

Distribuição espacial da pressão na lateral de um pivô central com base em um modelo digital de elevação (MDE)

Brenon Diennevan Souza Barbosa¹, Alberto Colombo², Victor Buono da Silva Baptista³, Ana Claudia Sátiro de Araujo⁴, Gabriel Araujo e Silva Ferraz⁵

¹ Doutorando, PPGEA/UFLA. Caixa Postal 3037, CEP: 37200-000, Lavras, MG. E-mail: b.diennevan@outlook.com

² Professor Associado, DEG/UFLA, Lavras - Minas Gerais. E-mail: acolombo@deg.ufla.br

³ Doutorando, PPGRHSA/UFLA, Lavras - Minas Gerais. E-mail: victor.buono1@gmail.com

⁴ Mestranda, PPGESA, ESALQ-USP, Piracicaba - São Paulo. E-mail: satiroagro@gmail.com

⁵ Professor adjunto, DEG/UFLA, Lavras - Minas Gerais. E-mail: gabriel.ferraz@deg.ufla.br

Resumo: A distribuição espacial da carga de pressão ao longo dos 432,6m de comprimento de uma linha lateral de um pivô central foi determinada a partir de valores medidos, na entrada e na extremidade da linha lateral, e combinados com dados de altitude proveniente de uma imagem SRTM do rastro das oito torres de sustentação da linha lateral. Para fins de validação da estimativa da distribuição espacial da carga de pressão na linha lateral móvel, em 18 diferentes posições angulares, foram medidos valores de carga de pressão em seis pontos distintos do seu comprimento. Diferenças significativas, ao nível de 5% do teste de médias “t de student”, foram observadas quando valores de carga de pressão estimados com dados de altitude do SRTM foram comparados com os valores medidos em campo. Após a confecção de mapas temáticos verificou-se coincidência no posicionamento das regiões de ocorrência dos valores mais elevados, como também dos menores valores de carga de pressão. O estudo demonstrou que o uso de dados de elevação a partir de imagens SRTM é aceitável apenas para a elaboração de mapas temáticos destinados a delimitar dentro da área irrigada a ocorrência de regiões onde prevaleceram valores de pressão distintos.

Palavras-chave: engenharia de irrigação, irrigação de precisão, topografia.

Pressure head spatial distribution center pivot lateral line based digital elevation model

Abstract: The spatial distribution of pressure head values along a 432,6m long center pivot lateral line was determined using measured values, taken at the inlet and end sections of the lateral line, and combined with topographic elevation data from a SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) image. Data furnished by SRTM describes topographic elevation values along the wheel tracks of each one of the eight towers used for the sustentation of the center pivot lateral line. For validation purposes of the process used for the determination of the pressure head distribution along the lateral line length, on 18 angular positions equally spaced along a complete turn of the lateral line, values of pressure head were also measured on 6 distinct points of the lateral line. Differences, on a 5% significance level for the student t means test, were observed when measured values were compared to pressure head values estimated based on SRTM's altitude data. After the creation of thematic maps, there was a coincidence in the positioning of the regions of occurrence of the highest of pressure head, also, the lower pressure head values. The study demonstrates that the use of elevation data from SRTM images is acceptable only for the elaboration of thematic maps destined to delimit within the irrigated area the occurrence of regions where different pressure head values prevailed

Keywords: irrigation engineering, precision irrigation, topography.

Introdução

O uso da irrigação do tipo pivô central cresce a cada dia, principalmente por se tratar de um equipamento de alta eficiência e fácil operação, podendo funcionar em terrenos com topografia variável. Estas características do pivô central permitem reduzir os custos operacionais dos empreendimentos nos quais são utilizados, além de proporcionarem um uso mais eficiente da água (Martin, 2011).

No Brasil a área irrigada com pivôs centrais em 2014 aumentou 43,3% em relação ao censo agropecuário de 2006, chegando ao patamar de 1,28 milhões de hectares. De acordo com este levantamento, o Estado de Minas Gerais é o estado que concentra a maior área irrigada com estes equipamentos, totalizando 406024 ha irrigados com pivô central (Guimaraes & Landau, 2016).

Quando pivôs centrais são instalados em áreas de topografia acidentada as variações de elevação no terreno no qual a lateral móvel se desloca provocam variações na carga de pressão (CP) disponível ao longo da lateral. Válvulas reguladoras de pressão (VRP) são utilizadas para evitar que valores excessivos de pressão, decorrentes das variações no terreno, sejam transferidos aos bocais dos emissores, afetando a uniformidade de aplicação da água (Mendonza & Frizzone, 2012). Além disso, as unidades de bombeamento de equipamentos do tipo pivô central que operam em terrenos de topografia ondulada são dimensionadas para atender o maior requerimento de CP que ocorre quando a linha lateral móvel ocupa a posição com os maiores valores de elevação topográfica. Consequentemente, quando a linha lateral ocupa posições de menor elevação topográfica o excesso de energia fornecido pela bomba deve ser dissipado pelas válvulas reguladoras de pressão, acarretando em desperdício de parte da energia fornecida pela bomba (Brar et al., 2017).

King & Wall (2000) comentam que as válvulas reguladoras de pressão utilizadas em pivô central não são capazes de eliminar todo excesso de pressão causado pelas variações na elevação do terreno, havendo um aumento de vazão do sistema que resulta em excesso de aplicação de água na região de menor elevação do terreno. Evidentemente, a grandeza deste aumento de vazão depende do tempo de uso e das condições de manutenção do equipamento considerado (Sandri & Cortez, 2009; Araujo et al., 2015).

O monitoramento da pressão na linha lateral de um pivô central permite a construção de mapas de variação da carga de pressão de operação, que podem identificar

áreas mais propícias ao escoamento superficial e áreas com excesso ou déficit de pressão, servindo como base para tomadas de decisão a cerca do manejo e da manutenção do sistema de irrigação (Rodrigues et al., 2001).

Jiménez-Bello et al. (2011) ressaltam que todos os sistemas pressurizados de irrigação estão sujeitos a um uso excessivo de água e energia, decorrente tanto de falhas operacionais como falta da manutenção preventiva e mal dimensionamento equipamento.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), aliados as técnicas de Sensoriamento Remoto (SR), são ferramentas de grande potencial para a agricultura irrigada, oferecendo meios para a análise do fluxo de água, melhora do projeto, identificação dos requisitos operacionais de diferentes sistemas de irrigação e gestão do uso da água (Harrower et al., 2010; Holzapfel et al., 2012). O uso dessas ferramentas em conjunto torna-se imprescindível para a aplicação de lâminas de irrigação com taxa variável e para a delimitação de zonas de manejo (El Nahry & Baroudy, 2011).

O sensoriamento remoto por imagens de satélite proporciona oportunidades para avaliar o consumo de água em diferentes escalas espaciais e temporais (Teixeira et al., 2013). Na agricultura de precisão o uso de mapas temáticos desempenha papel de fundamental importância. Especificamente para o caso da irrigação de precisão, os mapas temáticos auxiliam o irrigante na elaboração de estratégias para aplicação de diferentes valores de lâminas de água na área irrigada (Ceresoli et al., 2016).

Brar et al. (2017) desenvolveram um estudo para avaliar a redução do consumo de energia elétrica de unidades de bombeamento de equipamentos do tipo pivô central, que seriam obtidos com a variação da velocidade de rotação destas unidades, através do uso de inversores de frequência. Nesta avaliação os autores utilizaram modelos digitais de elevação e dados de Sistemas de Informação Geográfica referentes a 100 pivôs instalados no estado americano de Nebraska.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar, em diferentes posições angulares assumidas pela linha lateral de um pivô central que opera em um terreno de topografia ondulada, a distribuição da carga de pressão obtida com base em dados altimétricos SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Valores de pressão coletados em campo, nas mesmas posições angulares, foram utilizados na avaliação da distribuição espacial da pressão calculada com base em dados altimétricos SRTM.

Material e Métodos

Caracterização da área

O estudo foi realizado em um equipamento de irrigação do tipo pivô central situado na Fazenda Invernada, pertencente à Itograss Agrícola Alta Mogiana Ltda, no município de Bom Sucesso–MG, com coordenadas UTM 23K 50940 2.45m E, 7662306.20 m S.

Características do equipamento

Conforme descrito na ficha técnica do projeto original do fabricante, o pivô central da marca Valley, modelo 4871-8000-VSL/8-1,060, irriga uma área de 58,78 ha, com raio irrigado equivalente ao comprimento total da linha lateral (432,6 m). A linha lateral móvel é composta de oito vãos (quatro longos e quatro intermediários), que totalizam um comprimento de 411,7m e um lance em balanço com comprimento de 20,9m. Ao longo da linha lateral foram instalados, na

extremidade de pendurais, 189 emissores do tipo IWOB, dotados de válvulas reguladoras de pressão com valor de 69 kPa (10Psi). A ficha técnica estabelece que a carga de pressão no ponto do pivô deve ser de 30 m, que a carga de pressão no último emissor deve atingir 13m e a perda de carga ao longo do comprimento total da linha lateral é de 12,40 m.

Cronologia do posicionamento angular da linha lateral móvel

Na área irrigada pelo pivô foi referenciado um sistema angular ($0^{\circ} < \alpha \leq 360^{\circ}$) de posicionamento da linha lateral, conforme ilustrado na Figura 1. Neste sistema de posicionamento da linha lateral, seguindo uma proposta de obtenção de um levantamento altimétrico da área irrigada, de forma rápida e sem custos, foi inserido um modelo digital de elevação (MDE) oriundo de uma imagem SRTM com resolução espacial de 30m.

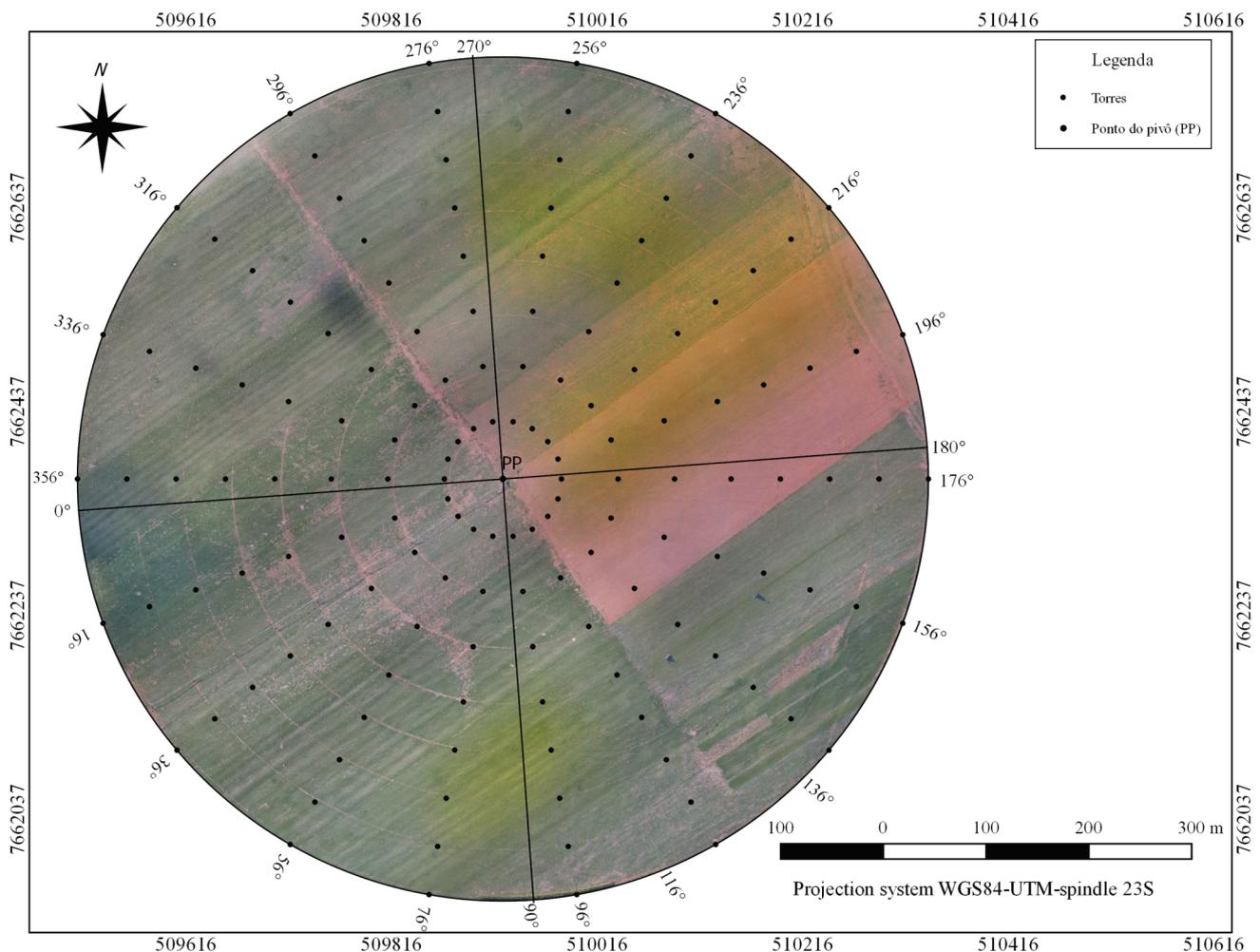


Figura 1. Sistema de posicionamento angular da linha lateral e posições angulares assumidas pela linha lateral móvel do pivô central.

Durante o giro da linha lateral na área irrigada as posições correspondentes ao centro (motor de acionamento) da terceira (T3) e da oitava torre (T8) foram simultaneamente demarcadas com estacas numeradas cravadas na proximidade do rastro destas torres. Foi registrado o horário exato no qual cada par de estacas foi cravado. Posteriormente, foram determinadas, com o auxílio de um aparelho GPS (Global Position System), as coordenadas de cada estaca cravada, sendo possível estimar o horário correspondente à passagem da linha lateral móvel em cada uma das 18 posições angulares (α), espaçadas em 20° (Figura 1).

Cronologia dos valores de pressão em sete pontos da linha lateral

Valores de carga de pressão foram determinados com transdutores de pressão dotados de dataloggers que foram instalados em sete pontos diferentes ao longo do comprimento da linha lateral (Tabela 1).

No ponto do pivô ($j=0$) o transdutor foi instalado no ponto de inserção do manômetro localizado na tubulação vertical do Pivô. Nos demais pontos os transdutores de pressão foram instalados imediatamente à montante da válvula reguladora do respectivo emissor, na extremidade do seu pendural. No ponto do pivô ($j=0$), próximo da quinta ($j=116$) e da oitava torre ($j=179$) de sustentação, foram instalados transdutores de pressão, com dataloggers embutidos, com capacidade de leitura de até 200mca e classe de precisão de 0,25%. Transdutores de pressão, com datalogger embutido, capacidade de leitura de até 210m (300psi) e precisão de fundo de escala de 1%, foram instalados nos pendurais próximos da primeira, segunda e sétima torre. Visando minimizar os erros decorrentes da utilização de diferentes transdutores de carga de pressão, todos os transdutores foram previamente calibrados em laboratório em relação ao transdutor instalado no ponto

do pivô, gerando-se assim seis curvas de regressão para a correção dos valores lidos. No campo os relógios de todos os transdutores foram sincronizados e programado um intervalo fixo de um minuto para coleta de valores de carga de pressão.

Estimativas cronológicas de valores de pressão

Para a determinação do perfil topográfico em cada posição angular e das altitudes referentes a cada ponto de amostragem de carga de pressão na linha lateral foi utilizado um modelo de elevação digital (MDE), obtido através de uma imagem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). O SRTM foi um trabalho realizado através da parceria entre a NASA (National Aeronautics and Space Administration) e a NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) para coletar dados de interferometria de radar com o objetivo de adquirir modelos topográficos detalhados de áreas localizadas entre as latitudes 56°S e 60°N (Oliveira et al., 2013). A resolução espacial da imagem foi de 30 m, sendo esta referenciada para o datum WGS 84 (World Geodesic System). A imagem foi obtida diretamente do site earthexplorer.usgs.gov, sendo necessário inserir as coordenadas do ponto do pivô (509402.45m E, 7662306.20 m S) para a escolha da imagem que abrange a totalidade da área irrigada pelo pivô central.

O MDE obtido pela imagem SRTM foi inserido em um software de geoprocessamento gratuito, Qgis versão 2.14, para processamento da imagem e coleta de dados de altitude dos pontos amostrados em campo. Após a importação da imagem no formato “Geotiff” para o software foi realizado o recorte da imagem referente à área do pivô por meio de um “shape” da mesma, que também foi inserido no software. Os pontos referentes ao rastro de cada torre coletados com GPS foram também inseridos no software. Após o recorte da área do pivô foi possível, com o uso da ferramenta “Point Sampling Tools”, extrair do MDE os valores de altitude de cada

Tabela 1. Localização dos transdutores de pressão ao longo da linha lateral e características da sua instalação.

Torre	Índice “j” de identificação do emissor	Raio de giro do emissor em relação ao ponto do pivô (rg; em m)	Identificação do transdutor de pressão	Altura da tomada de pressão em relação ao solo (m)
Ponto pivô	0	0	1	2,15
1	22	54,19	2	2,15
2	46	107,19	3	2,15
4	95	221,42	4	2,15
5	116	269,53	5	2,15
7	157	363,46	7	2,15
8	179	413,86	8	2,15

rastro da torre de sustentação, obtendo assim o perfil topográfico de cada posição angular.

Os valores de carga de pressão determinados no tubo de subida do ponto do pivô no ponto de inserção do manômetro e à montante da VRP do centésimo septuagésimo nono emissor, localizado a uma distância de 413,9 m do ponto do pivô (Tabela 1), foram associados cronologicamente aos valores de posição angular da oitava torre. Nas 18 posições angulares (α) ilustradas na Figura 1, a associação de valores de carga de pressão (m) e altitude permitiu determinar o valor da perda de carga acumulada ao longo de todo o comprimento da linha lateral móvel (Scaloppi & Allen, 1993; Brar et al., 2017):

$$hft_{(\alpha)} = (h_{0,\alpha} + Z_0 - h_{j=179,\alpha} - Z_{8,\alpha}) \frac{1 - \frac{2}{3} + \frac{1}{5}}{\frac{rg_{j=179}}{R} - \frac{2}{3} \left(\frac{rg_{j=179}}{R} \right)^3 + \frac{1}{5} \left(\frac{rg_{j=179}}{R} \right)^5} \quad (1)$$

Em que:

$hft_{(\alpha)}$ - perda de carga acumulada ao longo de todo o comprimento da linha lateral móvel na posição angular α , m;

$h_{0,\alpha}$ - carga de pressão registrada no ponto do pivô no horário em que a linha lateral passou na posição angular α , m;

Z_0 - altitude do terreno ponto do pivô, m;

$h_{j=179,\alpha}$ - carga de pressão na montante da válvula reguladora do centésimo septuagésimo nono emissor ($j=179$), no horário em que a linha lateral alcançou a posição angular α , m;

$Z_{8,\alpha}$ - altitude do terreno no rastro da oitava torre de sustentação na posição angular α , m;

$rg_{j=179}$ - raio de instalação do septuagésimo nono emissor (413,86m);

R - comprimento hidráulico da linha lateral móvel do pivô (436,2m).

Posteriormente, conforme metodologia utilizada por Brar et al. (2017), em cada uma das dezoito posições angulares consideradas, os valores determinados de perda de carga na linha lateral ($hft_{(\alpha)}$) foram associados aos valores de carga pressão no ponto do pivô ($h_{0,\alpha}$) e ao perfil topográfico das torres de sustentação da lateral ($Z_{T,\alpha}$). Desta forma, as cargas de pressão disponível à montante das válvulas reguladoras dos emissores próximas da primeira ($j=22$), segunda ($j=46$), quarta ($j=95$), quinta ($j=116$) e sexta ($j=157$) torre de sustentação da lateral móvel foram calculadas de acordo com a equação a seguir:

$$he_{j,\alpha} = h_{0,\alpha} + Z_0 - Z_{T,\alpha} - hft_{\alpha} \frac{\frac{rg_j}{R} - \frac{2}{3} \left(\frac{rg_j}{R} \right)^3 + \frac{1}{5} \left(\frac{rg_j}{R} \right)^5}{1 - \frac{2}{3} + \frac{1}{5}} \quad (2)$$

Em que:

$he_{j,\alpha}$ - carga de pressão estimada no emissor de ordem “j” no instante em que a linha lateral móvel atinge a posição angular α , m;

$Z_{T,\alpha}$ - altitude do terreno no rastro da torre de sustentação próxima ao emissor de ordem “J”, quando a linha lateral móvel atinge a posição angular α , m;

rg_j - raio de instalação do emissor de ordem “j”, m.

Na avaliação da representatividade dos valores de carga de pressão estimados ($he_{j,\alpha}$), que foram obtidos com base em dados altimétricos da imagem SRTM, o conjunto de 106 valores de pressão estimados (6 pontos ao longo da linha lateral em 18 posições angulares diferentes) foi comparado com o correspondente conjunto de 106 valores de carga de pressão observados em campo. Os conjuntos de valores de carga de pressão foram submetidos a um teste de médias “t de student”.

Confeção de mapas temáticos de carga de pressão

O mesmo processo de estimativa da pressão nos seis pontos da linha lateral descritos anteriormente foi aplicado para estimativa dado valor da carga de pressão nos demais emissores da linha lateral móvel ($1 \leq j \leq 189$).

Estas estimativas foram utilizadas na confecção de dois mapas temáticos da distribuição de carga de pressão na área irrigada, com o auxílio do software de geoprocessamento Qgis versão 2.14, utilizando a ferramenta “Raster”, selecionando o submenu “Interpolação”, selecionado a camada na qual estão localizados os pontos com os valores de carga de pressão estimados conforme descrito acima e definindo como interpolador para valores de carga de pressão em toda a área o “TIN”.

Após este processo foi gerado um arquivo no formato “Raster” que contém uma superfície de valores de carga de pressão que abrange toda a área irrigada pelo pivô central. O processo de confecção de mapas temáticos foi executado tanto para os valores de pressão observados em campo como para os valores estimados de carga de pressão baseados em valores de altitude provenientes do SRTM, gerando assim dois mapas distintos.

Para efeito de visualização do comportamento da carga de pressão e da altitude do terreno foram extraídas do MDE as curvas de nível da área do pivô,

selecionando-se a opção “Raster” da aba de ferramentas, e, posteriormente, no submenu, foram selecionadas as opções “Extrair” e “Contorno”.

Resultados e Discussão

Nas dezoito posições angulares consideradas os dados de carga de pressão obtidos em função dos valores de altitude do SRTM, quando comparados com os dados observados em campo, apresentaram diferenças estatisticamente significativas ao nível de 5%, conforme indicado pelo teste de médias “t de student” (Tabela 2). O resultado do teste de médias indicou que o processo de estimativa de distribuição de carga de pressão, a partir de valores de altitude de SRTM, não representa fielmente as condições reais de distribuição da carga de pressão na linha lateral.

Uma grande parcela das diferenças observadas pode ser atribuída à baixa resolução espacial da imagem SRTM utilizada. Os valores de altitude amostrados na imagem SRTM correspondem a pixels de 30m x 30m, que cobrem uma área de 900m². De acordo com Cervi et al. (2012) o uso de MDE proveniente de imagem SRTM é limitado apenas para nortear pré-projetos, sendo inviável o uso destes dados altimétricos para o caso de dimensionamento de sistemas de irrigação.

No estado de Nebraska, nos Estados Unidos, Brar et al. (2017) utilizaram um MDE aliado à sistemas de informação geográfica (SIG) para avaliar a possível redução no uso de energia de pivôs centrais com o a introdução de inversores de frequência. No entanto, os autores utilizaram imagens de resolução com grid espacial de 10 m x 10 m. Os resultados encontrados evidenciam que a topografia do terreno tem papel de suma importância na determinação de carga de pressão necessária e no consumo energético do equipamento.

Rodrigues et al. (2001) também obtiveram êxito no uso de simulações computacionais para predições de distribuição de carga de pressão em uma área irrigada por pivô central. Os autores trabalharam no desenvolvimento de um software para avaliar o desempenho de um pivô central com auxílio de SIG e utilizando como base de dados altimétricos um MDE de

resolução espacial não informada. Concluíram que a confecção de mapas temáticos de distribuição da carga de pressão é de suma importância na avaliação e no planejamento em sistemas de irrigação tipo pivô central.

Segundo Gorokhovich & Voustianiouk (2006) a relação topografia/terreno com base em dados SRTM leva a indícios de uma melhor precisão nos valores de altitude. Gutiérrez et al. (2015) observaram que o MDE provenientes de imagens SRTM de resolução espacial de 30m teve melhor resultado quando comparado com MDE de imagens de mesma resolução do ASTER (Advanced Space-borne Thermal Emission and Reflection Radiometer) para obter parâmetros topográficos e hidrológicos.

Mioto et al. (2014) trabalharam com MDE proveniente de uma imagem SRTM e utilizando o software gratuito de geoprocessamento Qgis para caracterização morfométricas de bacias hidrográficas, encontram resultados satisfatórios, considerando este conjunto de ferramentas como uma excelente alternativa quando se objetiva a redução de custos com levantamentos topográficos e realização de trabalhos em outros softwares que teriam o custo mais elevado.

No entanto, uma atenção deve ser dada ao uso correto dos MDE's, uma vez que a resolução de cada MDE pode alterar os valores de elevação do ponto em estudo, alterando assim outras variáveis estimadas a partir dos valores de altitude obtidos pelo MDE (Claessens et al. 2005; Sorensen & Seibert, 2007).

Nas figuras 2a e 2b são apresentados os mapas temáticos de distribuição da carga de pressão. Apesar das diferenças entre os bancos de dados altimétricos utilizados na determinação de carga de pressão é possível observar nestas figuras que existe coincidências no comportamento das regiões de ocorrência dos menores valores de carga de pressão. Nas posições em que o fluxo de água se faz no sentido ascendente do terreno ($336^\circ < \alpha < 56^\circ$), os menores valores de pressão ocorrem na extremidade da linha lateral. Quando o fluxo de água na linha lateral se faz no sentido descendente do terreno ($116^\circ < \alpha < 156^\circ$) a região de ocorrência dos menores valores de pressão passa a migrar em direção ao centro da área irrigada. Esta movimentação da região de

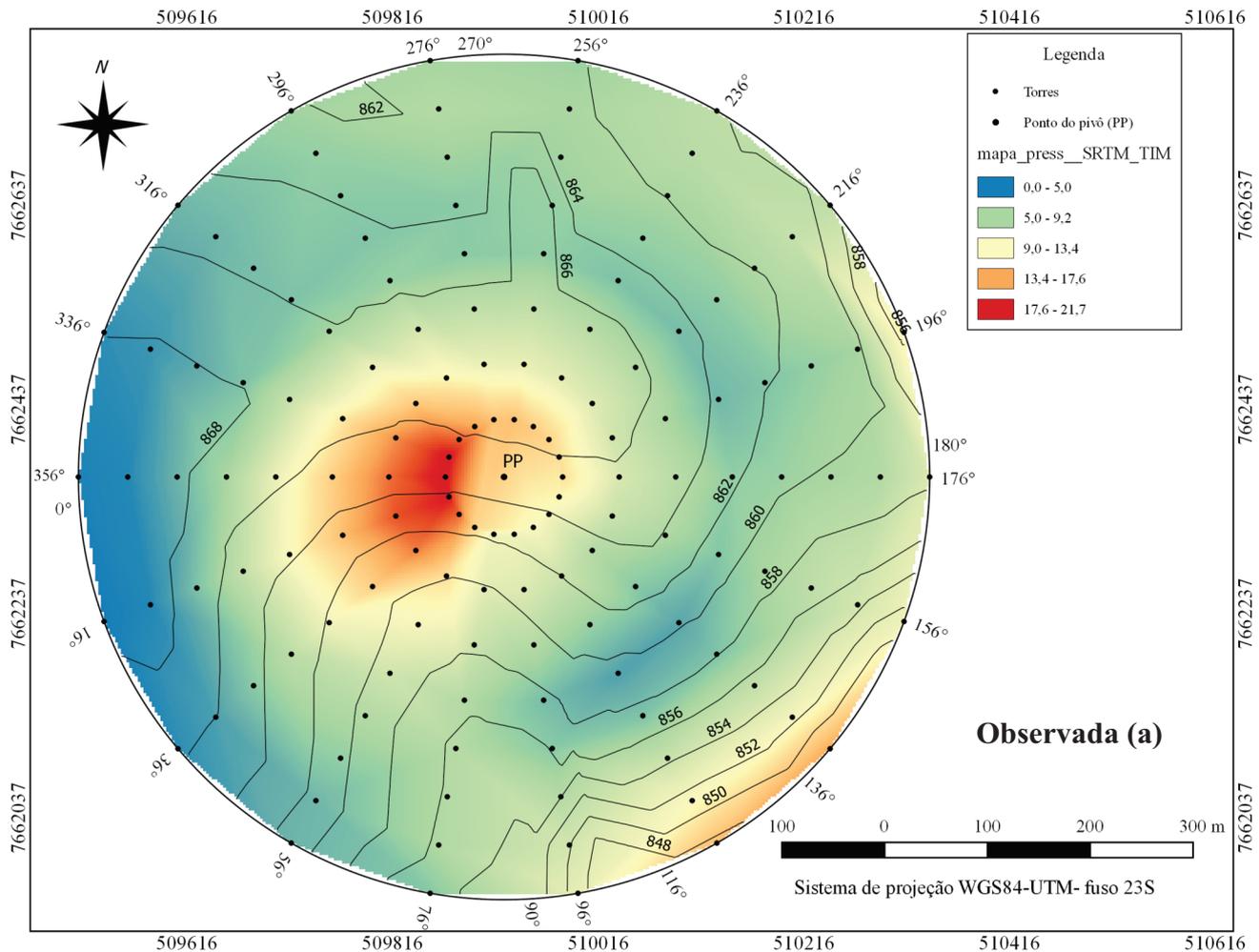
Tabela 2. Valores do teste estatístico t aplicado aos valores de carga de pressão observados em campo e obtidos através dos dados de altitude do SRTM.

Carga de Pressão	Média	Variância	t calculado	t crítico (bi-caudal)
Observado	11,47	10,87	1,22	1,98
SRTM	11,25	13,50	2,36*	1,98

*Significativo a um nível de probabilidade de 5%.

mínima pressão foi observada também no trabalho de Brar et al. (2017). Ao observarem esta movimentação da região de ocorrência dos menores valores de pressão de mínima estes autores colocam em dúvida a eficácia de estratégias de controle da rotação da unidade de

bombeamento, por meio de inversores de frequência, com base em apenas dois transdutores de pressão: um instalado no início e outro na extremidade da linha lateral móvel.

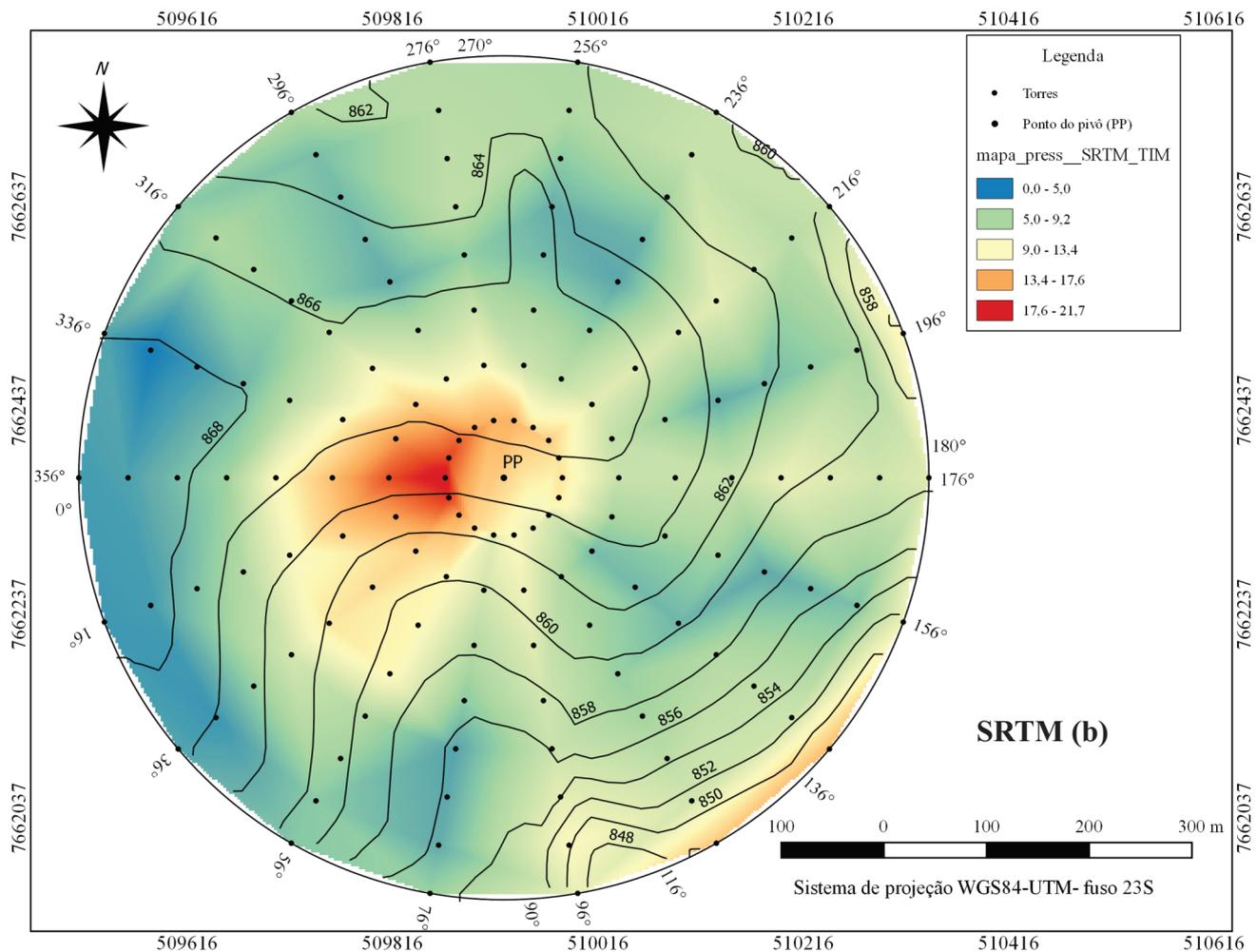


Quando o valor de carga de pressão (CP) na entrada da VRP de um emissor é menor do que o mínimo requerido para o correto funcionamento do conjunto VRP-emissor, este déficit de pressão resulta na aplicação de uma menor quantidade de água que compromete a uniformidade de aplicação de água do sistema. É possível observar na Figura 2, regiões com ocorrência de valores de CP menores do que o mínimo recomendado na ficha técnica do pivô (13 mca ou 127 kPa).

Araujo et al. (2015) ao avaliarem as VRP's deste mesmo pivô, com 6000 horas de uso, já haviam constatado que as curvas de desempenho destas VRP eram diferentes das curvas de desempenho de válvulas novas. Lima et al. (2003) também observaram que o desempenho de VRP com mais de 8500 horas de uso era diferente do desempenho de VPR novas. No caso

particular deste estudo as VRP utilizadas têm pressão nominal de 10 psi (7,02 m ou 69 kPa) devendo operar conforme especificação do fabricante das válvulas (Senninger, 2017) com pressões de entrada compreendidas entre 10 e 100 psi (7,07 e 70,7m ou 69 e 690kPa). A análise dos valores de pressão máxima e mínima ao longo da linha lateral (Figura 2) indica que entre as posições $\alpha=76^\circ$ e $\alpha=316^\circ$ as VRP estavam adequadamente pressurizadas, operando com carga de pressões de entrada maiores que 7,97 m e menores que 22,23 m.

El Nahry & El Baroudy (2011) observaram que o auxílio de mapas temáticos de características de solo e de evapotranspiração da cultura na área irrigada por um pivô central permitindo uma economia de cerca de 23.566 ton.ha⁻¹ de fertilizantes e 94.000 m³ de água



durante o ciclo de produção.

Os resultados obtidos neste estudo ilustram o potencial do uso de mapas temáticos, permitindo ao agricultor conhecer melhor o comportamento de seu equipamento, e assim tomar decisões acerca da manutenção do mesmo e da área.

Conclusões

O uso de um MDE proveniente de imagem SRTM com resolução espacial de 30m não pode representar seguramente uma distribuição da carga de pressão real.

A confecção de mapas temáticos de distribuição da carga de pressão em um pivô central mostra-se útil como ferramenta para auxílio da tomada de decisão relacionadas ao projeto e delimitação de zonas de risco em sistemas de irrigação tipo pivô central.

Agradecimentos

A Itograss Agrícola Ltda. por ceder o equipamento para o estudo. A FAPEMIG pela bolsa de estudos do autor e apoio na participação do evento. Ao CNPq pelo financiamento PROC 484792/2012-1 e pelas bolsas concedidas.

Literatura Citada

- Araújo, A. C. S.; Colombo, A.; de Azevedo, N. F.; de Freitas, M. V. M.; M. Andrade, T.; Teixeira, T. H. B. Avaliação do desgaste de válvulas reguladoras de pressão utilizadas em pivô central. Revista Brasileira de agricultura irrigada, v.9, n.4, p.211-217, 2015.
- Brar, D.; Kranz, W. L.; LO. T.; Irmak, S.; Martin, D. L. Energy conservation using variable-frequency drives for center-pivot irrigation: Standard systems. Transactions of Asabe, v.60, n.1, p.95-106, 2017.

- Ceresoli, L. L.; Sobenko, L. R.; Silva, B. K.; Armindo, R. A. Variabilidade espacial dos atributos físico-hidráulicos do solo em uma área e estimativa da lâmina de irrigação de precisão. *Irriga*, v.1, n. 1, p.179-190, 2016.
- Cervi, W. R.; Gomes, L. N.; Ribeiro, F. L.; Nardini, R. C. Avaliação da declividade oriunda de dados SRTM utilizando GNSS RTK como referência. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16. 2013, Foz do Iguaçu. Anais... São José dos Campos: Instituto de Pesquisas Espaciais, 2013. p. 764-770.
- Claessens, L.; Heuvelink, G. B. M.; Schoorl, J. M.; Veldkamp, A. DEM resolution effects on shallow landslide hazard and soil redistribution modelling. *Earth Surface Processes and Landforms*, v.30, n.4, p.461-477, 2005.
- El Nahry, A. H.; Ali, R. R.; El Baroudy, A. A. An approach for precision farming under pivot irrigation system using remote sensing and GIS techniques. *Agricultural Water Management*, v. 98, n. 4, p. 517-531, 2011.
- Gorokhovich, Y.; Voustianiouk, A. Accuracy assessment of the processed SRTM-based elevation data by CGIAR using field data from USA and Thailand and its relation to the terrain characteristics. *Remote Sensing of Environment*, v. 104, n. 4, p. 409-415, 2006.
- Guimaraes, D. P.; Landau, E. C. Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil em 2013. *Embrapa Milho e Sorgo-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)*, 2016.
- Gutiérrez, L. N.; Sanabria, R. Y.; Quiñones, A. J. P. evaluation of soil moisture using topographic (DEM), climate and soil parameters in a piedmont area of villavicencio. *Revista Escola Ingenieria de Antioquia*, n. spe2, p. 61-75, June 2015.
- Harrower, M. J. Geographic Information Systems (GIS) hydrological modeling in archaeology: an example from the origins of irrigation in Southwest Arabia (Yemen). *Journal of Archaeological Science*, v. 37, n. 7, p. 1447-1452, 2010.
- Holzappel, E. A.; Arumí, J. L. Rodriguez, A.; Paz, V. P. S. Geographic information system supported farm irrigation system design and planning. *Water Resources and Irrigation Management*, v.1, n.1, p. 7-14, 2012.
- Jiménez-bello, M. Á.; Alzamora, F. M.; Castel, J. R.; Intrigliolo, D. S. Validation of a methodology for grouping intakes of pressurized irrigation networks into sectors to minimize energy consumption. *Agricultural Water Management*, v.102, n. 1, p.46-53, 2011.
- King, B. A.; Wall, R. W. Distributed instrumentation for optimum control of variable-speed electric pumping plants with center pivots. *Applied Engineering in Agriculture*, v. 16, n. 1, p. 45, 2000.
- Lima, S. C. R. V.; Frizzzone, J. A.; Costa, R. N. T.; Souza, F. D.; Pereira, A. S.; Machado, C. C., Valnir Júnior, M. Curvas de desempenho de válvulas reguladoras de pressão novas e com diferentes tempos de utilização. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n. 2, p. 201-209, 2003.
- Martin, Derrel. Innovations in center-pivot irrigation. *Resource Magazine*, v. 18, n.5, p. 7, 2011.
- Mendoza, C. J. C.; Frizzzone, J. A. Economia de energia em irrigação por pivô central em função da melhoria na uniformidade da distribuição de água. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 6, n. 3, p. 184-197, 2012.
- Mioto, C. L.; Ribeiro, V. O.; Souza, D. M. Q.; Pereira, T. V.; Anache, J. A. A.; Filho, A. C. P. Morfometria de bacias hidrográficas através de SIGs livres e gratuitos. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 37, n. 2, p. 16-22, 2014.
- Oliveira, J. B.; Arraes, F. D. D.; Viana, P. C. Methodology for the spatialisation of a reference evapotranspiration from SRTM data. *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, n. 3, p. 445-454, 2013.
- Rodrigues, L.N.; Pruski, F. F.; da Silva, D. D.; Martinez, M. A. Simulação do desempenho de sistemas de irrigação tipo pivô central. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 5, n. 3, p. 397-402, 2001.
- Sandri, D.; Cortez, D. de A. Parâmetros de desempenho de dezesseis equipamentos de irrigação por pivô central. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 33, p. 271-278, 2009.
- Scaloppi, Edmar J.; Allen, Richard G. Hydraulics of irrigation laterals: Comparative analysis. *Journal of irrigation and drainage engineering*, v. 119, n. 1, p. 91-115, 1993.
- Senninger. Pressure relates to flow. Disponível em: <http://www.senninger.com/sites/senninger.hunterindustrie.com/files/infographic-pressure-regulation.pdf>. Acessado em: 08 de nov. 2017.
- Sørensen, Rasmus.; Seibert, Jan. Effects of DEM resolution on the calculation of topographical indices: TWI and its components. *Journal of Hydrology*, v. 347, n. 1, p. 79-89, 2007. doi: 10.1016/j.jhydrol.2007.09.001
- Teixeira, A. H de C.; Hernandez, F. B. T.; Andrade, R. C.; Leivas, J. F.; Victoria, D. C.; Bolfe, E. D. Irrigation performance assessments for corn crop with LANDSAT images in the São Paulo State, Brazil. *Water Resources and Irrigation Management*, Cruz das Almas, v.3, n.3, p. 99-101, 2014. doi: 10.19149/2316-6886.