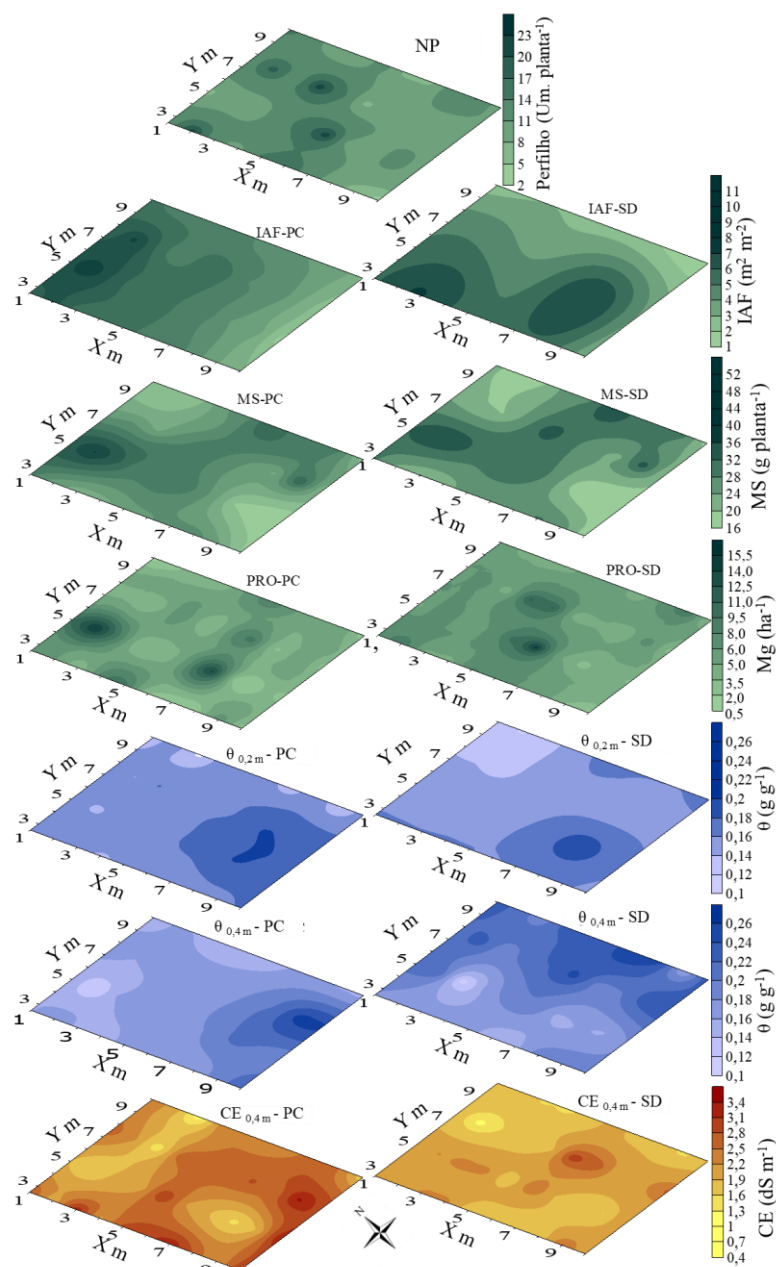
O IAF apresentou comportamento gaussiano em ambos os tratamentos e produziram os maiores alcances em relação às variáveis analisadas, com destaque para PC com alcance de 9 m e 8,82 m SD.

Abrantes et al. (2015) destacam que a cobertura morta é uma prática de manejo imprescindível para melhoria do agroecossistema. Teame et al. (2017) reforçam que a prática da cobertura morta promove a conservação da umidade do solo, contribuindo na infiltração de água e redução da evapotranspiração.

Os adequados ajustes encontrados para os semivariogramas nos dois cortes proporcionam confiabilidade e melhor precisão nas estimativas mediante a krigagem.

O mapeamento de NP em SD, de IAF, MS, PRO, $\theta_{0,2\text{ m}}$, $\theta_{0,4\text{ m}}$, $CE_{0,2\text{ m}}$ e $CE_{0,4\text{ m}}$ em PC e SD mediante a krigagem, são exibidos na Figura 7.

Figura 7 - Mapas de isolinhas do índice de área foliar (IAF, $\text{m}^2\text{ m}^{-2}$), massa seca (MS, g planta^{-1}), umidade do solo a 0,2 m ($\theta_{0,2\text{ m}}$, g g^{-1}) e a 0,4 m ($\theta_{0,4\text{ m}}$, g g^{-1}), condutividade elétrica (CE, dS m^{-1}) a 0,2 m ($CE_{0,2\text{ m}}$) e a 0,4 m ($CE_{0,4\text{ m}}$) no solo, para as áreas com (PC) e sem (SD) cobertura morta no quarto corte do sorgo.



Elevada variabilidade nas características de desenvolvimento do sorgo foram observadas em NP, IAF, MS e PRO em ambas as áreas (PC e SD), constatando-se valores elevados em apenas pequenas faixas nas parcelas mapeadas.

A umidade do solo apresentou maior uniformidade de distribuição espacial para a camada de 0,2 m em ambas as áreas (PC e SD), comparado à profundidade de 0,4 m.

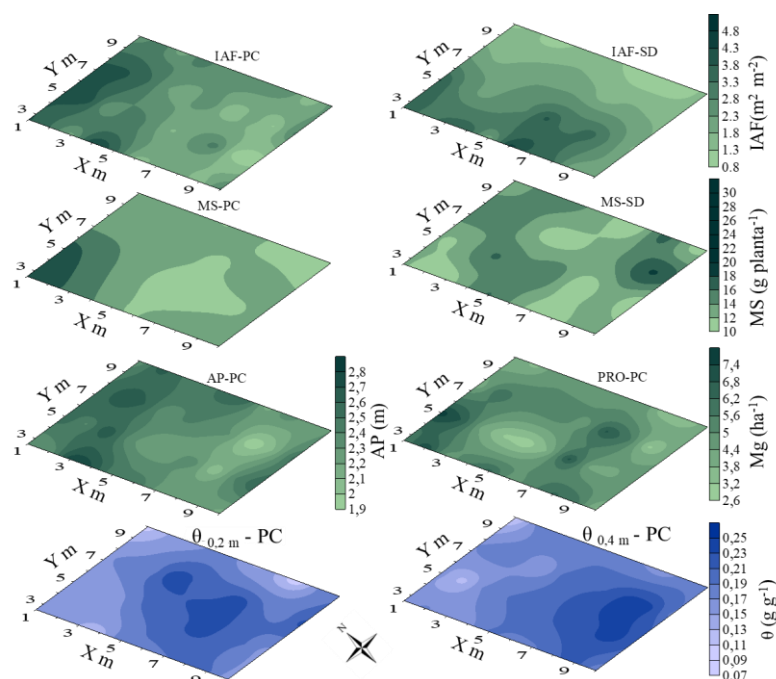
Constatou-se regular semelhança de $\theta_{0,2m}$ e $\theta_{0,4m}$ em PC, as duas apresentando os maiores valores em pequena área e ao sul da parcela. Este comportamento é semelhante ao da

CE, porém inversamente ao do IAF e a MS, possibilitando afirmar que a cultura sofreu maior estresse na área por existir maior salinidade, que conseqüentemente diminuiu a absorção de água. Nota-se que a área de maior salinidade corresponde a uma região de maior umidade, sendo influenciada pela salinidade da água de irrigação. De acordo com Dias et al. (2016), a retirada de água do solo pelas plantas só ocorre quando as forças de embebição das raízes são superiores a do solo, e quando em situações de elevada salinidade o potencial osmótico fica mais elevado no solo em relação aos das raízes, resultando em redução de absorção de água.

Os maiores valores de CE e a maior variabilidade espacial foram constatados na camada de 0,4 m em PC ($CE_{0,4\text{ m}} - PC$), comparado a SD ($CE_{0,4\text{ m}} - SD$). Estes resultados comprovam que a cobertura morta atuou na retenção das chuvas de baixa intensidade que ocorreram durante o cultivo, não promovendo a lixiviação dos sais. Esse comportamento foi claramente explicado por Lyra et al. (2010).

Os valores mais elevados das variáveis de crescimento do sorgo (AP, IAF, MS e PRO) no quinto corte, são observados a noroeste da área de cultivo em PC (Figura 8). Porém, os valores de umidade do solo foram maiores na porção sul da área. Portanto, estes resultados comprovam que o sorgo consumiu maior quantidade de água no setor norte, elevando o seu desenvolvimento, constatado mediante os mapas de isolinhas da krigagem, no quarto e quinto corte. Além disso, verifica-se que a região sul apresenta maior acúmulo de água.

Figura 8 - Mapas de isolinhas da altura das plantas (AP, m), índice de área foliar (IAF, $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$), massa seca (MS, g planta^{-1}), umidade do solo a 0,2 m ($\theta_{0,2\text{ m}}$, g g^{-1}) e a 0,4 m ($\theta_{0,4\text{ m}}$, g g^{-1}), para as áreas com (PC) e sem (SD) cobertura morta no quinto corte do sorgo.



Como o desenvolvimento do sorgo e as variáveis do solo apresentaram variabilidade no tempo e no espaço, o coeficiente de correlação de Spearman foi utilizado para representar seus comportamentos no quarto e quinto corte, nas áreas PC e SD (Tabela 3).

Tabela 3 - Matriz de correlação de Spearman entre altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC), índice de área foliar (IAF), número de perfilho (NP), massa seca (MS), produtividade (PRO), umidade do solo ($\theta_{0,2\text{ m}}$, $\theta_{0,4\text{ m}}$) e condutividade elétrica ($CE_{0,2\text{ m}}$ e $CE_{0,4\text{ m}}$), para as profundidades de 0,2 e 0,4 m, respectivamente, nas áreas com cobertura (PC) (diagonal superior) e sem cobertura (SD) (diagonal inferior) para o quarto e quinto corte.

Quarto corte										
	AP	DC	IAF	NP	MS	PRO	$\theta_{0,2\text{ m}}$	$\theta_{0,4\text{ m}}$	$CE_{0,2\text{ m}}$	$CE_{0,4\text{ m}}$
AP		0,65**	0,31**	-0,06	0,68***	0,41*	-0,42**	-0,35*	-0,08	-0,05
DC	0,67***		0,21	-0,31	0,55***	0,13	-0,33*	-0,54***	0,03	0,01
IAF	0,22	0,16		0,06	0,35*	0,36*	-0,49**	-0,44***	-0,02	-0,22
NP	0,06	0,04	0,09		-0,08	0,66**	-0,01	0,02	-0,36	-0,38
MS	0,19	0,09	-0,01	-0,01		0,64	-0,27	-0,30	0,20	0,09
PRO	0,19	0,13	0,06	0,75***	0,62***		-0,24	-0,21	-0,07	-0,17
$\theta_{0,2\text{ m}}$	-0,10	0,10	0,13	-0,09	0,02	-0,09		0,70***	0,13	0,13
$\theta_{0,4\text{ m}}$	-0,19	0,02	-0,62***	-0,25	0,12	-0,11	-0,11		0,11	0,22
$CE_{0,2\text{ m}}$	-0,32*	-0,20	-0,21	0,01	-0,03	0,03	-0,18	0,01		0,64***
$CE_{0,4\text{ m}}$	-0,04	0,03	0,18	-0,33	0,05	-0,21	-0,01	0,06	-0,38	
Quinto corte										
	AP	DC	IAF	NP	MS	PRO	$\theta_{0,2\text{ m}}$	$\theta_{0,4\text{ m}}$		
AP		0,51*	0,27	0,08	0,14	0,12	-0,36*	-0,36*		

DC	0,45**		0,15	-0,09	0,20	0,02	-0,30*	-0,23
IAF	0,07	0,16		0,00	0,25*	0,16	-0,31*	-0,57***
NP	0,13	0,16	0,17		0,08	0,89***	0,23*	0,07
MS	0,16	0,28*	-0,22	0,07		0,46*	-0,25	-0,22
PRO	0,19	0,21	0,05	0,93***	0,36**		0,14	-0,02
$\theta_{0,2\text{ m}}$	0,50*	0,24	0,31*	0,34*	0,00	0,33*		0,66***
$\theta_{0,4\text{ m}}$	-0,35	0,05	-0,02	-0,07	-0,17	-0,09	-0,15	

*A significância da correlação está representada pela simbologia ($p < 0,001$ (***); $p < 0,01$ (**) e $p < 0,05$ (*)).

Correlação moderadamente forte e positiva foi constatada entre AP x DC, AP x MS, DC x MS, NP x PRO, MS x PRO, PRO x $\theta_{0,4\text{ m}}$ e CE_{0,2 m} x CE_{0,4 m} em PC, e de PRO x NP e PRO x MS em SD para o quarto corte. Já no quinto corte as correlações positivas foram constatadas apenas entre AP x DC, NP x PRO e $\theta_{0,2\text{ m}}$ x $\theta_{0,4\text{ m}}$ em PC e em SD entre PRO x NP.

Correlações moderadamente fortes e negativas foram observadas entre DC x $\theta_{0,4\text{ m}}$ em PC e entre $\theta_{0,4\text{ m}}$ x IAF em SD no quarto corte, e entre IAF x $\theta_{0,4\text{ m}}$ em PC no quinto corte. Como estas correlações negativas são da umidade do solo com variáveis da planta, reflete na relação de quanto maior o desenvolvimento do vegetal, mais elevado será o consumo hídrico, uma vez que a cultura foi suprida com a mesma lâmina de água de forma espacial e temporal nas áreas. Ao mesmo tempo, as maiores umidades estão associadas às áreas onde está ocorrendo acúmulo de água de qualidade inferior, prejudicando o desenvolvimento vegetal.

A preservação da correlação entre as variáveis foi constatada entre NP x PRO, em PC (0,66 e 0,89) e SD (0,75 e 0,93), no quarto e quinto corte do sorgo, respectivamente, mostrando uma forte dependência no tempo e espaço entre estes atributos da planta. Para a umidade do solo, constatou-se preservação da correlação apenas no cultivo em PC para $\theta_{0,2\text{ m}}$ x $\theta_{0,4\text{ m}}$, com correlações de 0,64 e 0,66 no quarto e quinto corte, nesta ordem. Esta preservação da correlação também foi evidenciada nos mapas de isolinhas.

De acordo com Montenegro e Montenegro (2006), a preservação da correlação espacial entre atributos da planta e do solo é essencial para entendimento da viabilidade da área de cultivo, e conseqüentemente adotar práticas de manejo que favoreçam a produtividade em cultivos agrícolas por longos períodos.

O maior número de correlações moderadamente fortes e positivas constatadas entre as variáveis do solo e da planta em PC nos dois cortes reflete em elevada eficiência da cobertura morta em amplificar esta relação natural do sistema solo x planta, promovendo maior permanência da correlação em mais de um ciclo de cultivo do sorgo irrigado com água residuária tratada.

CONCLUSÕES

Maior desenvolvimento em altura, índice de área foliar e biomassa seca foram constatados no sorgo em área irrigada com água residuária com a presença de cobertura morta.

A aplicação de cobertura morta promoveu elevação na dependência espacial, resultando em melhor ajuste nos semivariogramas nos dois cortes avaliados.

Elevada variabilidade no crescimento do sorgo, e menores variabilidades nos atributos do solo foram constatados nos mapas de isolinhas.

A cobertura morta promoveu maior número de correlações moderada e altamente fortes em relação à área sem aplicação da prática conservacionista.

Recomenda-se o uso de cobertura morta em cultivo de sorgo forrageiro irrigado com água residuária tratada, já que ela promoveu elevada preservação da correlação espacial e temporal entre as variáveis de crescimento do sorgo e do solo.

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 (IBPG-1758-5.03/15), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) ao Instituto Agrônômico de Pernambuco-IPA, por apoiar esta pesquisa e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

REFERÊNCIAS

ABRANTES, R. C. B.; LIMA, J. L. M. P.; MONTENEGRO, A. A. A. Desempenho da modelagem cinemática do escoamento superficial para chuvas intermitentes em solos com cobertura morta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, p.166–172, 2015.

ADHIKARI, P.; SHUKLA, M.K.; MEXAL, J.G. Spatial Variability of Electrical Conductivity of Desert Soil Irrigated with Treated Wastewater: Implications for Irrigation **Management Applied and Environmental Soil Science**, v.2011, 2011.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; MORAES GONÇALVES, J.L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p.711–728, 2013.

ARAÚJO, D. C. D. S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, D. P. D.; RODRIGUES, R. A. Temporal stability of soil moisture in banana cropping area in the Brazilian semiarid region. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, n.11, p.852-859, 2019.

BECERRA-CASTRO, C.; LOPES, A.R.; VAZ-MOREIRA, I.; SILVA, E.F.; MANAIA, C.M.; NUNES, O.C. Wastewater reuse in irrigation: A microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. **Environment International**, v.75, p.117–135, 2015.

CAMPI, P.; NAVARRO, A.; PALUMBO, A. D.; MODUGNO, F.; VITTI, C.; MASTRORILLI, M. Energy of biomass sorghum irrigated with reclaimed wastewaters. **European Journal of Agronomy**, v. 76, p. 176–185, 2016.

CARVALHO, A. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; ASSIS, F. M. V.; TABOSA, J. N.; CAVALCANTI, R. Q.; ALMEIDA, T. A. B. Spatial dependence of attributes of rainfed maize under distinct soil cover conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, p.33-39. 2019.

CHAGANTI, V. N.; GANJEGUNTE, G.; NIU, G.; ULERY, A.; FLYNN, R.; ENCISO, J. M.; MEKI, M. M.; KINIRY, J. R. Effects of treated urban wastewater irrigation on bioenergy sorghum and soil quality. **Agricultural Water Management**, v. 228, 2020.

COSTA, J. P. N.; MEDEIROS, J. F.; NUNES, R. M. A.; CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; LIRA, J. F. B. Crescimento e produção da primeira rebrota de cultivares de sorgo sob diferentes lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.16, p.449–459, 2017.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F. S.; SOUZA NETO, O. N.; QUEIROZ, I. S. R. **Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade**. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. 2.ed. Fortaleza: INCTSal, Cap.11, p. 151-162, 2016.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 2011, p. 230.

GATTA, G.; LIBUTTI, A.; GAGLIARDI, A.; BENEDUCE, L.; BRUSETTI, L.; BORRUSO, L.; DISCIGLIO, G.; TARANTINO, E. Treated agro-industrial wastewater

irrigation of tomato crop: Effects on qualitative/quantitative characteristics of production and microbiological properties of the soil. **Agricultural Water Management**, v.149, p.33–43, 2015.

HEATHMAN, G. C.; COSH, M. H.; HAN, E.; JAKEE, L.; MCAFEE, S. Field scale spatiotemporal analysis of surface soil moisture for evaluating point-scale in situ networks, **Geoderma**, v.170, p.195-205, 2012.

HOAGLIN, D. C.; MOSTELLER, F.; TUKEY, J.W. **Análise exploratória de dados: técnicas robustas - um guia**. Salamandra: Almada, 1992. 446 p.

JUSTI, A. L.; VILAS BOAS, M. A.; SAMPAIO, S. C. Índice de capacidade do processo na avaliação da irrigação por aspersão. *Engenharia Agrícola*, v.30, p.264-270, 2010.

LIMA, C. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, T. E. M.; ANDRADE, E. M.; MONTEIRO, A. L. N. M. Práticas agrícolas no cultivo da mandioca e suas relações com o escoamento superficial, perdas de solo e água. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, p. 697-706, 2015.

LIRA, R. M.; SANTOS, A. N.; SILVA, J. S.; BARNABÉ, J. M. C.; BARROS, M. S.; SOARES, H. R. A utilização de águas de qualidade inferior na agricultura irrigada. **Revista Geama**, v.1, p.341–362, 2015.

LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; LYRA, G. B.; MOURA FILHO, G.; ARAÚJO JÚNIOR, R. F. Conteúdo de água no solo em cultivo de milho sem e com cobertura morta na entrelinha na Região de Arapiraca-AL. **Irriga**, v.15, n.2, p.173-183, 2010.

MEKI, M. N.; OGOSHI, R. M.; KINIRY, J. R.; CROW, S. E.; YOUKHANA, A. H.; NAKAHATA, M. H.; LITTLEJOHN, K. Performance evaluation of biomass sorghum in Hawaii and Texas. **Industrial Crops and Products**, v. 103, p. 257–266, 2017.

MONTENEGRO, A. A. A.; ABRANTES, J. R. C. B.; LIMA, J. L. M. P.; SINGH, V. P.; SANTOS, T. E. M. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. **CATENA**, v. 109, p. 139–149, 1 out. 2013.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.30-37, 2006.

NORTON-BRANDÃO, D.; SCHERRENBERG, S. M.; VAN LIER, J. B. Reclamation of used urban waters for irrigation purposes – A review of treatment technologies. **Journal of Environmental Management**, v.122, p.85–98, 2013.

PADILLA, F. L. M.; MAAS, S. J.; GONZÁLEZ-DUGO, M. P.; MANSILLA, F.; RAJAN, N.; GAVILÁN, P.; DOMÍNGUEZ, J. Monitoring regional wheat yield in Southern Spain using the GRAMI model and satellite imagery. **Field Crops Research**, v.130, p.145–154, 2012.

SOUZA, E. R.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G.; MATOS, J. D. A. Temporal stability of soil moisture in irrigated carrot crops in Northeast Brazil. **Agricultural water management**, v. 99, p. 26-32, 2011.

TEAME, G.; TSEGAY, A.; ABRHA, B. Effect of Organic Mulching on Soil Moisture, Yield, and Yield Contributing Components of Sesame (*Sesamum indicum* L.). **International Journal of Agronomy**. V, 2017, 2017.

VIAN, A. L.; SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R.; Simon, D. H. Damian, J. M.; Bredemeier, C. Variabilidade espacial da produtividade de milho irrigado e sua correlação com variáveis explicativas de planta. **Ciência Rural**, v.46, p.464–471, 2016.

VIEIRA, S. R.; CARVALHO, J. R. P. D.; GONZÁLEZ, A. P. Jack knifing for semivariogram validation. **Bragantia**, v. 69, p. 97-105, 2010.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D. (ed.). *Applications of Soil Physics*. New York: Academic, 1980. Cap.2, p.319-344.

ZIMBACK, C. R. L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade. 2001. 114 f. (Livre-Docência em Levantamento do Solo e Fotopedologia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

CAPÍTULO VI

CARVALHO, A. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; TABOSA, J. N.; ALMEIDA, T. A.; SILVA, A. G. O.; SILVEIRA, A. V. M. Reuso hidroagrícola: uma solução para convivência com a escassez hídrica no Sertão e Agreste Pernambucano. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v.5, p.140–150, 2020. DOI: <https://doi.org/10.24221/jeap.5.2.2020.2841.140-150>

REUSO HIDROAGRÍCOLA: UMA SOLUÇÃO PARA CONVIVÊNCIA COM A ESCASSEZ HÍDRICA NO SERTÃO E AGRESTE PERNAMBUCANO

RESUMO

A escassez de água no semiárido pernambucano, associada à necessidade de produção agrícola contribuem para uso de águas residuárias tratadas 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 água residuária tratada, 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 alunos do ensino fundamental. O estudo foi desenvolvido na Estação de Tratamento de Esgoto (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 participativo foi realizado com alunos de escola local. Constatou-se que a altura das plantas, o diâmetro do colmo 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 água residuária doméstica 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.

HYDRO-AGRICULTURAL REUSE: A SOLUTION FOR LIVING WITH WATER SCARCITY IN THE SERTÃO AND AGRESTE OF PERNAMBUCO

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 elementary school students. 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). Participatory monitoring was performed with students from local school. 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.

Key words: Sustainability, water security, social impact.

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 período de 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 água residuária doméstica 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 e RICO, 2019).

A conservação ambiental e a socialização de tecnologias hídricas é essencial 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 água residuária tratada 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 nenhum tratamento.

Além disso, existe acentuada limitação na oferta de forragens no semiárido brasileiro, com isso, o uso de plantas forrageiras e sistemas de cultivo eficientes é essencial para elevar 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 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

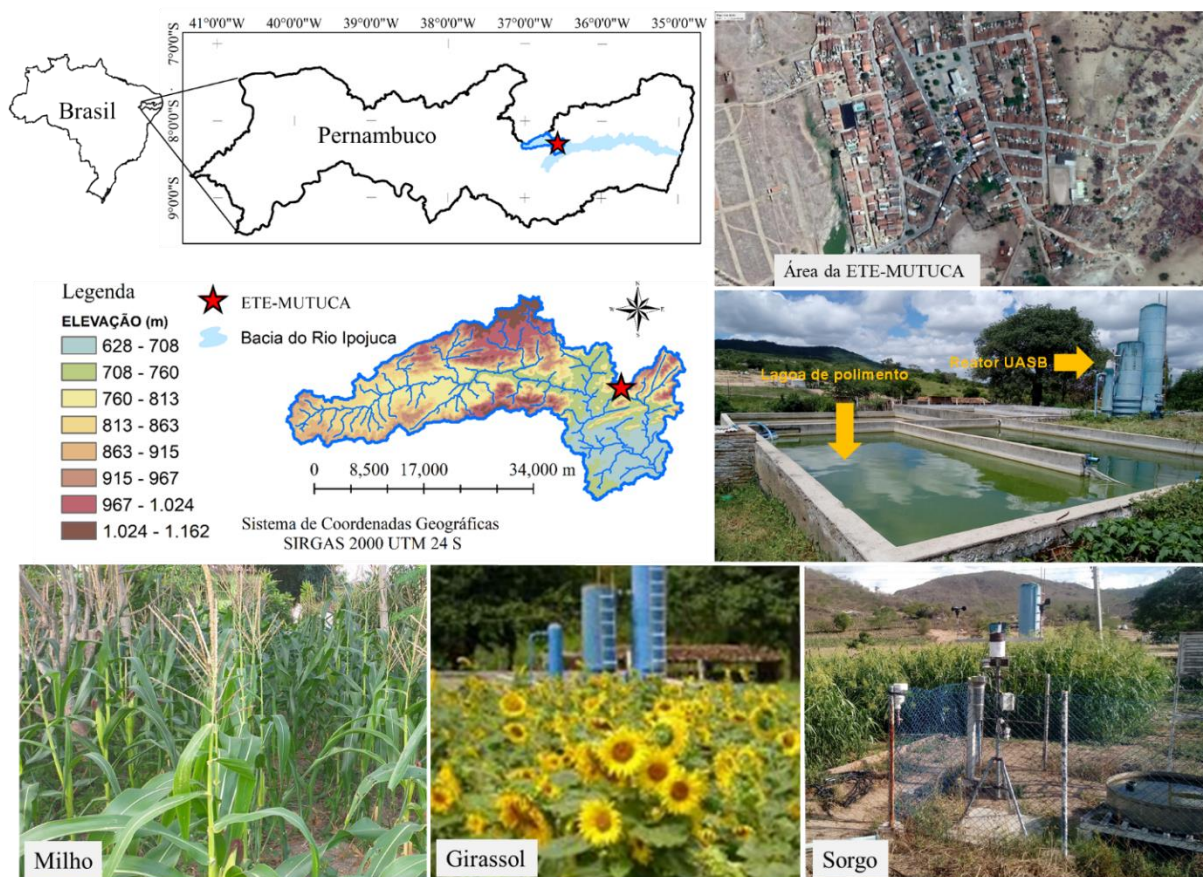
monitoramento agroclimatológico participativo, para a conservação de recursos hídricos e para a produção agrícola.

Neste contexto, este estudo avalia a viabilidade de cultivos agrícola com reuso de água residuária tratada, 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 pluviosidade 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 e Montenegro (milho - 2016), Carvalho, Silva, Silveira e Montenegro (girassol - 2017) e Carvalho e Montenegro (sorgo - 2019)



A ETE de Mutuca recebe águas residuárias de 150 residências, aproximadamente 3000 L dia⁻¹. Esta água 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 foi 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, 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 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 1,50 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. 40 Tubos de acesso foram instalados 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 do nível do solo. 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 agrônômico 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, buscando sempre o aprofundamento da importância do saneamento básico, utilização de água residuária para fins hidroagrícolas, bem como na proteção do meio ambiente, da importância do uso de cobertura morta nos cultivos para conservar a umidade do solo e favorecer o desenvolvimento das plantas (Figura 2A). Adicionalmente, foi fortalecido e incentivado de forma consciente o uso do lodo de esgoto como fonte alternativa de adubação e de cobertura do solo. As ações de biometria de forma participativa são de extrema importância para estimular o interesse a 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 em canteiro escolar (A), biometria do sorgo (B), e avaliação do crescimento do girassol em área que foi aplicada cobertura

morta no desenvolvimento das plantas de girassol (C). Fotos: Carvalho, Silva, Silveira e 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 do ensino fundamental da Escola Intermediária Henrique Monteiro Leite, permitindo diversas trocas de experiência. 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 demonstrado 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, obtida com 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, existe também, pluviômetros e um Tanque Classe A para monitoramento e determinação da lâmina de água a ser aplicada.

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 e Nielsen (1998), em baixa ($CV \leq 12\%$); média ($12 < CV \leq 60\%$) e alta variabilidade ($CV > 60\%$).

Análise geoestatística foi desenvolvida adotando-se o estimador estatístico clássico de semivariâncias, conforme Montenegro e 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

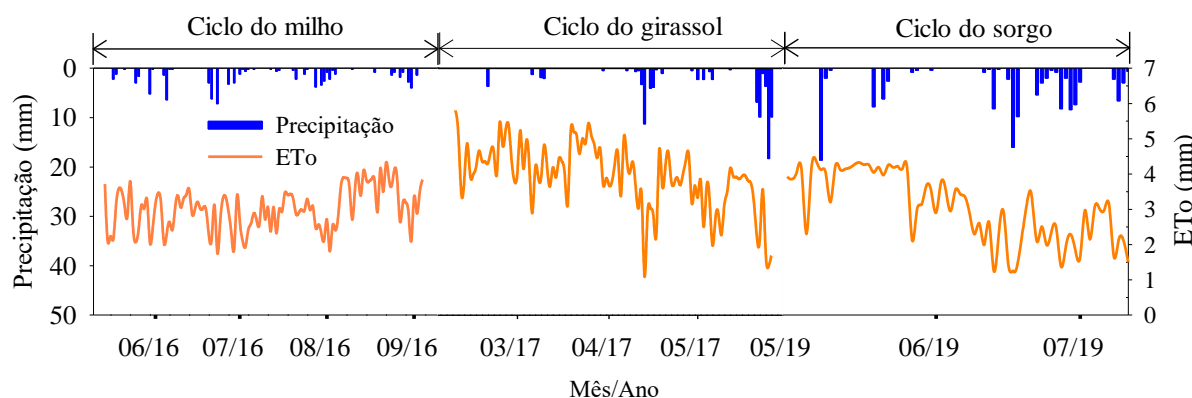
cada parcela do milho e do sorgo, avaliadas em malha regular (1 m x 1 m), para análise estatística e geostatística. O método da krigagem foi então adotado para mapeamento.

Os valores discrepantes foram eliminados na análise geostatística, com base em Hoaglin et al. (1983), que elimina os valores abaixo do limite inferior ($Li = Qi - 1,5 Ai$) ou acima do limite superior ($Ls = Qs + 1,5 Ai$), em que Qi representa o quartil inferior e Qs o superior.

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 do 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 e 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 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 ETo acumulada foi de 218,77 mm. A lâmina complementar aplicada foi de 36,8 mm.

A biometria do milho, do girassol e sorgo está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Variáveis biométricas do milho e girassol com e sem a aplicação de lodo, e do sorgo, com e sem aplicação de cobertura morta.

Tratamentos	AP média (cm) / CV	DC média (mm) / CV	NF média (Und) / CV
Milho			
Com Lodo	110ns / 13,7	17,5* / 13,3	11,1ns / 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	254ns / 8,8	8,0* / 15,1	6,2ns / 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 milho não resultou em diferença estatística para AP e NF. Porém, o DC na parcela CL foi 14,86% maior em relação à 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 agrônômicas mais elevadas na condição 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, com 8,1% superior à CL.

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

A aplicação de lodo promoveu uma menor variação na ALT, no DC e no NF, como constatado pelos CV menores na maioria das variáveis, nos três cultivos. Todas as variáveis da cultura foram classificadas 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. Além disso, encontraram valor superior para AP (175 cm), e semelhante para DC (18,1 mm) e NF (11,8 unidades) em relação à área CL.

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

Cunha e Lima (2010), em experimento conduzido no Rio Grande do Norte, encontraram AP de 196 cm, inferior ao encontrado com e sem cobertura, encontrado 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 o escoamento da água no solo, promovendo maior infiltração de água e consequentemente sustentabilidade ao agroecossistema.

Diversas análises práticas 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 a 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 produzidos 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 krigados, para a massa verde 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.

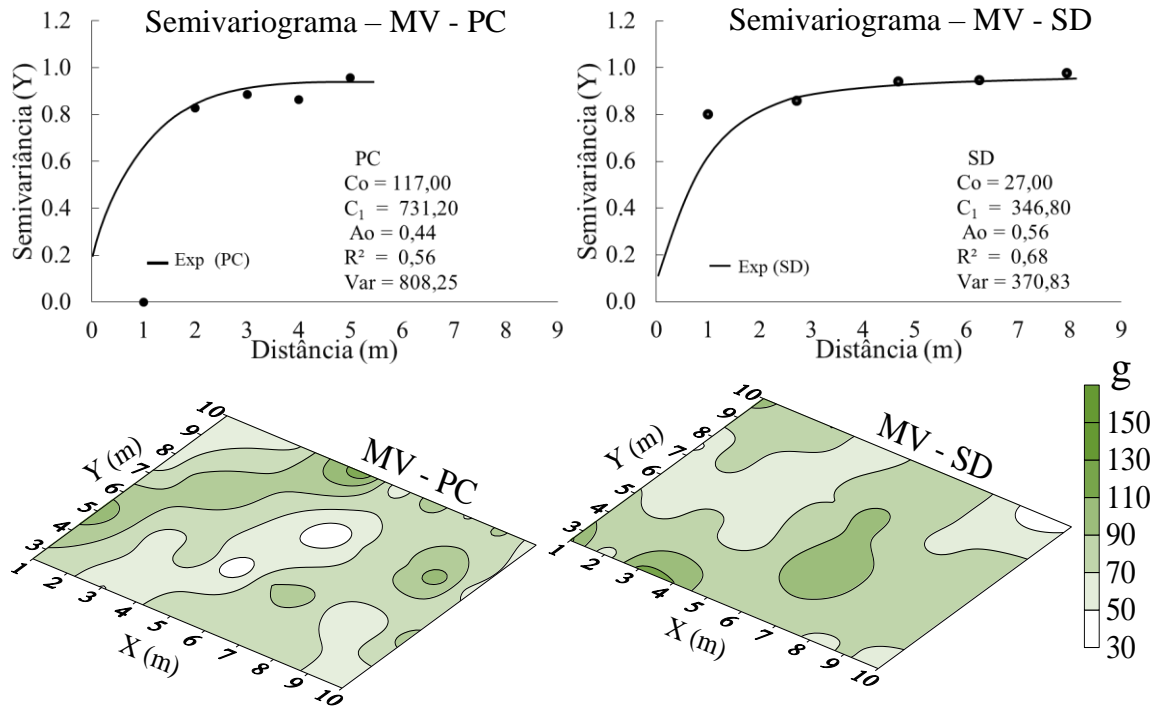
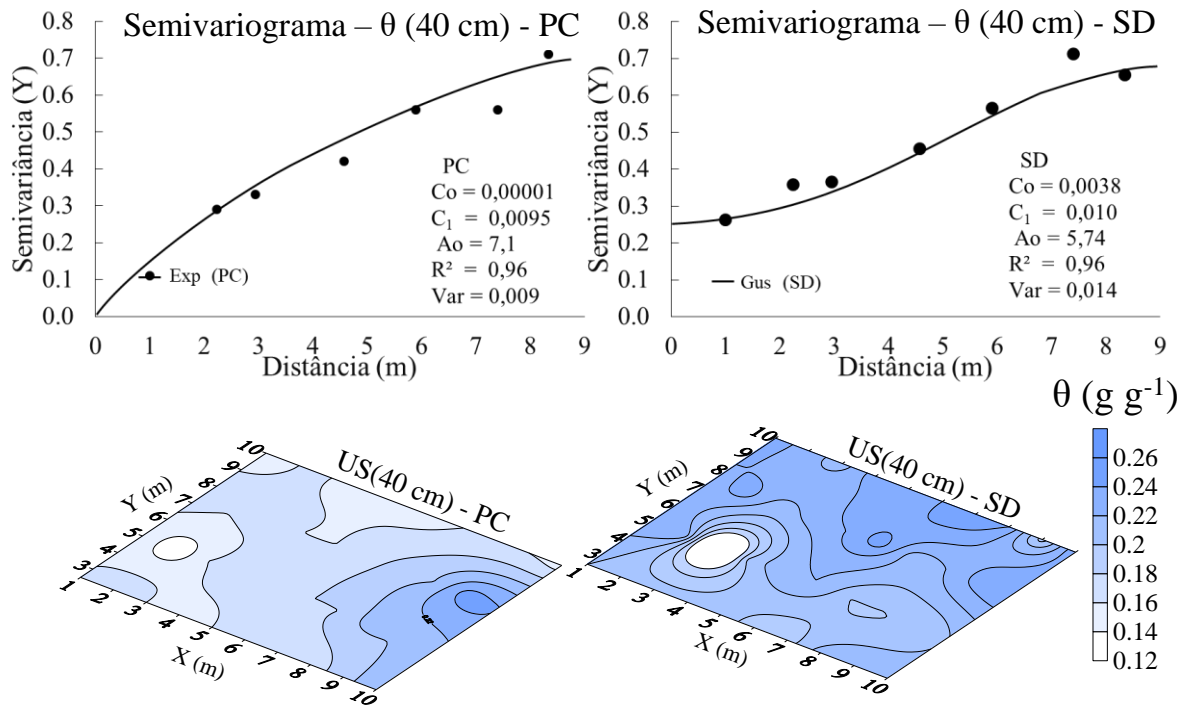


Figura 5. Semivariograma da umidade do solo - US (40 cm) e mapas de isolinhas da umidade do solo na área com (PC) e sem (SD) aplicação de cobertura morta, no cultivo do sorgo.



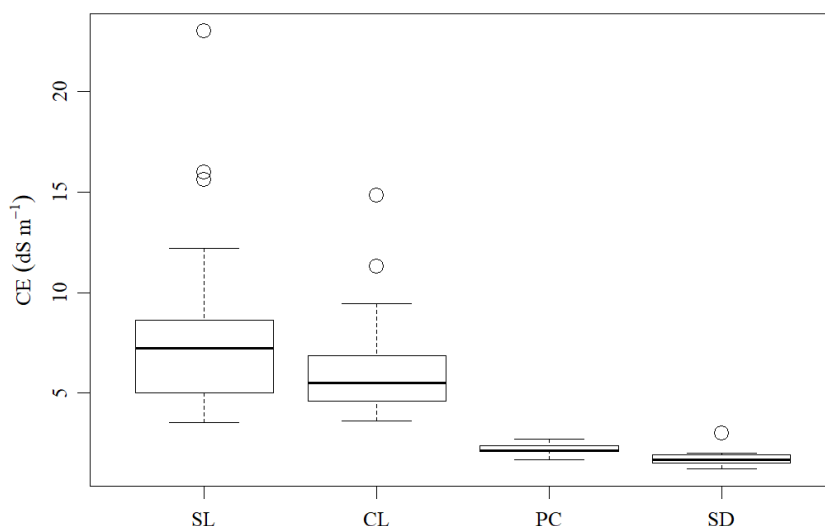
O mapa de isolinhas apresenta maior variabilidade da produção na área PC, porém uma melhor homogeneidade da umidade na área com cobertura morta. Carvalho et al. (2019) ressaltam a importância do uso da cobertura morta para permanência da umidade do solo em condições climáticas de alta demanda atmosféricas 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 a concentração elevada de 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 (PEDROTTI et al., 2015).

Na área de estudo existe elevada variabilidade na condutividade elétrica do solo durante o cultivo, como observado nos box plots das parcelas com experimento SL, CL, PC e SD (Figura 6).

Figura 6. Variabilidade da condutividade elétrica (CE) da parcela sem lodo (SL), com aplicação de lodo (CL), em 2016, e na parcela com (PC) e sem (SD) cobertura morta, em 2019.



As condutividades elétricas (CE) mínimas, médias e máximas foram 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 água residuária para fins hidroagrícolas.

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 pela presença de um sistema de drenagem eficiente na área.

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 na condução e desenvolvimento dos cultivos e dias de campo.

A mobilização se torna um poderoso instrumento de cidadania quando uma comunidade reconhece 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 águas residuárias e a adição de lodo de esgoto para fins hidroagrícolas promoveu adequada produção de cultivos, sem provocar incremento da salinidade do solo.

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 água residuária doméstica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq, à Financiadora de Estudos e Projetos-FINEP, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco-FACEPE (Processo No. 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 No. APQ-0300-5.03/17), à Pró-Reitoria de Extensão e Cultura (PROEXC) e ao Instituto Agronômico de Pernambuco-IPA, por apoiar esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ADHIKARI, P.; SHUKLA, M. K.; MEXAL, J. G. Spatial Variability of Electrical Conductivity of Desert Soil Irrigated with Treated Wastewater: Implications for Irrigation Management. **Applied and Environmental Soil Science**, v.2011, p.1-11, 2011.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p.711–728, 2013.

ALVES, O. F.; ELIAS, S.; LEITE, M. L. D. M. V.; AZEVEDO, J. M.; SILVA, J. P. S.; NASCIMENTO, G. F.; SIMPLÍCIO, J. B. Características agronômicas de cultivares de sorgo em sistema de plantio direto no semiárido de Pernambuco. **Revista Ciência Agrícola**, v.14, p.29-36, 2016.

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.; SILVA, D. D.; SILVA JUNIOR, V. P. 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**, v.38, p.1862-1873, 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução Conama nº 375**. MMA: Brasília, 32p, 2006.

CAMPOS, J. N. B. Secas e políticas públicas no semiárido: ideias, pensadores e períodos. **Estudos Avançados**, v.28, p.65–88, 2014.

CARVALHO, A. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; ASSIS, F. M. V.; TABOSA, J. N.; CAVALCANTI, R. Q.; ALMEIDA, T. A. B. Spatial dependence of attributes of rainfed maize under distinct soil cover conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, p.33-39, 2019.

CASTRO, C. N. Uma análise sobre diferentes opções de políticas para a agricultura irrigada no Semiárido. Boletim regional, urbano e ambiental, 2017.

CONAMA. **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, 2006.

CUNHA, E. E.; LIMA, J. M. P. Caracterização de genótipos e estimativa de parâmetros genéticos de características produtivas de sorgo forrageiro. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.710-706, 2010.

FREITAS, C. A.; SILVA, A. R.; BEZERRA, F. M.; ANDRADE, R. R.; MOTA, F. S.; AQUINO; B. F. Crescimento da cultura do girassol irrigado com diferentes tipos de água e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v.16, v.1031-1039, 2012.

FUJIOKA, T.; TU, K. L.; KHAN, S. J.; MCDONALD, J. A.; ROUX, A.; POUSSADE, Y.; NGHIEM, L. D. Rejection of small solutes by reverse osmosis membranes for water reuse applications: A pilot-scale study. **Desalination**, v.350, p.28–34, 2014.

HOAGLIN, D. C.; MOSTELLER, F.; TYKEY, J. W. **Análise exploratória de dados: Técnicas robustas, um guia**. Lisboa: Salamandra, 446p, 1983.

IPA-Instituto Agronômico de Pernambuco. 2007. **Sorgo Sudão: Sudan 4202 – cultivar tolerante a salinidade e com aptidão para feno**. Recife, [s.d.]. Folder.

LIMA, V. L. A.; AZEVEDO, C. A. V.; MIRANDA, R. J. A.; MELO, A. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; CRUZ, R. N. 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, v.1, p.130-153, 2012.

LIRA, R. M.; SANTOS, A.; SILVA, J. S.; BARNABÉ, J. M. C.; BARROS, M. S.; SOARES, H. R. A utilização de águas de qualidade inferior na agricultura irrigada. **Revista Geama**, v.1, p.341–362, 2015.

MACEDO, M. J. H.; GUEDES, R. V. S.; DE SOUSA, F. D. A. S.; DANTAS, F. R. C. Analysis of the standardized precipitation index for the Paraíba state, Brazil. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.5, p.204–214, 2010.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reúso de água**. [s.l.] Editora Manole Ltda, 2003.

MENG, F.; FU, G.; BUTLER, D. Water quality permitting: from end-of-pipe to operational strategies. **Water Research**, v.101, p.114-126, 2016.

MIRANDA, R. J. A. **Lâminas de Irrigação com Água Residuária e Adubação Orgânica na Cultura do Algodão BRS Safira**. 85f. Tese (Doutorado), UFRPE, Recife. 2010.

MONTENEGRO, A. A. DE A.; ABRANTES, J. R. C. B.; LIMA, J. L. M. P. DE; SINGH, V. P.; SANTOS, T. E. M. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. **Catena**, v.109, p.139-149, 2013.

MONTENEGRO, A. A. DE A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.30-37, 2006.

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. 2015. **17 Objetivos para Transformar Nosso Mundo**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>>. Acesso em: 20 Ago

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. D. N.; LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.19, p.1308-1324, 2015.

PETTER, F. A.; ANDRADE, F. R.; ZUFFO, A. M.; MONTEIRO, M. M. S.; PACHECO, L. P.; ALMEIDA, F. A. Doses e épocas de aplicação de potássio no desempenho agrônômico do milho no cerrado piauiense. **Comunicata Scientiae**, v.7, p.372-382, 2016.

RICART, S.; RICO, A. Assessing technical and social driving factors of water reuse in agriculture: A review on risks, regulation and the yuck factor. **Agricultural Water Management**, v.217, p.426-439, 2019.

SANTOS, C. S. 2015. **Conservação de solo e água em unidade de reúsoreuso do semiárido para proteção ambiental, produção agrícola e inclusão social**. 132f. Dissertação (Mestrado) - UFRPE, Recife, 2015.

SANTOS, C. S.; MONTENEGRO, A. A. D. A.; SANTOS, M. A.; PEDROSA, E. M. Evapotranspiration and crop coefficients of *Moringa oleífera* under semi-arid conditions in Pernambuco. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, p.840-845, 2017.

SOUTO, A. G. L.; CAVALCANTE, L. F.; MESQUITA, F. O.; SANTOS, J. B. Biometria em plantas de noni sob irrigação com águas salinas e lixiviação dos sais do solo. **Revista Ciência Agronômica**, v.47, p.316-324, 2016.

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. 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**, v.614, p.218-232, 2018.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D. (ed.). *Applications of Soil Physics*. **New York: Academic**, p.319-344, 1980.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos, informações pioneiras no aspecto de mudanças climáticas e das estratégias com uso de práticas conservacionistas da umidade do solo para melhoria de cultivos em sequeiro e irrigado com água residuária de forma sustentável, podem ser apreciadas:

1. A identificação de tendências na redução da precipitação, do número de dias chuvosos, e do aumento da temperatura principalmente para as regiões do Agreste e Sertão, intensificam a necessidade de uso de práticas de conservação da umidade do solo em cultivos de sequeiro e do uso de águas residuárias para produção agrícola.
2. A dependência espacial aumenta em área cultivada na presença de cobertura morta e a umidade do solo é mantida por maior período de tempo na condição de cultivos de milho da Variedade São José (BR 5026) em sequeiro comparado a área sem aplicação desta prática conservacionista.
3. O cultivo do sorgo (IPA SUDAN 4202, *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf) sem aplicação da cobertura morta pode resultar em redução de 24% na produtividade, comparado à área com aplicação de cobertura morta, irrigada com água residuária.
4. A irrigação manejada de forma controlada com água residuária associada a ocorrências de chuvas intensas, não resultou na salinização do solo e nem da salinidade do lençol freático raso para as condições de pesquisa deste estudo, conservando a capacidade produtiva do sorgo em vários cortes e a sustentabilidade do solo em relação à condutividade elétrica.
5. O pó de coco apresentou elevado potencial para reduzir a salinidade solo, irrigado com água residuária, ao mesmo tempo, promovendo maior incorporação de matéria orgânica no final dos cortes.
6. O estresse hídrico promovido pela de 60% da ETc resultou nas menores produtividades do sorgo forrageiro, porém não prejudicou o solo em relação a salinidade.
7. A aplicação de cobertura morta promoveu elevação no número de correlações moderadamente e altamente fortes em relação ao sorgo, comparando com a área sem aplicação da prática conservacionista.
8. O uso de cobertura morta e de lodo de esgoto teve impacto positivo na produção das culturas de milho, girassol e sorgo irrigados com água residuária.

9. A gestão participativa voltada para uso de efluentes domésticos e de lodo de esgoto para fins hidroagrícolas promoveu adequada produção de cultivos, e constatou-se redução de 70% da condutividade elétrica do solo em função das chuvas e de irrigação bem manejada.
10. As ações de ensino, pesquisa e extensão permitiram uma construção efetiva na melhoria da convivência dos agricultores com os cenários de escassez hídrica, nos sistemas de produção em sequeiro e irrigados com água residuária para produção de culturas forrageiras.