

VARIABILIDADE ESPACIAL DO SORGO IRRIGADO COM EFLUENTE DOMÉSTICO NA PRESENÇA E AUSÊNCIA DE COBERTURA MORTA

Ailton Alves de Carvalho¹, Abelardo Antônio de Assunção Montenegro², Beatriz Gomes de Araújo³, Kátia Elisabete Silva Ribeiro⁴, Hugo Gico Lima de Assunção Montenegro⁵, José Nildo Tabosa⁶

RESUMO: Objetivou-se avaliar a dependência espacial dos parâmetros produtivos do sorgo e da umidade do solo em área irrigada com água residuária na presença e na ausência de cobertura morta. O estudo foi realizado na Estação Experimental de Tratamento e Reuso de Esgoto Doméstico, município de Pesqueira, PE. Realizou-se análise biométrica (número de folhas (NF), altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC), biomassa verde (MV) e índice de área foliar (IAF)) do sorgo. No solo foram realizadas leituras de umidade na profundidade de 20 (θ_{20}) e 40 (θ_{40}) cm e condutividade elétrica na área com cobertura morta (PC) e com solo descoberto (SD). Realizou-se análise estatística descritiva (média, desvio padrão, coeficiente de variação) e posterior análise geoestatística. Observou-se com a análise dos Box-plot que o DC, MV e IAF, apresentaram razoáveis simetria nas distribuições estatísticas. As únicas variáveis que apresentaram diferença significativa foram DC, θ_{20} , CE e IAF, com valores de 8,04 mm, 0,34 m³ m⁻³, 2,74 dS m⁻¹ e 6,4 m² m⁻², em PC e 7,38 mm, 0,40 m³ m⁻³, 1,67 dS m⁻¹ e 4,45 m² m⁻², em SD, respectivamente. O NF em SD, AP em PC e SD apresentaram ausência de dependência espacial, com efeito pepita puro; os demais parâmetros possibilitaram ajustes dos semivariogramas. De forma geral, recomenda-se o uso de cobertura morta em cultivo de sorgo forrageiro irrigado com efluente doméstico, já que constatou-se maiores alcances nos parâmetros biométricos e do solo.

PALAVRAS-CHAVE: Geoestatística, reuso de água, Sorghum sudanense

¹ Doutorando em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife-PE, Fone: (81) 99927-6168, E-mail: ailtonalvesst@hotmail.com.

² Doutor em Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife-PE.

³ Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, Departamento de Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife-PE.

⁴ Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, Departamento de Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife-PE.

⁵ Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental, Departamento de Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife-PE.

⁶ Doutor em Tecnologias Energéticas Nucleares e pesquisador Instituto Agrônomo De Pernambuco, Recife-PE.

SPACE VARIABILITY OF IRRIGATED SORGUE WITH DOMESTIC WASTE IN THE PRESENCE AND ABSENCE OF MULCH COVER

ABSTRACT: The objective was to evaluate the spatial dependence of sorghum yield parameters and soil moisture in an area irrigated with wastewater in the presence and absence of mulch cover. The study was carried out at the Experimental Domestic Sewage Treatment and Reuse Station, Pesqueira, PE. Biometric analysis (leaf number (NF), plant height (AP), stem diameter (DC), green biomass (MV) and leaf area index (IAF)) of sorghum was performed. Soil moisture and electrical conductivity readings were taken at depths of 20 (θ_{20}) and 40 (θ_{40}) cm, for the mulch (PC) and uncovered soil (SD) area. Descriptive statistical analysis (mean, standard deviation, coefficient of variation) and subsequent geostatistical analysis were performed. It was observed by the analysis of the Box-plot that DC, MV and IAF showed reasonable symmetry behavior. The only variables that showed significant difference were DC, θ_{20} , CE and IAF, with values of 8.04 mm, 0.34 m³ m⁻³, 2.74 dS m⁻¹ and 6.4 m² m⁻², in PC and 7, 38 mm, 0.40 m³ m⁻³, 1.67 dS m⁻¹ and 4.45 m² m⁻², in SD, respectively. NF in SD, AP in PC and SD presented an absence of a spatial dependency pattern, showing a pure nugget effect; the other parameters allowed semivariograms adjustments. In general, it's recommend the use of mulch for cultivation of forage sorghum irrigated with domestic sewage effluent, since the highest values in biometric and soil parameters were found for that condition.

KEYWORDS: Geostatistics, water reuse, Sorghum sudanense

INTRODUÇÃO

As taxas de evapotranspiração anuais e baixos índices pluviométricos apresentados no Nordeste brasileiro, aliados a necessidade de aumentar a produção de alimentos, intensifica a necessidade de práticas alternativas de cultivo, com destaque para o reuso de águas residuárias nos cultivos irrigados (LIRA et al., 2015).

O sorgo forrageiro apresenta elevado potencial para ser irrigado com água residuária, sendo adaptado ao cultivo no Semiárido por apresentar moderada tolerância a escassez hídrica, a salinidade e promover maior sustentabilidade agropecuária aos criadores (CAMPI et al., 2016).

A análise espacial em cultivos agrícolas é essencial para avaliar os fatores relacionados a produtividade. De acordo com Montenegro & Montenegro (2006), a preservação da correlação espacial entre fatores mediante a geoestatística é essencial para entendimento da dinâmica solo-planta, e conseqüentemente adotar práticas de manejo que favoreça a produtividade em cultivos agrícolas.

Além do uso da irrigação com água residuária, a elevação da eficiência produtiva do sorgo pode se dar através do uso de práticas conservacionistas, com destaque para a cobertura morta no solo. Carvalho et al. (2019), trabalhando com geoestatística em cultivo de milho em sequeiro no semiárido, encontraram maior produtividade e dependência espacial em cultivo com a presença de cobertura morta em relação ao solo sem a presença da cobertura. Trabalhos em relação a análises de geoestatística são escassos em áreas de cultivos irrigadas com águas residuárias. Desta forma, objetivou-se com esse trabalho avaliar a dependência espacial dos parâmetros produtivos do sorgo e da umidade do solo em área irrigada com água residuária na presença e na ausência de cobertura morta.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Estação Experimental de Tratamento e Reúso de Esgoto Doméstico, localizada no Distrito de Mutuca, município de Pesqueira, Pernambuco (Figura 1). A área está situada próxima à nascente do Rio Ipojuca, está cultivada com sorgo forrageira em sistema de cobertura morta (PC) e sem cobertura (SD), e é gerenciada pelo Laboratório de Água e Solo (LAS) da UFRPE.

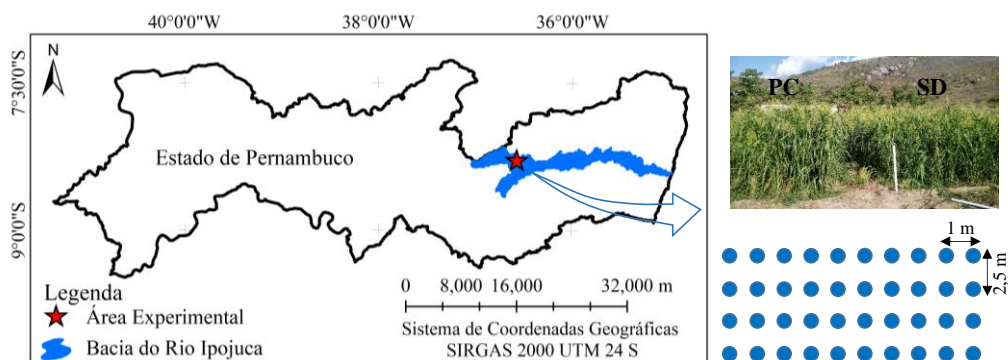


Figura 1. Mapa da localização geográfica da Estação Experimental de Tratamento e Reuso de Esgoto Doméstico, inserida na Bacia do Rio Ipojuca no Município de Pesqueira, PE.

O clima da região é classificado como Bsh, semiárido quente, de acordo com a classificação de Köppen (Alvares et al., 2013). O solo da área experimental é classificado como Planossolo Háptico Sáfico Sódico Hipereutrófico de textura predominantemente areia franca, conforme EMBRAPA (2018), com teor de areia de 85,59%, 10,77% de argila, e 3,64% de silte para a camada 0-20 cm de solo; e com 84,25% de areia, 12,77% de argila, e 2,98% de silte para a camada 20-40 cm de solo. Em amostra de solo realizada antes ao experimento foram constatados: pH do solo 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 condutividade elétrica (CE em dS m^{-1}) foi analisada em condutivímetro de bancada (HMCDB-150).

Para o plantio do Sorgo forrageiro deste experimento, foi utilizada a variedade IPA SUDAN 4202 de Sorgo-do-Sudão (*Sorghum sudanense*), com boa adaptação ao clima semiárido, principalmente pela sua precocidade.

A Evapotranspiração de Referência (ET_o) foi determinada com base no método de Penman-Monteith (FAO-56), utilizando os parâmetros agrometeorológicos de estação da Onset (Modelo – EAC-U30-900). A irrigação era realizada nas segundas, quartas e sextas-feira. Foram realizadas as análises de contagem de folhas (NF), altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC) e biomassa verde (MV) aos 70 dias após o plantio do sorgo. Adicionalmente, foi analisado o índice de área foliar (IAF) ao meio dia (12:00 às 14:00 horas) na condição de céu limpo usando Ceptômetro AccuPAR LP-80.

A umidade do solo foi determinada utilizando uma sonda de nêutrons, tipo 503 DR HYDROPROBE®. A profundidade de instalação dos tubos de acesso para as leituras ficava aos 20 (θ_{20}) e 40 cm (θ_{40}) de profundidade, uma vez que a sonda tem um raio de abrangência em torno de 10 cm.

Realizou-se análise de estatística descritiva (média, desvio padrão, coeficiente de variação) e teste F. Para análise geoestatística adotou-se o estimador estatístico clássico de semivariância, conforme utilizado por Montenegro & Montenegro (2006). Após a obtenção das semivariâncias, foram testados os ajustes aos modelos gaussiano, esférico e exponencial, sendo escolhido aquele que melhor ajustou-se aos valores experimentais de acordo com a validação cruzada e que produziram erros padronizados próximos de zero, segundo o critério de Jack-Knifing. O coeficiente de variação (CV) foi classificado de acordo com o critério de Warrick & Nielsen (1980), o qual considera baixo ($CV < 12\%$), médio ($12 \leq CV \leq 60\%$) e alto ($CV > 60\%$) o grau de variabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação as condições locais, a precipitação apresentou boa 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, com máxima de 4,37 mm. A lâmina complementar aplicada foi de 36,8 mm (Figura 2).

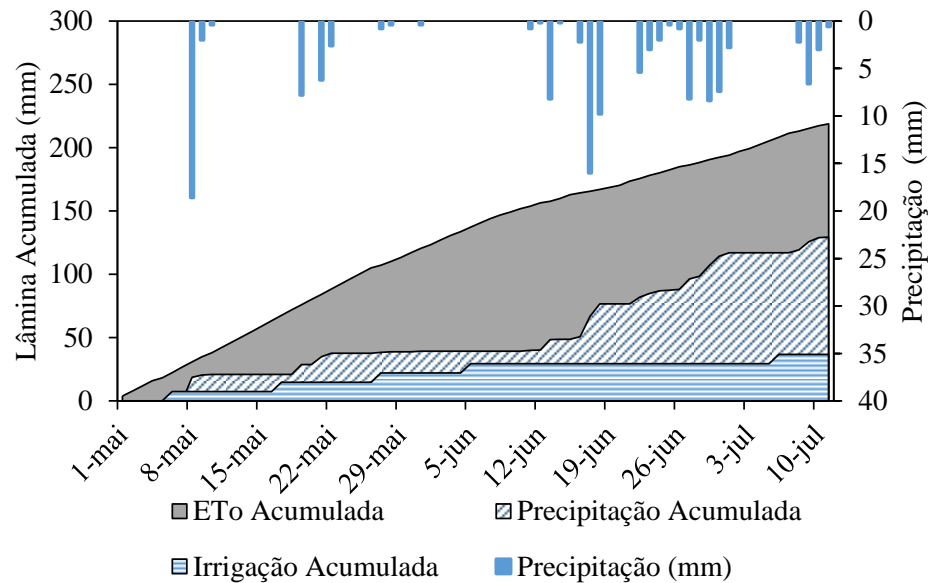


Figura 2. Evapotranspiração potencial (ETo), irrigação e precipitação acumulada e diária durante o experimento em Pesqueira, PE.

Observou-se razoável simetria nas distribuições estatísticas da altura das plantas (Figura 3B), diâmetro do colmo (Figura 3C) e massa verde (Figura 3D).

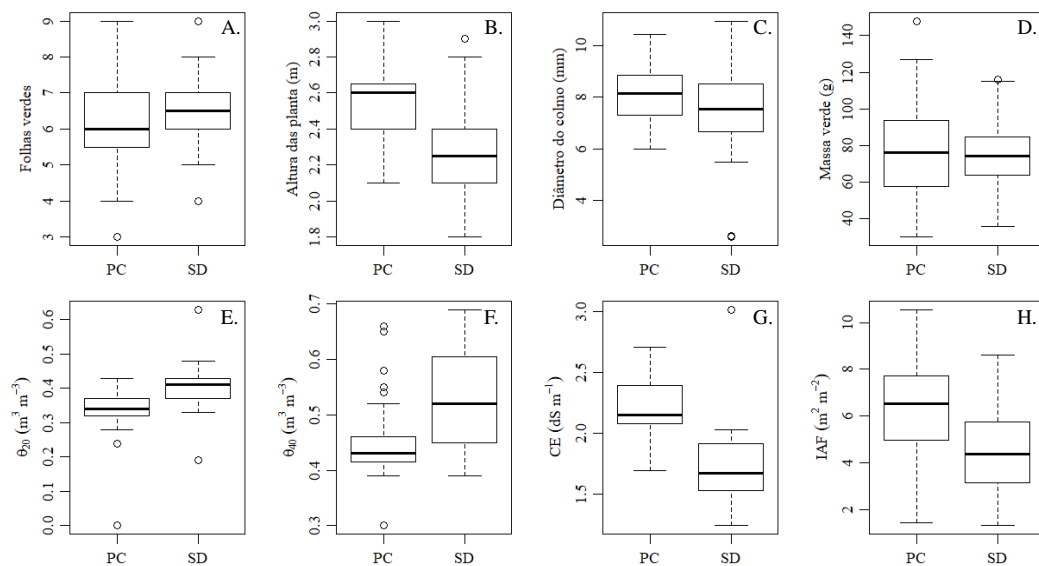


Figura 3. Box-Plot do número de folhas (A), altura da planta (B), diâmetro do colmo (C), massa verde (D), umidade do solo a 20 cm (E) e a 40 cm (F), condutividade elétrica (G) e IAF (H) para as áreas com cobertura morta (PC) e solo descoberto (SD).

Percebeu-se uma maior produção de folhas verdes (Figura 3A) no solo com cobertura quando comparados os valores com solo descoberto. Em relação à altura das plantas (Figura 3B), nota-se que a área com cobertura alcançou maiores medianas em relação as obtidas em solo descoberto. Quanto ao diâmetro do colmo (Figura 3C) as caixas apresentam valores bem próximos, porém com um acréscimo para os valores constatados no solo com cobertura.

Na variável massa verde (Figura 3D) percebeu-se valores maiores quando avaliados os resultados do solo com cobertura. Para as variáveis de umidade tanto para θ_{20} (Figura 3E) quanto para θ_{40} (Figura 3F) verificou-se uma maior umidade no solo sem cobertura. Destaca-se que na parcela com cobertura morta ocorreu maior dinâmica da umidade do solo, destacados pelos valores de outlier. Na parcela com cobertura morta observou-se os menores valores de umidade do solo. Há dois fatores que justificam esses valores, são eles: maior desenvolvimento das plantas nessa área, destacado pela superioridade em termos de altura e do IAF, resultando em uma maior interceptação foliar da precipitação de baixa intensidade; o segundo, pela interceptação da chuva pela cobertura morta. De acordo com Lyra et al. (2010), a cobertura morta de capim em situação de chuva intensa promove maior 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 diminui devido a interceptação pela cobertura morta.

Observando a variável CE (Figura 3G) nota-se valores inferiores no solo com cobertura. Para a variável IAF (Figura 3H) tem-se um maior índice para as plantas em solo com cobertura. A tabela 1 apresenta os valores médios das variáveis biométricas do sorgo, da umidade do solo a 20 cm e 40 cm, a CE e o IAF para as áreas PC e SD.

Tabela 1. Estatística descritiva das características descritivas da planta (NF, AP, DC, MV, IAF) e do solo (θ_{20} , θ_{40} e CE) na parcela com cobertura (PC) e solo descoberto (SD).

Biometria aos 70 DAP									
						θ_{20} m ³	θ_{40} m ³	CE (dS	IAF (m ²
Tratamento		NF	AP	DC	MV	m ⁻³	m ⁻³	m ⁻¹)	m ⁻²)
Média	PC	6,15 ^{ns}	2,54 ^{ns}	8,04*	77,73 ^{ns}	0,34*	0,45 ^{ns}	2,74*	6,40*
	SD	6,40 ^{ns}	2,28 ^{ns}	7,38*	76,18 ^{ns}	0,40*	0,53 ^{ns}	1,67*	4,45*
CV (%)	PC	23,46	8,88	15,05	33,32	21,02	15,43	40,38	32,31
	SD	16,62	11,73	22,92	23,73	15,56	16,24	35,42	40,34

Número de Folhas (NF), Altura da Planta em m (AP), Diâmetro do Colmo em mm (DC), massa verde em g (MV), umidade do solo m³ m⁻³ a 20 cm (θ_{20}), umidade do solo m³ m⁻³ a 40 cm (θ_{40}), condutividade elétrica em dS m⁻¹ (CE) e índice de área foliar em m² m⁻² (IAF). * significativo a 5% de probabilidade; ns - não significativo pelo teste F

Das variáveis analisadas, as únicas variáveis que apresentaram diferença significativa foram DC, θ_{20} , CE e IAF, com valores de 8,04 mm, $0,34 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, $2,74 \text{ dS m}^{-1}$ e $6,4 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, em PC e $7,38 \text{ mm}$, $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, $1,67 \text{ dS m}^{-1}$ e $4,45 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, em SD, respectivamente. O sorgo na área de cobertura morta (PC) apresentou IAF 30,5% maior em relação a área SD. De acordo com Meki et al. (2017), o IAF representa um importante parâmetro de crescimento vegetal, e quanto mais elevados são os valores, maior acumulação de biomassa. Em cultivo do sorgo, estes autores encontraram valores máximos de 9,8. Os máximos valores encontrados neste experimento foram de 10,55 em PC e 8,59 em SD. Em relação ao CV, foi observada baixa variabilidade em AP para as duas áreas. As demais variáveis apresentaram médio CV, de acordo com Warrick & Nielsen (1980). Os semivariogramas experimentais e teóricos ajustados para os atributos da planta (NF, AP, MV e IAF) e do solo (θ_{20} e θ_{40}) são apresentados na Figura 4, para SD e PC.

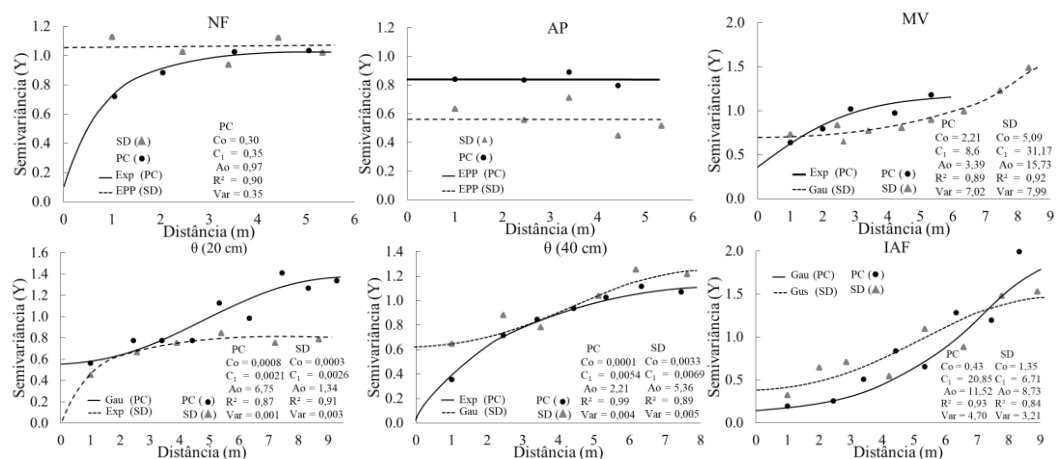


Figura 4. Semivariogramas do número de folhas (NF), altura das plantas (AP), massa verde (MV), umidade do solo a 20 cm (θ_{20}), umidade do solo a 40 cm (θ_{40}) e índice de área foliar (IAF), para as áreas PC e SD.

O NF em SD, AP em PC e SD apresentaram ausência de dependência espacial, com efeito pepita puro; os demais parâmetros possibilitaram ajustes dos semivariogramas e a validação. Os semivariogramas da umidade a 20 cm de profundidade do solo (θ_{20}) nas parcelas cultivadas em PC e SD resultaram em alcances (A_0) de 4,62 e 1,45 m e R^2 de 0,67 e 0,95, respectivamente. Já para a umidade a 40 cm de profundidade do solo (θ_{40}) nas parcelas cultivadas em PC e SD foram encontrados alcances (A_0) de 7,1 e 5,74 m e R^2 de 0,96 e 0,96, respectivamente. A massa verde apresentou baixos valores de A_0 (0,44 e 0,56 m) e R^2 (0,56 e 0,68), para PC e SD, respectivamente. Lima et al. (2015) ressaltam que a utilização de cobertura morta sobre o solo é uma prática conservacionista de manutenção da umidade do solo. De acordo com Montenegro et al. (2013) e Carvalho et al. (2019), a

cobertura morta é um fator determinante da elevação da produção em condições de cultivo no Semiárido brasileiro.

A variação espacial mediante krigagem da massa verde do sorgo, a da umidade do solo a 20 cm e 40 cm e o IAF nas parcelas PC e SD são exibidas na Figura 5. A parcela com cobertura (PC) promoveu maiores valores de massa verde e IAF. Esse fato deve estar associado a presença da cobertura morta que consegue reter maior umidade no solo e por um período mais prolongado.

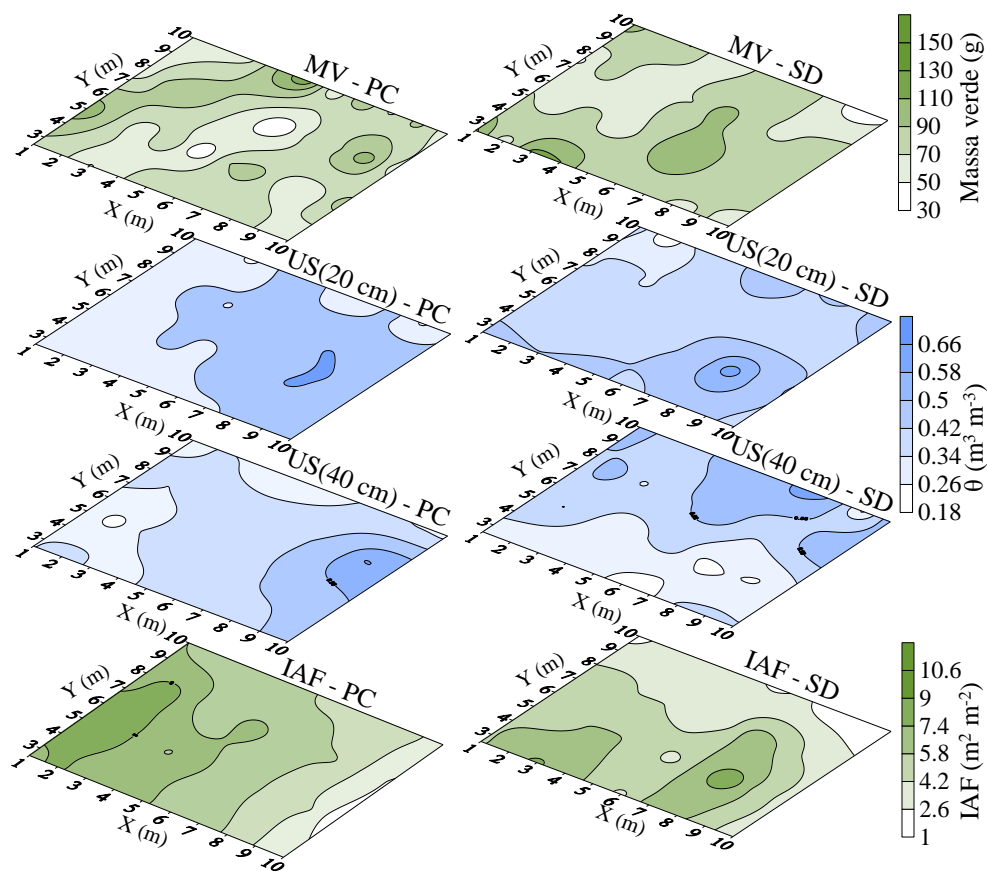


Figura 5. Mapas de isolinhas das parcelas com cobertura (PC) e solo descoberto (SD) para a massa verde MV-PC e MV-SD (g), umidade do solo a 20 cm – US (20 cm) - PC ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e US (20 cm) - SD ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), umidade do solo a 40 cm – US (40 cm) - PC ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e US (40 cm) - SD ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e o índice de área foliar – IAF - PC e IAF - SD ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$).

Em relação a PC: o mapa de isolinhas do teor de MV apresentou alta variabilidade comparado a SD. Já em relação aos mapas de umidade do solo em US (20 cm) e US (40 cm), observa-se boa distribuição ao longo do perfil do solo e comportamento semelhante nas duas profundidades, com os maiores valores na porção a direita da imagem em PC. Em relação a SD a dinâmica de umidade do solo em US (20 cm) e US (40 cm) foi mais elevada em relação a PC e os mapas não apresentaram comportamento semelhantes nas duas profundidades.

Abrantes et al. (2015), destacam que a cobertura morta é uma prática de manejo imprescindível para a manutenção da sustentabilidade de um agroecossistema. Teame et al. (2017) reforçam que a prática da cobertura morta promove a conservação da umidade do solo, contribuindo na infiltração de água, reduz a evapotranspiração, melhora o microclima local.

A melhor uniformidade e distribuição da umidade do solo na área PC promoveu maior uniformidade no índice de área foliar da cultura.

CONCLUSÕES

O NF em SD e AP em PC e SD apresentaram ausência de dependência espacial, com efeito pepita puro. O sorgo na em PC apresentou IAF 30,5% maior em relação a SD, com máximos valores encontrados neste experimento de 10,55 em PC e 8,59 em SD. Recomenda-se o uso de cobertura morta em cultivo de sorgo forrageiro irrigado com efluente doméstico, já que constatou-se maiores alcances nos parâmetros biométricos e do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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, n.2, p.166–172, 2015.

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.

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, n.1, p.33-39. 2019.

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. et al. A utilização de águas de qualidade inferior na agricultura irrigada. *Revista Geama*, v.1, n.3, 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.; DE 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.

TEAMW, 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.

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.