



SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO
I. Dimensionamento



MINISTÉRIO DA AGRICULTURA - MA
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Centro de Pesquisa Agropecuária
do Trópico Semi-Árido - CPATSA
Petrolina, PE

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidente: José Sarney

Ministro da Agricultura: Iris Rezende Machado

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

Presidente: Ormuz Freitas Rivaldo

Diretores: Ali Aldersi Saab

Derli Chaves Machado da Silva

Severino de Melo Araújo

CIRCULAR TÉCNICA Nº 14

ISSN 0100-6169

agosto, 1986

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO
I. Dimensionamento

José Monteiro Soares



MINISTÉRIO DA AGRICULTURA - MA
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA
Centro de Pesquisa Agropecuária
do Trópico Semi-Árido - CPATSA
Petrolina, PE

Exemplares desta publicação podem ser solicitados à:

EMBRAPA-CPATSA

BR 428, km 152

Telefone: (081) 961-4411

Telex: (081) 1878

Caixa Postal 23

56300 Petrolina, PE

Tiragem: 6.000 exemplares

Comitê de Publicações:

Manoel Abílio de Queiroz - Presidente

Paulo César Fernandes Lima

Luiz Maurício Cavalcante Salviano

Assessoria técnico-científica deste trabalho:

Edson Lustosa de Possídio

Arnóbio Anselmo Magalhães

Soares, José Monteiro

Sistema de irrigação por aspersão. I. Dimensionamento. Petrolina, PE, EMBRAPA-CPATSA, 1986.

58p. (EMBRAPA-CPATSA. Circular Técnica, 14).

1. Irrigação-Aspersão. I. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido, Petrolina, PE. II. Título. III. Série.

CDD - 631.7

APRESENTAÇÃO

No Nordeste do Brasil, a irrigação concentra-se quase que exclusivamente nas proximidades de grandes represas e às margens dos grandes rios. Com os incentivos do PROINE, outras fontes de água - pequenas, médias e grandes - distribuídas por todo Nordeste, também serão utilizadas, o que exigirá maior divulgação das tecnologias de irrigação, visando atender às demandas específicas.

Esta publicação enfatiza os requerimentos práticos fundamentais ao planejamento e dimensionamento de sistemas de irrigação por aspersão, apresentando-se como uma publicação técnica adicional sobre o assunto.

RENIVAL ALVES DE SOUZA
Chefe do Centro de Pesquisa Agropecuária
do Trópico Semi-Árido.

SUMÁRIO

RESUMO/ABSTRACT.....	7
INTRODUÇÃO.....	9
APLICABILIDADE E ALTERNATIVAS DE USO.....	9
DESCRIÇÃO.....	10
ROTEIRO PARA O DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO.....	11
A) Identificação e Caracterização da Propriedade.....	13
B) Planejamento Agronômico da Irrigação.....	13
C) Manejo da Irrigação.....	23
D) Dimensionamento Hidráulico do Sistema de Irrigação.	30
PROJETO DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO.....	42
A) Indentificação e Caracterização da Propriedade.....	42
B) Necessidade de Água de Irrigação.....	43
C) O Manejo da Irrigação ou Operação do Sistema de Irrigação.....	45
D) Dimensionamento Hidráulico do Sistema de Irrigação.	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO
I. Dimensionamento

José Monteiro Soares¹

RESUMO - A irrigação por aspersão é uma maneira prática de aplicação de água no solo para qualquer cultura ou solo. Um sistema de irrigação por aspersão pode aplicar água no solo em intensidades iguais ou menores que a sua velocidade de infiltração, além da possibilidade de ser manejado automática ou manualmente. Em geral, a irrigação por aspersão pode ser empregada em muitas condições de solo e topografia e em áreas onde a irrigação por superfície apresenta-se ineficiente e dispendiosa. O aspersor é a parte mais importante do sistema de irrigação por aspersão. Uma ampla classificação em tipos de aspersores e bocais permite ao projetista selecionar o aspersor apropriado e a pressão de serviço para satisfazer um solo específico e/ou o requerimento da cultura. Fatores importantes para o sucesso do sistema de irrigação por aspersão são, em primeiro lugar, o dimensionamento correto e, em segundo, o manejo eficiente do sistema projetado. As informações básicas necessárias para o dimensionamento do sistema de irrigação são: solo, suprimento de água, a cultura a ser irrigada e o clima. O conhecimento da capacidade do sistema e as condições de operação permitem a seleção da intensidade de aplicação do aspersor e espaçamento entre aspersores e linhas laterais. A potência requerida e o dimensionamento econômico da tubulação deve ser determinado pelo estudo de várias combinações. Isto possibilita a escolha da bomba e da potência do conjunto motobomba.

Termos para indexação: irrigação, aspersão, dimensionamento.

SPRINKLER IRRIGATION SYSTEM
I. PROJECT ESTIMATION

ABSTRACT - The sprinkler irrigation is a suitable method for watering any soil cultivated crop. A sprinkler irrigation system can water the soil by intensities that would be equal or less than the soil infiltration rates and can be operated manually or automatically. In general, the sprinkler irrigation can be used in many different soil and topography conditions in areas where the soil surface irrigation system is inefficient and very expensive. The sprinkler is the most important part of the sprinkler irrigation system. A wide classification for sprinkler and socket types allows the selection of the right sprinkler and the operating pressure to meet the specific soil and crop requirements, satisfactorily. The important factors for a good sprinkler irrigation system performance are the right design and the efficient operation of the designed system. The basic information necessary for designing a suitable sprinkler irrigation system are: soil, water supply, crop and climate. Knowing the required capacity for the system and the operation conditions it is possible to select the intensity of application for the sprinkler and the spacing between sprinklers and lateral pipe lines. The required potential power and the economical cost for the pipe lines would be calculated through the study of several combinations. Then, will be possible to choose the right pump and select the suitable power unit.

Index terms: sprinkler irrigation, project.

¹ Eng. Agr., M.Sc., EMBRAPA-Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA), Caixa Postal 23, 56300 Petrolina, PE.

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

1. Dimensionamento

José Monteiro Soares¹

INTRODUÇÃO

O método de irrigação por aspersão caracteriza-se pela aplicação de água no solo em forma de chuva artificial, através do fracionamento do jato de água em estruturas denominadas aspersores.

A irrigação por aspersão apresenta-se sob uma grande diversidade de modalidades de sistema, desde o mais simples como o cano perfurado até os sistemas mais complexos de funcionamento automático. Este sistema dispensa a sistematização do terreno, permitindo o aproveitamento de solos rasos, arenosos e terrenos declivosos. A seleção dos aspersores deve levar em consideração o tipo de cultura a ser explorada e o tipo de solo. Não é recomendável utilização de água salina através da irrigação por aspersão, devido aos danos que esta água pode causar à parte aérea das plantas. Temperaturas elevadas, baixa umidade relativa do ar e ventos fortes podem acarretar problemas na eficiência de aplicação do sistema. Este sistema presta-se para a exploração de uma grande variedade de culturas, principalmente aquelas de porte baixo.

APLICABILIDADE E ALTERNATIVAS DE USO

A eficiência desse sistema de irrigação é relativamente alta, pela vantagem de aplicação controlada de água, com

¹ Eng. Agr., M.Sc., EMBRAPA-Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA), Caixa Postal 23, 56300 Petrolina, PE.

pequena perda por percolação, o que reduz os problemas de salinidade. Entretanto, este sistema não deve ser utilizado quando a água de irrigação for considerada salina. Deve-se, também, evitar o uso deste sistema de irrigação quando os solos forem argilosos e de baixa velocidade de infiltração. Devem-se eleger aspersores dos tipos pequeno a médio quando as culturas a ser exploradas forem alface, repolho, tomate, melão, etc. Os aspersores tipo canhão são indicados para pastagem, milho, cana-de-açúcar, etc. O sistema, como um todo, requer do agricultor ou do irrigante um razoável conhecimento de manejo de água, bem como dos equipamentos de irrigação.

DESCRIÇÃO

Em geral, este sistema de irrigação compõe-se das seguintes partes: conjunto motobomba, linha principal, secundária e lateral, aspersores e acessórios.

Conjunto motobomba - Normalmente são utilizadas bombas centrífugas de eixo horizontal ou vertical acopladas a motores elétricos ou diesel. As bombas devem apresentar uma combinação de rotação, potência e vazão, o que aumenta sua eficiência. É de fundamental importância a seleção correta de um conjunto motobomba para determinadas condições de funcionamento.

Linha principal - O material empregado na linha principal depende do tamanho do módulo irrigado, bem como do grau de mobilidade dessa tubulação. Nos sistemas de pequena dimensão, essa tubulação é geralmente móvel, podendo utilizar-se tubos de alumínio, aço galvanizado ou PVC rígido, dotados de engate rápido. Porém, nos projetores de grande escala, podem ser utilizados tubos de ferro fundido, aço, cimento amianto, etc.

Linhas secundárias e lateral - Normalmente essas linhas apresentam uma grande mobilidade, visando a redução dos custos de investimentos. Podem ser utilizadas tubulações de alumínio, aço galvanizado e PVC rígido, dotados de en-gate rápido. Os tubos de alumínio são mais leves que os de aço, não oxidam com o tempo, mas são relativamente mais ca-ros. Os tubos de aço galvanizado resistem a pressões maio-res (50 atm), porém são mais pesados para o transporte. Os tubos de PVC rígidos oferecem uma grande facilidade de transporte, preços relativamente competitivos para diâme-tro inferiores a 4", não oxidam, porém apresentam uma pres-são máxima de trabalho de 7,5 atm.

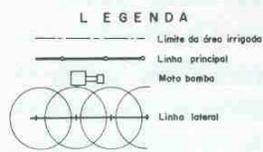
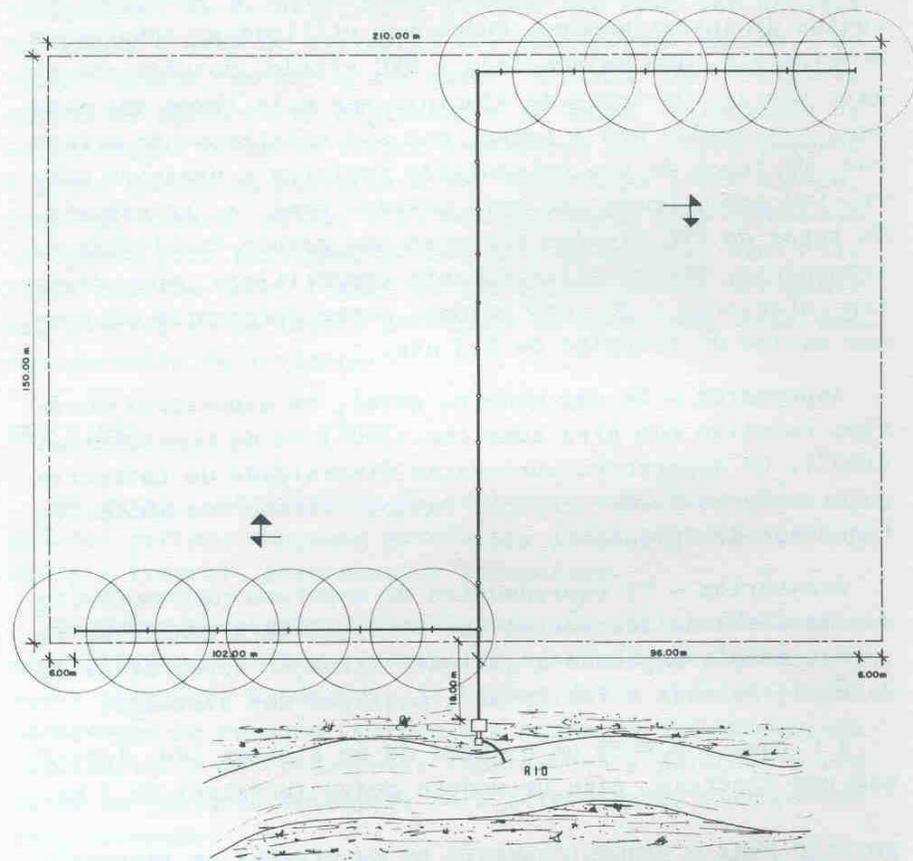
Aspersores - De uma maneira geral, os aspersores são do tipo rotativo com giro completo (360°) ou do tipo setorial (180°). Os aspersores apresentam diversidade de categoria quanto à pressão de serviço, vazão, tamanho dos bocais, in-tensidade de aplicação, etc.

Acessórios - Os equipamentos de aspersão compreendem to-da uma linha de acessórios que possibilita a adaptação da irrigação por aspersão a qualquer situação topográfica ou da área, de modo a facilitar a montagem dos sistemas.

A Figura 1 mostra um esquema de um sistema de irriga-ção por aspersão, para um módulo médio irrigável de 3 ha.

ROTEIRO PARA O DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

O dimensionamento de um sistema de irrigação por asper-são deve ser baseado em dados tais como: cultura, caracte-rísticas físico-hídricas do solo, quantidade e qualidade da água disponível para irrigação, clima e topografia. Do mesmo modo devem-se considerar fatores econômicos e de ma-nejo como eficiência de aplicação, práticas culturais,



PROJETO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO		PROPRIEDADE: Faz. Olho D'água	
MUNICÍPIO: CAICÓ		PROPRIETÁRIO: Jose Antonio dos Santos	
ESTADO: RN	ÁREA IRRIGADA: 3,14 ha	PROJETO:	
DATA: 24-05-84	ESCALA: 1 / 1.000	DESENHO: J. C. Bezerra	VISTO:

FIG. 1. Sistema de irrigação por aspersão.

tempo disponível para a irrigação, etc.

O processo para o dimensionamento de um sistema de irrigação envolve quatro fases bem distintas:

A) Identificação e Caracterização da Propriedade

Elementos utilizados a fim de se estabelecerem critérios e informações básicas necessárias à definição de esquemas e alternativas preliminares. Posteriormente também são utilizados para se dimensionar e esquematizar o funcionamento e manejo do sistema proposto.

B) Planejamento Agronômico da Irrigação

A estimativa da necessidade de água de irrigação em nível mensal é importante para determinar-se o período de máxima demanda de água, pois o sistema de irrigação deve ser dimensionado para satisfazer a demanda máxima de água do projeto.

O procedimento básico para estimar-se essa necessidade de água é feito da seguinte maneira:

1. Determina-se a evapotranspiração potencial - Este parâmetro pode ser determinado por dois processos distintos: diretamente com dados da evaporação do tanque A ou por fórmulas empíricas.

a) Uso do tanque de evaporação Classe A - A evaporação do tanque multiplicada por um coeficiente K_T , cujo valor depende principalmente das condições do meio em que o tanque é instalado, permite obter a evapotranspiração potencial. Considerando a enorme variação dos coeficientes de tanque, com finalidade simplista e prática, recomenda-se usar $K_T = 0,75$. Assim:

$$ETP = Et \times 0,75$$

em que:

ETP = evapotranspiração potencial (mm/mês)

Et = evaporação do tanque (mm/mês)

b) Uso de fórmulas empíricas

b.1. Fórmula de Hargreaves - A partir de dados mensais de temperatura e de umidade relativa do ar determina-se a evapotranspiração potencial mensal como segue:

$$ETP = FET (32 + 1,8 T) (0,158) (100 - UR)^{1/2}$$

em que:

ETP = evapotranspiração potencial (mm/mês)

FET = fator de evapotranspiração (mm/mês), obtido a partir da latitude da região em questão (Tabela 1).

T = temperatura média mensal (°C), obtida pela seguinte fórmula:

$$T = \frac{t \text{ às } 12 \text{ h} + 2t \text{ às } 23 \text{ h} + t \text{ máxima} + t \text{ mínima}}{5}$$

UR = umidade relativa média do ar (%).

A fórmula de Hargreaves apresenta uma correlação de 0,68 em relação à evapotranspiração potencial medida, mas apresenta, como vantagem, valores de evapotranspiração potencial mensais em tabelas para uma série de municípios do Nordeste.

b.2. Fórmula de Benevides e Lopez - A partir de dados mensais de temperatura e de umidade relativa do ar, determina-se a evapotranspiração potencial mensal como segue:

$$ETP = 1,21 \times 10^{\frac{7,45}{234,7 + T}} \times (1 - 0,01 UR) + 0,21 T - 2,30$$

TABELA 1. Fator de Evapotranspiração Potencial em mm/mês (FET).

LAT S	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
01	2,29	2,12	2,35	2,20	2,14	1,99	2,09	2,22	2,26	2,36	2,23	2,27
02	2,32	2,14	2,36	2,18	2,11	1,96	2,06	1,19	2,25	2,57	2,26	2,30
03	2,35	2,15	2,36	2,17	2,08	1,92	2,03	2,17	2,25	2,39	2,29	2,34
04	2,39	2,17	2,36	2,15	2,05	1,89	1,99	2,15	2,34	2,40	2,32	2,37
05	2,42	2,19	2,36	2,13	2,02	1,85	1,96	2,13	2,23	2,31	2,34	2,41
06	2,45	2,21	2,36	2,12	1,99	1,82	1,93	2,10	2,23	2,47	2,37	2,4
07	2,48	2,22	2,36	2,10	1,96	1,78	1,89	2,02	2,22	2,43	2,40	2,4
08	2,51	2,24	2,36	2,08	1,93	1,75	1,86	2,05	2,21	2,44	2,42	2,51
09	2,54	2,25	2,36	2,06	1,90	1,71	1,82	2,03	2,20	2,45	2,45	2,54
10	2,57	2,27	2,36	2,04	1,86	1,68	1,70	2,00	2,19	2,46	2,47	2,58
11	2,60	2,28	2,35	2,02	1,83	1,64	1,75	1,98	2,18	2,47	2,50	2,61
12	2,62	2,29	2,35	2,00	1,80	1,61	1,72	1,95	2,17	2,48	2,52	2,64
13	2,65	2,31	2,35	1,98	1,77	1,57	1,68	1,92	2,16	2,48	2,54	2,67
14	2,68	2,32	2,34	1,96	1,73	1,54	1,65	1,89	2,14	2,14	2,57	2,71
15	2,71	2,33	2,33	1,94	1,70	1,50	1,61	1,87	2,13	2,50	2,59	2,74
16	2,73	2,34	2,33	1,91	1,67	1,46	1,58	1,84	2,12	2,50	2,61	2,77
17	2,76	2,35	2,32	1,89	1,63	1,43	1,54	1,81	2,10	2,50	2,63	2,83
18	2,79	2,30	2,31	1,87	1,66	1,33	1,50	1,78	1,09	2,51	2,63	2,85
19	2,81	2,37	2,30	1,84	1,56	1,33	1,47	1,75	2,07	2,51	2,67	2,86
20	2,84	1,38	2,33	1,82	1,50	1,31	1,43	1,72	2,06	2,51	2,63	2,83

Fonte: Hargreaves (1974).

em que:

ETP = evapotranspiração potencial (mm/mês)

T = temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$)

UR = umidade relativa média do ar (%)

A fórmula de Benevides e Lopez apresenta a melhor correlação (0,86) em relação à evapotranspiração potencial medida, quando comparada com as demais fórmulas empíricas. Porém, para o seu uso, é necessário recorrer à série de dados climatológicos da região em que se pretende determinar os valores de ETP.

2. Os coeficientes de cultivo devem ser obtidos mensalmente: valores de coeficientes de cultivo (Kc) para culturas permanentes, para as fases intermediárias e final do ciclo fenológico de culturas temporárias podem ser obtidos de tabelas (Doorenbos & Pruitt 1975), como na Tabela 2. Assim, os valores de Kc para as fases iniciais de culturas temporárias devem ser determinados, para que se obtenha o balanço hídrico completo da cultura considerada.

Portanto, para a obtenção destes valores de Kc deve-se construir a curva correspondente ao ciclo fenológico da cultura considerada, com base no valor de ETP referente ao mês de plantio da cultura.

Portanto, o valor de Kc inicial pode ser obtido, através da Figura 2, com base no valor de ETP referente ao mês de plantio da cultura escolhida e da frequência de irrigação inicial.

Com o valor de Kc obtido através da Figura 2 e com os valores de Kc tabelados, faz-se um gráfico do ciclo fenológico completo da cultura, para obter-se o valor de Kc correspondente à fase de desenvolvimento vegetal (Figura 3).

TABELA 2. Coeficiente médios da cultura (kc), para algumas culturas irrigadas no Trópico Semi-Árido, segundo metodologia de Doorenbos & Pruitt (1975).

Culturas	Frequência de irrigação no período inicial	kc média mensal					
		1º	2º	3º	4º	5º	6º
Cebola	2	0,90	0,95	1,00	0,90	-	-
	4	0,70	0,90	1,00	0,90	-	-
Cenoura	2	0,90	1,00	1,05	0,95	-	-
	4	0,70	0,90	1,05	0,95	-	-
Feijão Phaseolus	2	0,85	1,10	0,90	-	-	-
	4	0,60	1,10	0,90	-	-	-
Feijão	7	0,55	1,10	-	-	-	-
Tomate Industrial	2	0,90	1,00	1,15	0,80	-	-
	4	0,65	0,90	1,15	0,90	-	-
Tomate de Mesa	2	0,85	0,95	1,05	1,20	0,90	-
	4	0,65	0,80	1,05	1,20	0,90	-
Melão, Melancia	2	0,90	1,00	0,90	-	-	-
	4	0,65	1,00	0,90	-	-	-
Pimentão	2	0,80	0,90	1,00	1,05	1,00	0,90
	4	0,55	0,75	0,95	1,05	1,00	0,90
Milho	2	0,85	1,05	1,10	0,8	-	-
	4	0,65	1,00	1,10	0,8	-	-
Repolho	2	0,85	0,95	1,00	-	-	-
	4	0,60	0,90	1,00	-	-	-
Pepino	2	0,85	0,90	0,95	0,85	-	-
	4	0,60	0,85	0,95	0,85	-	-
Algodão	7	0,50	0,70	1,05	1,2	1,10	0,80
Arroz	7	1,10	1,10	1,05	1,05	0,95	-
Banana	7	1,00	todo o ano ²				
Citrus	7	0,75	todo o ano ²				
Citricas e Nozes	7	0,70	todo o ano ²				
Uva	7	0,60	todo o ano ²				

² Hargreaves (1975).

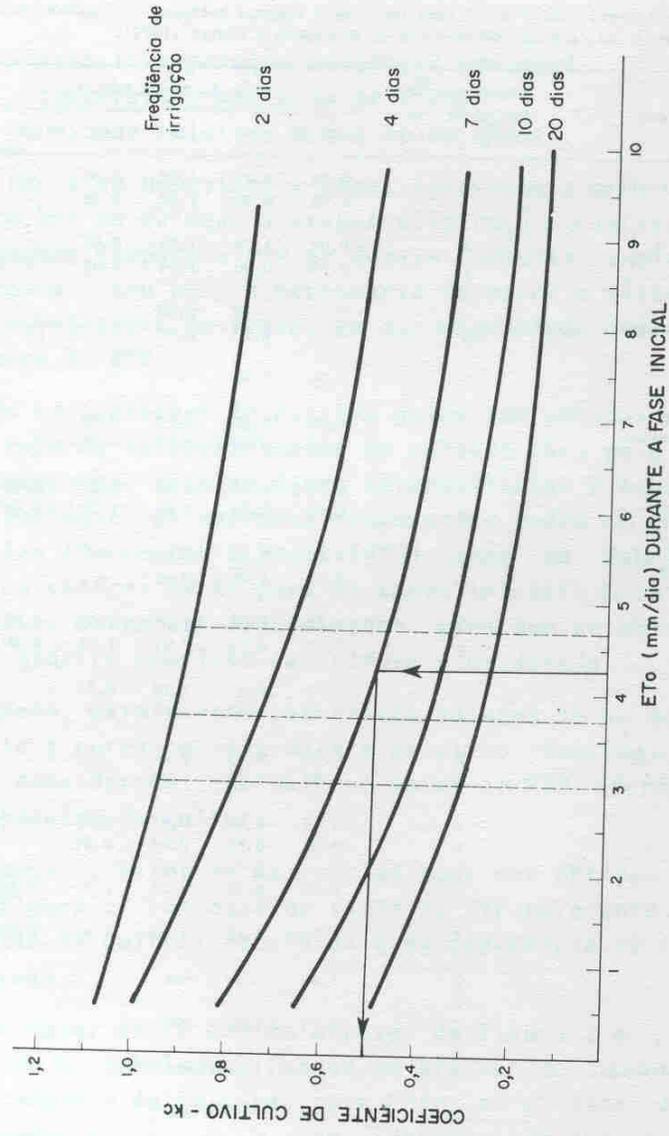


FIG. 2. kc médio na fase inicial em função do nível médio da ETR (durante a fase inicial) e a frequência de irrigação (Doorenbos & Pruitt 1975).

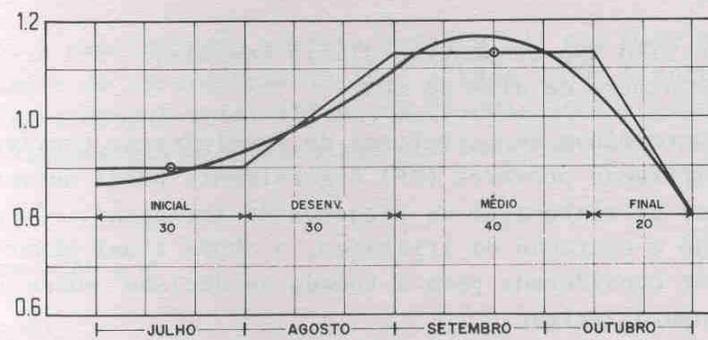


FIG. 3. Curva de desenvolvimento vegetativo da cultura do tomate industrial.

3. Determina-se a evapotranspiração real, como segue:

$$ETR = ETP \times Kc$$

em que:

$$ETR = \text{evapotranspiração real (mm/mês)}$$

4. Os valores de uso consuntivo diário são dados pela fórmula:

$$UC = ETRd = ETR : D$$

em que:

$$UC = ETRd \text{ uso consuntivo diário (mm/dia)}$$

$$D = \text{número de dias do mês}$$

5. Determinam-se os valores de precipitação provável - A precipitação provável (PP) é geralmente usada durante o processo de elaboração de projetos de irrigação. Durante o manejo e operação da irrigação, a chuva atual observada deve ser considerada para a tomada de decisão sobre quando e quanto irrigar.

Valores de precipitação provável podem ser encontrados em tabelas para uma série muito grande de locais do Nordeste (Hargreaves 1973). Para áreas irrigadas, o nível de probabilidade mais utilizado é de 75%.

Caso não se disponha de valores de precipitação provável em tabelas, pode-se determiná-las pelo método de Weibull, como segue:

a) Obter dados mensais de precipitação com mais de dez anos;

b) Ordenar os dados em ordem decrescente;

c) Determinar as probabilidades de chuva através da equação que se segue.

$$P (\%) = \frac{m}{n + 1} \times 100$$

em que:

P = probabilidade de ocorrência de uma determinada quantidade de chuva em porcentagem. Para áreas irrigadas P = 75%;

m = número de ordem (ordenado da maior para a menor precipitação);

n = número de observações.

6. A precipitação efetiva é calculada com base num coeficiente de aproveitamento (CA) a cada 25 mm de incremento de chuva mensal total (Blaney & Criddle 1962). Assim a precipitação efetiva é calculada com base na seguinte fórmula:

$$PE = PP \times f$$

em que:

PE = precipitação efetiva (mm/mês)

f = coeficiente de aproveitamento decrescente (Tabela 3).

7. A necessidade de irrigação líquida é obtida como segue:

$$NIL = ETR - PE$$

em que:

NIL = necessidade de irrigação líquida (mm/mês)

ETR = evapotranspiração real (mm/mês)

PE = precipitação efetiva (mm/mês)

TABELA 3. Coeficiente de aproveitamento decrescente, precipitações totais e efetivas mensais.

Precipitação mensal* (mm)	Coeficiente de Aproveitamento Decrescente (CA)	Precipitação Efetiva (mm)
10	1,00	10
25	0,95	24
50	0,90	45
75	0,82	66
100	0,65	82
125	0,45	93
150	0,25	99
175	0,05	-

*Precipitações menores de 10 mm não são consideradas significativas para a irrigação, portanto não são indicadas na Tabela.

Fonte: Blaney e Criddle (1962).

8. Calcula-se a necessidade de irrigação bruta pela equação:

$$N_{Ib} = \frac{NIL}{E_i}$$

em que:

N_{Ib} = necessidade de irrigação bruta (mm/mês)

E_i = eficiência de irrigação (decimais)

9. Os valores de gasto mensal de água são obtidos pela fórmula:

$$G_m = N_{Ib} \times 10$$

em que:

G_m = gasto mensal de água ($m^3/ha \times$ mês)

10. A vazão unitária de irrigação é dada por:

$$Q_u = \frac{G_m}{3,6 \times h \times D}$$

em que:

Q_u = vazão unitária de irrigação ($l/s \times ha$)

G_m = gasto mensal ($m^3/ha \times$ mês)

h = horas de trabalho por dia do mês de máxima demanda

D = número de dias de trabalho no mês considerado.

C) Manejo da Irrigação

O manejo da irrigação ou operação do sistema de irrigação compreende a determinação de parâmetros para o manejo da água de irrigação, ao longo do ciclo fenológico dos cultivos, como segue:

1. Lâmina líquida

$$L_l = 10 \frac{CC - PM}{100} \times D_{ap} \times K \times Pr$$

em que:

- $L\ell$ = lâmina líquida (mm)
 CC = capacidade de campo em base seca (%)
 PM = ponto de murchamento em base seca (%)
 Dap = densidade aparente (g/cm^3)
 K = nível de água disponível no solo (%)
 Pr = profundidade efetiva da raiz (cm).

2. Lâmina bruta

$$Lb = \frac{L\ell}{Ei}$$

em que:

- Lb = lâmina bruta (mm)
 Ei = eficiência de irrigação (decimais)

3. Frequência de irrigação - É o número de dias decorridos entre duas irrigações consecutivas em uma mesma área.

$$Fi = \frac{L\ell}{UC}$$

em que:

- Fi = frequência de irrigação (dias)
 UC = uso consuntivo (mm/dia)

4. Período de irrigação (PI) - É o número de dias necessários para irrigar todo o projeto.

Este fator é importante no dimensionamento do projeto. Quanto maior a relação PI/TR, mais elevado será o custo do sistema. O intervalo de tempo entre PI e TR deve ser defasado de, no máximo, um dia.

5. Seleção do Aspersion - É feita em função da velocidade de infiltração básica do solo (VIB, da pressão de ser

viço, do espaçamento entre aspersores, da topografia e do tipo de cultura).

Aspersor = $f(\text{VIB, pressão de serviço e espaçamento entre aspersor})$.

A intensidade de aplicação do aspersor deve ser menor ou igual à VIB do solo, para condições de topografia plana ou quase plana. Para terrenos inclinados, a intensidade de precipitação máxima deve ser reduzida, de modo a reduzir a probabilidade de ocorrência de escoamento superficial. Esta redução é obtida na Tabela 4.

TABELA 4. Redução da intensidade de precipitação em terrenos inclinados.

Declividade do terreno (%)	Redução em relação à precipitação máxima permitida (%)
0 - 5	0
6 - 8	20
9 - 12	40
13 - 20	60
> 20	75

Fonte: Blanth (1977).

Obs.: Estes índices de redução podem ser reduzidos em função da cobertura vegetal.

Os aspersores podem classificar-se nos seguintes tipos e modelos:

a) Aspersores subcopa - São aspersores em que o jato de saída forma um ângulo de 6° em relação à horizontal.

b) Aspersores de copa - São aspersores em que o jato

de saída forma um ângulo de 30° em relação à horizontal. O ângulo de inclinação influi principalmente em condições de vento. O ângulo que melhor se adapta para condições de ventos fortes é o de 22° .

c) Aspersores de cabeça fixa - São os aspersores normalmente usados em jardins. Os bocais em geral são em forma de ranhura.

d) Aspersores de cabeça móvel - São os aspersores nos quais os bocais realizam um movimento circular. A circulação pode ser de 360° ou com ângulos parciais setoriais. A velocidade de rotação da cabeça é de 3 rpm em média.

Quanto à pressão de serviço, os aspersores podem classificar-se nos seguintes tipos:

a) Aspersores de baixa pressão:

Pressão do aspersor: 0,35 - 1 atm (5-15 lb/pol²)
 Diâmetro do círculo molhado: 6-15 m
 Intensidade de precipitação: 10 mm/hora
 Características do jato: pulverização fraca, gotas grandes.

b) Aspersor de pressão moderada:

Pressão do aspersor: 1 - 2 atm (15-30 lb/pol²)
 Diâmetro do círculo molhado: 18-24 m
 Intensidade de precipitação: 5 mm/hora
 Característica do jato: pulverização razoável.

c) Aspersor de pressão intermediária:

Pressão do aspersor: 2 - 4 atm (30-60 lb/pol²)
 Diâmetro do círculo molhado: 22-36 m
 Intensidade de precipitação: 6 mm/hora
 Característica do jato: boa pulverização.

d) Aspersor de alta pressão:

Pressão do aspersor: 3,5 - 7 atm (50-100 lb/pol²)

Diâmetro do círculo molhado: 33-70 m

Intensidade de precipitação: 12 mm/hora

Característica do jato: boa pulverização.

e) Aspersor gigante (canhão hidráulico)

Pressão do aspersor: 4,0 - 8,5 atm (80-120 lb/pol²)

Diâmetro do círculo molhado: 60-120 m

Intensidade de precipitação: 16 mm/hora

Característica do jato: muito boa pulverização.

Na determinação do espaçamento entre aspersores deve-se considerar a velocidade do vento para que sejam obtidos coeficientes de uniformidade de distribuição adequada. Deve-se observar a Tabela 5.

TABELA 5. Interação entre velocidade do vento e espaçamento entre aspersores.

Velocidade do vento m/s	Espaçamento entre aspersores inferior a
até 2,0	65% do diâmetro de alcance
até 2,6	60% do diâmetro de alcance
até 3,5	50% do diâmetro de alcance
maior 3,5	30 - 50% do diâmetro de alcance

Para culturas com folhas e flores pouco resistentes ao impacto das gotas de água devem ser selecionados aspersores do tipo pequeno (ZA ou similares) com gotas de água de pequeno tamanho.

6. Tempo de irrigação por posição

$$T_{ip} = \frac{L_b}{I_a}$$

em que:

T_{ip} = tempo de irrigação por posição (h)

I_a = intensidade de aplicação do aspersor (mm/h).

7. Número total de posições do projeto

$$N_{tp} = \frac{L}{E_a} \times 2$$

em que:

N_{tp} = número total de posições do projeto

L = comprimento da linha principal (m)

E_a = maior espaçamento entre aspersores (m). Isto ocorre quando a direção do vento predominante é perpendicular à linha lateral. Caso a direção do vento seja paralela à linha lateral, deve-se utilizar o menor espaçamento entre aspersores.

8. Número de posições por dia

$$N_d = \frac{H}{T_{ip}}$$

em que:

N_d = número de posições por dia

H = horas de trabalho por dia

9. Número de linhas laterais em funcionamento simultâneo.

$$N_{lf} = \frac{N_{tp}}{N_d \times P_i}$$

em que:

N_{lf} = número de linhas laterais em funcionamento simultâneo

P_i = período de irrigação (dia)

10. Número de aspersores por linha lateral

$$N_{al} = \frac{l}{ea} + 1$$

em que:

N_{al} = número de aspersores por linha lateral

l = comprimento da linha lateral (m)

ea = menor espaçamento entre aspersores (m).

O número de aspersores por linha lateral também é obtido, de maneira mais prática, locando-se no desenho os aspersores com seus respectivos espaçamentos. No final desta linha podem ser utilizados aspersores setoriais, dependendo das condições locais.

11. Número total de aspersores do projeto

$$N_{ta} = N_{al} \times N_{lf}$$

em que:

N_{ta} = número total de aspersores do projeto

12. Vazão da linha lateral

$$Q_l = q_a \times N_a$$

em que:

Q_l = vazão da linha lateral (m^3/h)

q_a = vazão do aspersor (m^3/h)

13. Vazão total do sistema de irrigação

$$Q_t = Q_l \times N_l f$$

em que:

$$Q_t = \text{vazão total do sistema de irrigação (m}^3/\text{h)}$$

Obs.: Deve-se compatibilizar a vazão total calculada através desta fórmula com a vazão total obtida com base na necessidade de água. Caso os resultados sejam diferentes, há necessidade de refazer os cálculos, até que se encontre o valor mais próximo possível do valor da necessidade de água.

14. Área irrigada por dia

$$A_{id} = A_{il} \times N_l f \times N_d = A_{ia} \times N_t a \times N_d$$

em que:

$$A_{id} = \text{área irrigada por dia (m}^2\text{)}$$

$$A_{il} = \text{área irrigada por linha lateral (m}^2\text{)}$$

$$A_{ia} = \text{área irrigada por aspersores (m}^2\text{)}$$

D) Dimensionamento Hidráulico do Sistema de Irrigação

Esta etapa compreende os seguintes passos:

1. Distribuição das tubulações no campo. Deve ser feita em função dos seguintes fatores:

a) Localização do Poço - Deve ser localizado o mais próximo possível do centro do campo, para permitir uma mobilidade econômica das tubulações;

b) Canais - Estudar a viabilidade de usar parte do canal, de modo a reduzir o custo da tubulação e/ou estudar a possibilidade do uso de motobomba portátil;

c) Rios - A casa da motobomba deve ficar o mais próximo

possível da parte central da área;

d) Tamanho e forma da área - Quadrangular a área de modo a usar múltiplas rotações das linhas laterais, o que implica numa economia de mão-de-obra;

e) Direção da linha lateral - A linha lateral deve formar um ângulo de 45 ou 90° com a direção do vento predominante. Sempre que possível, a linha lateral deve ser perpendicular ou normal à linha de maior declividade do terreno.

2. Dimensionamento da linha lateral - O limite de comprimento de uma linha lateral é determinado pelas variações de pressão e de vazão entre o primeiro e o último assessor. A variação de pressão deve ser menor ou igual a 20%, o que corresponde a uma variação de vazão menor ou igual a 10%.

a) Determina-se o desnível entre os extremos da linha lateral.

$$\Delta S = \frac{S}{100} \times L$$

em que:

ΔS = diferença de nível entre os extremos da linha lateral (m)

S = declividade no sentido da linha lateral (%)

L = comprimento da linha lateral (m)

b) Determina-se a perda de pressão por atrito permitida ao longo da tubulação.

$$hf = 0,20 PS \pm \Delta S$$

em que:

hf = perda de carga permissível ao longo da linha lateral

PS = pressão de serviço (m)

ΔS = diferença de nível entre os extremos da linha lateral (m) (+ para declive e - para aclave).

c) Com a vazão da linha lateral, entra-se em ábacos de perda de energia por atrito para se chegar à tubulação adequada.

Toma-se na abscissa (Figura 4) um ponto correspondente à vazão da linha lateral. Em seguida faz-se passar por esse ponto uma linha vertical de modo a interceptar as curvas de perda de pressão para vários diâmetros. Determina-se a perda de carga relativa correspondente ao diâmetro selecionado, de modo que a velocidade da água na tubulação não ultrapasse 2 m/s. Assim, para se obter a perda de pressão total, tem-se:

$$hf_c = \frac{J \cdot L}{100} \times F$$

em que:

hf_c = perda de pressão total calculada ao longo da tubulação (m)

J. = perda de energia relativa, em m/100 m (Figura 4)

L. = comprimento da tubulação (m)

F = fator de Christiansen (Tabela 6)

Obs.: O valor de hf_c deve ser igual ou ligeiramente inferior ao valor de hf.

d) Pressão no início de linha lateral - Este fator é dado pela seguinte expressão:

$$P_i = P_s + \frac{3}{4} hf_c + h_a$$

em que:

P_i = pressão no início da linha lateral (m)

h_a = altura do aspersor (m).

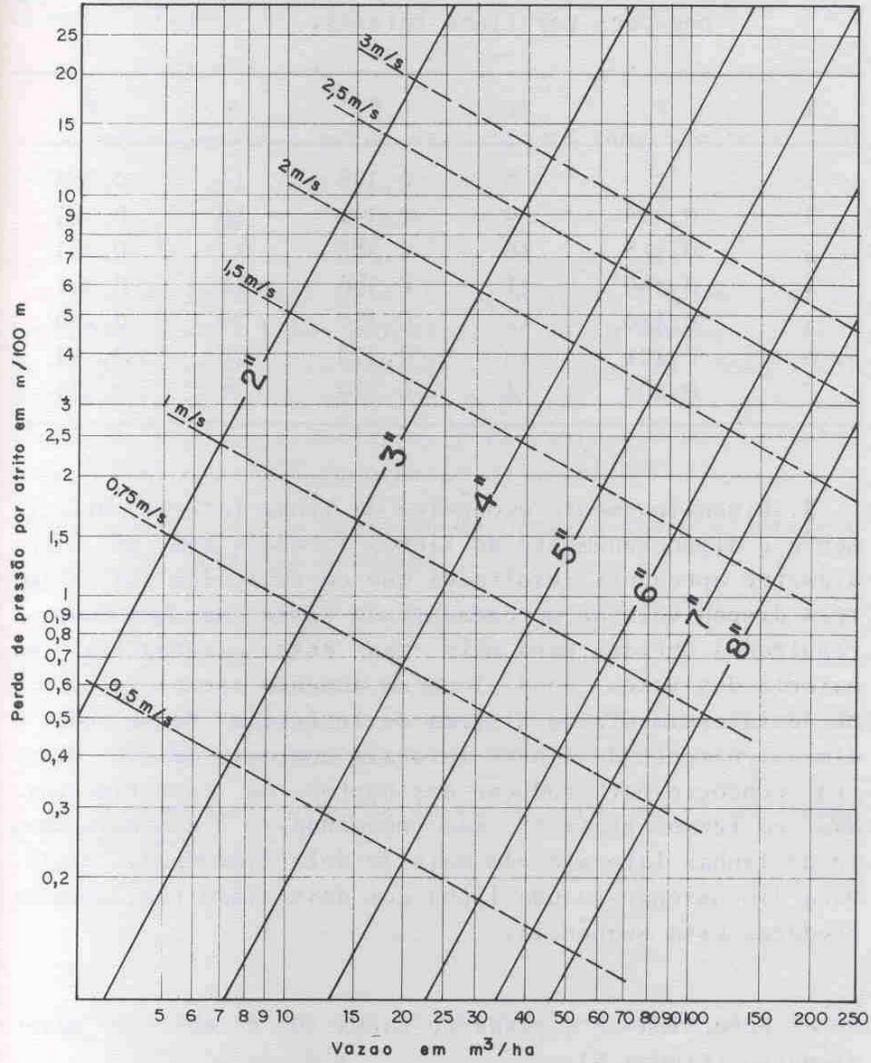


FIG. 4. Perda de pressão por atrito na tubulação de alumínio com engates rápidos.

TABELA 6. Fator de Christiansen em função do número de aspersores por linha lateral.

N	F	N	F	N	F
1	1	8	0,398	15	0,367
2	0,625	9	0,391	16	0,365
3	0,518	10	0,385	17	0,363
4	0,469	11	0,380	18	0,361
5	0,440	12	0,376	19	0,360
6	0,421	13	0,373	20	0,359
7	0,408	14	0,370	∞	0,338

3. Dimensionamento econômico da linha lateral - Dificilmente o dimensionamento de linhas laterais com um único diâmetro apresenta resultados que correspondem aos diâmetros disponíveis no mercado, tendo sempre que aproximar os resultados obtidos para mais. Mas essa alternativa, na maioria das vezes, condiciona um aumento apreciável no custo de investimento do sistema de irrigação. Desse modo, o dimensionamento de linhas laterais com mais de um diâmetro concorre para redução dos custos de investimentos. Mas, em termos práticos, não recomenda-se o dimensionamento de linhas laterais com mais de dois diâmetros. Assim, para dimensionar-se uma linha com dois diâmetros, deve-se obedecer esta seqüência.

a) Determina-se a perda de carga do trecho de maior diâmetro (Figura 5).

$$hf_1 = f(l_1, D_1, Q_1)$$

b) Determina-se a perda de carga do trecho de menor diâmetro (Figura 5).

$$hf_2 = f (L_2, D_2, Q_2)$$

c) Determina-se a perda de carga ao longo de toda tubulação.

$$hf = hf_1 + hf_2$$

4. Dimensionamento da linha principal - O dimensionamento hidráulico da linha principal se dá em função do limite de perda de pressão admissível ao longo da tubulação. Este limite varia de 10 a 15% da pressão de entrada das linhas lateral ou secundária. Para empresas de projetos este limite é de 30% da pressão de serviço.

a) Determina-se a variação de pressão entre o início e o final de tubulação principal.

$$\Delta P = 10 \text{ a } 15\% P_i \text{ ou } P = 30\% P_s$$

em que:

ΔP = variação de pressão entre o início e o final da linha principal (m).

b) Determina-se a perda de carga permissível ao longo da linha principal.

$$hf_p < P$$

em que:

hf_p = perda de pressão permissível ao longo da linha principal (m).

ΔP = variação de pressão entre o início e o final da linha principal (m).

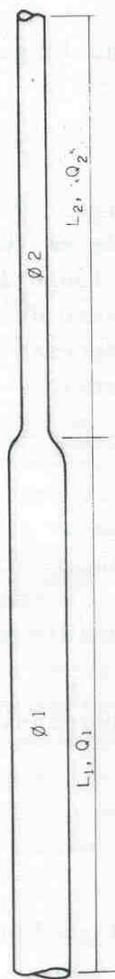


FIG. 5. Dimensionamento de linhas laterais com dois diâmetros.

c) Divide-se a linha principal em trecho em função do número e do arranjo das linhas laterais no croquis de campo. E assim dimensiona-se a linha principal, utilizando a vazão que passa em cada trecho e a pressão de entrada em cada ponto de junção da linha principal com as linhas lateral e secundária. Deve-se utilizar a alternativa que apresente maior perda de carga.

d) Tomam-se pontos da abscissa da Figura 4, correspondentes à vazão que passa em cada trecho da linha principal e passam-se por estes linhas verticais de modo a interseccionarem as curvas de perdas de pressão para vários diâmetros. Em seguida determina-se a perda de carga relativa, correspondente aos diâmetros selecionados. Recomenda-se que os diâmetros sejam selecionados de modo que a velocidade da água na tubulação não ultrapasse o limite de 2 m/s. Assim, para obter-se a perda de carga total em cada trecho, tem-se que:

$$h_{fi} = \frac{J_i}{100} \times L_i$$

em que:

h_{fi} = perda de pressão total do trecho i (m)

J_i = perda de pressão relativa no trecho i (m/100 m)

L_i = comprimento da tubulação no trecho i (m)

e) A perda de pressão total ao longo da linha principal é obtida somando-se a perda de carga em cada trecho.

$$h_{f_{pc}} = \sum_{i=1}^n h_{fi}$$

em que:

$h_{f_{pc}}$ = perda de pressão total calculada ao longo da linha principal (m).

f) Se o valor de hf_{pc} for igual ou ligeiramente inferior ao valor permissível (ΔP) aceita-se o arranjo de diâmetro utilizado nos cálculos. Caso contrário, deve-se fazer outras tentativas, visando obter um arranjo mais adequado.

5. Cálculo da altura manométrica necessária - Este parâmetro é dado pela fórmula:

$$H_m = f (P_i + hf_{pc} + h_s + h_r)$$

em que:

H_m = altura manométrica necessária (m)

f = fator de correção para as perdas de carga localizadas igual a 1,05

h_s = altura de sucção (m)

h_r = altura de recalque (m)

6. Dimensionamento do conjunto motobomba - Esta etapa compreende seleção da bomba, dimensionamento do motor, bem como o dimensionamento e seleção dos equipamentos e acessórios. Ou seja:

a) Seleção da bomba - Esta seleção deve ser feita envolvendo várias marcas de bombas, de modo a eleger-se aquela que apresente o melhor rendimento possível.

b) Cálculo da potência absorvida no eixo da bomba - Determina-se este parâmetro como segue:

$$P_a = \frac{H_m \times Q_t}{2,7 \times E_b}$$

em que:

P_a = potência absorvida no eixo da bomba (cv)

E_b = eficiência da bomba selecionada (%)

Q_t = vazão total do sistema em (m^3/h)

c) Cálculo da potência do motor - Este parâmetro deve ser determinado como segue:

$$P_m = \frac{P_a}{E_m}$$

em que:

P_m = potência do motor em (cv)

E_m = eficiência do motor (decimal). (Tabela 7)

TABELA 7. Eficiência para motores diesel, elétrico e a gasolina.

Potência (cv)	Eficiência - decimais		
	motores elétricos	motores diesel	motores a gasolina
< 2	0,70		
2 a 5	0,75		
5 a 10	0,80	0,80	0,60
10 a 20	0,85		
> 20	0,90		

Fonte: Santos (1977).

Os motores elétricos nacionais são normalmente fabricados com as seguintes potências em cv: 1/2; 3/4; 1; 1,5; 2; 3; 4; 5; 6; 7,5; 10; 12; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 75; 100; 125; 150; 200.

Os mais utilizados em irrigação no Nordeste são de 3.600 rpm (2 pólos) e 1.800 rpm (4 pólos).

O consumo médio de energia, em conjuntos motobombas por cv/hora produzido, é apresentado na Tabela 8.

Os tipos de chaves elétricas variam em função da potência dos motores (Tabela 9).

TABELA 8. Consumo médio de energia para motores elétricos, diesel e a gasolina.

Fonte de energia	Unidade	Consumo por cv - hora
óleo diesel	litro	0,25 - 0,35
gasolina	litro	0,30 - 0,40
eletricidade	Kilowatt - hora	0,95 - 1,05

Fonte: Santos (1977).

TABELA 9. Tipos de chaves elétricas em função da potência dos motores.

Potência do motor (cv)	Tipo de chave elétrica
< 7,5	magnética de proteção
7,5 a 15	estrela triângulo
> 15	compensadora de partida manual ou mecânica, ou série paralela

Fonte: Santos (1977).

d) Cálculo da potência do transformador. A potência do transformador é dada por:

$$P_t = 0,97 \times P_m$$

em que:

$$P_t = \text{potência do transformador (KVA)}$$

Os transformadores trifásicos são normalmente fabricados com as seguintes potências em KVA: 10; 11,5; 15; 20; 25; 30; 45; 50; 60; 75; 112,5; 150; 225; 300.

Obs.: No dimensionamento do transformador deve-se levar em consideração outros consumos de energia na propriedade.

PROJETO DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO
(Exemplo/Modelo)

A) Identificação e Caracterização da Propriedade

Este é o primeiro procedimento para o dimensionamento de um sistema de irrigação, cujo resumo é apresentado na Tabela 10.

TABELA 10. Identificação e caracterização da propriedade e dados técnicos.

Produtor: José Antonio dos Santos	Projeto Nº 06		
Propriedade: Fazenda Olho D'Água	Data: 10/04/84		
Município: Caicó	Estado: RN		
SOLO			
Tipo: Latossolo	Classe: 2 Textura: Arenosa		
Profundidade: 1,5 m	Declividade longitudinal: 1%		
Capacidade de Campo: 11%	Ponto de murchamento: 4,7%		
Densidade aparente: 1,58 g/cm ³	Velocidade de infiltração básica: 12 mm/h		
Velocidade do vento: 2,00 m/s			
ÁGUA			
Fonte: Rio	Vazão: 35 m ³ /h		
	Classe: C ₂ S ₁		
OUTROS DADOS			
Altura de sucção: 2,0 m	Horas de trabalho/dia: 12 h		
Altura de recalque: 1,68 m	Dias de trabalho/semana: 6 d		
Tipo de energia: elétrica	Eficiência de irrigação: 70%		
Cultura	Área-ha	Profundidade efetiva da raiz - cm	
		1º mês 2º mês 3º mês 4º mês	
Tomate industrial	3,15	20 40 40 40	
Melão	3,15	30 60 60 -	
Espaçamento para Tomate: 1,20 m x 0,40 m;			
Espaçamento para Melão: 2,00 m x 1,00 m.			

B) Necessidade de Água de Irrigação

A Tabela 11 mostra as necessidades de água de irrigação, calculada de acordo com a metodologia apresentada. Apresentamos de forma resumida a metodologia de cálculo, utilizando-se o mês de março como exemplo.

1. Os valores de ETP são dados já calculados obtidos de Hargreaves (1974);

2. Os valores de Kc também são dados tabelados obtidos da Tabela 2;

3. Os valores de ETR são obtidos pela fórmula:

$$ETR = kc \times ETP = 0,65 \times 147 = 96 \text{ mm}$$

4. Os valores de UC são obtidos dividindo-se a ETR pelo número de dias do mês considerado. Como segue:

$$UC = ETR : D = 96 : 31 = 3,08 \text{ mm/dia}$$

5. Os valores de PP são encontrados em Hargreaves (1973) a um nível de 75% de probabilidade.

6. A precipitação efetiva é calculada com base na metodologia apresentada.

$$PE = PP \times f = 11 \times 0,95 = 10 \text{ mm}$$

7. A necessidade de irrigação líquida é obtida como segue:

$$NIL = ETR - P \text{ efetiva} = 96 - 10 = 86 \text{ mm}$$

8. A necessidade de irrigação bruta é calculada com base na eficiência de irrigação do sistema de irrigação escolhido.

$$NIb = NIL : Ei = 86 : 0,7 = 123 \text{ mm}$$

TABELA 11. Necessidade de Água de Irrigação.

Mês	Cultura	ETP (mm)	kc	ETR (mm)	Uso Consuntivo (mm/dia)	PP (mm)	P. Efet. (mm)	N. Irrig. Líquida (mm)	N. Irrig. Bruta (mm)	Gasto Mensal m ³ /ha/mês	Vazão Unitária (l/s x ha)
JAN		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FEV		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAR		147	0,65	96	3,08	11	10	86	123	1.230	0,92
ABR	Tomate Industrial	122	0,90	110	3,66	1	0	110	157	1.570	1,21
MAI		116	1,15	133	4,30	0	0	133	190	1.900	1,42
JUN		117	0,90	105	3,51	0	0	105	150	1.500	1,16
JUL		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AGO	Melão	142	0,65	92	2,98	0	0	93	131	1.310	0,98
SET		162	1,00	162	5,40	0	0	162	231	1.310	1,01
OUT		186	0,90	167	5,40	0	0	167	239	2.390	1,78*
NOV		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DEZ		-	-	-	-	6	0	-	-	-	-
TOTAL		992	-	865	-	34	10	855	1.221	12.210	-

ETP = Evapotranspiração potencial (mm)

kc = Coeficiente de cultivo

ETR = Evapotranspiração real ou uso consuntivo (mm)

UC = Uso consuntivo (mm/dia)

PP = Precipitação provável a 75% de probabilidade (mm)

P. EFET. = Precipitação efetiva (mm)

N. Irrig. Líquida = Necessidade de irrigação líquida (mm)

N. Irrig. Bruta = Necessidade de irrigação bruta (mm)

Eficiência de irrigação = 70%

Mês de maior consumo = outubro - 1,78 l/s/ha

Área irrigada = 3,15 ha

Vazão necessária do sistema = 5,61 l/s ou 20,20 m³/h.

9. Os valores do gasto mensal são obtidos pela fórmula:

$$G_m = N_{Ib} \times 10 = 123 \times 10 = 1.230 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{mês}$$

10. A vazão unitária ou módulo de irrigação é obtida com base no número de horas de trabalho por dia e no número de dias do mês.

$$Q_u = \frac{G_m}{3,6 \times h \times D} = \frac{1.230}{3,6 \times 12 \times 31} = 0,92 \text{ l/s} \times \text{ha}$$

C) O Manejo da Irrigação ou Operação do Sistema de Irrigação

É mostrado pela Tabela 12. A seguir exemplifica-se o preenchimento desta tabela, com base na cultura do melão para o mês de maior demanda: outubro.

1. Determina-se a lâmina líquida pela fórmula:

$$\begin{aligned} L_l &= 10 \cdot \frac{CC - PM}{100} \times D_{ap} \times K \times Pr = 10 \cdot \frac{11 - 4,7}{100} \times 1,58 \times 0,50 \times 60 \\ &= 29,86 \text{ mm} \end{aligned}$$

2. Calcula-se a lâmina bruta, como segue:

$$L_b = \frac{L_l}{E_i} = \frac{29,86}{0,70} = 42,66 \text{ mm}$$

3. A frequência de irrigação é dada por:

$$F_i = \frac{L_b}{UC} = \frac{29,86}{5,40} = \approx 5 \text{ dias}$$

4. O período de irrigação deverá ser igual ao valor da frequência de irrigação. Ou seja:

$$PI = F_i = 5 \text{ dias}$$

5. Seleciona-se um aspersor cuja intensidade de aplicação seja menor ou igual a VIB do solo, que é de 12 mm/h.

TABELA 12. Manejo de irrigação ou operação do sistema de irrigação.

Mês	Lâmina Líquida (mm)	Lâmina Bruta (mm)	Uso consuntivo (mm/dia)	Frequência de irrigação (dias)	Tempo de irrigação por posição (h)
JAN	-	-	-	-	-
FEV	-	-	-	-	-
MAR	-	-	-	-	-
ABR	9,95	14,22	3,08	3	1,32
MAI	19,91	28,44	3,66	5	2,64
JUN	19,91	28,44	4,30	4	2,64
JUL	19,91	28,44	3,51	5	2,64
AGO	-	-	-	-	-
SET	14,33	21,33	2,98	5	2,00
OUT	29,86	42,66	5,40	5	4,00
NOV	29,86	42,66	5,40	5	4,00
DEZ	-	-	-	-	-
TOTAL	-	-	-	-	-

$E_i = 0,70$	$N_{tp} = 26$	$Q_a = 2,33 \text{ m}^3/\text{h}$
$I_a = 10,78 \text{ mm/h}$	$N_d = 3 \text{ posição/dia}$	$P_s = 20 \text{ m}$
$h = 12 \text{ h}$	$N_{df} = 2$	$Q_t = 20,20 \text{ m}^3/\text{h}$

Diante disto, selecionou-se um aspersor modelo ZED-30, com bocal de 4,5 mm x 4,8 mm, diâmetro de alcance igual a 28 mm (14 x 2), pressão de serviço de 2 atm (20 m), vazão de 2,33 m³/h, espaçamento de 12 m x 18 m e uma intensidade de aplicação de 10,78 mm/h (Tabela 13). Como a velocidade média do vento no período crítico é de 2,60 m/s, o espaçamento entre aspersores deve ser 18 m, ou seja, 28 x 0,65 = 18,20 m. Como a declividade do terreno é de 1%, não se deve reduzir a intensidade de aplicação do aspersor (Tabela 4).

6. Calcula-se o tempo de irrigação por posição

$$T_{ip} = \frac{L_b}{I_a} = \frac{42,66}{10,78} = 4,00 \text{ h}$$

7. Calcula-se o número total de posições das linhas laterais. Em função do formato da área e da localização da fonte de água, localizam-se no esquema as linhas laterais, secundária e principal. A Figura 1 mostra o esquema do sistema de irrigação para uma área de 3,15 ha. Como o vento apresenta-se paralelo à linha lateral, o número total de posições é dado por:

$$N_{tp} = \frac{L}{E_a} \times 2 = \frac{150}{12} \times 2 = 26 \text{ posições}$$

Uma maneira prática de se obter o número de posições da linha lateral é através da localização das posições no próprio esquema de irrigação.

8. O número de posições da linha lateral por dia é dado por:

$$N_d = \frac{H}{T_{ip}} = \frac{12}{4,00} = 3 \text{ posições/dia}$$

TABELA 13. Dados técnicos referentes aspersor ZED - 30 da ASBRASIL.

Diâmetro dos locais (mm)	Pressão de serviço (atm)	Alcance ou raio (m)	Vazão (m ³ /h)	Espaçamento (m)		Área útil irrigada (m ²)		Precipitação (mm/h)	
				disp.	Δ	disp.	Δ	disp.	Δ
4,5 x 4,8	1,5	13,0	2,01	12/18	18/18	216	324	9,3	6,20
	2,0	14,0	2,33	12/18	18/18	216	324	10,78	7,19
	2,5	14,75	2,6	18/18	18/24	324	432	8,02	6,01
	3,0	15,5	2,84	18/18	18/24	324	432	8,76	6,57
	3,5	16,0	3,07	18/18	24/24	324	576	9,47	5,32

9. Determina-se o número necessário de linhas laterais e em funcionamento simultâneo.

$$N\&f = \frac{Ntp}{Nd \times PI} = \frac{26}{3 \times 5} \approx 2 \text{ linhas laterais}$$

10. O número de aspersores por linha é obtido de maneira prática, locando-se no desenho os aspersores com seus respectivos espaçamentos. Com base na Figura 1 verifica-se que o número de aspersores é igual a seis, pois utilizou-se o espaçamento de 18 m entre aspersores, uma vez que a direção do vento predominante apresenta-se paralela à linha lateral.

11. Número total de aspersores do projeto é dado por:

$$Nta = Na \times Nat = 6 \times 2 = 12 \text{ aspersores}$$

12. A vazão da linha lateral é determinada pela fórmula:

$$Q = qa \times Nal = 2,33 \times 6 = 13,98 \text{ m}^3/\text{h}$$

13. Determina-se a vazão do sistema de irrigação:

$$Qtc = Q \times N\&f = 13,98 \times 2 = 27,96 \text{ m}^3/\text{h}$$

14. Área irrigada por dia

$$Aid = Ail \times N\&f \times Nd = Aia \times Nta \times Nd = 216 \times 12 \times 3 = 7.776 \text{ m}^2$$

A compatibilização da vazão total calculada (Qtc), com base no manejo de água em relação à vazão total real necessária (Qtn), é mostrada na Tabela 14.

Portanto, pode-se observar pela Tabela 14, que a vazão total calculada é bem superior ao valor da vazão total real necessária. Logo, deve-se refazer os cálculos e analisar os resultados, de modo que os valores de Qtc seja o mais próximo possível de Qtn . Assim, com base na Tabela 13, mantendo-se o mesmo aspersor selecionado anteriormente e

TABELA 14. Compatibilização entre os valores da vazão total calculada com os valores da vazão total real necessária.

Vazão do Aspersor (m ³ /h)	Tempo de Irrigação/Posição (h)	Nº Total de Posições	Nº de Posições/Dia	Nº de Linhas Lateral em Funcionamento	Nº de Aspersores na Lateral	Nº Total de Aspersores	Vazão Total Calculada (m ³ /h)	Vazão Total Necessária (m ³ /h)	Observações
2,33	4,00	26	3	2	6	12	27,96	20,20	≠
2,01	4,36	26	3	2	6	12	24,12	20,20	=

reduzindo-se a pressão de serviço de 2,0 para 1,5 atm, verifica-se que a vazão do aspersor baixa de 2,33 para 2,01 m³/h. Refazendo-se os cálculos, constata-se que o valor de Q_{tc}, desta vez, apresenta-se ligeiramente inferior ao valor de Q_{tn}. O aceite da segunda opção implica no aumento do tempo de trabalho por dia, de 12 para 14 h. Como há um limite no horário de trabalho por dia, aceitou-se a primeira condição, sabendo-se que ela concorre para a redução da eficiência de irrigação do sistema.

D) Dimensionamento Hidráulico do Sistema de Irrigação

Neste projeto a linha principal é fixa, enquanto as laterais são móveis. A tubulação deve ser de alumínio com engate rápido. A seguir, dimensionam-se as linhas laterais e principal obedecendo-se aos limites de perdas de carga permissíveis.

1. Dimensionamento da Linha Lateral

a) Determina-se a perda de carga permissível ao longo da linha lateral - Linha lateral segundo as curvas de nível:

$$hf_l = 20\% P_s = 0,20 \times 20 = 4,00 \text{ m}$$

b) Com valor da vazão da linha lateral (13,98 m³/h), entra-se na abscissa da Figura 4. Por este ponto faz-se passar uma linha vertical que tende a cortar as curvas de perda de carga para cada diâmetro. Daí, deve-se selecionar a curva de perda de carga, cuja interseção com a linha projetada verticalmente não ultrapasse a curva correspondente a 2 m/s (velocidade de água na tubulação). Desse modo, para uma vazão de 13,98 m³/h, condiciona a escolha de uma tubulação de alumínio com diâmetro de 2", cuja perda de carga é igual a 8,9 m/100 m e cuja velocidade da água na tubulação é igual a 2 m/s. Assim, a perda de carga total

na linha lateral é dada por:

$$hf\ell = \frac{J.L.}{100} \times F = \frac{8,90}{100} \times 102 \times 0,421 = 3,82 \text{ m}$$

c) Como a perda de carga permitida (4,00 m) é maior do que a calculada (3,82 m), a linha lateral terá uma tubulação com 2" de diâmetro;

d) Determina-se a pressão necessária no início da linha lateral:

$$P_i = P_s + \frac{3}{4} hf\ell + h_a = 20 + \frac{3}{4} \times 3,82 + 1,00 = 23,86 \text{ m}$$

2. Dimensionamento da Linha Principal - Determina-se a perda de carga permissível ao longo da linha principal, como segue:

$$h_{fp} = \Delta P - \Delta S = 0,15 P_i - 1,68$$

$$h_{fp} = 0,15 \times 23,86 - 1,68 = 1,90 \text{ m}$$

a) De acordo com a distribuição para linha principal e ramais (ver Tabela 1), pode-se verificar que os ramais se deslocarão simultaneamente ao longo da linha principal, no sentido giratório, proporcionando duas condições extremas: a-1) Quando os ramais encontram-se nos extremos da linha principal; a-2) Quando ambos os ramais encontram-se na parte central da linha principal. De um modo geral, a condição "a-2" é a que se apresenta mais crítica, sendo portanto utilizada para o dimensionamento da linha principal. Neste caso, a vazão do trecho MB-A será 27,96 m³/ha e no trecho A-B 13,99 m³/h.

b) Para determinar-se o diâmetro econômico, procede-se do seguinte modo:

Tomam-se dois pontos na abscissa da Figura 4, correspon

dentes a 13,98 e 27,96 m³/h e destes projetam-se linhas verticais, interseccionando as curvas de perdas de carga para diversos diâmetros. Em seguida, procura-se arranjar o diâmetro de modo que as somas das perdas de pressão em ambos os trechos não ultrapassem a perda de carga permísível.

Se arranjar os diâmetros de 3 e 4 polegadas, teremos:

$$hf_{A-B} = \frac{0,38 \text{ m}}{100 \text{ m}} \times 72 = 0,27 \text{ m}$$

$$hf_{MB-A} = \frac{1,4 \text{ m}}{100 \text{ m}} \times 90 = 1,26 \text{ m}$$

$$hf_{pc} = hf_{MB-A} + hf_{A-B} = 1,26 + 0,27 = 1,53 \text{ m}$$

Verifica-se que a perda de carga total (1,53 m) calculada para este arranjo dos diâmetros da tubulação da linha principal apresenta-se ligeiramente inferior à perda de carga permísível (1,90 m). Portanto, aceita-se esta condição.

3. Calcula-se a altura necessária ao conjunto motobomba:

$$\begin{aligned} H_m &= f (P_i + hf_{pc} + h_a + h_r) = 1,05 (23,86 + 1,53 + 2,00 + 1,68) \\ &= 30,52 \text{ m} \end{aligned}$$

4. Seleção do Conjunto Motobomba - A seleção da bomba deve ser feita de modo a eleger-se aquela que apresente um rendimento maior ou igual a 60%.

a) Toma-se um ponto na abscissa e outro na ordenada da Figura 6, respectivamente a vazão e a altura manométrica total. A intersecção de linhas perpendiculares em ambos os pontos determina a eficiência da bomba, bem como o diâmetro do rotor. Esta é a maneira mais correta, pois pode-se

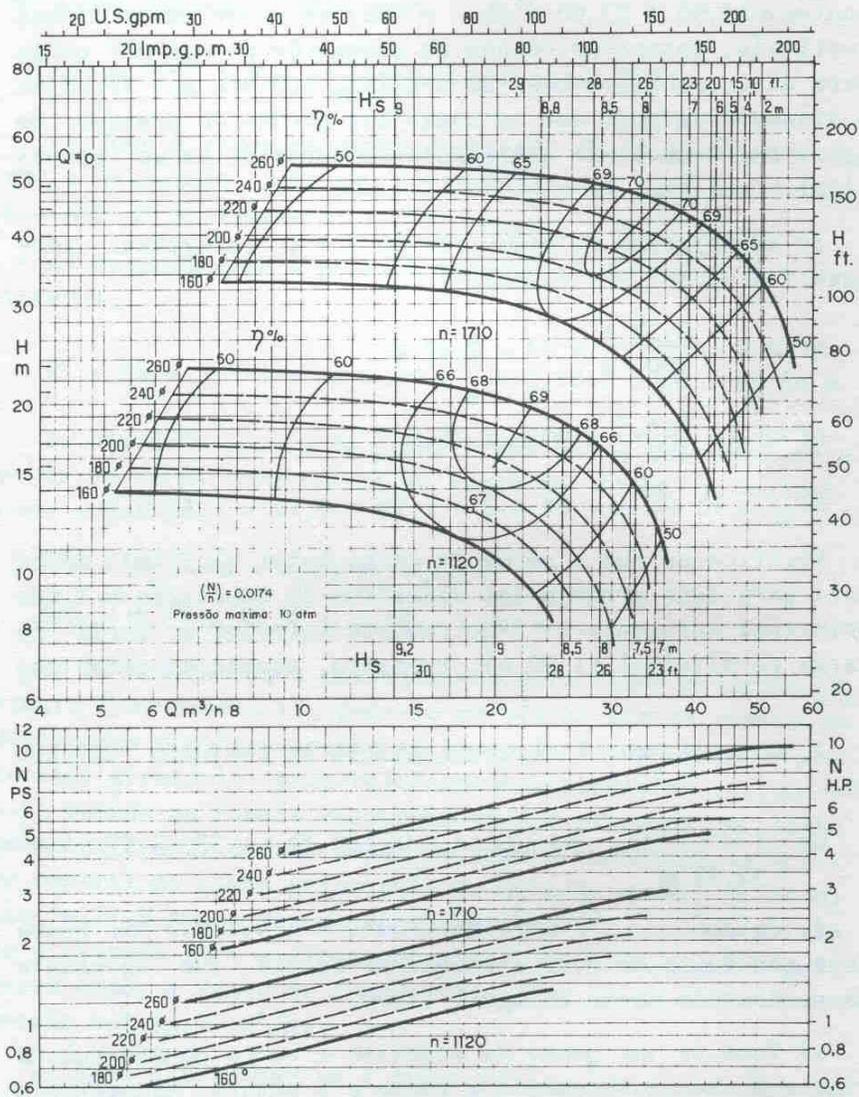


FIG. 6. Curvas características de bomba KSB modelo ETA 50-33 2 com 1120 rpm e 1710 rpm.

determinar o diâmetro do rotor e eficiência da bomba, para as condições dadas. Assim, para uma vazão de $27,96 \text{ m}^3/\text{h}$ e uma altura manométrica de $30,52 \text{ m}$ pode-se constatar, pela Figura 6, que a bomba selecionada apresenta as características: bomba centrífuga, marca KSB, modelo ETA 50-33/2, com 1710 rpm , rotor com 180 mm de diâmetro e uma eficiência de 70% .

b) A potência absorvida no eixo da bomba é dada por:

$$P_a = \frac{Q_t \times H_m}{2,7 \times E_b} = \frac{27,96 \times 30,52}{2,7 \times 70} = 4,52 \text{ cv}$$

c) Determina-se a potência do motor:

Para motores elétricos com potência entre 5 e 10 cv , o rendimento é de $0,80$ (Tabela 7). Assim, a potência do motor será:

$$P_m = \frac{P_a}{E_m} = \frac{4,52}{0,8} = 5,65 \text{ cv}$$

Portanto, a potência do motor selecionado é de $7,5 \text{ cv}$.

d) Calcula-se a Potência do Transformador:

$$P_t = 0,97 \times P_m = 0,97 \times 7,50 = 7,28 \text{ KVA}$$

Portanto, a potência do transformador selecionado existente no mercado é de 10 KVA .

Para motores elétricos com potência de até $7,5 \text{ cv}$, a chave elétrica deve ser do tipo "magnética de proteção" (Tabela 9).

e) A descrição do conjunto motobomba deve ser feita da seguinte forma:

Conjunto motobomba, composto de uma bomba centrífuga, eixo horizontal, marca KSB, modelo ETA 50-33/2,

vazão = $27,96 \text{ m}^3/\text{h} \times 30,52 \text{ m}$ de altura manométrica total, com 1710 rpm, rotor stand com 180 mm de \varnothing , rendimento de 70%, consumindo no eixo da bomba 4,52 cv, acoplada a um motor elétrico WEG (ou similar) trifásico de 7,5 cv, tensão 380/660 V, IV pólos (1740 rpm) 60 Hz, montado em base fixa de cantoneiras de ferro.

A Tabela 15 apresenta a discriminação, quantificação e orçamentação de materiais e equipamentos necessários à implantação de um sistema de irrigação por aspersão, para módulos médios irrigáveis de 3,15 ha.

Observa-se pela Tabela 15 que o custo médio de implantação deste sistema de irrigação, para as condições apresentadas, é de U\$ 917,11/ha. O aumento da área irrigada por módulo, quando se utiliza conjunto de bombeamento, tende a reduzir o custo de implantação por hectare, tendo em vista a ociosidade de potência dos motores diesel, principalmente para um tamanho de módulo irrigável de 3,15 ha.

TABELA 15. Custo de implantação de um sistema de irrigação por aspersão para módulos médios irrigáveis de 3,15 ha. Maio/86. (Petrolina, PE).

Discriminação	Unid.	Quant.	Valor	
			OTN	US\$*
- Tampão final de alumínio com engate rápido c/2" de Ø.	unid.	02	0,74	5,61
- Tampão final de alumínio com engate rápido c/3" de Ø.	unid.	01	0,55	4,22
- Cano de alumínio com 6 m de comprimento, engate rápido e 2" de Ø.	unid.	18	38,20	293,72
- Cano de alumínio com 6 m de comprimento, engate rápido e 4" de Ø.	unid.	27	114,04	876,72
- Derivação em T com válvula e pé-de-suporte MF 4".	unid.	12	25,98	199,76
- Cotovelo de derivação com chave de 2".	unid.	02	5,24	40,29
- Tubo de subida com rosca, 1" de Ø e penta para engate com 1,00 m de comprimento.	unid.	12	3,70	28,49
- Aspersor ZED-30, bocal 4,5 mm x 4,8 mm.	unid.	12	20,38	156,67
- Engate rápido para aspersor com válvula automática tipo erva E" cano com 2" de Ø.	unid.	12	4,95	38,06
- Anéis de vedação de borracha com 2" de Ø.	unid.	30	0,95	7,34
- Anéis de vedação de borracha com 4" de Ø.	unid.	35	1,74	13,35
- Mangote de sucção com 5 m de comprimento, 3" de Ø, válvula de pé, nipel e braçadeiras.	unid.	01	7,75	59,59
- Ligação de pressão com registro, flange, vedação de 3" de Ø.	unid.	01	8,66	66,54
- Válvula de retenção em bronze com flange de 3" de Ø.	unid.	01	6,27	48,20
- Conjunto motobomba contituido por uma bomba cen trífuga, eixo horizontal, marca KSB, modelo ETA 50-33/2, com 1710 rpm, rotor Stand com 200 mm de Ø, acoplado através de luva elástica a um mo tor elétrico, WEG, trifásico de 7,4 cv, tensão 380/660 V, IV (1740 rpm) 60 Hz, montado em base fixa de cantoneiras de ferro.	unid.	01	135,69	1.043,16
- Instalação do sistema de irrigação	H/D**	04	0,93	7,19
TOTAL	-	-	375,77	2.888,91

* 1 dólar = CZ\$ 13,84

1 OTN = CZ\$ 106,40

**H/D = Homem/dia

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNARDO, S. *Manual de irrigação*. Viçosa, Imprensa Universitária, 1982. 463p. il.
- DOORENBOS, J. & PRUITT, W.O. *Crop water requirements*. Rome, FAO, 1975. 179p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).
- HARGREAVES, G.H. *Monthly precipitation probabilities for Northeast Brazil*. Logan, Utah State University, 1973. 423p.
- HARGREAVES, G.H. *Potential evapotranspiration and irrigation requirements for Northeast Brazil*. Logan, Utah State University, 1974. 56p.
- SANTOS, E.D. *Necessidades de água de irrigação para algumas culturas do Submédio S. Francisco*. Recife, PE, EMATER-PE, 1977. 17p.
- BLANTH, R.L. *Notas sobre aspersão*. São Paulo, Dantas - Indústria e Comércio, 1977. 38p.