

INFLUÊNCIA DO DECLIVE NO CUSTO TOTAL DE UMA REDE DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

Fernando Nobre Cunha¹, Nelmicio Furtado da Silva², Marconi Batista Teixeira³, Júlio César Ferreira⁴, Mônica Sakuray Pais⁵, Raimundo Rodrigues Gomes Filho⁶

RESUMO

O grande interesse pelo método de irrigação por gotejamento foi despertado principalmente pelas expectativas de economia de água e aumento na produção e qualidade da cultura. O trabalho objetivou avaliar a porcentagem do custo total por hectare em função da declividade do terreno (0; 1,25; 2,50; 3,75 e 5%) para a malha hidráulica de um sistema de irrigação por gotejamento, levando em consideração também a tarifa de energia elétrica (0,01 R\$ kW⁻¹ a 1,0 R\$ kW⁻¹) e a tarifa de água (0,001 R\$ m⁻³ a 0,10 R\$ m⁻³). Diante disso, foi realizada a modelagem considerando a declividade do terreno, a tarifação da energia elétrica e da água para cálculo do custo total em função da variação da declividade do terreno. Foram analisados todos os cenários possíveis, utilizando-se análise combinatória para demonstrar a interação no plano quadridimensional (x, y, z, f(x, y, z)). Os resultados mostraram que a porcentagem do custo total por hectare da rede de irrigação devido à declividade variou de 0,1 a 8,86%.

PALAVRAS-CHAVE: hidráulica, modelo, declividade.

INFLUENCE OF SLOPE IN THE TOTAL COST OF A LOCALIZED IRRIGATION NETWORK

SUMMARY

The great interest in the method of drip irrigation was aroused mainly by expectations of saving water and increasing production and crop quality. This study aimed to evaluate the percentage of the total cost per hectare depending on the terrain slope (0, 1.25, 2.50, 3.75 and 5%) for the mesh of a hydraulic system, drip irrigation taking into account also the electricity rate (0.01 R\$ kW⁻¹ to 1.0 R\$ kW⁻¹) and water rate (0.001 R\$ m⁻³ to 0.10 R\$ m⁻³). Therefore, modeling was performed considering land slope, charging electricity and water to estimate the percentage increase of the total cost due to the variation of the slope of the terrain. We examined all

¹Bolsista de Iniciação Científica – CNPq, Agronomia, IFGoiano – Campus Rio Verde – GO. Fone: (64) 9222-5132, e-mail: fernandonobrecunha@hotmail.com

²Bolsista de Iniciação Científica – CNPq, Agronomia, IFGoiano – Campus Rio Verde – GO.

³Engenheiro Agrônomo, Prof. Dr. IFGoiano Campus Rio Verde, GO.

⁴Matemático, Doutorando – UFU, Prof. IFGoiano Campus Urutaí, GO.

⁵Bacharel em Ciência da Computação, Doutoranda – UFU, Profª. IFGoiano – Campus Urutaí, GO.

⁶Engenheiro Agrônomo, Prof. Adjunto, Universidade Federal de Goiás – Campus Jataí, GO.

INFLUÊNCIA DO DECLIVE NO CUSTO TOTAL DE UMA REDE DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

possible scenarios, using combinatorial analysis to demonstrate the interaction of the four-dimensional plane $(x, y, z, f(x, y, z))$. The results showed that the percentage of the total cost per hectare of the irrigation system due to the gradient ranged from 0.1 to 8.86%.

KEYWORDS: hydraulic; model; slope.

INTRODUÇÃO

O grande interesse pelo método de irrigação por gotejamento foi despertado principalmente pelas expectativas de economia de água e aumento na produção e qualidade da cultura (GOMES et al., 2003).

Tecnologias que vêm ao encontro da melhoria da eficiência de todos os processos produtivos, que se utilizam da água, estão em destaque. A irrigação, como principal consumidora de água doce, no Brasil e no mundo (ANA, 2007) merece especial atenção quanto à tecnologia que a engloba, em especial técnicas que vêm ao encontro do aperfeiçoamento de sua utilização.

Por isto, é importante no dimensionamento e operação de um sistema de irrigação por gotejamento, observar a qualidade do equipamento, a topografia do terreno e manejar bem o sistema (GOMES et al., 2003).

Destaca-se neste ponto a metodologia matemática denominada pesquisa operacional, que demonstra ser uma excelente ferramenta para a otimização de diferentes tipos de sistema de irrigação, melhorando essa tecnologia de aplicação artificial de água às plantas (RECA & MARTÍNEZ, 2006). A irrigação é uma tecnologia que requer investimentos significativos e está associada à utilização intensiva de insumos, o que demonstra a importância da análise econômica (SILVA et al., 2003).

A principal dificuldade na obtenção de modelos matemáticos de sistemas reais reside no fato de que é preciso possuir além de conhecimentos

bem sólidos de matemática, cálculo e física, um forte caráter investigativo (NISE, 2002).

Construir modelos implica na compreensão do sistema físico para formulação das hipóteses a serem consideradas, e capacidade para efetuar as simplificações e linearizações necessárias à elaboração e estruturação do modelo em si e, ao final, capacidade para simular e interpretar os resultados a fim de validar ou não o modelo obtido (NISE, 2002).

Outro ponto importante a ser considerado quando do estabelecimento de um modelo matemático para um sistema é o de precisão versus simplicidade. Quando se estuda um modelo matemático, procura-se fazê-lo da forma mais simplificada possível e, para isso, algumas propriedades físicas inerentes ao sistema são ignoradas, principalmente se os objetivos forem a obtenção de modelos matemáticos lineares ou de sistemas compostos por equações diferenciais ordinárias. Por outro lado, tal procedimento deve resultar num modelo que represente o sistema de uma forma razoavelmente adequada (OGATA, 2003).

O presente trabalho objetivou avaliar a porcentagem do custo total por hectare da malha hidráulica (rede de irrigação) em função da variação da declividade do terreno.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados para a modelagem são provenientes de um sistema de irrigação por gotejamento instalado em área experimental do

INFLUÊNCIA DO DECLIVE NO CUSTO TOTAL DE UMA REDE DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde-GO, situada na latitude 17°48'28" S e longitude 50°53'57" O, com altitude média de 720 metros, em solo classificado como Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) de textura média.

A área útil para irrigação consiste em 100 ha, localizada a 70 m de distância do curso de água (ponto de captação para o bombeamento).

O sistema de irrigação localizada (rede hidráulica) foi constituído de gotejadores Dripnet PC 1,0 L h⁻¹, 1 bar, 0,50 m entre gotejadores, autocompensante, integral, com labirinto com amplas passagens de água e baixo coeficiente de variação (CV, %); linhas principais, laterais, secundárias e de derivação, registros, tubulação de sucção, válvulas, sistema de filtragem (filtro de disco) e painel de controle.

A resolução da ANEEL enquadra este projeto de irrigação como categoria do setor rural (grupo B). O sistema foi ajustado para funcionar em um turno diário com 8h de funcionamento.

Para caracterização do consumo de energia elétrica do sistema de irrigação utilizou-se um medidor de energia modelo Microvip3 – Elcontrol que apresenta as seguintes grandezas elétricas: tensão, fator de potência, potência aparente, ativa e reativa, corrente e frequência da rede.

Optou-se por variar a declividade de 0 a 5% com intervalos de

1,25%, resultando em uma progressão aritmética $D_n = 1,25 * (n - 1)$, onde n assume valores de 1 a 5), subdividindo assim, a declividade em 5 partes. A tarifa de energia elétrica teve variação de 0,01 a 1,0 R\$ kW⁻¹ e a tarifa de água variou de 0,001 a 0,10 R\$ m⁻³. Desse modo, foi realizada a modelagem estimadora da percentagem do custo total por hectare da rede de irrigação em função da variação da declividade (Pcd) e para tal, foram utilizados os programas computacionais Mathematica 7.0 e SigmaPlot 12.0.

Foi utilizada a Análise de Componentes Principais (PCA) por ser um dos métodos estatísticos mais simples para funções constituídas de múltiplas variáveis. Os passos seguidos para o cálculo das componentes principais foram: obteve-se os dados, calculou-se as médias, posteriormente subtraiu-se a média dos dados, através destas subtrações calculou-se a matriz de covariância, auto valores e auto vetores: matriz da transformada de Hotelling.

As simulações foram realizadas de modo a obter o menor erro quanto à avaliação do modelo. Para tal foram desenvolvidas macros que o gerenciavam, avaliando-o em função dos resultados do limitante superior para a magnitude do erro, tornando-o mais preciso.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis foram sujeitas a procedimentos estatísticos, com o intuito de verificar a influência no comportamento do sistema. As variáveis identificadas como relevantes após a aplicação da PCA foram: declividade D_i ($D_1, D_2, D_3, \dots, D_n$),

tarifa de energia elétrica E_i ($E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$) e tarifa de água A_i ($A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$). Estas variáveis influenciaram no comportamento da percentagem do custo total por hectare da rede de irrigação devido à declividade (Pcd), que é a variável dependente no modelo procurado.

INFLUÊNCIA DO DECLIVE NO CUSTO TOTAL DE UMA REDE DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

Para análise dos dados de pontos obtidos, têm-se melhores condições de especificar a função que relaciona as variáveis observando o ajustamento da superfície de nível, que apresenta uma quantidade n de pontos que sugere uma relação quadridimensional entre D , E , A e Pcd .

A relação entre a variável dependente (Pcd) e as variáveis explicativas pode ser encontrada através de interpolação, no espaço quadridimensional, ou seja, no caso deste modelo pode-se constatar que as quatro variáveis intervieram de forma significativa: a variável dependente Pcd e as variáveis independentes D , E , A . Assim, foi estabelecida uma relação funcional entre a percentagem do custo total por hectare da rede de irrigação devido à declividade, tarifa de água, tarifa de energia elétrica e declividade.

A variável de interesse adequou-se melhor a uma função de três variáveis independentes, cujo comportamento futuro pode ser previsto com maior precisão.

Estabelecido o modelo de três variáveis independentes, foram obtidos

os valores de a , b , c , d , ..., r de forma que a superfície de nível fosse tão próxima quanto possível dos pontos obtidos experimentalmente, de modo a minimizar a discrepância total entre os pontos marcados e a superfície de nível. Assim, a percentagem do custo total por hectare da rede de irrigação devido à declividade (Pcd) é uma função da declividade (D), da tarifa de energia elétrica (E) e da tarifa de água (A); medindo D em %, E em $R\$ kW^{-1}$ e A em $R\$ m^{-3}$, pode-se modelar a variação da percentagem do custo total com a função:

$$Pcd = (346,58973574125406D - 436D^2/45 + 3526,2789511274186DE + 488D^2E/33 - 72,56402407919893DA + 17920D^2A/99 + 2003,8771553922945DEA) / (1655,0055729007245 + 3,4658973574125405D - 109D^2/1125 + 4412710E/9801 + 35,262789511274185DE + 122D^2E/825 + 260,1846750331605A - 7112DA/9801 + 896D^2A/495 + 193,65370880522158EA + 196400DEA/9801)$$

em que:

Pcd – Porcentagem do custo total por hectare da rede de irrigação devido à declividade (%)

D – Declividade (%):

$$0 < D \leq 5$$

E – Tarifa de energia elétrica ($R\$ kW^{-1}$):

$$0,01 \leq E \leq 1$$

A – Tarifa de água ($R\$ m^{-3}$):

$$0,001 \leq A \leq 0,1$$

Utilizando-se o modelo descrito acima, foi possível notar variação de Pcd de 0,1 a 8,86%, levando-se em conta diferentes cenários (variação da declividade, tarifas de água e energia elétrica) sem, no entanto, considerar o custo com equipamentos que já estão relacionados de forma direta no modelo, facilitando a estimativa do fator declividade nos custos totais da rede de irrigação. Além disto, concordando com Saad (1992), a solução ótima, quando

existente, é sempre um ótimo global, ou seja, dentro do universo de possibilidades previstas pelo modelo, não há solução melhor do que aquela fornecida.

Observou-se que com o aumento da declividade, o custo da rede e o da energia elétrica também aumentou, resultando em um acréscimo percentual máximo de 5,19% referente ao custo da água. Já o custo com os equipamentos demonstrou uma disposição inversa da

INFLUÊNCIA DO DECLIVE NO CUSTO TOTAL DE UMA REDE DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

ordem de 5,24% em função da declividade (Tabela 1).

O custo total final da rede também sofreu influência quando a tarifa de energia foi alterada, ocasionando uma variação de 10,71% nos valores de Pcd para a declividade de 0%; e de 31,27%

para os valores de Pcd obtidos com a declividade de 5% (Tabela 1). Estes resultados estão de acordo com os alcançados por Marcuzzo (2008), Saad e Mariño (2002) que verificaram que o custo anual do sistema de irrigação aumenta com a inclinação da área.

Tabela 1. Resultados percentuais dos custos obtidos (valores preditos pelo modelo) segundo a variação da declividade, da tarifa de água e de energia

Variável de análise	Porcentagem dos custos por hectare da rede de irrigação ¹					
	Equipamentos	E	A	Equipamentos	E	A
%	%					
0,00	82,40	18,24	1,53	89,06	10,71	2,54
1,25	81,33	19,49	1,51	88,38	11,68	2,50
2,50	80,25	20,69	1,47	87,55	12,59	2,48
3,75	78,76	22,09	1,40	86,92	13,09	2,50
5,00	77,23	23,43	1,35	86,34	13,55	2,51
0,00	82,01	18,85	1,94	85,47	14,77	2,47
1,25	80,79	19,73	1,89	84,81	15,93	2,46
2,50	79,55	20,55	1,87	83,50	16,91	2,45
3,75	78,24	21,97	1,80	82,54	17,90	2,35
5,00	76,77	23,27	1,76	81,56	18,55	2,31
0,00	81,59	18,46	2,33	78,87	21,97	2,09
1,25	80,42	19,41	2,32	77,93	23,55	2,10
2,50	79,19	20,35	2,31	75,66	24,98	2,13
3,75	77,56	22,26	2,25	74,21	26,83	2,12
5,00	76,71	23,57	2,14	73,39	27,25	2,11
0,00	81,47	18,05	2,87	74,53	25,88	2,10
1,25	80,88	19,67	2,84	73,51	27,90	2,08
2,50	78,79	20,72	2,80	72,21	28,72	2,05
3,75	77,44	22,37	2,78	71,41	29,76	1,95
5,00	76,45	23,22	2,75	69,91	30,31	1,92
0,00	80,8	18,53	3,21	70,13	30,02	1,90
1,25	79,53	19,87	3,19	69,59	30,33	1,86
2,50	77,92	20,32	3,18	69,34	30,79	1,85
3,75	76,92	21,57	3,13	68,41	31,10	1,82
5,00	75,58	22,98	3,05	67,95	31,27	1,81

¹Variação da declividade, da tarifa de água e da tarifa de energia simultaneamente.

Na Figura 1 pode-se observar o gráfico de correspondência para o modelo matemático (Pcd). Nesse gráfico verifica-se o ajustamento da

equação Pcd, por conseguinte, expressa a dispersão dos dados experimentais em comparação aos dados estimados,

INFLUÊNCIA DO DECLIVE NO CUSTO TOTAL DE UMA REDE DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

levando-se em consideração todos os dados obtidos durante o experimento.

Verifica-se que, para o modelo da Pcd, não houve tendência mais realçada de dispersão dos valores calculados em nenhuma das declividades da porcentagem do custo total. Observa-se, ainda, que o modelo quadridimensional apresentou desvio extremamente baixo entre os valores experimentais e calculados para representação da porcentagem do custo total.

Determinada a função quadridimensional que relaciona as variáveis derivadas de um experimento, é interessante medir o grau de relação existente entre as quatro variáveis (Pcd e D, E, A). Foi então medido o grau de correlação entre estas variáveis, ou seja, mediu o grau de conformação dos valores em torno de uma reta.

O valor do coeficiente de correlação R^2 aproximou-se de 1, este resultado indica uma forte correlação entre a Pcd e D, E, A, para esse grupo de 5 declividades.

Segundo Tsuji et al. (1994), ao se ajustar modelos, os seguintes cuidados devem ser levados em conta: os experimentos de campo e de laboratório devem obedecer a critérios estatísticos rigorosos para evitar erros que poderiam comprometer os resultados das simulações; efetuar controle de qualidade, com a análise prévia no tratamento dos dados; observar critérios estatísticos para o teste de modelos, incluindo: análise gráfica de resíduos, coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e erro padrão da estimativa (s_{yx}).

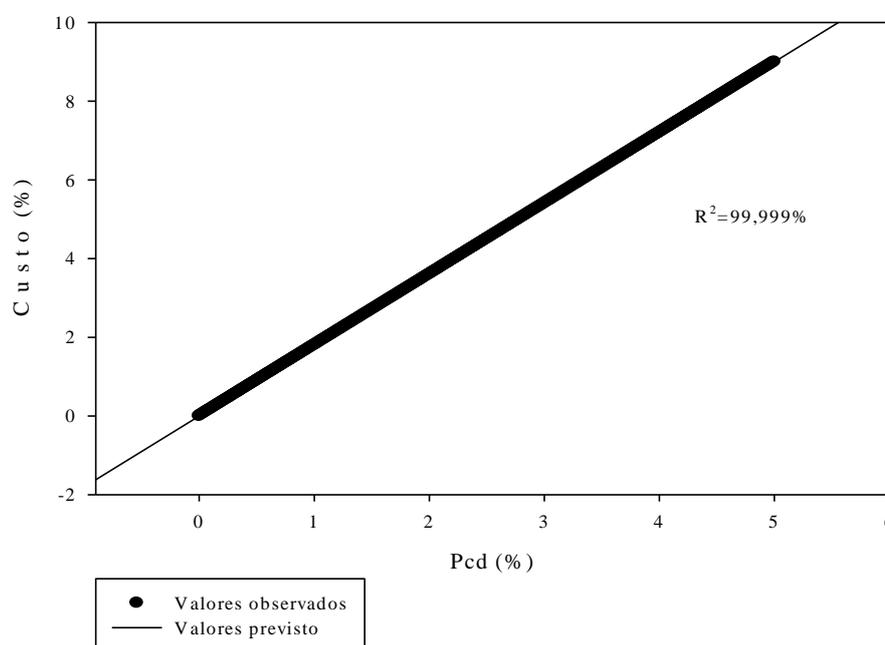


Figura 1. Relação entre valores experimentais e calculados do custo total por hectare da rede de irrigação (Custo, %) em função de Pcd (%).

O coeficiente de correlação foi extremamente significativo indicando que a diferença entre os valores observados e os valores previstos (erro absoluto) foi bastante pequena bem

como a estimativa padrão do erro e o erro relativo que dentre estes foi o menor demonstrando a precisão dos resultados, isto devido à calibração do modelo ter se dado via limitante

INFLUÊNCIA DO DECLIVE NO CUSTO TOTAL DE UMA REDE DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

superior para a magnitude do erro ($E(D, E, A)$) na aproximação $P_{cd}(D, E, A) \approx L(D, E, A)$ na região R ($|D| \leq 5$, $|E| \leq 1$, $|A| \leq 0.1$), ou seja, a aproximação linear padrão de f em (D_0, E_0, A_0) .

O erro quanto às diversas declividades foi praticamente igual confirmando, portanto, que o aumento da declividade não teve influência sobre o mesmo, assim os valores observados e previstos foram representados aproximadamente com a mesma precisão nas diferentes declividades, demonstrando a eficácia do modelo, que

Tabela 2. Estimativa padrão do erro, erro absoluto, relativo e do limitante superior

Declividade	EA _{Pcd}	ER _{Pcd}	EE	E(D, E, A) %
0,00	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$5,75 \cdot 10^{-5}$	$2,65 \cdot 10^{-4}$	$< 7,4 \cdot 10^{-3}$
1,25	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$6,36 \cdot 10^{-5}$	$2,88 \cdot 10^{-4}$	$< 7,0 \cdot 10^{-3}$
2,50	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$6,22 \cdot 10^{-5}$	$2,83 \cdot 10^{-4}$	$< 7,2 \cdot 10^{-3}$
3,75	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$4,92 \cdot 10^{-5}$	$2,40 \cdot 10^{-4}$	$< 7,6 \cdot 10^{-3}$
5,00	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$4,81 \cdot 10^{-5}$	$2,35 \cdot 10^{-4}$	$< 7,7 \cdot 10^{-3}$

* Erro absoluto (EA), erro relativo (ER), estimativa padrão do erro (EE) e limitante superior para o erro na aproximação para cada declividade ($E(D, E, A)$).

Forçando a função de três variáveis independentes $P_{cd}(D, E, A)$ a assumir quatro valores constantes (2, 4, 6, 8%) foi possível observar as superfícies de níveis da função no domínio espacial. Isto se fez necessário, pois o espaço quadridimensional não é projetado de maneira eficiente no sistema de coordenadas tridimensional o qual é tido como referência.

Na Figura 2 pode ser observada a variação da tarifa de água como uma parte menor da P_{cd} enquanto a tarifa de energia elétrica e a declividade têm substancial importância sobre esta; significando assim que a influência sobre o modelo é maior quando ocorre a elevação da declividade juntamente com a tarifa de energia elétrica.

Mello et al. (1999) concluíram que o custo com energia nas irrigações constitui como o principal custo variável. É importante ressaltar que a tarifa da energia elétrica e a declividade

também não sofre com a variação das três variáveis independentes.

Por outro lado, a utilização de poucas aproximações concede melhor precisão, mas tornam as equações mais complexas. No caso do modelo proposto ocorreu o inverso, ou seja, a alta precisão obtida ratificou a excelência na escolha das variáveis e dos parâmetros observacionais obtidos através de medidas, sendo validado pelo menor erro alcançado, conforme pode ser verificado na Tabela 2.

tiveram grande ação no dimensionamento quando comparado simplesmente com a variação da tarifa de água ou seu custo final, pois é possível observar que com o acréscimo da declividade, o custo da rede e o da energia elétrica também aumentou de forma significativa do que quando esse aumento foi realizado na tarifa de água.

Entretanto, o pequeno incremento devido ao custo da água sofreu alterações por também depender do sentido, ou seja, ao mover-se pelo domínio da P_{cd} as suas superfícies de níveis demonstraram como os valores da função foram modificados. Como consequência disso, os espaços centrados na origem diminuíram quando movimentado nesta direção e aumentaram quando movimentados para longe da origem, ou seja, as superfícies de níveis reduziram à medida que se aproximaram do ponto extremo da função (visão lateral e do topo).

INFLUÊNCIA DO DECLIVE NO CUSTO TOTAL DE UMA REDE DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

De maneira geral, o custo percentual devido à declividade foi maior em áreas de maior declive.

A resolução da ANEEL enquadra este projeto de irrigação como categoria do setor rural (grupo B). No entanto, a Pcd é válida tanto para quem se enquadra no grupo B ou A ($A \rightarrow B$). Alves et al. (2003) observaram que o custo da energia elétrica da irrigação utilizando a tarifa do grupo A horo-

sazonal verde com desconto para irrigação noturna nas diferentes regiões brasileiras foi a melhor opção para os agricultores que utilizavam tempo diário de bombeamento de até 21h, evitando-se assim, o horário de ponta. Caso contrário, os autores recomendaram somente a tarifa azul com desconto para irrigação noturna.

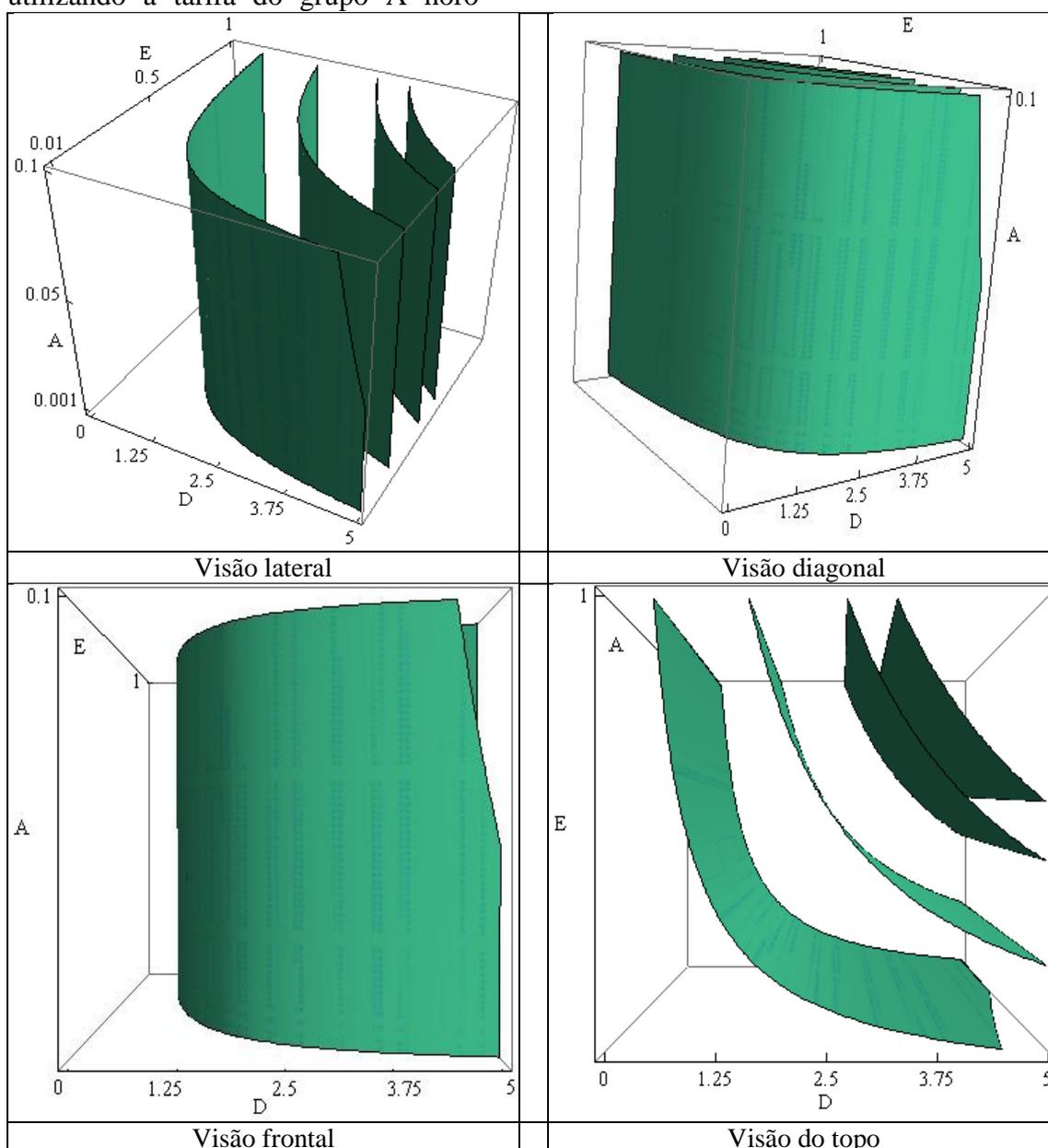


Figura 2. Conjunto das superfícies de níveis tridimensionais da função Pcd(D, E, A) com valores constantes tendendo para o ponto extremo da função, em diferentes ângulos de visão.

INFLUÊNCIA DO DECLIVE NO CUSTO TOTAL DE UMA REDE DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

A superfície tridimensional com declividade de 0% (Figura 3) mostra que o modelo toma uma configuração mais regular e constante, além da parte superior e inferior ser repetido ao longo do plano (sentido diagonal), devido a pouca expressão do custo de energia, custo de água, e agora sem influência da declividade. Assim, com duas variáveis independentes não é mais um modelo quadridimensional e sim tridimensional.

Para os parâmetros utilizados no modelo utilizando declividade 0% foram verificados os erros aceitáveis nas simulações, sendo que o modelo reteve o menor erro relativo confirmando, portanto, a validação e representatividade da função Pcd.

A regularidade observada na Figura 3 também demonstra que o uso da água em declividades superiores tem se dado de maneira equivalente em áreas de baixa declividade. Em muitas destas áreas tem-se verificado um demasiado aumento no consumo de energia elétrica devido a uma desmedida aplicação e mau

aproveitamento da água. Isto pode ser potencializado em regiões com terrenos acidentados onde tem a possibilidade de ocorrer à extrapolação destes valores.

A Pcd indica uma possível economia simplesmente com uma melhor manutenção destes dois fatores em declividade, pois apresentam estreita relação com eles. Assim, em declividade de até 5%, o gasto total pode ser até de 60% (utilização inadequada), considerando 8,86% devido à declividade, então a economia de água e energia elétrica poderá ser aproximadamente da ordem de 20,5 e 31% respectivamente, apenas utilizando a irrigação com mais critério. Resultado similar obtido pela Cemig (1993) mostra que a utilização racional da irrigação geraria uma economia de cerca de 20% da água e 30% da energia consumida, sendo 20% da energia economizada devido à aplicação desnecessária da água e 10% devido ao rendimento e otimização dos equipamentos.

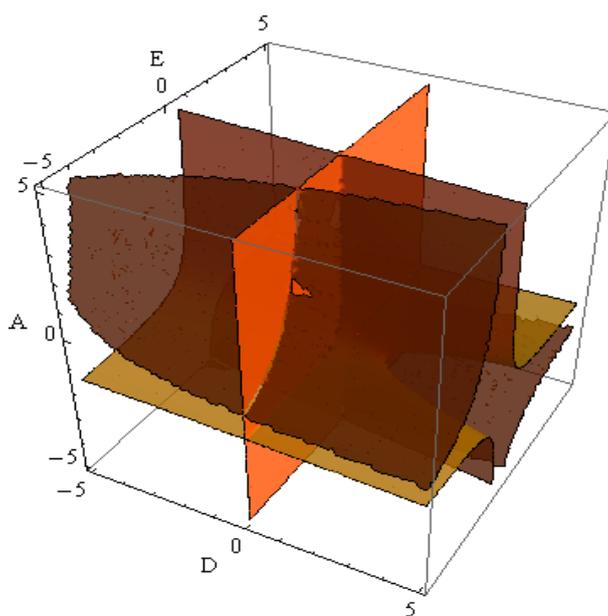


Figura 3. Superfície tridimensional da função Pcd (D, E, A) com declividade de 0%.

INFLUÊNCIA DO DECLIVE NO CUSTO TOTAL DE UMA REDE DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

Ao aumentarmos o domínio do modelo, uma perda considerável de precisão foi observada. Logo, quanto maior o domínio, maior o erro. Esse decréscimo apresentou proporcional, de onde podemos inferir que o domínio da

função $P_{cd}(D,E,A)$ poderá ser excedido para valores maiores de declividade, taxa de energia elétrica e taxa de água de maneira eficiente, conforme pode ser verificado na Figura 4.

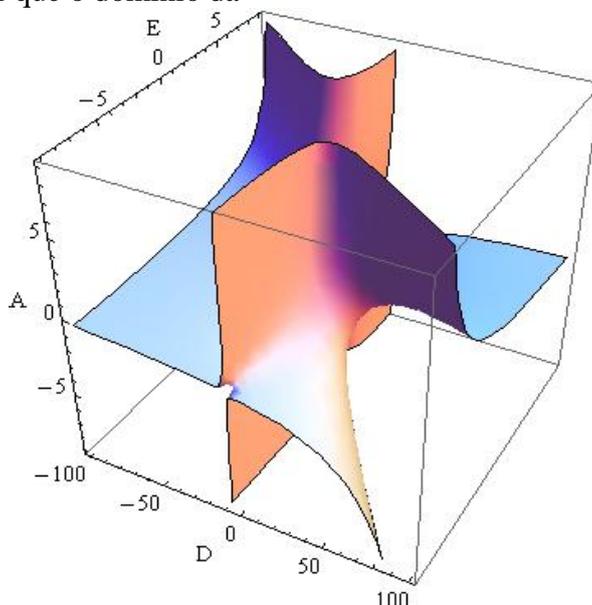


Figura 4. Superfície de nível tridimensional com ampliação do domínio da P_{cd} .

Considerando a P_{cd} em função do conjunto de pontos (D, E, A) , verificou-se que os valores assumidos pelas variáveis podem ser manipulados de tal forma a gerar uma seqüência. Logo, as diferentes sequências podem ser determinadas pela escolha de uma

razão pré-definida, perfazendo assim várias combinações, as quais aumentam com a redução da razão. Têm-se, assim, as seguintes progressões aritméticas para determinar os números de termos para os diferentes pontos (D, E, A) :

$$n_D = 1 + (5 - d_1)/r \quad d_1 > 0$$

$$n_E = 1 + 0,99/r$$

$$n_A = 1 + 0,099/r$$

onde:

n_D : número de termos (declividade)

d_1 : primeiro termo (declividade)

r : razão

n_E : número de termos (energia)

r : razão

n_A : número de termos (água)

r : razão

Conseqüentemente as possibilidades de combinações possíveis são dadas pela seguinte fórmula não convergente:

$$P = n_D n_E n_A \quad \lim_{P \rightarrow \infty} P = \infty$$

A não convergência da função indica que a amplitude do modelo será maior quanto menor a razão escolhida ou maior o número de combinações

realizadas. Assim, por intermédio de simulações verificou-se essa propensão dos dados para o infinito (conceito limite), as quais propiciaram o melhor entendimento do funcionamento e da abrangência do modelo da porcentagem do custo total (P_{cd}).

Com relação aos dados de entrada do modelo, este não apresentou delimitações, pois não houve dificuldade

INFLUÊNCIA DO DECLIVE NO CUSTO TOTAL DE UMA REDE DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

de compatibilidade de unidades ou de escalas e a ausência de restrições permitiu a extrapolação direta dos valores obtidos da porcentagem do custo total para

CONCLUSÕES

As variáveis identificadas, declividade, tarifa de energia elétrica e de água influenciam o comportamento da porcentagem do custo total. O modelo (Pcd) é extremamente representativo da realidade, com baixo erro absoluto e relativo.

A porcentagem do custo total por hectare (Pcd) da rede de irrigação devido à declividade variou de 0,1 a 8,86%.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

ALVES, J. FIGUEREDO, L.G.M.; COELHO, R.; ZOCOLER, J.L. Custo da energia elétrica na irrigação. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 32, Goiânia. SBEA, 2003.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Informativo eletrônico sobre outorga e fiscalização dos recursos hídricos no Brasil. Brasília, 1997. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/OutorgaFiscalizacao/default.asp>>. Acesso em: 8 dez. 2011.

CEMIG. Estudo da otimização energética. Belo Horizonte, 1993, 22p.

qualquer área com declividade até 5%, com diferentes taxas de energia elétrica e de água.

GOMES, E. P.; SEBASTIÃO, R.; CAMPOS, M., M. A.; BERTOLUCI, A. C. F.; MATSURA, E. E. Avaliação da uniformidade de irrigação por gotejamento na cultura de tomate de mesa. Workshop tomate na Unicamp. Campinas, 2003.

MARCUZZO, F. F. N. Sistema de otimização hidráulica e econômica de rede de irrigação localizada usando algoritmos genéticos. 2008. 361 p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

MELLO, C. R., CARVALHO, J. A., BRAGA JÚNIOR, R. A., REINATO, C. H., SANTANA, M. J. Economia de Energia e instalação de bombeamento para irrigação com uso de inversor de frequência. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 18, n. 4, p. 78-88, 1999.

NISE, N. S. Engenharia de sistemas de controle. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2002.

OGATA, K. Engenharia de controle moderno. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2003, 4ª ed.

RECA, J.; MARTÍNEZ, J. Genetic algorithms for the design of looped irrigation water distribution networks. Water Resources Research. v. 42, n.1, p. 1-9, 2006.

SAAD, J. C. C. Modelos de programação linear e não-linear para otimização do dimensionamento e operação de sistemas de irrigação localizada. 2002. 129 f. Tese (Livre Docente - Disciplina de Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências

INFLUÊNCIA DO DECLIVE NO CUSTO TOTAL DE UMA REDE DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

SAAD, J.C.C.; MARIÑO, M. A. Optimum design of microirrigation systems in sloping lands. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Reston, VA, v. 128, n. 2, p. 116-124, 2002.

SILVA, A.L.; FARIA, M.A.; REIS, R.P. Viabilidade técnico-econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.7, n.1, p.34-74, 2003.

TSUJI, G. Y.; UEHARA, G.; BALAS, S. DSSAT version 3. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii, 1994. 163p.