

Variabilidade espaço temporal da temperatura do solo sob diferentes coberturas no semiárido pernambucano

Alan César Bezerra¹, Abelardo Antônio de Assunção Montenegro¹, Héilton Pandorfi¹, José Roberto Lopes da Silva¹, Carolyne Wanessa Lins de Andrade¹, Wellington Pereira da Silva¹

¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, Brasil. E-mail: cezaralan.a@gmail.com; abelardo.montenegro@yahoo.com.br; pandorfi@dtr.ufrpe.br; rlopes.s@gmail.com; welleng_pereira@hotmail.com

Resumo: A temperatura do solo é uma propriedade de grande importância para o desenvolvimento das plantas e dos microrganismos do solo, com influência direta nos estoques de água, carbono e na produtividade final das culturas. Associado ao cenário do semiárido nordestino, de alta incidência da radiação solar e precipitações irregulares, tem-se uma condição de intenso estresse térmico para as plantas. Diante disso, esse trabalho foi conduzido com o objetivo de determinar a variabilidade espacial da temperatura da superfície do solo e a 15 cm de profundidade, no município de Pesqueira, semiárido pernambucano. Foram utilizados termômetros de infravermelho e digital com 15 cm de comprimento para avaliar a temperatura em 65 pontos, em uma área de 3952 m², sendo dividida em: uma área com 576 m², cultivada com cenoura irrigada, compondo uma malha de registro equidistantes a cada 4 m, totalizando 49 pontos; outra área de 3376 m² e 16 pontos com solo descoberto divididos em uma malha regular de 12 m e uma amostragem linear distante entre si 24 m. O registro dos dados foi realizado no dia 13 de novembro de 2012, em diferentes horários: 8:30, 10:30, 15:00 e 17:00 h. Verificou-se o atraso térmico das temperaturas nas camadas de 0 e 15 cm de profundidade, conferindo uma diferenciação entre os horários de registro para que a temperatura atingisse a máxima diária. Notou-se forte dependência espacial para temperatura de superfície em toda área avaliada, o que se justifica pela cobertura do solo. O modelo gaussiano foi que apresentou melhor ajuste nos diferentes horários e profundidades, em especial para área com cobertura vegetal.

Palavras-chave: geoestatística, krigagem, semivariograma.

Spatio temporal variability of soil temperature under different coverage in Pernambuco state semiarid

Abstract: Soil temperature is a great importance property for the development of plants and soil microorganisms, with direct influence on water supplies, carbon and the final crop yield. Associated with the scenery of the semiarid northeast, high incidence of solar radiation and irregular rainfall, there is a condition of high thermal stress for plants. Therefore, this study was conducted in order to determine the spatial variability of surface soil temperature and 15 cm deep, in the municipality of Pesqueira, semiarid region of Pernambuco. Infrared and digital thermometers with 15 cm long were used to measure the temperature at 65 points in an area of 3952 m², being divided into: an area 576 m² cultivated with irrigation carrot, composing a record mesh equidistant every 4 m, totaling 49 points; Another area of 3376 m² with bare soil and 16 points divided into a regular grid of 12 m and a linear sampling distant from each other 24 m. It was verified that there is a delay in the soil temperature with depth, so that the temperature propagates through layers of soil, providing different times for each soil layer to reach the maximum daily temperature. The recording of data was performed on November 13, 2012, at different times: 8:30, 10:30, 15:00 and 17:00 h. It was thermal lag of the temperature in the layer of 0-15 cm deep, giving a differentiation between the timestamp for the temperature to reach the maximum daily. It was noted strong spatial dependence to surface temperature across the area evaluated, which is justified by ground cover. The Gaussian model was presented that best fit the different times and depths, especially for the area with vegetation.

Keywords: geostatistics, kriging, semivariogram.

Introdução

A água e o solo são fatores chave para a apropriada exploração de uma área para prática agrícola. O conhecimento da distribuição espaço-temporal dos parâmetros físico-hídricos do solo é o princípio fundamental para o manejo adequado de irrigação (José et al., 2012). Para garantir adequada produtividade, outros elementos são importantes para as plantas, em particular a disponibilidade de água e a temperatura do solo, pois poderá afetar o balanço hídrico no solo. Além disso, a temperatura do solo afeta a emergência de plântulas e o crescimento das plantas (Silva et al., 2006).

A região Nordeste do Brasil enfrenta a maior seca dos últimos 60 anos, o que afeta 1,2 mil municípios, em destaque o semiárido pernambucano, que se caracteriza pela irregularidade na distribuição espaço temporal das precipitações e pelas elevadas taxas de evaporação (Andrade et al., 2012).

Portanto, conhecer as condições físicas do solo e suas dinâmicas espaciais e temporais é primordial em um cenário extremo de seca. De acordo com Carneiro et al. (2009), existe no solo uma variedade de inter-relações entre os atributos físicos, químicos e biológicos, que controlam os processos e os aspectos relacionados à sua variação no tempo e no espaço. A temperatura é uma variável que interfere em propriedades importantes para a caracterização do solo, como a difusividade e a condutividade térmica. A partir da intensidade da radiação solar na superfície, o solo se aquece e se resfria ao longo do tempo, provocando variações térmicas nas camadas subjacentes (Carneiro et al., 2013).

A temperatura do solo influencia diretamente a germinação e o desenvolvimento das plantas, assim como na sua absorção de água e nutrientes. Se o solo não atingir uma temperatura específica, a semente não germina, assim, a planta não se desenvolve normalmente. Além disso, são necessárias faixas adequadas de temperatura do solo para que ocorram as reações químicas e a liberação de nutrientes para as culturas (Gasparim et al., 2005). Santos et al. (2011) afirmam que nos processos de interação que ocorrem entre o solo e a atmosfera, a temperatura do solo varia de acordo com as características físicas e com as trocas de calor e vapor d'água do solo com a atmosfera.

As camadas superficiais são mais suscetíveis às mudanças de temperatura, por estarem mais expostas à radiação solar. A radiação age significativamente no solo devido à sua boa capacidade de absorver a energia radiante, sendo que a quantidade absorvida depende da intensidade de radiação e da inclinação dos raios

solares, além das características e propriedades do solo, em especial a estrutura, textura, cor e umidade (Rosa et al., 2009). Os principais fatores ambientais que afetam a temperatura do solo são: a radiação solar direta e difusa, a duração diária do brilho solar e a cobertura do solo, enquanto que os fatores do solo são: o albedo, a condutância térmica, a atividade biótica, a estrutura e a umidade do solo (Amado et al., 1990).

Dentre alguns estudos que avaliaram a variação da temperatura em diferentes coberturas do solo, pode-se destacar Veiga et al. (2010), que estudaram diferentes sistemas de manejo do solo e sua influência na umidade, na temperatura e na cobertura. Resende et al. (2005), ao avaliarem os efeitos de diferentes tipos de cobertura morta de solo de origem vegetal sobre o crescimento, controle de plantas daninhas, produtividade e regime hidrotérmico do solo no cultivo da cenoura, cultivar Brasília, e Montenegro et al. (2013), que investigaram em laboratório a influência de diferentes índices de cobertura morta na dinâmica de aquecimento e resfriamento do solo. Entretanto, poucos estudos foram realizados para caracterização da variabilidade espaço-temporal da temperatura de um solo irrigado em condições de escassez de chuva.

O solo apresenta uma elevada heterogeneidade de suas propriedades. Diante disso, Cambardella et al. (1994) e Vieira (2000) ressaltam que conhecer a variabilidade existente nos solo melhora as práticas manejo, permitindo um tratamento diferenciado para diferentes locais. Diante disso, a geoestatística é uma ferramenta que possibilita o conhecimento da variabilidade espacial do solo e de sua temperatura. No que concerne ao uso da geoestatística para avaliar a temperatura do solo, poucos estudos têm sido desenvolvido com essa finalidade, podendo ser destacado o estudo de Panosso et al. (2009a), que avaliaram a dinâmica de carbono no solo em área de produção de cana de açúcar sob dois diferentes sistemas de manejo, verificando a variabilidade espacial da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo. Em outro estudo desenvolvido por Panosso et al. (2009b) investigaram o impacto do molhamento produzido pela irrigação promovida por um aspersor, sobre o padrão espacial da emissão de CO₂ em uma área de um latossolo desprovido de vegetação, e sua relação com os padrões espaciais da temperatura e umidade do solo.

Em vista disso, esse trabalho foi conduzido com o objetivo de determinar a variabilidade espacial da temperatura superficial do solo e a 15 cm profundidade no solo ao longo de um dia durante a estação seca, em uma área aluvial irrigada, com cultivo estabelecido de cenoura com sensores instalados em pontos com solo

descoberto e outros em solo coberto no semiárido nordestino.

Material e Métodos

A pesquisa foi realizada em lote experimental, no município de Pesqueira, localizado na bacia representativa do Alto Ipanema, semiárido nordestino, a 230 km de Recife, PE, com coordenadas geográficas de 8° 21' 28" de latitude Sul e 36° 41' 47" de longitude Oeste. De acordo com a classificação de Köppen, o clima na região é do tipo BSs'h' (extremamente quente, semiárido), com precipitação total anual média de 730 mm, temperatura média anual de 23 °C, e evapotranspiração potencial anual média de 1683 mm (Montenegro & Montenegro, 2006). No dia do experimento, as temperaturas máxima e mínima do ar foram de 29,26 °C e 20,09 °C, e temperatura média diária de 23,61 °C, enquanto a umidade relativa do ar variou entre 46,6 e 87,9%, com radiação solar máxima de 1,18 kW m⁻², e velocidade média do vento de 1,42 m s⁻¹, registrados em estação automática da Campbell Scientific.

A área experimental adotada situa-se em terraço aluvial do Rio Ipanema, inserida em assentamento estadual de agricultura familiar. O solo da área em estudo foi classificado como Neossolo Flúvico, com textura predominantemente siltosa (Bastos, 2004). Cultivam-se hortaliças em geral após a estação chuvosa, que se encerra entre os meses de Julho e Agosto. O sistema de irrigação foi o localizado por meio de um sistema de microaspersão, com a vazão do microaspersor de 105 L h⁻¹, com água proveniente de poço do tipo amazonas, por 1,5 h diariamente. No dia da realização do experimento, o sistema de irrigação foi ligado em toda a área de 8:00 h até 8:30 h.

A área total de amostragem foi de 3952 m² (76 x 52 m), anteriormente cultivada com cenoura, onde foram amostrados 65 pontos. No dia do experimento, 83% da área plantada havia sido colhida, conferindo à área total duas regiões de cobertura: uma descoberta (3376 m²) e outra com cobertura das plantas (576 m²). A região descoberta foi amostrada em uma malha regular de 12 m, totalizando 864 m², compreendido entre os pontos 50 até 61, e uma malha linear com espaçamento de 24 m, entre os pontos 62 e 65, para uma região mais distante da área com cobertura das plantas. Já a região com cobertura das cenouras foi amostrada em uma malha regular de 4 m, totalizando 49 pontos (Figura 1). A malha com espaçamento menor foi usada para detectar a variação em uma escala menor, como sugerido por Motomiya et al. (2011), ao avaliar a magnitude da

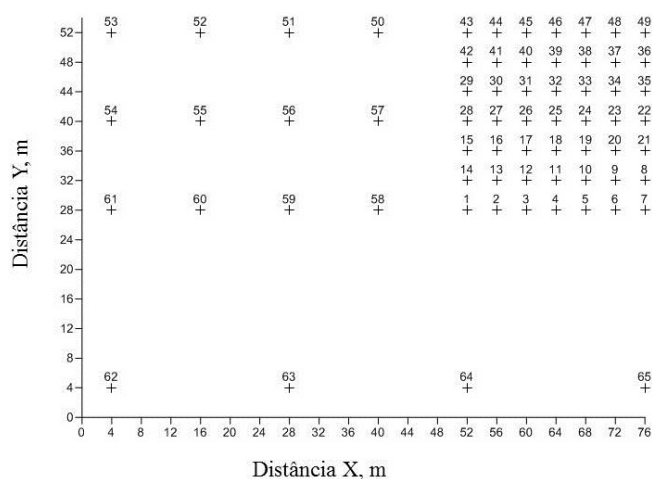


Figura 1. Malha de amostragem com as coordenadas X e Y com pontos 1 até 49 referentes à área com cobertura e pontos 50 até 65 referentes à área descoberta.

variabilidade espacial e as relações de causa e efeito entre os fatores de produção da cultura do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.)

A determinação da temperatura na superfície do solo foi realizada por meio de um termômetro de infravermelho, RaytempTM 3, com escala de leitura de -60 até 500 °C, resolução de 0,1 °C e exatidão de ±1 °C. O registro da temperatura superficial foi instantânea e a uma distância de 15 cm do solo. Para o registro da temperatura a 15 cm de profundidade, utilizou-se um termômetro digital, Incoterm, do tipo espeto, com escala de -50 ° a 300 °C, resolução de 1 °C, exatidão de ± 1 °C e comprimento da haste de 15 cm. Os equipamentos eram móveis e instalados perpendicularmente ao solo.

A leitura da temperatura a 15 cm de profundidade foi realizada após a estabilização da temperatura, esperando-se cerca de 3 min, como sugerido por Dourado Neto et al. (1999) e Oliveira et al. (2005), já que haste exige um tempo maior para que a temperatura entre em equilíbrio ao longo do instrumento e a leitura seja coerente com as condições do solo.

Foram avaliadas as temperaturas na superfície do solo e a 15 cm de profundidade, em quatro horários diferentes do dia, às 8:30, 10:30, 15:00 e 17:00 h, no dia 13 de novembro de 2012. A escolha de realizar a pesquisa em novembro se deve ao fato de ser o período de estação seca, enquanto a escolha de um dia justifica-se pelo objetivo de conhecer a variabilidade espacial da temperatura ao longo de um dia.

Realizou-se análise da estatística descritiva e da dependência espacial em dois momentos: primeiramente para toda área de cultivo, com os diferentes tipos de cobertura (solo descoberto e com as cenouras), utilizando os 65 pontos de amostragem; em seguida,

um detalhamento da região com cobertura das plantas, com 49 pontos.

Para da análise estatística descritiva dos dados foi realizada a determinação das medidas de tendência central (média e mediana) e medidas de dispersão (desvio-padrão, variância e coeficiente de variação), além de se verificar a aderência à distribuição normal, segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov ($p < 0, 05$).

A análise de dependência espacial foi realizada por meio de ajustes de semivariogramas, tomando por base a pressuposição de estacionaridade e da hipótese intrínseca (Vieira, 2000), conforme Eq (1).

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

em que;

$N(h)$ - número de pares experimentais de observações $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ separadas por uma distância h .

A partir do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados, são estimados os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (efeito pepita, C_0 ; patamar, $C_0 + C_1$ e o alcance, a).

Os programas computacionais utilizados para análise geoestatística foram o GEO-EAS (ENGLUND & SPARKS, 1991) e o GS+, em qual foram obtidos os semivariogramas experimentais e, posteriormente, testados os modelos gaussiano, esférico, exponencial e linear. A escolha dos melhores modelos foi feita com base no critério de Jack-Knifing (Vauclin et al., 1983) em que os erros padronizados com média próxima a zero e desvio-padrão próximo a um, apresentam o melhor ajuste. Caracterizada a dependência espacial, utilizou-se o método da krigagem ordinária para a construção dos mapas, por meio do programa

computacional Surfer®, versão 9.5 (Golden Software, 2009).

Para determinar o grau de dependência espacial da temperatura do solo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), que considera a relação efeito pepita por patamar, sendo classificada como forte valores da ordem de 25%, moderada de 25 a 75% e fraca >75%.

A caracterização do grau de variabilidade foi realizada com os valores de coeficiente de variação (CV) dos atributos, conforme Warrick & Nielsen (1998), na qual considera como baixa variabilidade $CV < 15\%$, média para valores entre 15 e 50% e alta variabilidade para valores $CV > 50\%$.

Resultados e Discussão

Observa-se maior variabilidade da temperatura superficial, a 15 cm de profundidade, o que pode ser explicado pelo fato da superfície estar mais suscetível aos elementos climáticos, radiação solar e temperatura do ar (Tabela 1). A temperatura à profundidade de 15 cm do solo foi em média mais homogênea, em que se verificou valores de coeficiente de variação indicando baixa variabilidade para os horários das 8:30, 15:00 e 17:00h, enquanto a temperatura superficial apresentou média variabilidade (8:30, 10:30 e 15:00h) e, às 17 h uma baixa variabilidade, segundo o critério de Warrick & Nielsen (1998).

De acordo com Little e Hills (1978), quando os valores da média e da mediana estão próximos, os dados se ajustam a uma distribuição normal, ou se aproximam. Assim, foi possível realizar as análises geoestatísticas com o conjunto de dados.

Os resultados da estatística descritiva para os 49 pontos, com cobertura da cenoura, apresentaram baixa

Tabela 1. Estatística descritiva para temperatura superficial do solo e a 15 cm de profundidade para os 65 pontos da área total.

Horário/ Parâmetros descritivos	Temperatura do solo (0 e 15 cm)							
	8 h 30		10 h 30		15 h		17h	
	T0	T15cm	T0	T15cm	T0	T15cm	T0	T15cm
	(°C)							
Média	19,30	23,35	33,24	26,20	27,34	28,54	23,50	27,21
Mediana	19,60	22,00	29,60	25,00	24,20	26,00	22,10	26,00
Desvio padrão	5,61	2,44	8,76	2,92	6,44	3,94	3,16	3,37
Variância	31,52	5,95	76,76	8,54	41,42	15,53	9,97	11,33
C V (%)	26,54	10,44	27,10	24,00	23,54	13,81	13,44	12,34
Curtose	7,26	1,49	-0,24	0,47	0,65	-0,35	-0,30	0,22
1° Quartil	17,85	22,00	29,60	25,00	22,75	26,00	21,30	25,00
3° Quartil	22,35	24,50	35,85	27,00	31,75	32,50	26,30	29,00
Normalidade	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn

nn - Não normal. T0 – Temperatura superficial. T15 – Temperatura a 15 cm de profundidade do solo.

variabilidade dos dados, com coeficiente de variação entre 5,35 e 12,95%, para a temperatura superficial, e valores entre 2,23 e 4,63% para temperatura na profundidade de 15 cm (Tabela 2).

Para variação da temperatura na superfície do solo ao longo do dia dos intervalos de registro, observa-se menores valores de temperaturas às 8 h 30 e maiores temperaturas às 10 h 30, tanto na área total (65 pontos) quanto na área com cultivo de cenoura (49 pontos).

Na camada a 15 cm de profundidade, os menores valores de temperatura do solo foram encontrados nos dois primeiros horários de registro, enquanto os maiores valores foram registrados às 15 h e 17 h, concordando com os valores por Eltz e Rovedder (2005) que analisaram as mudanças de temperatura do solo com diferentes tipos de cobertura sobre um Neossolo Quartzarênico distrófico degradado por atividade pecuária, na região sudoeste do Rio Grande do Sul.

Observa-se um atraso ao longo do dia das temperaturas nos níveis de profundidades avaliados

(Figura 2A e 2B). Prevedello (1996) afirma que a tendência crescente da temperatura no decorrer do dia, nas camadas mais inferiores do solo, refletem o atraso na propagação de energia em diferentes profundidades, quando comparada à propagação imposta às camadas superficiais, o que gera menor amplitude térmica nas camadas mais profundas. Também se pode verificar a menor variação de temperatura na camada de 15 cm, com intervalo interquartil mais estreito. A distribuição estatística das temperaturas nas horas mais quentes do dia estão apresentadas nas Figuras 3A e 3B, separadamente para as áreas coberta pela vegetação e descoberta, podendo-se verificar claramente o contraste de temperaturas, e o significativo efeito da cobertura vegetal na dinâmica de temperatura.

Para a variabilidade de temperatura do solo quando utilizado os 65 e os 49 pontos, notou-se maior variabilidade no primeiro caso, que se justifica principalmente pela amostragem em solo descoberto (Tabela 1 e 2), que apresenta maiores valores de

Tabela 2. Estatística Descritiva para os 49 pontos cultivados com cenoura, para temperatura superficial e temperatura na profundidade de 15 cm.

Horário/ Parâmetros descritivos	Temperatura do solo (0 e 15 cm)							
	8 h 30		10 h 30		15 h		17 h	
	T0	T15cm	T0	T15cm	T0	T15cm	T0	T15cm
	(°C)							
Média	19,30	22,08	28,86	24,67	24,26	26,43	21,84	25,39
Mediana	19,60	22,00	28,40	25,00	23,40	26,00	21,60	25,00
Desvio padrão	2,48	0,49	3,30	0,90	3,14	1,22	1,17	0,67
Variância	6,16	0,24	10,86	0,81	9,87	1,50	1,36	0,45
C V (%)	12,86	2,23	11,42	3,64	12,95	4,63	5,35	2,64
Curtose	-0,94	5,27	0,00	-0,80	6,24	16,88	5,11	3,76
1° Quartil	16,70	22,00	26,50	24,00	22,40	26,00	21,20	25,00
3° Quartil	20,90	22,00	31,05	25,00	24,80	27,00	22,20	26,00
Normalidade	n	nn	nn	nn	n	nn	n	nn

nn - Não normal. n - normal. T0 - Temperatura na superfície. T15 - Temperatura a 15 cm de profundidade do solo.

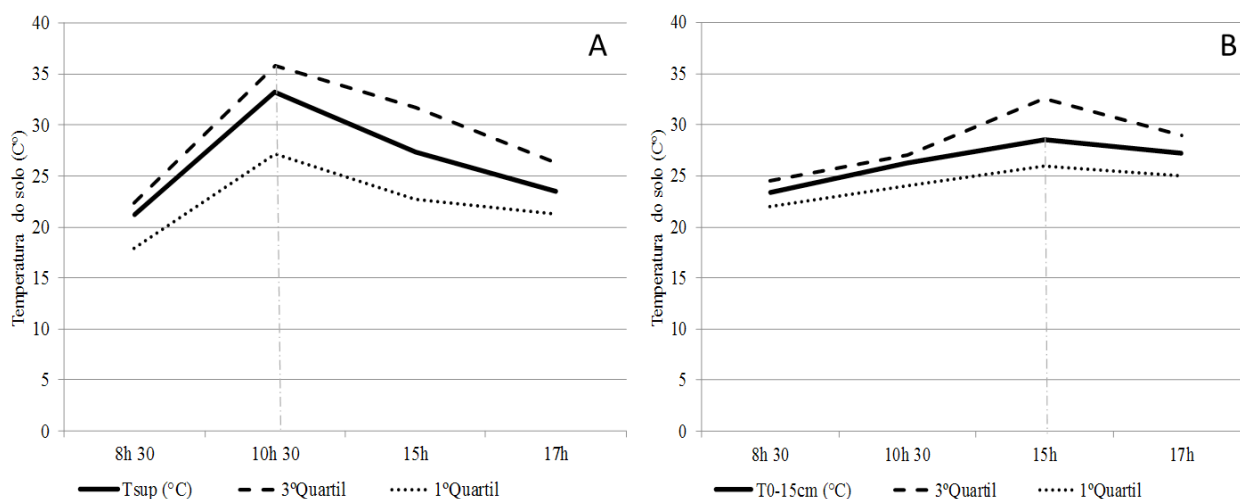


Figura 2. Variação da temperatura média do solo ao longo do dia, para a superfície do solo (A) e a 15 cm de profundidade (B), na área cultivada com cenoura, e intervalo interquartil.

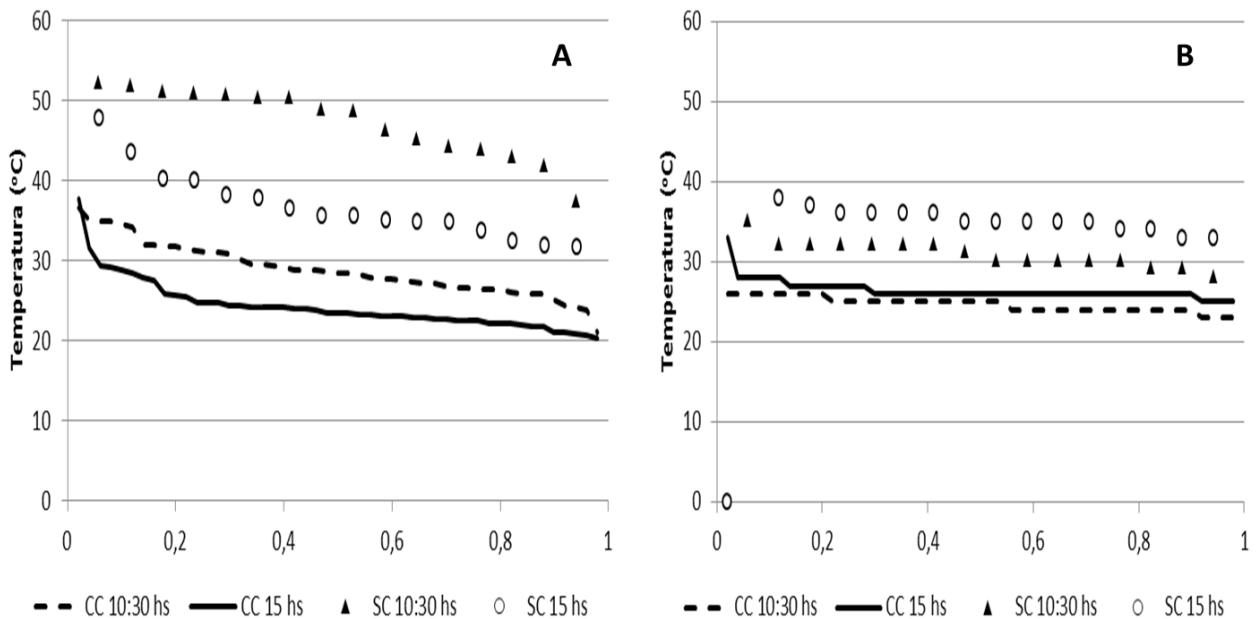


Figura 3. Distribuição acumulada de temperatura do solo às 10:30 hs e 15 hs para área com cobertura (CC) e área sem cobertura (SC), para a superfície do solo (A) e a 15 cm de profundidade (B)

temperaturas de solo. Este comportamento foi observado por Oliveira et al. (2005), ao analisar a relação entre as flutuações de temperatura e umidade do solo e os níveis de insolação, utilizando-se sete diferentes tipos de cobertura do solo, em que se verificou maiores valores de temperatura do solo no tratamento sem cobertura, em relação ao solo com cobertura de *Mucuna* e vegetação espontânea. Adicionalmente, Eltz e Rovedder (2005) verificaram que as temperaturas do solo na área com solo descoberto apresentam uma tendência a distanciarem-se dos demais tratamentos, no sentido de aumento da temperatura, principalmente até 10 cm e às horas mais quentes dos dias.

Quanto ao clima, algumas cultivares de cenoura formam boas raízes em temperaturas de 18 a 25 °C. Para valores acima de 30 °C, as plantas têm seu ciclo vegetativo reduzido, o que afeta o desenvolvimento das

raízes e a produtividade (Vieira et al., 1999). Aumento de temperatura para 35 a 36°C reduzem drasticamente a germinação das plantas que, por sua vez, irá influenciar na produtividade e o rendimento da cultura (Pereira et al., 2008).

Estudo da variabilidade espacial

A análise da variabilidade espacial foi realizada ao longo do dia, e os resultados dos parâmetros de variabilidade para os 65 pontos seguem na Tabela 3. Para todos os horários de registros e profundidades, o modelo que melhor se ajustou foi o gaussiano, seguindo o critério de Jack-Knifing para validação do semivariograma teórico. O alcance foi maior para a temperatura do solo a 15 cm de profundidade, em todos os horários, sendo o horário de 10 h 30 o que apresentou os alcances mais próximos nas diferentes

Tabela 3. Parâmetros da dependência espacial para área total 65 pontos da temperatura superficial do solo e a 15 cm de profundidade.

Horários/ Parâmetros geoestatísticos	Temperatura do solo (0 e 15 cm)							
	8 h 30		10 h 30		15 h		17 h	
	T0	T15cm	T0	T15cm	T0	T15cm	T0	T15cm
	(°C)							
Efeito pepita (C_0)	0,10	0,01	0,10	0,01	1,60	0,10	0,01	0,01
Patamar (C_0+C_1)	61,20	21,01	201,00	21,01	64,10	41,20	21,01	31,01
Alcance (m)	56,56	79,07	60,00	60,43	53,00	63,86	57,00	64,95
C_0/C_0+C_1	0,0016	0,0005	0,0005	0,0005	0,0250	0,0024	0,0005	0,0003
Modelo	GAU	GAU	GAU	GAU	GAU	GAU	GAU	GAU
	Validação cruzada							
Média dos Erros	0,26	-0,10	0,07	-0,27	0,05	0,00	0,42	-0,23
Desvio Padrão	4,53	3,66	6,99	7,94	2,17	3,02	10,49	5,09

GAU - gaussiano. T0 - Temperatura na superfície. T15 - Temperatura a 15 cm de profundidade do solo.

profundidades: 60 m para a temperatura na superfície do solo e 60,43 m para a temperatura de solo à 15 cm. De acordo com o critério de Cambardella et al (1994), o grau de dependência espacial foi forte para todos os horários e profundidades.

Nota-se na Figura 4 e 5, a existência de dependência espacial para a temperatura do solo nas diferentes profundidades e horários. Essa variação era de se esperar, uma vez que existe uma forte dependência espacial na área devido à falta de cobertura vegetal para a malha de 12 x 12 m e na amostragem linear com 24 m de espaçamento. Desta maneira, o solo fica mais exposto aos fatores ambientais, em especial à radiação solar, que promove o aumento da temperatura do solo. Por isso, com a diferença de cobertura na mesma área, espera-se ocorrer dependência espacial da temperatura do solo, conferindo forte grau de dependência. É importante destacar um efeito buraco que ocorreu nos semivariogramas, à medida que o incremento aproxima-se do valor da distância da área cultivada (malha de 4 x 4 m). Quando o incremento torna-se maior que a dimensão dessa área cultivada, as semivariâncias aumentam significativamente, devido a não estacionaridades locais da variável em estudo. Esse efeito é causado pela diferença de cobertura existente entre os pontos amostrados, do ponto 1 até 49 com cobertura de cenoura, e nos pontos acima de 49 com solo descoberto.

Os resultados encontrados nos 49 pontos, com a cobertura da cultura, apresentaram ajustes ao modelo esférico, exponencial e gaussiano, para os horários da 8 h 30, 10 h 30, 15 h e 17 h, respectivamente (Tabela 4). Esses resultados foram distintos daqueles encontrados por Panosso et al. (2009a), que avaliaram a distribuição espacial para temperatura do solo e obtiveram melhor ajuste para o modelo esférico. Tal diferença pode ser justificada pelas diferentes condições de manejo,

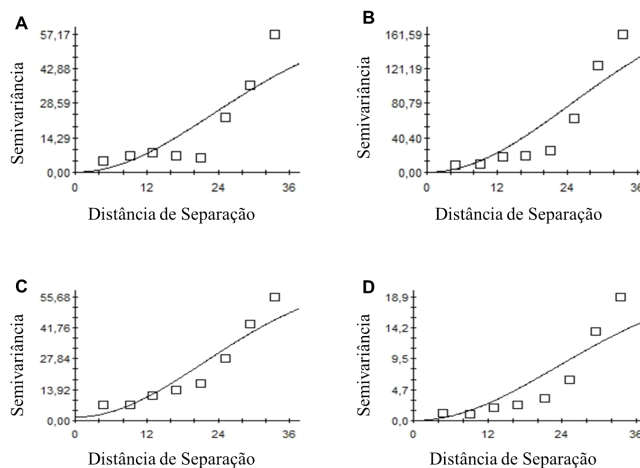


Figura 4. Semivariograma da temperatura da superfície do solo área total de cultivo de cenoura (65 pontos). (A) 8 h 30; (B) 10 h 30; (C) 15 h; (D) 17 h.

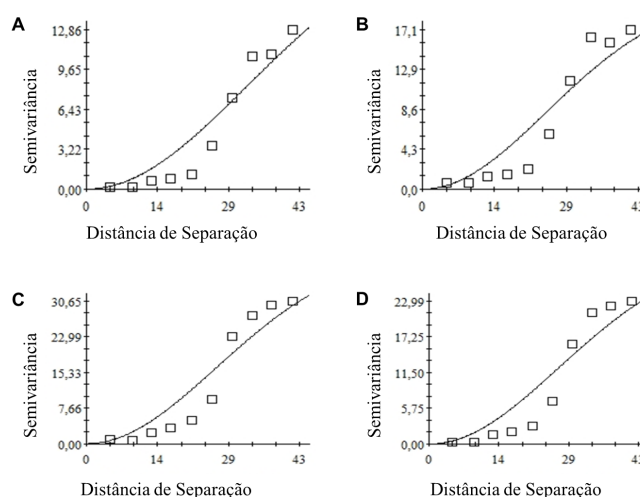


Figura 5. Semivariograma para temperatura de 15 cm de profundidade para área total (65 pontos). (A) 8 h 30; (B) 10 h 30; (C) 15 h; (D) 17 h.

cobertura e equipamentos utilizados para avaliação da temperatura. Com efeito, Panosso et al. (2009a) avaliaram diferentes sistemas de manejos de cana-de-

Tabela 4. Parâmetros da dependência espacial para todos os horários e da temperatura superficial e temperatura de 0 – 15 cm para os 49 pontos.

Horários/ Parâmetros geoestatísticos	Temperatura do solo (0 e 15 cm)							
	8:30h		10:30h		15:00h		17:00h	
	T0	T15cm	T0	T15cm	T0	T15cm	T0	T15cm
	(°C)							
Efeito pepita (C_0)	0,01	0,09	0,75	0,43	4	0,6	0,8	0,29
Patamar (C_0+C_1)	6,58	0,23	11,11	0,9	11	2,2	1,5	0,57
Alcance	9,41	19,59	9,42	20	20	35	20	24
C_0/C_0+C_1	0,001	0,39	0,063	0,48	0,36	0,27	0,53	0,5
Modelo	ES	ES	EX	GAU	GAU	GAU	GAU	GAU
	Validação cruzada							
Média dos erros	-0,04	-0,02	-0,02	0,01	0,002	0,01	-0,01	-0,01
Desvio padrão	0,94	1,16	1,00	1,19	1,36	1,44	1,19	1,04

ES – Esférico. EX – Exponencial. GAU - Gaussiano. T0 – Temperatura à superfície. T15 – Temperatura a 15 cm de profundidade do solo.

açúcar, na fase inicial de desenvolvimento, com um termômetro digital de 20 cm de comprimento e maior sensibilidade do equipamento.

De acordo com o critério de Cambardella et al. (1994), o grau de dependência para a temperatura superficial do solo foi forte para os horários das 8:30 e 10:30 h, com 0,1 e 6,3 %, respectivamente, enquanto que para o horário das 15:00 e 17:00 h foi moderado com 36 e 53%. Enquanto que para temperatura a 15 cm de profundidade do solo o grau de dependência foi moderado com 38,9; 48; 27 e 50%, para os respectivos horários de registro (Cambardella et al., 1994). O alcance para a temperatura superficial foi de 9,4; 9,42; 20 e 20 m, enquanto que para temperatura a 15 cm foram de 19, 59; 20; 35 e 24 m, às 8:30, 10:30, 15:00 e 17:00 h, respectivamente (Tabela 4). O regime térmico na superfície do solo é condicionado principalmente pela radiação global incidente, mas é bastante susceptível a outros fatores como temperatura do ar, cobertura vegetal, elementos topográficos e meteorológicos. Como a área avaliada apresenta as mesmas condições de topografia e meteorologia, os aspectos pedológicos e de cobertura foram os mais significativos para o regime térmico desse estudo. A presença de água no solo proporciona aumento efetivo da seção de contato das partículas sólidas capaz de propagar calor e, assim, a condutividade térmica aumenta rapidamente (Bellaver, 2010).

As variações térmicas se limitam aos horizontes superficiais, em decorrência da absorção e da perda de energia na superfície do solo, aliada ao fato da baixa velocidade de propagação de calor no interior do perfil, podendo-se notar retardo no pico de umidade média na profundidade de 15 cm, em relação à superfície do solo (Figuras 2A e 2B). A baixa velocidade de propagação justifica os menores valores de alcance da temperatura superficial, quando comparado com a temperatura a 15 cm de profundidade, tornando a temperatura na superfície mais heterogênea (Figura 6 e 7). Ao passo que a temperatura na profundidade de 15 cm é condicionada pela energia absorvida na superfície e conduzido ao longo do perfil do solo, no qual a condutividade térmica é o parâmetro que regula esse transporte de calor, sendo dependente da textura, densidade e umidade do solo (Bergamaschi e Guadagnin, 1993).

A partir dos mapas de Krigagem (Figuras 8, 9, 10 e 11), verificam-se quais são as áreas que apresentam situações térmicas mais críticas para o desenvolvimento das plantas.

Rodrigues et al. (2011) apontam que o desenvolvimento de diversos grupos orgânicos de solo estão interligados as condições ambientais e elementos

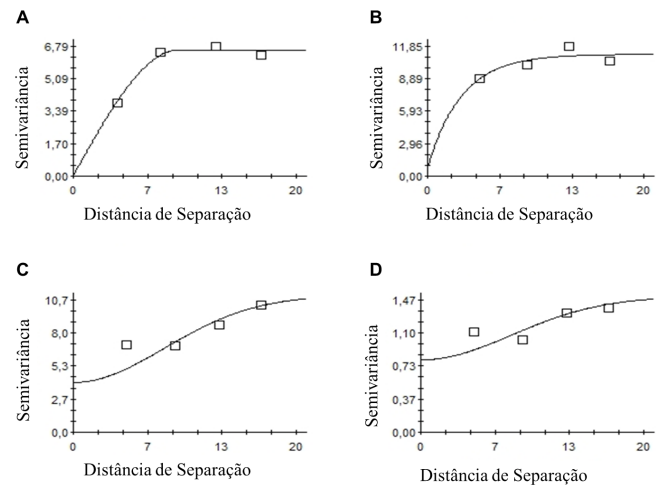


Figura 6. Semivariograma para temperatura superficial para os 49 pontos. (A) 8 h 30; (B) 10 h 30; (C) 15 h; (D) 17h.

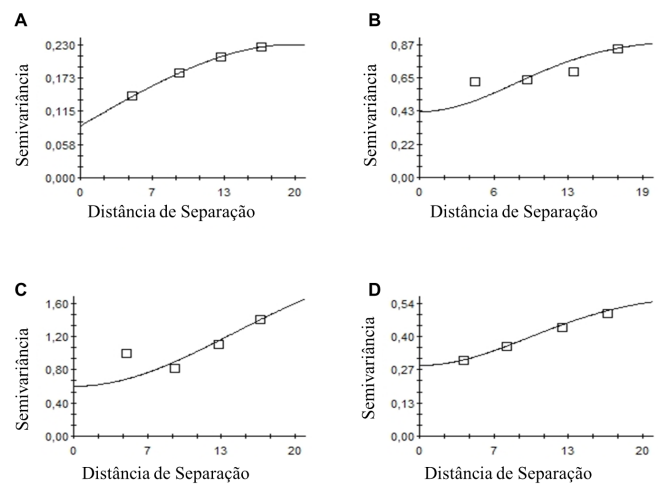


Figura 7. Semivariograma para temperatura de 15 cm de profundidade para os 49 pontos. (A) 8 h 30; (B) 10 h 30; (C) 15 h; (D) 17 h.

meteorológicos, tais como: temperatura, umidade, fluxo de energia no solo e radiação solar. No entanto, ainda faltam estudos mais precisos que avaliem, isoladamente, como a temperatura pode interferir na produtividade da cenoura e quais faixas de temperatura do solo são mais adequadas para as cenouras. Com isso, é possível atuar com eficiência no sistema de produção, o que permitirá maior economia de tempo e dinheiro ao produtor.

Verifica-se que 152 m² da área plantada (576 m²) encontra-se com temperatura superior a 30 °C, às 10 h e 30 min, na superfície do solo, o que pode comprometer a produtividade da cultura. Para a profundidade de 15 cm, apenas 0,50 m² apresentava temperatura acima de 30 °C, às 15 hs. Dentre as técnicas que poderiam ser utilizada para controlar o aquecimento do solo na camada superficial, pode-se mencionar o uso da cobertura morta (mulching). Por exemplo, Montenegro et al. (2013) apresentaram análise do controle da

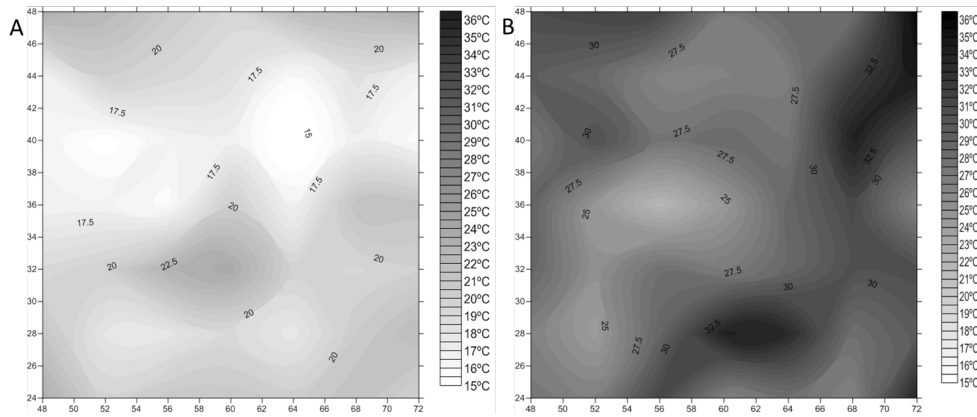


Figura 8. Krigagem para temperatura superficial para os 49 pontos. (A) 8 h 30; (B) 10 h 30.

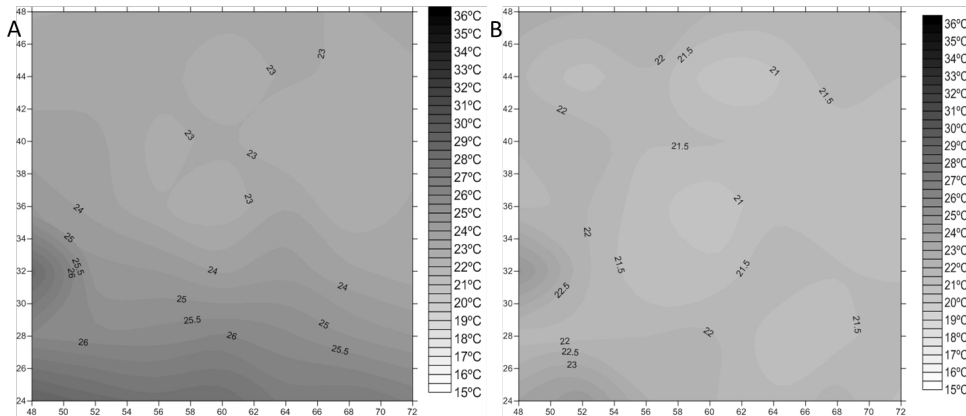


Figura 9. Krigagem para temperatura superficial para os 49 pontos. (A) 15 h; (B) 17h.

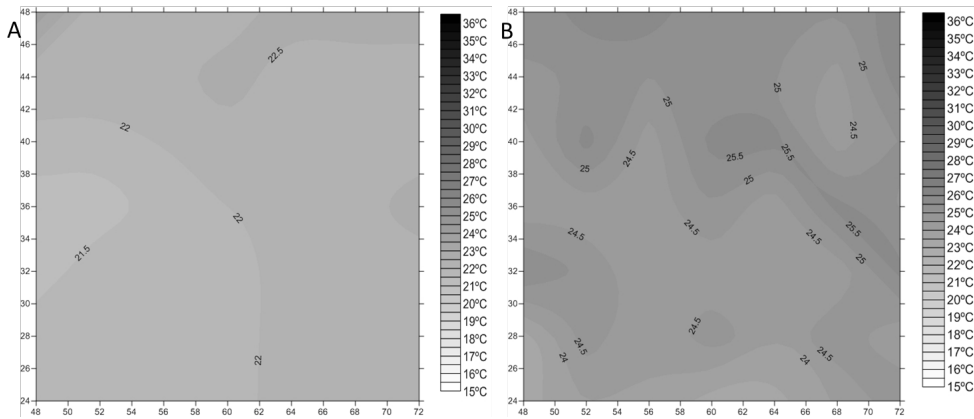


Figura 10. Krigagem para temperatura 15 cm de profundidade para os 49 pontos. (A) 8 h 30; (B) 10 h 30.

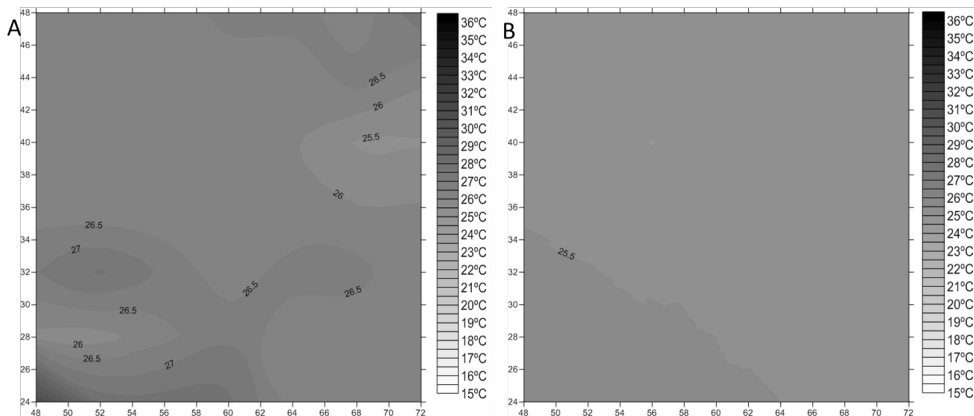


Figura 11. Krigagem para temperatura 15 cm profundidade do solo para os 49 pontos. (A) 15 h; (B) 17 h.

temperatura superficial do solo, utilizando palha de arroz com duas densidades de cobertura (4 t ha⁻¹ e 8 t ha⁻¹), tendo-se observado redução significativa da temperatura superficial para a maior densidade.

Conclusões

Há variação espacial da temperatura do solo em função da cobertura do solo.

Houve influência da profundidade do solo sobre a variabilidade espacial da temperatura.

A temperatura do solo alcançou valores considerados inadequados para o desenvolvimento das plantas, verificando-se que 26% da área cultivada apresentavam temperaturas acima do recomendado, às 10 h e 30 min, na superfície do solo.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFRPE e ao CNPq, pelo suporte financeiro ao experimento.

Literatura Citada

- Amado, T.J.C. Matos, A.T. Torres, L. Flutuação de temperatura e umidade do solo sob preparo convencional e em faixas na cultura da cebola. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.24, p.625-631, 1990.
- Andrade, T.S; Montenegro, S.M.G.L.; Montenegro, A.A.A.; Rodrigues, D.F.B. Variabilidade espaço-temporal da condutividade elétrica da água subterrânea na região semiárida de Pernambuco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.5, p.496-504, 2012.
- Bastos, D.C.O. Manejo da salinidade em irrigação localizada: análise da alternativa de lixiviação incompleta. Recife: UFRPE. 2004. 57p. Dissertation Master.
- Bellaver, V. Difusividade térmica do solo em área monodominante de cambará no norte do Pantanal Matogrossense. Cuiabá: UFMT. 2010. 54p. Dissertation Master.
- Bergamaschi, H; Guadagnin, M. R. Modelos de ajuste para médias de temperatura do solo, em diferentes profundidades. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.1, n.1, p.95-99, 1993.
- 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 America Journal*, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.
- Carneiro, M.A.C; Souza, E.D; Reis, E.F; Pereira, H.S; Azevedo, W.R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.33, n.1, p.47-157, 2009.
- Carneiro, R.G.; Moura, M.A.L.; Silva, V.P.R.; Silva Júnior, R.S.; Andrade, A.M.D.; Santos, A.B. Estudo da temperatura do solo em dois biomas florestais nos períodos, chuvoso e seco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.6, n.4, p. 1009-1022, 2013.
- Dourado – Neto, D.; Timm, L.C.; Oliveira, J.C.M.; Reichart, K.; Bacchi, O.O.S.; Tominaga, T.T.; Cássarp, F.A.M. State-space approach for the analysis of soil water content and temperature in a sugarcane crop. *Scientia Agricola*, v.56, n.4, p.1215-1221, 1999.
- Eltz, F.L.F.; Rovedder, A.P.M. Revegetação e temperatura do solo em áreas degradadas no Sudoeste do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrociência*, v.11, n.2, p.193-200, 2005.
- Englund, E.; Sparks, A. Geo-EAS (Geostatistical Environmental Assessment Software). Las Vegas: U.S. Environmental Protection Agency, 1991. EPA/600/4-88/033^a.
- Gasparim, E.; Ricieri, R. P.; Lima Silva, S.; Dallacort, R.; Gnoatto, E. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, v.27, n.1, p.107-114, 2005.
- Golden Software - Surfer For Windows. Surface mapping system. New York, Versão 9, 2009.
- Jose, J.V.; Rezende, R.; Marques, P.A.A.; Gonçalves, A.C.A.; Souza, R.S. Variabilidade espacial de variáveis físico-hídricas de dois latossolos da região noroeste do estado do Paraná. *Irriga*, v.17, n.2, p.208-219, 2012.
- Little, T.M.; Hills, F.J. Agricultural experimentation. New York: John Wiley & Sons. 1978. 350p.
- Montenegro, A.A.A.; Abrantes, J.R.C.B.O.; Lima, J.L.M.P.; Singh, V.; Santos, T. Impact of Mulching on Soil and Water Dynamics under Intermittent Simulated Rainfall. *Catena*, v.109, p.139-149, 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, n.1, p.30-37, 2006.
- Motomiya, A.V.A.; Molin, J.P.; Motomiya, W. R.; Vieira, S. R. Spatial variability of soil properties and cotton yield in the Brazilian Cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.10, p.996-1003, 2011.
- Oliveira, M.L.; Ruiz, H.A.; Costa, L.M.Da.; Schaefer, C.E.G.R. Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.4, p.535-539, 2005.

- Panosso, A. R.; Marques Jr, J.; Pereira, G. T.; La Scala Jr, N. Spatial and temporal variability of soil CO₂ emission in a sugarcane area under green and slash-and-burn managements. *Soil & Tillage Research*, v.105, p.275–282, 2009a.
- Panosso, A. R.; Rodrigues Ribeiro, C. E.; Zanini, J. R.; Pavani, L. C.; Pereira, G. T.; La Scala Junior, N. Variabilidade espacial da emissão de CO₂, da temperatura e umidade de um latossolo desprovido de vegetação sob diferentes lâminas de molhamento. *Semina: Ciências Agrárias*, v.30, suplemento 1, p.1017-1034, 2009b.
- Pereira, R. S.; Nascimento, W. M.; Vieira, J. V. Carrot seed germination and vigor in response to temperature and umbel orders. *Scientia Agricola*, v.65, n.2, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162008000200006>>. Acessado em 12 março de 2013.
- Prevedello, C. L. Física do Solo.: Com problemas resolvidos. Curitiba, 1996. 446p.
- Resende, F.V.; Souza, L.D.; Oliveira, P.D.; Gualberto, R. Uso de cobertura morta vegetal no controle da umidade e temperatura do solo, na incidência de plantas invasoras e na produção da cenoura em cultivo de verão. *Ciência e Agrotecnologia*, v.29, n 1, p.100-105, 2005.
- Rodrigues, H.J.B; Sá, L.D.A; Ruivo, M.L.P; Costa, A.C.L; Silva, R.B; Moura, Q.L; Mello, I.F. Variabilidade quantitativa de população microbiana associada às condições microclimáticas observadas em solo de floresta tropical úmida. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 26, n. 4, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862011000400012>>. Acessado em 20 de março de 2013.
- Rosa, C.E; Rodrigues, R.A.F; Alves, M.C. Variação da temperatura do solo em áreas de recuperação de solo degradado. *Revista Unijales*, n. 1, 2009.
- Santos, S.R.Q.; Da Silva, R.B.C.; Barreto, P.N.; Nunes, H.G.G.; Rodrigues, R.D.S.; Campos, T.L.D.O.B. Regime térmico e hídrico do solo para área de floresta tropical em anos de El Niño e La Niña, Caxiuanã-PA: estudo de caso. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 26, n.3, p.367-374, 2011.
- Silva, V.R.; Reichert, J.M.; Reinert, D.J. Variação na temperatura do solo em três sistemas de manejo na cultura do feijão. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 30, n.3, p.391-399, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832006000300001>>. Acessado em 19 de abril de 2016.
- Vauclin, M; Vieira, S.R; Vachaud, G; Nielsen, D.R. The use of cokriging with limited field soil observations. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.47, n.1, p.175-184, 1983.
- Veiga, M.; Reinert, D.J; Reichert, J.M. Tillage systems and nutrient sources affecting soil cover, temperature and moisture in a clayey oxisol under corn. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 34, n.6, 2010.
- Vieira, J.V.; Pessoa, H.B.S.V; Makishima, N. A cultura da cenoura. Brasília: Embrapa Hortaliça. 1999. 77p.
- Vieira, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. *Tópicos em ciência do solo*, v.1, p.1-53, 2000.
- Warrick, A.W.; Nielsen, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D.(ed.) *Environmental soil physics*. New York: Academic. 1998. p.655-675.