

PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO PIVÔ CENTRAL**Aderson Soares de Andrade Júnior***EMBRAPA/CPAMN, Cx. Postal 01, CEP 64.006-220, Teresina, PI***Antenor de Oliveira Aguiar Netto***Universidade Federal de Sergipe, Dept^o de Eng. Agrônômica, CEP 49.100-000 São Cristovão, SE***Edson Alves Bastos***Bolsista do CNPq, Cx. Postal 01, CEP 64.006-220, Teresina, PI***1. RESUMO**

O presente trabalho apresenta um programa computacional em linguagem Basic, denominado DIMPIVO, capaz de dimensionar sistemas de irrigação pivô central a partir da pressão de projeto no final da linha lateral. O modelo realiza uma análise hidráulica do sistema, através do procedimento passo a passo, selecionando bocais a partir dos valores de pressão e vazão determinados ao longo da linha lateral, na presença e na ausência de canhão final. Como aplicação do modelo, utilizou-se um pivô central com canhão final, raio irrigado de 421 m, comprimento da linha lateral de 396 m, diâmetro da lateral de 0,168 m, espaçamento entre emissores de 6 m, para aplicar uma lâmina de 8 mm em um tempo de 20 h e assumindo-se uma pressão de serviço no último emissor de 30 m.c.a. Os emissores apresentaram diâmetros dos bocais oscilando de 1,8 mm, no ponto do pivô até 9,6 mm na extremidade da lateral, proporcionando uma variação uniforme de vazão de $6,14 \times 10^{-5}$ a $1,67 \times 10^{-3}$ m³/s, respectivamente. Os resultados demonstram que o programa efetua uma seleção criteriosa dos bocais dos emissores, de tal forma a permitir uma adequada aplicação de água em toda a área.

UNITERMOS: Modelo, Dimensionamento, Pivô central.

ANDRADE JR., A.S., AGUIAR NETO, A.O., BASTOS, E.A. Design of a Center Pivot using a Computerized Model

2. ABSTRACT

A computerized model was developed in Basic language, DIMPIVO named, for designing center pivot irrigation systems. A hydraulics analysis is done by the model, using stepwise procedure, selecting sprinklers from pressure and flow values, along the lateral line, in the presence or absence of the gun. For application model, was designing a center pivot with end-gun sprinklers, 421 m effective irrigated radius, 396 m lateral length, 168 mm inside diameter lateral pipe, nozzle spacing of 6 m, 8 mm application depth per rotation, and one lateral rotation per 20 h and assumed that the working-pressure head at the last nozzle was 30 m.c.a. The diameters of outlets oscillated between 1.8 mm, at pivot point, until 9.6 mm at end lateral line, resulting uniform variation flow along lateral of 6.14×10^{-5} until $1.67 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, respectively. The results showed that the model realizes a criterious selection of outlets, allowing an adequate distribution of water in the whole area.

KEYWORDS: Model, Design, Center pivot.

3. INTRODUÇÃO

O sistema de irrigação por aspersão pivô central vem se constituindo em um dos mais utilizados na agricultura moderna, onde o manejo e operação de outros sistemas tornam-se desvantajosos, especialmente em grandes áreas.

Segundo Assis, citado por Souza (1994), a área irrigada no Brasil por este sistema era de aproximadamente 230.000 ha no ano de 1988, representando cerca de 10% da superfície total irrigada no País. Entre 1982 e 1991, de acordo com a ABIMAC/SINDIMAC, citado por Bernardo (1992), o pivô central representou 65 % das vendas de equipamentos de irrigação pressurizada no País, demonstrando a crescente procura por este sistema.

Este equipamento permite o uso de um canhão final com a finalidade de aumentar a área irrigada e reduzir os custos totais do sistema por hectare. Entretanto, o uso do canhão final na linha lateral, que funciona com aspersores de baixa pressão, requer uma pressurização adicional (bomba booster) a fim de não comprometer o desempenho total do sistema (Scaloppi & Allen, 1993). A presença do canhão final implica em maior fluxo em direção ao final da linha lateral, o que deve afetar a uniformidade de distribuição de água e a economia do sistema.

Por isso, é recomendado o uso de reguladores de pressão visando a melhoria da distribuição de pressão e vazão do sistema. Estes dispositivos hidráulicos podem ser utilizados, ainda, quando a linha lateral opera em locais com topografia irregular.

Segundo Chu & Moe (1972), a hidráulica do sistema de irrigação pivô central não tem sido descrita analiticamente. Apontam dois parâmetros hidráulicos básicos importantes para o dimensionamento e avaliação desse sistema. Primeiro, a perda de pressão total do sistema que é necessária para dimensionar a bomba; e segundo, a distribuição de pressão ao longo da linha lateral que possibilita a seleção dos emissores para proporcionar uma aplicação de água mais adequada.

Kincaid & Hermann (1970) comentam que devem ser mantidas pressões adequadas através do sistema de irrigação para se obter as vazões desejadas e uma aplicação uniforme de água pelos aspersores.

Os mesmos autores enfatizam que a redução da perda de pressão, além de proporcionar uma pressão mais favorável aos aspersores, diminui a pressão requerida pelo pivô, permitindo, assim, a escolha de um sistema de bombeamento de menor capacidade.

Souza (1994) desenvolveu um modelo computacional para efetuar a análise hidráulica de sistemas de irrigação pivô central a partir da pressão de serviço estabelecida para o final da linha lateral ou ponto do pivô. No entanto, o programa não permite o dimensionamento dos emissores com a utilização de reguladores de pressão, procedimento que é recomendado em determinadas situações.

Além disso, o programa desenvolvido por Souza (1994) utiliza a equação de Hazen-Williams para o cálculo da perda de carga na linha lateral do sistema, ao contrário do modelo aqui apresentado, que faz uso da equação de Darcy-Weisbach, que segundo Bernuth (1989), deve ser preferencialmente utilizada, uma vez que tem base teórica e é dimensionalmente homogênea.

Quanto ao dimensionamento, o processo de escolha dos bocais dos emissores constitui-se em um dos pontos principais do projeto, sendo que tal escolha é de inteira exclusividade das empresas que comercializam esse tipo de equipamento.

O problema de configuração ou escolha dos bocais é um desafio, dadas as características particulares de aplicação de água desse sistema (Souza, 1994). De acordo com Scaloppi & Allen (1993) é de fundamental importância estudos visando a solução dessa questão em condições simuladas e de campo.

Dessa forma, foi desenvolvido o presente trabalho com o intuito de contribuir para a solução de questões que envolvem o dimensionamento e/ou a distribuição da pressão e vazão ao longo da linha lateral do pivô central.

4. MATERIAL E MÉTODOS

A análise hidráulica foi realizada pelo procedimento passo a passo (stepwise), que consiste na determinação dos parâmetros hidráulicos em cada trecho da tubulação, compreendido entre dois emissores sucessivos, conforme descreveu para o sistema pivô central Kincaid & Hermann (1970).

Este procedimento permite determinar a distribuição de pressão e vazão ao longo da linha lateral do pivô central, possibilitando, assim, o dimensionamento dos bocais dos aspersores ou sprays (Souza, 1994).

O programa realiza este dimensionamento com a linha lateral em nível, acline ou declive e tem capacidade para dimensionar sistemas pivô central a partir da pressão de projeto no final da lateral.

Cabe observar que a determinação da vazão na tubulação, do final da linha lateral até o ponto do pivô, a partir do segundo trecho, é resultante do somatório das vazões $q_i + q_{i-1}$. Quando existe canhão final, a vazão do mesmo é acrescida à vazão determinada no primeiro trecho.

A vazão em cada emissor é determinada pela seguinte expressão:

$$q_i = W \cdot Y \cdot S \cdot D_i \quad (1)$$

Onde:

q_i = vazão do emissor localizado a uma distância i do ponto do pivô (m^3/s)

W = velocidade angular da lateral (rad/s)

Y = lâmina aplicada (m)

S = espaçamento entre emissores (m)

D_i = distância do i -ésimo emissor ao ponto do pivô (m)

Na presença de canhão final na linha lateral, a vazão deste, segundo Scaloppi (1993), é calculada por:

$$Q_c = \frac{\pi \cdot Y}{T} (R^2 - L^2) \quad (2)$$

Onde:

Q_c = vazão do canhão (m^3/s)

T = tempo de operação diário (s)

R = raio irrigado (m)

L = comprimento da linha lateral (m)

Cabe observar que a determinação da vazão na tubulação, do final da linha lateral até o ponto do pivô, a partir do segundo trecho, é resultante do somatório das vazões $q_i + q_{i-1}$. Quando existe canhão final, a vazão do mesmo é acrescida à vazão determinada no primeiro trecho.

A perda de carga é calculada pela equação de Darcy-Weisbach, que de acordo com Bernuth (1989), tem base teórica e é dimensionalmente homogênea, devendo ser preferencialmente utilizada. A sua forma em unidades usuais é a seguinte:

$$Hf_i = 0,082655 \frac{f_i \cdot Q_i^2 \cdot S}{d^5} \quad (3)$$

Onde:

Hf_i = perda de carga no i -ésimo trecho (m.c.a)

f_i = coeficiente de atrito de Darcy-Weisbach no i -ésimo trecho

Q_i = vazão no i -ésimo trecho (m^3/s)

d = diâmetro da linha lateral (m)

Nesta equação, o coeficiente de atrito f depende do regime de escoamento, da rugosidade absoluta da tubulação. Assim, várias equações para cálculo desse coeficiente são utilizadas, de acordo com o seu limite de aplicação, definido pelo número de Reynolds e rugosidade hidráulica do tubo.

No presente trabalho, o valor do coeficiente de atrito f é estimado através da equação de Churchill (1977), a qual de acordo com Allen, citado por Scaloppi & Allen (1993), é aplicada em qualquer regime de escoamento e todas as condições de rugosidade hidráulica.

$$f = 8 \left[\left(\frac{8}{N_r} \right)^{12} + \left(\frac{1}{(A+B)^{1,5}} \right) \right]^{\frac{1}{12}} \quad (4)$$

$$N_r = 1260630 \left(\frac{Q}{d} \right) \quad (5)$$

$$A = \left[2,457 \cdot \ln \frac{1}{\left(\frac{7}{N_r} \right)^{0,9} + \left(\frac{0,27e}{d} \right)} \right]^{16} \quad (6)$$

$$B = \left(\frac{37530}{N_r} \right)^{16} \quad (7)$$

Onde:

N_r = número de Reynolds

e = rugosidade absoluta da tubulação (m)

O cálculo da pressão em cada emissor é efetuado através da seguinte expressão:

$$P_{i+1} = P_i + Hf_i - Hvl_i + Z_i \quad (8)$$

Onde:

P_{i+1} = pressão no emissor posterior ao i -ésimo emissor (m.c.a)

P_i = pressão no i -ésimo emissor (m.c.a)

Hf_i = perda de carga por fricção no i -ésimo trecho (m.c.a)

Hvl_i = perda de carga de velocidade no i -ésimo trecho (m.c.a)

$$HvI_i = \frac{8Q_i}{\pi^2 d^4 g} \quad (9)$$

Onde:

g = aceleração da gravidade (m/s^2)

Z_i = diferença algébrica na elevação entre o início e o final de cada trecho (m.c.a)

$$Z_i = S \cdot I \quad (10)$$

Onde:

I = inclinação do terreno (m/m)

Uma vez definidos os valores de pressão e vazão em cada ponto, são dimensionados os bocais dos emissores através da seguinte equação:

$$Db_i = 1000 \sqrt{\frac{Q_i}{3,478 \cdot C_d \cdot P_i^{0,5}}} \quad (11)$$

Onde:

Db_i = diâmetro do maior bocal do emissor (mm)

C_d = coeficiente de descarga do bocal do emissor

Na ocorrência de dois bocais, o cálculo daquele de menor diâmetro (db_i) é realizado obedecendo à seguinte relação:

$$db_i = 0,75Db_i \quad (12)$$

O programa adota como critério de seleção, de um ou dois bocais por emissor, o limite máximo de 6 mm no bocal de maior diâmetro. Este procedimento baseou-se em informações contidas em manuais técnicos das empresas que comercializam esses equipamentos.

É realizado um ajuste nos diâmetros dos bocais originalmente calculados em função dos diâmetros de bocais comercialmente disponíveis citados por Scaloppi (1993). Após processado o ajuste dos diâmetros dos bocais do emissor em cada ponto, é efetuada automaticamente a correção da vazão do emissor situado nesse ponto, através das seguintes expressões:

$$Q_i' = Q_i \left[\frac{(Db_i^*)^2 + (db_i^*)^2}{(Db_i)^2 + (db_i)^2} \right] \quad (\text{Para dois bocais}) \quad (13)$$

$$Q_i' = Q_i \left(\frac{Db_i^*}{Db_i} \right)^2 \quad (\text{Para um bocal}) \quad (14)$$

Onde:

- Q_i' = vazão corrigida no i-ésimo ponto (m^3/s)
 Db_i' = diâmetro corrigido do maior bocal do emissor (mm)
 db_i' = diâmetro corrigido do menor bocal do emissor (mm)

Uma vez corrigida a vazão em cada ponto, é efetuado um ajuste da pressão deste ponto, através da expressão abaixo:

$$P_1' = P_1 \left(\frac{Q_i'}{Q_i} \right)^2 \quad (15)$$

Onde:

- P_1' = pressão corrigida no i-ésimo ponto (m.c.a)

Na opção com reguladores de pressão, o processo de escolha dos mesmos é efetuado em função da pressão no interior da tubulação em cada emissor, obedecendo aos limites apresentados na Tabela 1.

TABELA 1. Características técnicas dos reguladores de pressão utilizados no programa.

Tipo de Regulador	Pressão de operação (m.c.a)	Pressão máxima (m.c.a)
A	14,0	50,0
B	21,0	60,0
C	28,0	75,0
D	35,0	85,0

Fonte: Catálogos técnicos da VALMATIC (s.d) e SENNINGER (s.d)

O programa contempla três diferentes possibilidades de configuração dos bocais dos emissores, a saber: linha lateral com todos os emissores possuindo um bocal; linha lateral com todos os emissores possuindo dois bocais e uma configuração mista, de tal forma a otimizar a distribuição de pressão e vazão ao longo da linha lateral.

O DIMPIVO foi desenvolvido para microcomputadores compatíveis com IBM PC-XT e AT, utilizando a linguagem de programação Turbobasic, uma das versões compiladas do Basic, podendo ser utilizado diretamente através do sistema operacional.

A estrutura do programa é composta de módulos que contemplam as seguintes ações básicas: Apresentação do menu principal; Apresentação do menu secundário; Entrada de dados; Cálculos e Saída de dados. A inicialização do programa ocorre no menu principal, que permite ao usuário a escolha da condição topográfica em que se encontra a linha lateral do pivô central (em nível ou desnível).

Uma vez definida a condição topográfica do terreno, aciona-se o menu secundário.

Este é composto das seguintes opções: Linha lateral sem regulador de pressão e sem canhão final (SRSC); Linha lateral sem regulador de pressão e com canhão final (SRCC); Linha lateral com regulador de pressão e sem canhão final (CRSC) e Linha lateral com regulador de pressão e com canhão final (CRCC), as quais retratam as alternativas de operação possíveis de ocorrerem na prática. Este menu apresenta, ainda, a possibilidade de retorno ao menu principal.

A entrada de dados para o programa é realizada via teclado e solicita ao usuário as seguintes informações básicas: Diâmetro da linha lateral (m); Rugosidade absoluta da tubulação (m); Raio irrigado (m); Comprimento da linha lateral (m); Espaçamento entre emissores na linha lateral (m)¹; Coeficiente de descarga dos bocais; Altura da haste do emissor (m); Lâmina a ser aplicada (m); Tempo de operação diário (h); Pressão de serviço do último emissor (m) e Declividade do terreno (m/m)

Para as alternativas com canhão final na linha lateral é solicitada, ainda, a pressão de serviço do canhão (m). Neste caso, a pressão de serviço do último emissor, a ser fornecida, corresponde ao do imediatamente anterior ao canhão.

O processamento dos dados de entrada é feito em subrotinas, utilizando-se as equações descritas anteriormente. Os resultados, fornecidos via impressora, são apresentados em forma de tabela, mostrando o respectivo número do emissor, juntamente com a vazão (m³/s), pressão de operação (m) e diâmetro dos bocais (mm) selecionados pelo programa.

Para as alternativas que contemplam o uso de reguladores de pressão, é acrescido na tabela o tipo de regulador a ser utilizado, de acordo com a pressão de operação no interior da tubulação.

O programa fornece informações adicionais referentes à pressão na entrada da linha lateral (m), vazão total (m³/s) e perda de carga (m) ocorrida na linha lateral. Na presença de canhão final na lateral, apresenta-se também a vazão do respectivo canhão. Quando faz-se a opção pelo uso de reguladores de pressão, é exibida uma tabela com as características técnicas dos reguladores presentes no programa. A finalização do programa ocorre retornando-se ao menu secundário e posteriormente ao menu principal, onde escolhe-se a opção para retornar ao sistema operacional.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para ilustrar a execução do programa, utilizou-se um exemplo de um pivô central com as características abaixo relacionadas e operando com um canhão final: Diâmetro da linha lateral = 0,168 m; Rugosidade absoluta da tubulação = 0,0002 m (Aço galvanizado); Raio irrigado = 421 m; Comprimento da linha lateral = 396 m; Espaçamento entre emissores = 6 m; Coeficiente de descarga dos bocais = 0,95; Altura da haste do emissor = 0,30 m; Lâmina a ser aplicada = 0,008 m; Tempo de operação diário = 20 h; Pressão de serviço do último emissor = 30 m.c.a; Pressão de serviço do canhão final = 25 m.c.a e Declividade do terreno = - 0,02 m/m (Declive de 2%)

¹ O programa admite apenas espaçamento uniforme entre emissores na linha lateral.

Pelos resultados apresentados na Tabela 2, o dimensionamento dos bocais é uniformemente crescente, resultante de uma adequada distribuição de pressão e vazão ao longo da linha lateral, o que certamente propicia uma alta uniformidade de aplicação de água. O modelo apresenta uma pressão na entrada da linha lateral (ponto do pivô) diferenciada, dependendo da opção do usuário em utilizar um canhão final equipado ou não com bomba "booster".

TABELA 2. Valores de vazão (m^3/s), pressão (m.c.a) e diâmetro dos bocais (mm) dos emissores dimensionados para a linha lateral do pivô central

Nº do emissor	Vazão (m^3/s)	Pressão (m.c.a)	Diâmetro dos bocais (mm)
2	0,0016678	30,000000	9,6
3	0,0016633	29,835655	9,6
4	0,0016600	29,719339	9,6
5	0,0016568	29,604025	9,6
6	0,0016536	29,490614	9,6
7	0,0015158	29,379755	9,2
8	0,0015131	29,272722	9,2
9	0,0015104	29,169004	9,2
10	0,0015078	29,068983	9,2
11	0,0015053	28,973024	9,2
12	0,0015029	28,881487	9,2
13	0,0013730	28,794722	8,8
14	0,0013711	28,714081	8,8
15	0,0013693	28,638470	8,8
16	0,0013676	28,568174	8,8
17	0,0013661	28,503475	8,8
18	0,0012434	28,444654	8,4
19	0,0012423	28,393148	8,4
20	0,0012413	28,347536	8,4
21	0,0012404	28,308044	8,4
22	0,0012397	28,274910	8,4
23	0,0011239	28,248356	8,0
24	0,0011235	28,229887	8,0
25	0,0010678	28,217831	7,8
26	0,0010677	28,213017	7,8
27	0,0010137	28,214670	7,6
28	0,0010139	28,223614	7,6
29	0,0009615	28,239033	7,4
30	0,0009619	28,261745	7,4
31	0,0009110	28,290903	7,2
32	0,0009116	28,327314	7,2
33	0,0008623	28,370106	7,0
34	0,0008631	28,420076	7,0
35	0,0008153	28,476330	6,8
36	0,0008162	28,539654	6,8

Continuação...			
37	0,0007698	28,609137	6,6
38	0,0007709	28,685555	6,6
39	0,0007529	28,767984	6,4
40	0,0006823	28,857187	6,2
41	0,0006834	28,952888	6,2
42	0,0006412	29,054157	6,0
43	0,0006423	29,161724	6,0
44	0,0006014	29,274660	5,8
45	0,0005618	29,393679	5,6
46	0,0005630	29,518482	5,6
47	0,0005246	29,648155	5,4
48	0,0004876	29,783373	5,2
49	0,0004887	29,923830	5,2
50	0,0004529	30,068642	5,0
51	0,0004185	30,218441	4,8
52	0,0003853	30,372921	4,6
53	0,0003535	30,531782	4,4
54	0,0003544	30,694729	4,4
55	0,0003238	30,860954	4,2
56	0,0002945	31,031002	4,0
57	0,0002665	31,204586	3,8
58	0,0002399	31,381424	3,6
59	0,0002146	31,561239	3,4
60	0,0001906	31,743769	3,2
61	0,0001680	31,928755	3,0
62	0,0001266	32,115959	2,6
63	0,0001082	32,305470	2,4
64	0,0000912	32,496517	2,2
65	0,0000612	32,688892	1,8
66	0,0000614	32,882648	1,8

Vazão do canhão final = 0,007130 m³/s

Pressão na entrada da linha lateral = 58,793 m.c.a (Canhão final sem bomba "booster")

Pressão na entrada da linha lateral = 33,793 m.c.a (Canhão final com bomba "booster")

Vazão total da linha lateral = 0,063308 m³/s

Perda de carga na linha lateral = 11,709 m.c.a

6. CONCLUSÃO

O programa DIMPIVO facilita ao usuário realizar o dimensionamento e avaliação de sistemas de irrigação pivô central, uma vez que permite uma seleção criteriosa de emissores, com ou sem o uso de reguladores de pressão e na ausência ou presença de canhão final, de forma a proporcionar uma adequada distribuição de pressão e vazão ao longo da linha lateral do sistema.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNARDO, S. Desenvolvimento tecnológico e perspectivas da irrigação no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21, 1992, Santa Maria. *Palestras . . .* Santa Maria: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1992, p.20-44.
- BERNUTH, R.D. Hydraulic friction factors for pipe flow-discussion. *J. Irrig. Drain. Eng.*, v.115, p.916-8, 1989.
- CHU, S.T., MOE, D.L. Hydraulics of a center-pivot systems. *Trans. ASAE(Am. Soc. Agric. Eng.)*, 15 (5): 894-6, 1972.
- CHURCHILL, S. W. Friction-factor equation spans all fluid-flow regimes. *Chem. Eng.*, v.84, p.91-2, 1977.
- KINCAID, D.C. HERMANN, D.F. Pressure distribution on a center-pivot sprinkler irrigation system. *Trans. ASAE, (Am. Soc. Agric. Eng.)*, v.13, p.556-8, 1970.
- SCALOPPI, E. J., ALLEN, R. G. Hydraulics of center-pivot laterals. *J. Irrig. Drain. Eng.*, v.119, p.554-67, 1993.
- SOUZA, F. Modelo computacional para análise hidráulica de um sistema de irrigação pivô central. *Eng. Rural*, v.5, n.2, p.1-20, 1994.