

IICA
F06
7

ene



BIBLIOTECA IICA

NOV 1987

RECIBIDO

**Programa de Apoio ao Pequeno
Produtor Rural - PAPP**

**MINISTÉRIO DE PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO
SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE**

**MINISTRO
José Serra**

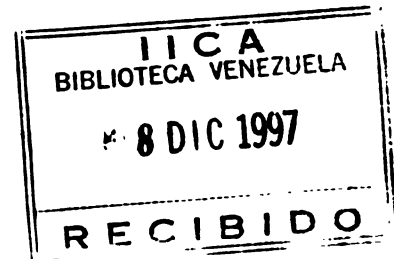
**SUPERINTENDENTE
Gen. Nilton Moreira Rodrigues**

**SUPERINTENDENTE - ADJUNTO
Leonides Alves da Silva Filho**

**DIRETOR DE PROGRAMAS ECONÔMICOS
Washington Wanderley Batista Santos**

**COORDENADOR DO DEPARTAMENTO DE APOIO AO PEQUENO PRODUTOR
Gisnaldo José Zelaquett**

INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERAÇÃO PARA A AGRICULTURA
Escritório no Brasil
em cooperação com
SUPERINTENDENCIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE



O CUSTO DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO NO NORDESTE DO BRASIL

Análise dos Custos de Energia Elétrica
em Projetos de Irrigação

IICA/SUDENE-Recife, PE - Brasil
Abril de 1995

00006722

110A
500
7

Apresentação

Este documento apresenta subsídios, por meio de exemplos práticos, para examinar a sensibilidade do negócio agrícola -e a viabilidade dos projetos de irrigação, aos preços do fornecimento de energia elétrica quando a demanda de água é variável em função da eficiência de uso desta. Isto considerando que os custos de um metro cúbico de água, tendo outros fatores constantes, varia em função da energia utilizada em leva-la até o ponto em que será aproveitada. Por exemplo, a variação do consumo de energia para bombear água a diferentes elevações para irrigar terras agrícolas. Deve-se entender que o trabalho ora apresentado deverá ser complementado com os resultados de avaliações feitas sobre o desempenho real dos sistemas de irrigação em atual operação sejam estes de aspersão convencional ou "pivot" central, irrigação localizada, ou de gravidade.

Este trabalho tem sido realizado com apolo de informações brindadas pela CELPE nas pessoas de Mary Medeiros e Francisco Nogueira, e da EMATER-PE fornecidas ao senhor Benjamim Souto Nóbrega consultor da SUDENE em comercialização agrícola, e de Thomaz de Medeiros do IICA/SUDENE na questão logística, transcrição de documentos e dados. O manuscrito tem sido enriquecido com as observações e comentários das seguintes pessoas:

Luciano Caldas, Engenheiro Civil, Especialista em Irrigação, SUDENE
Gisnaldo Zelaquette, Engenheiro Civil, Especialista em Irrigação, SUDENE
Gustavo Lizárraga, Engenheiro Agrícola, Esp em Irrigação, IICA/Brasil
Agustín Millar, Eng Agrônomo, PhD em Irrigação, IICA/Brasil
Rafael Rojas, Eng Agrônomo, PhD em Irrigação, IICA/Brasil

a quem o autor deseja expressar sua consideração embora manifeste que os erros que ainda possam ser encontrados sejam de sua total responsabilidade.

IICA/SUDENE, Recife 26 de Abril de 1995

Resumo

Utilizou-se informações sobre tarifas vigentes na data deste documento para analisar, onde é pertinente, os custos de energia elétrica para realizar agricultura com irrigação. Tomou-se como exemplo a cultura de tomate plantada em primeiro de maio com 105 dias de ciclo de crescimento em uma parcela de 16 hectares. O exemplo inclui o dimensionamento do sistema de irrigação por aspersão convencional e a determinação das demandas de água para as condições climáticas da cidade de Floresta, em Pernambuco, considerando cinco diferentes eficiências de irrigação (70, 63, 56, 45 e 38%). Os custos de energia para satisfazer essas demandas foram calculados para diferentes alturas em que a parcela poderia estar localizada no que diz respeito ao nível ou cota da fonte de água (entre 0 a 160 m). Os resultados da análise indicam que a despesa de energia varia entre 60 a 740 US\$/ha segundo a variação das eficiências de irrigação, a localização do projeto no que diz respeito da fonte de água e, as tarifas que se apliquem de acordo às horas do dia em que seja feita a irrigação (quando expressado por unidade de volume de água utilizada, este custo varia entre 5 e 60 US\$/1.000 m³ sendo sensivelmente independente das eficiências de irrigação). O incremento do custo é diretamente proporcional à diferença de nível entre o projeto e a fonte de água, e este diferencial é maior a medida que a eficiência de irrigação é menor. Porém, nota-se que tanto as características do sistema de irrigação como as eficiências de manejo podem ser aperfeiçoadas em contraste com o efeito no custo de energia do desnível entre o projeto e a fonte de água, que é permanente. Observa-se que, desde que bem manejados os sistemas de irrigação, as tarifas vigentes permitem custos de energia razoáveis para a produção agrícola. Com tudo, conforme aumenta o desnível entre o projeto e a fonte de água a economia da produção restringiria o uso da água com alta eficiência a culturas de alta rentabilidade. Recomenda-se utilizar os resultados deste trabalho para realizar avaliações de campo nos sistemas atualmente em operação que permitam conhecer a situação real quanto às eficiências obtidas, subsidiar os produtores, aos projetistas de irrigação, e subsidiar aos tomadores de decisões quanto às políticas tarifárias e quanto à viabilidade dos futuros investimentos para o desenvolvimento da Região.

Lista de Conteúdo

Introdução	1
Balanço de potencialidades	1
Uso de Energia para Irrigação	3
Demanda de um projeto de irrigação por aspersão.....	3
Determinação da capacidade do sistema.....	4
Dimensionamento do sistema (acompanhar nos Quadros 1.d a 1.f).	5
Estimativa da demanda de energia num ciclo completo de uma cultura irrigada.....	8
Efeito das variações na diferença de nível entre a fonte de água e o ponto de distribuição da água.	9
Cálculo do custo da energia consumida pela irrigação.	10
Tarifas.....	10
Caso que o produtor irrigue em horário que inclui o período das 23:00 às 5:00 horas.....	11
.....	11
Caso que as terras a irrigar se encontram a 70m acima do nível da bomba.	11
O usuário tipo "A" nas condições deste projeto.	11
Efeito da variação na eficiência de irrigação.	12
Custos de energia elétrica por unidade de volume de água utilizado.	13
Incidência dos custos de energia na economia da produção de tomate.	13
Resultados, Conclusões e Recomendações	14
<u>Referências Bibliográficas</u>	<u>16</u>

Lista de Quadros e Figuras

	Pag
Quadro 1. Dimensionamento do sistema de irrigação por aspersão	I-1
Quadro 2. Estimativa da demanda de água para o cultivo de tomate em Floresta, Pernambuco	I-5
Quadro 2.b Estimativa da evapotranspiração potencial pelo método de Hargreaves	I-6
Quadro 3. Taxas máximas de aplicação de água por aspersão para condições médias de solo, declividade e manejo	I-8
Quadro 4. Características dos aspersores dadas pelos fabricantes	I-8
Quadro 5. Espaçamentos máximos para aspersores de média e baixa pressão	I-9
Quadro 6. Fator F de correção para perdas por atrito em tubulações de alumínio com saídas múltiplas	I-9
Quadro 7. Consumo de energia para irrigação	I-10
Quadro 8. Tarifas de água	I-12
Quadro 9. Efeito da variação da eficiência de irrigação no consumo de energia - outras condições iguais ao Quadro 7	I-13
Quadro 10. Custos de Produção de tomate - Plantio direto - Preços de 1990	I-14
Quadro 11. Produtividades das principais culturas em áreas irrigadas do Nordeste - 1987 - kg/ha	I-15
Quadro 12. Produtividades das principais culturas em áreas irrigadas do Nordeste - 1987 - kg/ha Preços de fevereiro de 1995	I-16
Figura 1. Lay-out do projeto de irrigação por aspersão	I-17
Figura 2. Lay-out do projeto de irrigação localizado a 70m de diferença do nível da bomba	I-18
Figura 3. Custos de energia na produção de tomate - Q=28.8 l/s. Tarifas convencionais fora de ponta	I-19
Figura 4. Custos de energia na produção de tomate - Q=150 l/s. Tarifas convencionais fora de ponta	I-20
Figura 5. Custos de energia na produção de tomate - Q=28.8 l/s. Tarifas incluindo período das 23 as 5 horas, Portaria 105	I-21
Figura 6. Custos de energia na produção de tomate - US\$/1.000m ³ função (Ht, Ei, Q)	I-22

O CUSTO DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO NO NORDESTE DO BRASIL
Análise dos Custos de Energia Elétrica
em Projetos de Irrigação¹

Introdução

1. O setor de agricultura irrigada é prioritário na região Nordeste do Brasil. Por ser a região mais pobre em recursos naturais agropecuários -recursos hídricos em particular, onde se localizam as populações de menor renda, a irrigação tem sido considerada por alguns como única forma de viabilizar o desenvolvimento rural. Porém, a expansão da agricultura irrigada no Nordeste está associada ao incremento da demanda de energia. Em geral, as discussões sobre as magnitudes dos investimentos propostos e seus benefícios são de maior consideração nas deliberações sobre a execução de projetos de irrigação que os custos de operação futura em que a demanda de energia será permanente. Estes custos eventualmente terão que ser debitados ao custo de produção das culturas (ou a comunidade em geral quando é fornecida de graça ou a preços subsidiados). A produtividade desta água deverá ser suficiente para pagar todos estes custos e ainda dar uma margem de utilidade ao usuário.

2. O objetivo deste documento é examinar como se origina a demanda de energia para a irrigação e quais os impactos nos custos de produção agrícola derivados desta demanda em função da variação nas tarifas de energia, das eficiências de irrigação e das cargas hidráulicas devidas ao desnível entre o projeto de irrigação e a fonte de água. As informações deverão servir de subsídio para pesquisar, em que proporção está-se financiando a demanda líquida para o crescimento e produção das próprias culturas e em que proporção se financia o gasto de energia para mobilizar quantidades de água que são perdidas ou não aproveitadas economicamente devido à eficiência do processo. Também poderão servir para analisar qual deve ser o retorno de empreendimentos de agricultura irrigada que demandam energia para ser econômica e socialmente desejáveis.

Balanço de potencialidades

3. Estudos de solos realizados (SUDENE/DRN,1980, p 3.14) a nível de reconhecimento indicam que 37% das terras no Nordeste se classificam nas categorias de capacidade de uso II a IV (aptas para o cultivo). Isto é 616.000 km² ou 61 milhões de hectares. Porém quando contrastado com o potencial de recursos hídricos a quantidade de terras irrigáveis, ainda matéria de discussão, está limitada a 2 até 3 milhões de hectares incluindo as bacias de São Francisco e Parnaíba. No caso do São Francisco considerando somente 0,8 milhões de hectares (potencial calculado em 2,3 milhões mas em conflito com a geração de energia). No caso do Parnaíba o potencial é ainda pouco conhecido. Deve-se levar em consideração que estas cifras estão baseadas principalmente nos planos de órgãos federais como DNOCS e CODEVASF para irrigar os chamados "perímetros" e pressupostos sobre alcances da irrigação privada. Não se tem em conta a utilização dos

1 Por: Manuel Paulet, PhD Especialista em Manejo e Conservação de Terras e Águas do IICA. Edifício SUDENE, Sala 920. Cidade Universitária. 50670-900 Recife, PE.

aqüíferos subterrâneos que são abundantes nas zonas de litoral e limitados mas não inexistentes nas áreas do "cristalino" onde o déficit de umidade é maior. Também não se incluem os resultados do balanço de água nos municípios, e a grande quantidade de reservas armazenadas em pequenos e grandes açudes, que podem dar origem a grande quantidade de pequenos aproveitamentos de uso múltiplo de alta significação especialmente para o pequeno produtor.

4. Até 1990, de 2.911.000 ha irrigados em todo Brasil, 732.000 ha correspondiam ao Nordeste (CODEVASF/DNOCS, 1990)². Estas cifras se desagregam de maneira aproximada da seguinte maneira:

.CODEVASF, 69.000 ha, na bacia do São Francisco (CODEVASF, 1993) com 6.500 colonos e 322 empresas;

.DNOCS, 30.000 ha, 21.000 colonos e 1.700 empresários;

.PAPP, até dezembro de 1988 tinha 4.500 ha com mais de 3.000 beneficiários (SUDENE, 1989, p19)³.

Outras informações indicam⁴,

.BNB, 40.000 ha; FINOR/SUDENE, 35.000 ha;

Norte de Minas Gerais 14.000 ha (de um total de 290.000 ha de irrigação nesse Estado).

.PROFIR 53.000 ha, PROVARZEAS 188.000 ha, Dec Lei 2032 11.000 ha, BB 80.000 ha, BNDES 4.000 ha e empresa privada 106.000 ha, POLONORDESTE e SERTANEJO 23.000 ha⁵

Por estas razões, mesmo que as potencialidades não sejam abundantes em proporção à dimensão do Nordeste, pode-se dizer que o potencial de irrigação não satisfeito ainda é grande.

2 Esta cifra inclui a irrigação em todo o Estado de Minas Gerais. Porém, as estatística não separam a irrigação da região de MG que corresponde à Região Nordeste. Daí que não será possível enquadrar os, totais com as cifras desagregadas que correspondem com diversas fontes e datas diferentes.

3 Comparativamente observa-se tanto o DNOCS como o PAPP mais voltados ao pequeno produtor.

4 Informação verbal de Gisnaldo Zelaquette, Especialista em Irrigação do PAPP/SUDENE.

5 Tabela 6.2. Áreas Irrigadas do Nordeste, por Estado, Órgãos e Programas de Desenvolvimento Físico até Dezembro de 1988. Programa para o desenvolvimento da agricultura irrigada. MARA. 1989

Uso de Energia para Irrigação

5. Na região Nordeste, a maior parte das áreas irrigadas atualmente utilizam energia elétrica para bombear água⁶. Água é bombeada da fonte para a cabeceira de um canal (captação e recalque) a partir do qual será conduzida (adução) até o setor onde será feita a distribuição nos lotes de agricultores (distribuição). Cada agricultor por sua vez pode aplicar água às culturas por gravidade ou de forma pressurizada (aplicação). Nossas observações incluem exemplos em que energia é utilizada em uma ou mais das operações indicadas. Existem casos em que todas as operações são pressurizadas.

6. Existem projetos como aquele da "transposição de águas do São Francisco" que demandarão grande quantidade de energia. Esse projeto pretende no futuro bombear 300 m³/s de água do rio até uma elevação de 160m a partir da qual um canal conduzirá água para ser distribuída na região Nordeste, Estados de Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará. Assim como este, existem exemplos com vazão de menor magnitude (Projeto Califórnia em Sergipe) e outros que virão no futuro.

7. O conhecimento da forma como se distribui a energia elétrica para usos de irrigação na região, e o desempenho dos usuários em termos de eficiência e produtividade, podem ainda ser matéria de pesquisa. A necessidade destas informações justificariam trabalhos adicionais.

8. No Estado de Pernambuco, por exemplo, no mês de outubro de 1994 existiam aproximadamente 43.000 consumidores rurais de energia elétrica -que podiam ou não ser parcialmente usuários de água para irrigação -o consumo médio foi de 374 kW-hora por usuário (CELPE, 1995). Nesse mesmo período, aparte dos citados, estavam declarados 55 usuários de energia para irrigação que consumiram 5.734.000 kW-hora, ou em média, 104.254 kW-hora por usuário -em outubro. Uma análise mais detalhada dos dados mensais existentes indicou 2.514 kW-h para o menor consumidor e 283.274 kW-h para o maior. Deve anotar-se que em alguns casos se consideram consumidores independentes, setores de uma mesma fazenda ou perímetro que recebem água de uma estação de bombeamento em particular. Todos estes 55 usuários tem faturamento por "demanda" o que indica que tem contrato de fornecimento de energia em alta tensão com a companhia de energia e a planta ser maior de 75 kW de capacidade. Esta informação confirma a falta de dados mais precisos sobre os consumidores de energia para irrigação cuja demanda é inferior a 75 kW -tipicamente o pequeno produtor quando este não está formando parte de sistemas de irrigação comunitários.

Demanda de um projeto de irrigação por aspersão.

9. Para ilustrar os conceitos que se discutem neste documento serão utilizados exemplos numéricos com base na análise de um projeto de irrigação por aspersão de 16 ha. Embora esta análise possa ser útil para entender os conceitos envolvidos na engenharia da irrigação, não é exaustiva quanto a todos os elementos que se devem levar em consideração para elaborar um

6 Existem várias áreas e perímetros a jusante de açudes onde a irrigação se realiza gravitacionalmente, tais como: Umarizal, RN; São Gonçalo, PB; São Desidério, BA; Morada Nova, CE; Moxotó, PE e Cruzeta, RN.

bom projeto. Existem livros e manuais que descrevem o delineamento de sistemas de irrigação por aspersão e de outros tipos, em vários idiomas. Recomenda-se o Monograph No 3 da American Society of Agricultural Engineers (ASAE, 1980) que apresenta um tratado completo sobre o tema. O exemplo que se descreve neste documento está baseado naquele apresentado por Frevert, et.al. (1993, pp 425-443).

10. O dimensionamento de sistemas de irrigação por aspersão envolve a determinação da taxa máxima de aplicação de água (que deve ser inferior à taxa máxima de infiltração do solo), do período ou "intervalo" de irrigação (tempo requerido para completar uma aplicação de água em toda a área -que depende principalmente da velocidade de consumo da água armazenada no solo pelas plantas) e da espessura da lâmina de aplicação de água (que determina o volume de água a ser aplicado -que depende da profundidade efetiva das raízes e da capacidade de retenção de água pelo solo). *O sistema de irrigação deverá ter uma capacidade suficiente para atender toda a demanda de água das culturas em toda a área no período de irrigação que seja determinado (capacidade do sistema=área/intervalo de irrigação=ha/dia).*

Determinação da capacidade do sistema

11. O Quadro 1 apresenta os resultados do dimensionamento de um sistema de irrigação por aspersão convencional -Figura 1. Se pretende irrigar 16 ha de tomate perto da cidade de Floresta, Pernambuco, com água derivada do rio São Francisco. Os solos são de textura média (Franco siltoso). A topografia é plana. De acordo com as condições do perfil e a textura dos solos a taxa de aplicação de água (In) não deve exceder 16 mm/hora (Quadro 3)⁷. Outros parâmetros são: capacidade de campo (CC)=0.25grH₂O/grsolo, coeficiente de murchamento (CM)=0.10grH₂O/grsolo, densidade aparente do solo (da)= 1.4 g/cm³, profundidade efetiva de raízes= 60cm (Quadros 1a e 1b).

12. Assim, a capacidade total de água disponível em 60 cm de solo é $[60 \cdot 1.4 \cdot (0.25 - 0.10)] = 12.6$ cm, e a lâmina líquida de aplicação de água numa irrigação é $12.6 \text{ cm} \cdot 0.45 = 5.67$ cm (considerando que se permita o uso pelas plantas de 45% da umidade disponível). Assume-se que a eficiência de aplicação de água será de 70% (correspondente ao sistema de aspersão), a lâmina de água requerida por aplicação (La) será de $5.67 / 0.70 = 8.10$ cm (810 m³/ha) -Quadro 1b.

13. A evapotranspiração (ET_m) no mes crítico⁸ é 220 mm (mes de outubro, Quadro 2b). Com base nesta quantidade a evapotranspiração máxima diária (ET_{max}) -Burman, R.D. 1980, p.223, é,

7 Se refere à taxa de aplicação de água dos aspersores e que esta não deve ser maior do que a velocidade de infiltração dos solos.

8 Para encontrar esta cifra em forma analítica dispõe-se de diversos métodos cuja descrição encontra-se em literatura como: FAO. Irrigation and Drainage Paper 29, ou Hargreaves, J.H. 1989. Crop Water Requirements (Utah State Univ, Irrigation Center), ASAE Monograph 3. indicado em Burman, R.D.et.al. 1980. Para o Brasil existem dados já calculados em quase todas as localidades.

$$ET_{max}=0.034*ET_m^{1.09}*L_n^{-0.09} \dots\dots\dots(1)$$

onde, L_n =lâmina líquida de irrigação (mm), ou seja, $ET_{max}=0.034*220^{1.09}*56.7^{-0.09} = 8.45 \text{ mm} = 0.845 \text{ cm/dia}$

14. O intervalo entre irrigações é a somatória de:

- Tempo de consumo da lâmina líquida....(t_c)= $5.67\text{cm}/0.845 \text{ cm/dia} = 6.71 \text{ dias}$
- Tempo até Capacidade de Campo (T_{cc}), variável segundo o tipo de solo (<1 a 2 dias)
- Tempo de irrigação (t)= $L_a/L_n = 81 \text{ mm}/(16\text{mm/hora}) = 5.06 \text{ horas}$

Assim, o intervalo entre irrigações a escolher para dimensionamento do sistema varia entre 6.71 dias a 8.92 dias (somando 2 dias até alcançar capacidade de campo⁹ mais o tempo de irrigação expressado em dias $5.06\text{horas}/(24\text{horas/dia})=0.21 \text{ dias}$). Considerar que um menor intervalo requer maior capacidade do sistema para uma mesma área. É prudente incluir um fator de flexibilidade ou segurança, por quebra do sistema, mudanças nas culturas, ventos mais fortes e outros. Por outro lado, o projeto deve ser compatível com as taxas de infiltração do solo.

15. Arredondando o intervalo de irrigação à 8 dias, a capacidade do sistema terá que completar os 16 ha em 8 dias, e portanto irrigar $16/8=2 \text{ ha/dia}$ (Quadro 1.c). O sistema deverá ter capacidade para irrigar 2 hectares por dia. Esta informação é logo usada como guia na seleção do equipamento.

Dimensionamento do sistema (acompanhar nos Quadros 1.d a 1.f).

16. O processo deveria começar com a seleção dos aspersores, logo o lay-out do sistema seguido do dimensionamento das laterais, a linha principal e a estação de bombeamento. Os dados que seguem são para um sistema de média pressão com laterais instaladas sobre rodas as que são empurradas a mão de uma posição para outra. As decisões sobre o tipo de aspersor e o lay-out que se apresenta na Figura 1 obedecem a considerações sobre as culturas que serão exploradas, as características do campo, o desnível entre a fonte de água e as diferentes partes do terreno. A distância entre laterais e a distância entre aspersores é comum em sistemas de pressão média.

17. Outros dados: velocidade do vento=6 km/hora; pressão do aspersor que será utilizado= 40 lib/poleg² (275.8 kPa, ou 28.16m -Quadro 4); diferença de elevação entre a bomba e a união entre o lateral e o main (H_j)=1.0 m; máxima diferença de elevação entre a união com o main e o aspersor mais distante (H_e)=0.6 m; diferença de elevação entre a bomba e a fonte de água depois da depressão por sucção (H_s)=5.0 m; altura do tubo de subida do aspersor (H_{rp})=0.8 m; altura líquida de sucção positiva para levar água até o olho da bomba (NPSH)=2.0 m; distância entre aspersores (S_l)=12 m; distância entre posições das laterais (S_m)=18 m; variação permissível de pressão é 20% da pressão média. A fonte de água é um poço ao centro do terreno.

⁹ Para este tipo de solo. Para um solo com predominância de areia, este tempo pode ser insignificante ou zero a critério do planejador.

18. A Figura 1 mostra o lay-out do principal, laterais e aspersores. Permitindo 12 m entre o primeiro aspersor e o principal e 8 m entre o último aspersor e o limite do terreno, requer-se 16 aspersores em cada lateral:

- (1) Número de posições por dia para irrigar 2 ha: $(2.0\text{ha} \cdot 10.000\text{m}^2/\text{ha}) / (16 \cdot 12\text{m} \cdot 18\text{m}) = 5.79$ posições, ou 6 arredondando. Dois laterais mudando de posição três vezes por dia (ou seis laterais uma vez por dia). Resultado: dois laterais, três posições por dia.
- (2) Vazão de cada aspersor (q) = $S l \cdot S m \cdot l n$, ou seja $(12\text{m} \cdot 18\text{m} \cdot 16\text{mm}/\text{h} \cdot 1000\text{l}/\text{m}^3) / (1000\text{mm}/\text{m} \cdot 3600\text{seg}/\text{h}) = 0.96$ l/s
- (3) Vazão por lateral, $16 \cdot 0.96 = 15.36$ l/s. Capacidade do sistema, $15.36 \cdot 2 = 30.72$ l/s (486 GPM).
- (4) Verificar a vazão teórica do aspersor de boquilhas 6.35 e 3.97 mm (1/4" e 5/32" do Quadro 4) com $C=0.95$,

$$(q) = 0.00111 \cdot C \cdot d^2 \cdot P^{0.5} = \text{l/s} \dots \dots \dots (2)$$

onde, C =coeficiente de vazão (entre 0.95 a 0.98 para boquilhas pequenas; boquilhas grandes tem coeficientes menores); d =diâmetro do orifício da boquilha, mm; P =pressão na boquilha, kPa. Se o aspersor têm duas boquilhas, a descarga total é a capacidade combinada de ambas (Schawb, G.O. et.al. 1993, p.433).

Neste caso,

$$(q) = 0.00111 \cdot 0.95 \cdot (6.35^2 + 3.97^2) \cdot (276)^{0.5} = 0.98 \text{ l/s}$$

Uma vazão maior que a permissível. Escolher aquela do fabricante (Quadro 4) para 276 kPa e 0.90 l/s (14.2 GPM)

- (5) Verificar área de cobertura. Do Quadro 5, o diâmetro de cobertura requerido dos aspersores no sentido das laterais para ventos iguais ou menores que 6km/hora é 27m (12m/0.45); e no sentido do "main ou principal", 30m (18/0.6). Os aspersores selecionados têm 31m de diâmetro de cobertura (Quadro 4) indicando que é adequado. Porém, a água será aplicada também fora dos limites do terreno. Poderia ser necessário mudar o lay-out do projeto.
- (6) Tempo de operação diária: são três mudanças de posição de dois laterais (a uma hora cada)¹⁰ = 6 horas, mais três posições com dois laterais irrigando simultaneamente,

10 Observe-se que este tempo é variável dependendo da velocidade de trabalho do pessoal com relação à dificuldade que opõe o equipamento. Para este caso nos foi observado que no máximo 30 minutos por posição seria suficiente. Porém, a razão de ser de este cálculo é definir se alcançará o tempo para completar a irrigação que deve ser feita em um dia. Um cálculo conservador assume que o operário dos canos trabalha devagar.

cada posição toma $8.1 \text{ cm}/(1.6 \text{ cm/hora})=5.06$ horas (Quadro 1.b), fazendo em $5.06*3=15.19$ horas de irrigação. Assim, em total são $15.19 + 6= 21.19$ horas de trabalho. Da tempo.

(7) Diâmetro das laterais e do "principal" (Quadro 1.e):

-Variação de pressão permissível na lateral: $0.20*276= 55.2 \text{ kPa}$ (8 lib/poleg²)

-Variação de pressão permissível somente devido a atrito, $(55.2/9.8)-H_e=5.6-0.6= 5.0 \text{ m}$ (7.1 lib/poleg²)

-A equação de Scobey é usada para calcular as perdas por atrito (Hf) em tubos para fluxo cheio como o "principal". Se adapta para laterais do mesmo comprimento, com saídas para aspersores com espaços uniformes por meio de um fator de correção (F) (Quadro 5):

$$H_f = (K_s L Q^{1.8}) * (4.10 * 10^6) / D^{4.9} = m \dots \dots \dots (3)$$

onde, Ks é o coeficiente de retardação (0.40 para aço ou alumínio portátil, e 0.42 para aço inoxidável portátil); L=comprimento do tubo, m; Q=vazão, l/s; D=diâmetro Interno do tubo, mm.

-Com estes dados selecionou-se 4" de diâmetro para laterais, e 5" para o principal.

(8) Pressão requerida na união entre a lateral e o principal para a posição mais distante e elevada (Hn):

$$H_n = H_a + 0.75 H_f + 0.6 H_e + H_{rp} \dots \dots \dots (4)$$
$$28.16 + 0.75 * 2.97 + 0.6(0.6) + 0.8 = 31.55 \text{ m}$$

(9) Capacidade da bomba e carga hidráulica total (Ht),

$$H_t = H_n + H_m + H_j + H_s \dots \dots \dots (5)$$

onde, Hm é a perda por atrito máxima, no principal (Hf no principal, Quadro 1.e), na linha de sucção (considerado insignificante), e a NPSH da bomba -outros termos já definidos.

$$H_t = 31.55 + (2.0 + 2.54) + 1.0 + 5.0 = 42.09 \text{ m}$$

Selecionar com as curvas características do fabricante uma bomba que entregará 28.8 l/s (456 GPM) contra uma carga de pressão de 42.09 m (60 lib/poleg²) com a maior eficiência possível. Permitir um fator de segurança para a perda de eficiência depois de vários anos.

(10) Seleção do motor: assumir eficiência da bomba 70%,

$$kW = 0.0098 * 28.8 \text{ l/s} * 42.09 \text{ m} / 0.70 = 16.97 \text{ kW (22.63 hp)}$$

Para este caso, um motor elétrico de 20kW seria suficiente. Um motor de combustão interna (com 70% de eficiência) de $16.97/0.7 = 25 \text{ kW (33 hp)}$ seria apropriado também.

Nota: para facilitar o uso dos Quadros e Figuras com fins de ilustração, será usado de aqui em diante -mais freqüentemente, 45m de altura de pressão para significar a posição do projeto de aspersão quando é pouco significativa a carga hidráulica devida ao desnível com a fonte de água.

Estimativa da demanda de energia num ciclo completo de uma cultura irrigada.

19. Até aqui foram calculadas as dimensões do sistema de irrigação apropriado para as condições do terreno e clima onde será feita a irrigação. Agora, para o sistema dimensionado, analisa-se a demanda total de água, e portanto, de energia requerida para obter uma colheita. Para este exemplo utiliza-se uma cultura de tomate plantada em primeiro de maio e colhida em 13 de agosto (105 dias)¹¹. Tem-se estimado que a demanda total (líquida) de água pelo tomate nesse período é de 498 mm -Quadro 2.

20. No Quadro 7 verifica-se que os 498 mm requeridos pela cultura de tomate, representam uma demanda real na fonte de 711 mm considerando que não existem perdas na condução e distribuição da água desde a fonte até o campo de cultivo, e que, a eficiência de irrigação de 0.70 (70%) corresponde com o método e manejo do sistema de aspersão (bem manejado o sistema, 70% da água aplicada será efetivamente aproveitada pelas plantas).

21. O Quadro 7 apresenta os resultados do cálculo das demandas de energia para as características do projeto de irrigação discutido anteriormente. No item (c) do Quadro 7 pode-se observar a variação do consumo de energia com a variação da carga hidráulica total (Ht) que deve vencer o sistema de bombeamento para entregar água no ponto de destino. As primeiras três colunas indicam as características da estação de bombeamento requerida para elevar água com a vazão de 28.8 l/s (vazão requerida de acordo com o projeto que foi dimensionado, Quadro 1.f) para uma variação de carga hidráulica entre 5 e 205 m. Estas três primeiras colunas se explicam com o seguinte exemplo:

11 De fato o sistema de aspersão não é recomendável para o cultivo de tomate, pela sensibilidade deste à umidade da parte aérea da planta (frutos e folhas). Micro-aspersão ou gravidade seriam mais apropriados. Utiliza-se somente para demonstrar os cálculos.

Para uma carga hidráulica de 45m e uma vazão de 28.8 l/s¹²:

$$\text{HP}_{\text{água}} = \text{Potência de saída} = \frac{Q \cdot H_t}{76.06} = \\ = 28.8 \cdot 45 / 76.06 = \underline{17.04 \text{HP}} \text{ (representa o trabalho realizado pela bomba com a água)}$$

$\text{BP}_{\text{motor}} = \text{brake power ou potencia de entrada} = \frac{\text{HP}_{\text{água}}}{\text{Ef bomba}} = \\ = 17.04 / 0.70 = 24.34 \text{HP ou } 24.34 \cdot 0.7457 = \underline{18.15 \text{ kW}}$ (esta é a potência requerida pelo motor para que a bomba possa realizar o trabalho com a água). Considera-se aqui que foi selecionada uma bomba que opera com 70% de eficiência para entregar 28.8 l/s com uma carga hidráulica de 45m.

A demanda de energia da estação de bombeamento depende também da eficiência do motor em realizar o trabalho demandado. Considerando que a eficiência do motor dada pelo fabricante é de 91.25%, a demanda de energia da estação de bombeamento neste caso será:

$$\text{Demanda de energia da estação de bombeamento} = \\ = \frac{Q \cdot H_t / (76.06 \cdot 0.74570)}{[1 / (E_{\text{bomba}} \cdot E_{\text{motor}})]} = \\ = 18.15 / 0.9125 = \underline{19.89 \text{ kW}}$$
 (aprox 19.91 no Quadro 7.c, diferença por arredondamento de cifras)

O consumo de energia para a irrigação (kW-hora) é o resultado da utilização da estação de bombeamento durante o número de horas requerido para entregar o volume total de água demandado pelo cultivo em todo o seu ciclo de crescimento. No Quadro 7.b se observa que os 711.75mm em 16ha equivalem com 113,880.67 m³ os que com uma vazão de 28.8 l/s precisarão de:

$$0.71175 \text{m} \cdot 160,000 \text{m}^2 / (0.0288 \text{m}^3/\text{s} \cdot 3600 \text{seg}/\text{hora}) = \underline{1,098.39 \text{ horas}}$$
 de funcionamento da estação de bombeamento.

$$\text{Então: } 1098.39 \text{ horas} \cdot 19.91 \text{ kW} = \underline{21,870.86 \text{ kW-hora}}$$

Efeito das variações na diferença de nível entre a fonte de água e o ponto de distribuição da água.

22. No Quadro 1.f verifica-se que a bomba e o motor estão dimensionados considerando uma carga hidráulica total de $H_t = 42.08 \text{m}$, da qual 1m corresponde com a máxima diferença de elevação entre a bomba e a conexão do "principal" com a lateral (H_j , Quadro 1.d, ver também Figura 1). Assim, para esse projeto, 41m correspondem com perdas de carga inerentes ao sistema de irrigação e 1m é a altura que tem que ser elevada a água entre a saída da bomba e o ponto de distribuição (H_j).

23. Se a área a ser irrigada (ou o ponto de distribuição da água) estivesse a 70m de altura sobre a posição da bomba (como na Figura 2, por exemplo), neste caso $H_j = 70 \text{m}$ e o valor de carga

12 Conferindo com a cifras do Quadro 7.c, encontrar-se-á diferenças por arredondamento de cifras.

hidráulica total seria: $41+70+H_f$, onde H_f são as perdas por atrito da tubulação para conectar esses dois pontos -a bomba e o ponto de distribuição elevado. Se esta tubulação fosse de 300m de comprimento, usando o mesmo procedimento indicado no item 18.7, e Quadro 1.e, encontra-se $H_f= 4m$ (e 5" de diâmetro). Assim, $H_t= 41+70+4= 115m$. Com estes dados de projeto de irrigação, olhando o Quadro 7.c, para cada novo valor de H_j , deve-se adicionar 45m para conhecer a carga hidráulica total que deverá ser vencida pela bomba. Se H_j é igual a 160m, então H_t (ou TDH) será igual a $160+45=205m$.

24. Para 205m de altura de carga (ou 160m de desnível), o consumo de energia para a demanda do projeto de irrigação com a cultura de tomate seria de 99,634 kW-hora (Quadro 7.c) ou 4.56 vezes maior que o consumo a 45m de desnível. A diferença é diretamente proporcional à diferença de nível.

Cálculo do custo da energia consumida pela irrigação.

25. O preço do kW-hora para irrigação normalmente está sujeito a regulamentos especiais que afetam ao usuário dependendo das quantidades que utiliza, horário e época do ano em que realiza o trabalho. Os usuários de irrigação estão isentos de pagamento de imposto ICMS. Se descrevem a continuação algumas das normas quanto as tarifas e exemplos de cálculo de energia consumida em diversos casos.

Tarifas.

26. De acordo com a Companhia de Eletricidade de Pernambuco (CELPE), existem dois tipos de usuários, A e B (o Quadro 8 apresenta as tarifas da energia para uso de irrigação de acordo com a Portaria MME 397 de abril de 1994 e MME 470 de 30 de maio de 1994):

Usuários tipo A: Quando o usuário tem uma potência instalada maior do que 75 kW se classifica como "tipo A". O usuário tipo A paga a energia consumida mais a demanda. Como o faturamento é zerado cada mês, basta que use o motor uma vez por mês para ser cobrado por demanda. Para as condições do exemplo, o produtor pagaria demanda caso suas terras estejam 150m acima da fonte de água (aproximadamente 190m de TDH necessitaria um motor acima de 75 kW). *O custo por demanda se obtém multiplicando a tarifa especial por demanda (R\$/kW) pelo número de kW instalados. O usuário tipo A tem menores tarifas que o tipo B.* Além disso, pode utilizar a tarifa horo-sazonal (verde e azul) que estabelece tarifas diferentes segundo o período do ano (entre os meses de maio a novembro -seca- as tarifas são maiores).

Usuários tipo B: Até 50 kW de potência instalada o usuário é considerado "tipo B". Se o transformador é dele, até 75 kW pode ficar em "B" ou passar para "A". Caso optar pelo "A", teria que pagar 50 kW por demanda.

Portaria 105. Ambos os tipos de usuários podem utilizar tarifas reduzidas durante o período entre as 23:00 e as 5:00. A redução é de 90% para tipo A e de 73% para o tipo B.

27. A segunda parte do Quadro 7.c, apresenta o consumo de energia e os custos do produtor para as condições do problema, em duas situações de horário de uso da água. Tem se utilizado as tarifas do Quadro 8 convertidas a US\$ à taxa vigente de fevereiro de 1995.

28. Como informação adicional deve observar-se que as tarifas de uso rural tipo A variam de 0.002661 a 0.02395 R\$/kW-h, as tipo B variam entre 0.016 a 0.06084 R\$/kW-h. Isto em condições normais de uso fora de ponta ou dentro do período entre as 23:00 e 5:00 horas (Portaria 105). Outras "classes" de usuários tem tarifas que variam entre 0.02198 e 0.11621 R\$/kW-h mais o ICMS (residencial individual), bem mais altas que as de uso rural.

Observe-se como se aplicam no exemplo:

Caso que o produtor irrigue em horário que inclui o período das 23:00 às 5:00 horas.

29. Supõe-se neste caso que o produtor inicia a irrigação às 23:00 horas. Assim, se a irrigação diária é de duração maior de 6 horas, o excedente utilizará a tarifa convencional (se o usuário é tipo B) ou a tarifa horo-sazonal (se o usuário é tipo A). Durante as primeiras 6 horas a tarifa será de acordo à Portaria 105. Para saber os tempos de irrigação demandados em cada horário, utiliza-se o Quadro 7.b que discrimina as horas de irrigação requeridas por cada etapa de cultivo em que a demanda de água das plantas é diferente. Nas quatro etapas as horas/dia de trabalho são diferentes e por tanto é necessário calcular os custos para cada uma delas de acordo com o procedimento que se explica ao pé do Quadro 7.c. No exemplo utilizado para $H_t=45m$ (estação de bombeamento de aproximadamente 18 kW, tipo B) na Estação seca, o custo total da irrigação (nas quatro etapas) é de US\$57.55 por hectare.

Caso que o produtor irrigue em horário fora de ponta mas sem incluir o período das 23:00 às 5:00 horas.

30. Para o tipo B, neste caso se aplica somente uma tarifa (última coluna do Quadro 7.c). Para $H_t=45m$, o custo da energia que paga o produtor para irrigar o seu tomate até a colheita é de US\$99.00 por hectare.

Caso que as terras a irrigar se encontram a 70m acima do nível da bomba.

31. Como indicado anteriormente, $H_t=70+45=115m$. Para esa carga hidráulica os custos da irrigação são de US\$147.08 e US\$253.01 por hectare, respectivamente (tarifas incluindo Portaria 105, ou somente convencionais fora de ponta). *Ainda na situação do usuário tipo "B" (a demanda é 50.89 kW).*

O usuário tipo "A" nas condições deste projeto.

32. Se o desnível entre a posição da bomba e o projeto de irrigação é de 150m, então $H_t=150m+45m=195m$ e, neste caso $kW_{máx}=78.73 (>75kW)$. Pode se observar no Quadro 7.c que os custos por hectare seriam bem menores comparados com aqueles de posição imediatamente inferior, seja para a situação que inclui a tarifa 105 ou somente a convencional. Mas, tal vez não

seria viável para um usuário investir em uma planta dessa capacidade para 16 de irrigação com uma vazão de 28.8 l/s. *O usuário tipo A mais comum deve ser aquele que requer maiores vazões para projetos maiores e, portanto, maior consumo total para o mesmo desnível.*

Efeito da variação na eficiência de irrigação.

33. As cifras de demanda do Quadro 7.c são calculadas para uma eficiência de irrigação total de 70%. Isto supõe que não existem perdas na condução e distribuição da água, e que o sistema de aplicação de água é "aspersão". O Quadro 9, apresenta os custos de energia para as mesmas condições do problema, apenas variando as eficiências envolvidas na condução, distribuição e aplicação da água. Assim, apresentam-se quatro casos adicionais (sendo 70% de eficiência o primeiro caso):

Segundo caso. A condução é por tubulação e a distribuição inclui estanques intermediários a partir dos quais é feita a distribuição com bombas adicionais de forma pressurizada. As perdas por evaporação reduzem a eficiência de distribuição a 90%. A eficiência total diminui para 63%.

Terceiro caso. Igual que o caso anterior exceto que a condução é feita em parte por canais abertos (por gravidade). A eficiência total é diminuída para 57%.

Quarto caso. Água é tomada da fonte principal por bombeamento e entregue a um canal aberto. A condução e distribuição são realizadas por gravidade. Os usuários tem tomadas para várias parcelas por meio de equipamentos pressurizados. A eficiência de irrigação diminui a 45%.

Quinto caso. Igual que o caso anterior mas a irrigação no campo é por gravidade. A eficiência total é reduzida até 38%.

34. Em todos os supostos acima indicados considera-se que o manejo da água é realizado por usuários experientes -sensíveis a estes custos- pelo que as perdas indicadas são razoáveis. Nestas condições pode se observar os efeitos da redução da eficiência de irrigação no incremento de kW-hora consumidos, e dos custos por hectare, para a mesma carga hidráulica. Estas cifras se podem observar melhor nos gráficos da Figura 3 e da Figura 5 -tarifas convencionais e incluindo a Portaria 105, respectivamente. Note-se o efeito da mudança de tarifa quando a carga hidráulica passa de 195m de Ht (para as tarifas tipo A).

35. Somente para fins de ilustração, a Figura 4 apresenta os resultados do problema para 100 ha de irrigação com uma vazão de 150 l/s -com as tarifas convencionais fora de ponta. Se a irrigação é aspersão (mínimo 45m de carga), todos os usuários teriam tarifa tipo A, e custos por hectare menores que no caso de 16 ha. Porém, tanto o investimento como o custo total de energia para as 100 ha seria maior.

Custos de energia elétrica por unidade de volume de água utilizado.

36. O gráfico da Figura 6 permite observar como varia o custo por 1.000 m³ de água utilizada na irrigação do tomate. A Figura 6 foi elaborada com base nas informações apresentadas sobre quantidades em US\$/ha, o número de hectares irrigados, e o volume de água requerido em função da demanda por evapotranspiração corrigido com as eficiências de irrigação pesquisadas neste documento. Comparativamente, os maiores custos por 1.000 m³ correspondem às condições que determinam tarifas tipo B (estação <75kW), uso de água em horários convencionais fora de ponta. Estes custos são iguais para as diferentes eficiências de irrigação. Os menores custos correspondem com as condições que determinam tarifas tipo A (estação >75kW, Q=150l/s), horários convencionais, também independente da eficiência de irrigação. Quando parte do horário de irrigação inclui o período entre 23:00 e 5:00 horas (em que se aplica a Portaria 105) os custos são ligeiramente maiores quando é menor eficiência de irrigação. Pode-se concluir que o custo da energia elétrica por unidade de volume de água utilizado é diretamente proporcional à carga hidráulica total (Ht) e, não é sensível (ou é pouco sensível) às eficiências de irrigação. As diferentes tarifas de energia existentes afetam estes custos da mesma forma que os custos expressados em US\$/ha.

Incidência dos custos de energia na economia da produção de tomate.

37. O Quadro 10 apresenta os custos de produção de tomate industrial bem manejado, detalhados segundo Espinoza (1990) quem cita como fonte à Associação de Produtores de tomate de Petrolina, PE. Entende-se que estes custos são para produtividades esperadas de 40 ou mais toneladas métricas por hectare¹³. Intencionalmente foram eliminados os custos do item "água" com a finalidade de poder comparar com os custos da energia dos Quadros 7 e 9, e Figura 3. Note-se que os custos de produção de tomate incluem depreciação de infra-estrutura -de irrigação entre outras. Porém, deve-se observar também que o Quadro 10 não inclui os custos de administração, operação (custos de pessoal envolvido na distribuição da água quando o sistema é comunitário) e conservação do sistema de irrigação. Estes custos junto com aqueles da "energia" formam parte do custo da água. *O custo da energia, embora possa ser o mais importante, não representa o custo total da água.*

38. Para as 16 ha do projeto/problema -ver Figura 3, a incidência dos custos de energia -tarifas convencionais- depende da carga hidráulica (Ht, mínimo de 45m quando próximo da fonte de água para o sistema de irrigação por aspersão) e das eficiências de irrigação. Dependendo da eficiência, entre US\$100 a 200 ou US\$400 a 700 dólares por hectare, para Ht entre 50m e 195m. Isto é, de 5m a 150m de desnível entre o projeto e a posição da bomba de alimentação da água. Assim, entre 4 e 24% dos custos totais de produção de tomate (incluído os custos de energia nos custos totais de produção, exemplo, $700/(2240+700) = 0.238$). Caso a irrigação se realize incluindo o período entre as 23:00 e 5:00 horas, se aplica a Portaria 105, e os custos se reduzem como indica a Figura 5, em aproximadamente 40%. Em proporção, a redução é menor conforme é maior o número de horas de irrigação por dia.

13 Ou seja, para produtores com recursos de melhor qualidade, mais experientes e eficientes no processo produtivo.

39. *A situação pode ser diferente quando referida à pequena produção.* O Quadro 11 apresenta as produtividades médias obtidas em diversas áreas do Nordeste: em perímetros irrigados na bacia do São Francisco e na pequena irrigação em Ceará e Rio Grande do Norte. A última coluna deste Quadro é a "renda bruta" resultado da multiplicação das máximas produtividades médias obtidas nessas áreas em 1987 pelos maiores preços pagos em dezembro desse mesmo ano. Neste caso, a renda bruta do tomate industrial é menor que o custo de produção como calculado no Quadro 10, sem incluir o custo da água. As culturas de banana e limão, pela duração do ciclo de crescimento, e arroz, pela maior demanda de água, teriam maiores custos de energia que o caso do tomate. O tomate seria comparável com feijão, milho, melão e melancia -algodão sendo de duração um pouco maior. Porém, como indica o Quadro 12, a variação nos preços que recebe o produtor podem mudar o negocio drasticamente -neste caso aparentemente às inundações no sul do país determinaram a subida dos preços de alguns produtos na região Nordeste.

40. A pequena produção, geralmente associada com menores conhecimentos e experiência dos produtores sobre irrigação, provavelmente estaria toda no setor de baixa eficiência com tarifas "tipo B". Durante vários anos no passado, em projetos implantados pelo Estado, tem-se verificado que a energia e outros custos da operação e manutenção dos sistemas de irrigação, tem sido pagos pelo governo. Isto tem mudado em alguns perímetros que foram "emancipados". Porém essa prática teve efeitos negativos sobre o comportamento do produtor quanto a conservação da água (e da energia).

Resultados, Conclusões e Recomendações

1. São subprodutos deste trabalho os procedimentos de cálculo para estimar a demanda de água das culturas e das dimensões de um projeto de irrigação por aspersão em função desta demanda, incluindo o diâmetro de tubulações e estação de bombeamento para diversas eficiências de irrigação e cargas hidráulicas. Também se podem utilizar os procedimentos para o cálculo do consumo de energia e dos custos de bombeamento para abastecer a demanda de água das culturas, em função da carga hidráulica e das eficiências de irrigação.

2. Os resultados do exemplo indicam que para um projeto de irrigação por aspersão de 16 ha em Floresta, PE, se necessita uma vazão de 28.8 l/s (456 GPM). As dimensões da estação de bombeamento para esta vazão dependerão da carga hidráulica total podendo variar entre 20 a 80 kW aproximadamente, seja o desnível entre o projeto e a bomba de 5 a 150m, respectivamente.

3. No caso hipotético de uma cultura de tomate em Floresta, nessas condições, com 105 dias no ciclo de crescimento na época mais seca do ano, o gasto de energia pode variar entre US\$60 a US\$700 por hectare, dependendo do horário de utilização dos equipamentos -e portanto, das tarifas de energia que se apliquem, *da carga hidráulica total (Ht)*, e das eficiências que se obtenham na condução, distribuição e aplicação da água de irrigação. O custo de energia por unidade de volume de água é sensivelmente independente da eficiência de irrigação e varia entre US\$5 a 60 por 1.000 m³ de água, em função de Ht e das tarifas que se apliquem.

4. Quanto às eficiências. Deve considerar-se que as eficiências utilizadas são razoáveis para a condução, distribuição e aplicação da água próprias das condições indicadas no exemplo, pelo que supõem o manejo da água por operadores com conhecimentos e experiência. Por esta razão deve se comparar com o desempenho real dos projetos de irrigação em atual operação. Porém, as eficiências podem melhorar significativamente seja com um sistema de Irrigação tecnologicamente mais avançado ou por meio de um melhor manejo do sistema existente quando o operador -interessado em diminuir os custos- se preocupa por avaliar "quantitativamente" as eficiências de irrigação -incluindo o funcionamento da estação de bombeamento. *Assim, as eficiências podem ser mudadas.*

5. Quanto à carga hidráulica. Por outro lado, a "carga hidráulica" pode ser modificada somente no que diz respeito as características do sistema de irrigação. Por exemplo, um projeto de irrigação localizada demandaria aproximadamente 20m menos de carga de pressão devida ao "sistema de aplicação de água". Se a aplicação de água fosse por gravidade a redução da carga de pressão seria de aproximadamente 30m. A carga hidráulica devida à diferença de nível entre a fonte de água e a localização do projeto não pode ser mudada¹⁴. Daí a importância de considerar a questão dos custos de energia devidos à esta diferença de carga porque significam demandas de energia e custos que serão permanentes. No exemplo de irrigação por aspersão, Figuras 3 a 6, os custos acima de aproximadamente 50m de carga hidráulica se devem à diferença de nível entre o projeto e a fonte de água.

6. Quanto as tarifas de energia. Em geral verifica-se que as tarifas existentes são favoráveis à utilização de energia para irrigação, em especial quando se irriga entre as 23:00 e 5:00 horas (Portaria 105) e depois, com as tarifas horo-sazonais. Bem delineado o sistema de irrigação, em poucas oportunidades durante o ano teria que se utilizar os horários de "ponta" para satisfazer as demandas de água das culturas. Comparativamente, as tarifas existentes não favorecem a instalação de pequenos sistemas de irrigação individuais (estações <75kW) a menos que estes formem parte de sistemas comunitários com estações de bombeamento maiores que os qualifiquem para o tipo de tarifa "A".

7. Incidência dos custos de energia no negócio agrícola. Quanto a incidência dos custos de energia na produção de tomate -de US\$60 até US\$700 por hectare, esta pode ser pequena ou considerável ainda tendo em conta a estrutura de custos mostrada no Quadro 10 -2,6 a 24%. Porém, estes custos não são compatíveis com as produtividades e preços mostrados no Quadro 11 típicos de pequenos produtores. Para estes presume-se que a incidência dos custos de energia sobre os custos de produção seria significativamente maior. São necessárias maiores indagações sobre custos representativos deste tipo de produção.

8. Este documento auxiliará ao leitor a definir melhor, dentro das condições de seu interesse, a medida em que o custo de energia pode ser limitante de seu negócio agrícola, ou a medida em que o desempenho de seu sistema em atual operação possa ser aperfeiçoado.

14 Salvo o caso da localização de uma barragem em data posterior à instalação do projeto, e que a fonte água passe a ser a dita barragem.

9. Para subsidiar melhor a política tarifária de energia, como questão de rotina se recomenda avaliar o desempenho dos sistemas de irrigação atualmente em operação em toda a região. Em outros países existem serviços públicos com funções permanentes de avaliar e recomendar medidas corretivas para melhorar o desempenho dos sistemas de irrigação. Esta função se justifica amplamente, mesmo financeiramente, porque ajudaria a reduzir custos dos produtores e incrementar a produtividade da água que utilizam. Por outro lado, poderia ajudar na definição de tarifas mais eqüitativas entre as diversas classes de usuários.

Referências Bibliográficas

ASAE Monograph No 3. 1980. Design and Operation of Farm Irrigation Systems -M.E. Jensen, Editor. American Society of Agricultural Engineers. 2950 Niles Road, P.O. Box 410. St Joseph, Michigan 49085. USA (fone 616 429 0300)

Burman, R.D. P.R. Nixon, J.L. Wright and W.O. Pruitt. Water Requirements in Jensen, M.E.(editor). 1980. ASAE Monograph No 3. Design and Operation of Farm Irrigation Systems.

CELPE. 1995. Informações gerais sobre consumo de energia em Pernambuco durante outubro de 1994. Informações sobre consumo de energia dos usuários de energia para irrigação durante o ano 1994. Companhia Energética de Pernambuco. Diretoria de Distribuição e Comercialização, Depto de Mercado.

CODEVASF/DNOCS. 1990. Atuação da CODEVASF e do DNOCS no Desenvolvimento da Irrigação no Nordeste. Versão preliminar. Secretaria Nacional de Irrigação (SENIR). 74p

CODEVASF. 1993. A CODEVASF na transformação do Semi-árido São Francisco. MIR, Secretaria de Irrigação. Brasília, D.F.

Espinoza, W. 1991. Manual de Produção de Tomate Industrial no Vale do São Francisco. IICA/CODEVASF. Brasília, D.F.

Mavignier Cavalcante França, Francisco, e José Aluísio Pereira. 1990. Análise Agroeconômica e Capacidade de Pagamento do Pequeno Irrigante do Nordeste. Secretaria Nacional de Irrigação-Banco do Nordeste do Brasil, Escritório de Estudos Econômicos do Nordeste. Fortaleza, Ceará.

Paulet, M. 1983. Relación Agua-Suelo-Planta. Requerimientos de Agua de las Plantas en Relación con el Clima y el Suelo para una Producción Optima. IICA Serie de Publicaciones Miscelaneas No. 425. Santo Domingo, República Dominicana.

Samani, Z.A. and G.H. Hargreaves. 1985. A Crop Water Evaluation Manual for Brazil. The International Irrigation Center. Department of Agricultural and Irrigation Engineering. Utah State University. Logan, Utah 84322. U.S.A.

Schwab, G.O., D.D. Fangmeier, W.J. Elliot, R.K. Frevert. 1993. Soil and Water Conservation Engineering. 4th Edition. John Wiley & Sons, Inc N.Y.

Custo de Energia Elétrica para Irrigação
Abril 26 de 1995

17

SUDENE/DRN. 1980. Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste do Brasil (PLURHINE). Síntese do Diagnóstico. Tomo I. Vol XIV.

SUDENE. 1989. Relatório Plurianual 1985/1989. Programa de Apoio ao Pequeno Produtor.

Quadro 1. Dimensionamento - Sistema de Irrigação por Aspersão

a. Demanda de água para projetar o sistema

Dados:				
ET med mes crit	mm	220.00		
ET max 1/	mm/dia	8.45	Q	0.0354 m ³ /s
Area irrig (A)	ha	16.00		560.424463 GPM
Efic Irrig (Ei)	%/100	0.70	Q = (mm/dia)*ha*(2.78*10 ⁻³)/	
Horas operacao	horas/dia	15.19	/(%/100*(horas/dia))	

Calculo rapido da vazao (Q):

b. Intervalo maximo permmissivel entre irrigacoes (I)

Dados:				
Cap campo (CC)*	g H ₂ O/g solo	0.25	Calculo do Intervalo (I):	
Coef Munch (CM)*	g H ₂ O/g solo	0.10	lamina irrig (Ln)	cm
Profu Efeti (D)	cm	60.00	tempo consum Ln (tc)	dias
Grav Esp Ap (da)	g/cm ³	1.40	tempo ate CC (Tcc)	dias
Tasa aplic max (In)	cm/hora	1.60	lam irrig tot (La)	cm
			temp irrig (t)/posi	horas
			Intervalo (I)	dias
				8.92 tc+Tcc+t

(cont...) ver notas ao final do Quadro

5.67 (CC-CM)*D*da*0.45
 6.71 (Ln/ETmax)*10
 2.00 segundo tipo solo
 8.10 Ln/Ei
 5.06 La/In
 8.92 tc+Tcc+t

Quadro 1. Dimensionamento - Sistema de Irrigação por Aspersão (cont...)

c. O sistema deverá ter capacidade para irrigar "n" (ha/dia) para completar A em I (dias):

Capacidade sistema 2/ (área irrig dia)	ha/dia	1.79	A/I	Dados aspersores:
	ha/dia	2.00	arredondando	Coeffic vazao 0.95
				diam boqui mm 6.35
				diam boqui mm 3.97

d. Delimitamento do sistema

Dados:	Procedimento:		Unid	5.79	6 arredondado	H-2
Vel vento	km/hora	6 No posicoes/dia*	Unid	3		
Pressao asp (Ha)	lib/plg ²	40 No posic/lateral 9/	Unid	3		
	kPa	275.79 Vazao por aspersor**	l/s	0.96	15.22	GPM
He 3/	m	28.16 Vazao teorica aspers	l/s	0.98	15.57	Equacao 2
Hrp 4/	m	0.6 Selecao do aspersor	l/s	0.90	14.27	Quadro 3
NPSH da bomba 5/	m	0.8 Vazao do lateral	l/s	14.4	228.25	GPM
Hj 6/	m	2 Verif diam cobert	m	31		Quadro 2
Hs 7/	m	1 Tempo muda lateral tm	horas	1	nota 10/	
Hm 8/	m	5 Tempo de operacao	horas/dia	21.19	(bxNpostlat+tmxNposdia)	
Esp posic main (Sm)	m	4.54 Calculo da variacao de pressao permmissivel por fricao,				
Esp aspersor (SI)	m	18 nas tubulacoes:				
No de asper/lateral	unidades	12 Dif pres permis lat	m	5.63167264	(0.20xHa)	
		16 Var permis por atrito	m	5.03167264	(0.2Ha-He)	

* Área por dia/área por posição ** $InxSmxSI*(1/360)$

(cont...) ver notas ao final do Quadro

Quadro 1. Dimensionamento - Sistema de Irrigação por Aspersão (cont...)

e. Cálculo da perda por atrito em diâmetros diferentes com as longitudinalidades da linha principal e laterais:

Diâmetro de fora	Perda por atrito-metros 11/		Main (Hf)	Dados tubulações 12/	
	Longit (m)--	Lat (HfxF)		Espessor(m)	Ks=
milímetros	76.2	12.41	189	1.3	0.4
polegadas	3		32.15		0.38
milímetros	101.6	2.97	7.69		1.9
polegadas	4				
milímetros	127	0.98	2.54		
polegadas	5				
milímetros	152.4	0.40	1.03		
polegadas	6				
Diam seleccionad 13/	polegadas	4	5		
Perdas por atrito	m	2.97	2.54		

(cont...) ver notas ao final do Quadro

Quadro 1. Dimensionamento - Sistema de Irrigação por Aspersão (cont...)

f. Carga hidráulica, vazão e potência	
Hn	m
Carga total (Ht)	31.54 (Ha+0.75Hf+0.6He+Hrp)
Vazão total 14/	42.08 (Hn+Hm+Hj+Hs)
Eficiência bomba	28.8
potência requerida	0.7
	16.97

- 1/ ASAE Monograph No 3, p 223, ETmax por dia em função de ET média mensal.
- 2/ Capacidade requerida para completar as hectares irrigadas (A) no intervalo (I) com a lâmina total (La)
- 3/ He, dif elevação máxima entre a conexão com a linha principal até o aspersor mais distante no lateral
- 4/ Hrp, altura do riser ou tubo de subida (trecho de tubo que sustenta o aspersor).
- 5/ NPSH, altura líquida de sucção positiva requerida para levar água até o olho da bomba
- 6/ Hj, diferença de elevação entre a bomba e a conexão da linha principal com o lateral (max)
- 7/ Hs, diferença de elevação entre a bomba e a fonte de água após a depressão por sucção
- 8/ Hm, perdas por atrito desde a linha de sucção até a linha principal (incluso), NPSH+Hf (principal)
- 9/ Número mais econômico de laterais em função do número de posições por dia
- 10/ tomando x horas para mudar de posição cada lateral - decisão a respeitar na operação
- 11/ $Hf = (Ks * L * Q^2) / D^5$; onde Ks = coeficiente de retardação de Scobey
 L = comprimento da tubulação (m); Q = vazão total Lit/seg; D = diâmetro interno da tubulação (mm).
 F = fator de correção de Hf para tubulações com saídas a intervalos iguais (somente laterais)
- 12/ Schwab et.al. 1993. Soil & Water Conservation Engineering. J Wiley. Ch 20
- 13/ diâmetro menor possível com perdas por atrito inferiores ao limite calculado
- 14/ Deve se procurar a bomba que pode elevar esta vazão a carga indicada com a maior eficiência

Quadro 2. Estimado da demanda de água para o cultivo de Tomate em Floresta, Pernambuco

Período	Datas	No dias		ETP mm/dia	Kc	ET parcial		ET Period		ET mes		Demanda	
		Total	Etapa			mm	mm	mm	mm	mm	mm		
Plantio Inic (1)	Mai 1	(1)		(2)	(3)	(4)							(5)
Fim (1), Inic (2)	Mai 22	22	22	4.90	0.6	64.71	64.71	64.71					
	Mai 31	9		4.90	0.9	39.71						104.42	77.81
Fim (2), Inic (3)	Jun 20	20	29	4.87	0.9	87.67	127.38	127.38					
	Jun 30	10		4.87	1.2	58.45						146.12	134.69
Fim (3), Inic (4)	Jul 22	22	32	5.07	1.2	133.81	192.26	192.26					
	Jul 31	9		5.07	0.925	42.20						176.00	163.02
Fim de (4)	Ago 13	13	22	5.96	0.925	71.69	113.89	113.89				71.69	69.38
Tomate						Dias ciclo= 105		Total		498.23	498.23	498.23	444.90

Etapa	% do ciclo	Dias ciclo=	dias por etapa	Kc
Etapa (1)	0.206	22	0.600	
Etapa (2)	0.279	29	0.900	
Etapa (3)	0.309	32	1.200	
Etapa (4)	0.206	22	0.925	
Total	1	105		

Nota: usou-se a metodologia de G.H. Hargreaves descrita por Paulet, M (1983). Informacoes basicas sobre o cultivo em Espinoza, W (1991). Se subdivide o ciclo de crescimento em 4 etapas em que a demanda seria diferente. A estes se aplicam coeficientes de consumo especificos e a taxa de ETP diaria correspondente. Pode-se conferir que: (4) = (1)*(2)*(3). A coluna (5) resulta de descontar a precipitacao confiavel do mes.

Quadro 2. Estimado da demanda de agua para o cultivo de Tomate em Floresta, Pernambuco (cont...)

b. Estimado da Evapotranspiracao Potencial pelo Metodo de Hargreaves

Estado:	Fonte: SUDENE DRN/HM										Dados:		
	Pernambuco		Precipit	Temp max	Temp min	Velocid	ETP	Precip	MAI	Vz	v*	V(2m)	medias mensais
Mes	Precipit	Temp max	Temp min	Velocid	ETP	Precip	MAI	Vz	v*	V(2m)	Fator Ci		
	mm	Graus	Graus	km/mes	mm	Confiav		m/s	m/s	m/s			
Estacao:	Floresta	Latitude graus:	8	minutos:	37	1	Longitude: 38-23	Elevecao: 325m					
jan	88.7	37.8	23.6	4603.8	214	50.28	0.23	1.72	0.0635	1.94	173.02		
fev	74.4	36.6	23.5	4208.5	183	42.87	0.23	1.74	0.0643	1.96	162.03		
mar	139.5	36.8	23.0	3481.8	200	76.59	0.38	1.30	0.0481	1.47	60.39		
abri	93.4	36.0	23.9	3442.8	168	52.71	0.31	1.33	0.0491	1.50	69.26		
maio	43.0	35.5	24.2	4306.0	152	26.60	0.18	1.61	0.0594	1.81	152.56		
junho	13.7	34.9	21.4	4417.3	146	11.43	0.08	1.70	0.0630	1.92	196.51		
julho	16.7	34.5	20.0	6163.6	157	12.98	0.08	2.30	0.0851	2.60	497.58		
agosto	2.3	36.3	20.3	6569.9	185	5.52	0.03	2.45	0.0907	2.77	637.25		
set	3.4	37.3	21.4	6880.3	200	6.09	0.03	2.65	0.0981	2.99	781.05		
out	6.2	38.5	23.4	6141.4	220	7.54	0.03	2.29	0.0848	2.59	518.14		
nov	10.8	38.7	24.6	5080.0	211	9.92	0.05	1.96	0.0725	2.21	309.02		
dezembro	66.6	38.6	24.0	5337.5	220	38.83	0.18	1.99	0.0737	2.25	289.98		
Total	558.7				2256	341.3666					38.47		

Latitude (XLR): -0.15038915

(cont...) ver notas ao final do Quadro

Quadro 2. Estimado da demanda de agua para o cultivo de Tomate em Floresta, Pernambuco (cont...)

c. Calculo da Radiação Extraterrestre, mm de evaporação (RMM). Complemento do Quadro 2.b									
Mes (radians)	No. dias	Declinac Radians	ES	Z	OM	RLD	L	RMM	Dados para o calculo de velo- cidades do vento
jan	31	-0.36560	0.97104	-0.05801	1.628837	952.6247	579.02	510.03	Longitude da rugosidade, Zo = 1E-05
fev	28	-0.23850	0.96136	-0.03652	1.607326	949.9996	579.37	459.12	Zo (m) =
mar	31	-0.04682	0.99653	-0.00710	1.577896	918.6996	579.46	491.49	Altura do anemometro, Z
abr	30	0.16070	1.01313	0.02456	1.546231	849.3038	579.43	439.73	Z (m) = 0.5
maio	31	0.32470	1.02625	0.05101	1.519766	771.0721	579.48	412.49	Altura para a qual se
junho	30	0.40170	1.03241	0.06437	1.506381	728.0156	580.42	376.29	deseja calcular a velocidade
julho	31	0.36990	1.02987	0.05876	1.512006	746.2521	580.91	398.23	do vento, Z
agosto	31	0.29600	1.01916	0.03644	1.534347	815.7712	580.34	435.76	Z (m) = 2
set	30	0.03995	1.00347	0.00606	1.584739	893.9594	579.76	462.59	
out	31	-0.16690	0.98693	-0.02553	1.596327	942.2372	578.88	504.59	
nov	30	-0.32910	0.97369	-0.05175	1.622571	953.7102	578.49	494.58	
dezembro	31	-0.40210	0.96812	-0.06444	1.635284	950.5611	578.69	509.21	

Notas:

ETP = $0.0023 \cdot RMM \cdot ((T_{max} + T_{min})/2 + 17.8) \cdot (T_{max} - T_{min})^{0.5}$ G.H Hargreaves, 1985.Precip Confiavel = $4.33 + 0.518 \cdot PM$ para $PM < 1000$; $-11.3 + 0.675 \cdot PM$ para $1000 < PM < 2000$ mm; Samani e Hargreaves (1985)

MAI = indice de umidade disponivel = Precip confiavel/ETP

Vz = velocidade do vento registrada pelo anemometro na altura "z" (conversao de km/mes a m/seg).

V* = velocidade de ircoao do vento, calculada com dados de Vz e equacao (1) do texto, e Zo selecionado.

V(2m) = velocidade do vento corrigida para 2m de altura com a equacao (1) do texto.

Fator Ci = $(1/100) \cdot \text{suma valores mensais de } V(0.2m) \wedge 3 \cdot (ETP - Precip)/ETP$ No dias do mes (FAO).

Quanto a radiação solar extraterrestre, RMM:

Os valores de RMM se calculam automaticamente em funcao da declinacao da terra (DEC), a relacao (distancia media mensal/distancia media anual), entre o sol e a terra (ES), que dependem da latitude da estacao. A temperatura media mensal intervem para converter a mm de evaporação.

Latitude em radians = XLR

Z = $-\text{TAN}(XLR) \cdot \text{TAN}(DEC)$; OM = $\text{ACOS}(Z)$ RLD = $916.732[\text{OM} \cdot \text{SIN}(XLR) \cdot \text{SIN}(DEC) + \text{COS}(XLR) \cdot \text{COS}(DEC) \cdot \text{SIN}(OM)]/ES$ L = $595.9 - (0.55 \cdot \text{TEMP MEDIA graus cent})$ = calor latente de vaporizacao

RMM = No dias mes * 10 * RLD/L

Quadro 3. Taxas de aplicação de água sugeridas para condições médias de solo, declividade e manejo.

Textura do solo e condições do perfil	Taxa máxima de aplicação de água (mm/h)			
	0% declividade		10% declividade	
	Com cobertura	Sem Cobertura	Com cobertura	Sem Cobertura
Franco arenoso ligeiro textura uniforme até 2m	32	20	19	11
Franco arenoso ligeiro sobre subsolos mais compactos	25	15	13	8
Franco siltoso textura uniforme até 2m	16	10	10	6
Franco siltoso sobre subsolo mais compacto	10	6	5	3
Textura argilosa ou franco-argilosa	5	3	3	2

Fonte: Schawb, et.al 1993 p.430

Quadro 4. Características dos aspersores informadas pelo fabricante

Pressão na Boquilha [kPa(psi)]	Diâmetro das Boquilhas [mm(poleg)]					
	3.97 X 3.18 (5/32 X 1/8)		4.76 X 3.97 (3/16 x 5/32)		6.35 X 3.97 (1/4 X 5/32)	
	Dia.*	l/s	Dia.	l/s	Dia.	l/s
207(30)	25	0.37	26	0.52	28	0.76
276(40)	27	0.43	28	0.61	31	0.90
345(50)	28	0.47	30	0.68	34	1.00
414(60)	30	0.52	31	0.74	36	1.10

*) Diâmetro de cobertura em metros

Nota: 1 l/s = 15.85 gpm e 1m = 3.28 pés. Pressões à esquerda e embaixo da linha pontuada recomendadas para melhor distribuição da água.

Quadro 5. Espaçamento máximo para aspersores de baixa e média pressão^a

Velocidade do Vento (km/h)	Espaçamento Lateral em Percentagem do Diâmetro de Cobertura	
	S _l , No Sentido lateral	S _p , No Sentido da linha principal
0	50	65
=<6	45	60
7-12	40	50
=>13	30	40

^a Somente para laterais perpendiculares à direção do vento.

Quadro 6. Fator F de correção para perdas por atrito em tubulação alumínio com saídas múltiplas.

Número de Aspersores	Fator de Correção, F			
	Primeiro Aspersor Um intervalo de aspersor completo até a linha principal		Primeiro Aspersor ½ intervalo de aspersor até a linha principal	
	m = 1.9 ^a	m = 1.75 ^b	m = 1.9 ^a	m = 1.75 ^b
1	1.00	1.00	1.00	1.00
2	0.63	0.65	0.51	0.53
4	0.48	0.50	0.41	0.43
6	0.43	0.45	0.38	0.40
8	0.41	0.43	0.37	0.39
12	0.39	0.42	0.36	0.38
16	0.38	0.40	0.36	0.37
20	0.37	0.39	0.35	0.37
30	0.36	0.36	0.35	0.37

^aExponente m = 1.9 para Q, sistemas de aspersão

^bExponente m = 1.75 para Q, sistemas de gotejamento

Quadro 7. Consumo de Energia para Irrigacao

Variaveis	Unid	Dado	Constantes	Unid	Dado
a. Dados basicos					
Vazao(Q)	m3/s	0.02880	fator conv	m3/USgal	0.00379
	pe3/s	1.01826	fator conv	pe3/USgal	0.13400
	gpm	455.93668	densidade, r	llb/pe3	62.40000
			fator conv	m/pe	0.30480
efic bomba	%/100	0.70000	fator conv	kw/HP	0.74570
efic motor	%/100	0.91250	fator conv	(lb-pe/s)/HP	550
			tasa de cambio	R\$/US\$	0.84
b. Requerimentos de Agua Período de Cultivo					
Area Irrigacao	ha	16.00	Eficiencias de Irrigacao (%/100)		
Dema ETp, med	mm	498.23	Operacao	Variacao	Dado
(do Quadro 2)					
			Conducao	0.5 a 1.0	1.00
			Distribui	0.6 a 1.0	1.00
			Aplicacao	0.5 a 0.95	0.70
Efic irrig tot	%/100	0.700			
Demanda total	mm	711.75			
Demanda total	m3	113,880.67			
Tempo	horas	1098.39			
Demanda por etapa do cultivo (do Quadro 2)					
dias/etapa	ET (mm)	Deman (mm)	Deman (m3)	Tempo (horas)	Horas/dia
22	65	92.44	14790.42	142.65	6.59
29	127	181.97	29114.89	280.81	9.59
32	192	274.65	43944.22	423.84	13.06
22	114	162.69	26031.15	251.07	11.60
105	498.23	711.75	113880.67	1098.39	10.46
					Exceso
					Port 105

Quadro 7 (cont...)

c. Estacao de bombeamento e consumo de energia para:

0.0286 m3/s 0.7 1098.39 horas - R\$/US\$= 0.84

Carga Hidraul		Pot. entrada		Demanda		Consumo por Etapa de Crescimento (Estacao seca) - inclui 23 as 5 horas operac		Etapa 2		Etapa 3		Etapa 4		Total		Sem 105	
Total Ht	HP agua	Pot. saída	HP	kW Brake	Pot. entrada	kW	kW	HP	US\$/ha	Kw-hora	US\$/ha	US\$/ha	US\$/ha	US\$/ha	US\$/ha	US\$/ha	(1)
metros	HP	HP	HP	kW	HP	kW	kW	HP	US\$/ha	Kw-hora	US\$/ha	US\$/ha	US\$/ha	US\$/ha	US\$/ha	US\$/ha	US\$/ha
5	1.90	2.02	2.21	2.21	2.21	2.21	2.21	2.21	0.48	315.61	621.28	1.53	937.72	2.82	555.48	2430.10	6.39
15	5.69	6.08	6.64	6.64	6.64	6.64	6.64	6.64	1.44	946.84	1863.84	4.58	2813.17	8.46	1666.43	7290.29	19.18
25	9.48	10.09	11.06	11.06	11.06	11.06	11.06	11.06	2.40	1578.06	3106.41	7.84	4688.62	14.11	2777.39	12150.48	31.97
35	13.27	14.13	15.49	15.49	15.49	15.49	15.49	15.49	3.36	2209.29	4348.97	10.70	6584.07	19.75	3888.34	17010.67	44.76
45	17.06	18.17	19.91	19.91	19.91	19.91	19.91	19.91	4.32	2840.51	5591.53	13.75	8439.52	25.39	4999.30	21870.86	57.55
55	20.85	22.21	24.34	24.34	24.34	24.34	24.34	24.34	5.28	3471.73	6834.10	16.61	10314.96	31.03	6110.25	26731.06	70.34
65	24.64	26.24	28.76	28.76	28.76	28.76	28.76	28.76	6.23	4102.96	8076.66	19.87	12190.41	36.68	7221.21	31591.24	83.13
75	28.43	30.28	33.19	33.19	33.19	33.19	33.19	33.19	7.19	4734.18	9319.22	22.92	14065.86	42.32	8332.16	36451.43	96.92
85	32.22	34.32	37.61	37.61	37.61	37.61	37.61	37.61	8.15	5365.41	10561.78	25.98	15941.31	47.96	9443.12	41311.62	106.71
95	36.01	38.36	42.04	42.04	42.04	42.04	42.04	42.04	9.11	5996.63	11804.35	29.04	17816.75	53.60	10554.07	46171.81	121.50
105	39.80	42.40	46.46	46.46	46.46	46.46	46.46	46.46	10.07	6627.86	13046.91	32.09	19692.20	59.25	11665.03	51032.00	134.29
115	43.59	46.43	50.89	50.89	50.89	50.89	50.89	50.89	11.03	7259.08	14289.47	35.15	21567.65	64.89	12775.98	55992.19	147.08
125	47.38	50.47	55.31	55.31	55.31	55.31	55.31	55.31	11.99	7890.30	15532.04	38.21	23443.10	70.53	13886.94	60752.38	159.86
135	51.17	54.51	59.74	59.74	59.74	59.74	59.74	59.74	12.95	8521.53	16774.80	41.26	25318.55	76.17	14997.89	65612.57	172.65
145	54.96	58.55	64.16	64.16	64.16	64.16	64.16	64.16	13.91	9152.75	18017.16	44.32	27193.99	81.82	16108.85	70472.76	185.44
155	58.75	62.58	68.59	68.59	68.59	68.59	68.59	68.59	14.87	9783.98	19259.72	47.38	29069.44	87.48	17219.81	75332.95	198.23
165	62.54	66.62	73.01	73.01	73.01	73.01	73.01	73.01	15.83	10415.20	20502.29	50.43	30944.89	93.10	18330.76	80193.14	211.02
175	66.33	70.68	77.43	77.43	77.43	77.43	77.43	77.43	16.79	11046.43	21744.85	53.49	32820.34	98.74	19441.72	85053.33	223.81
185	70.12	74.70	81.86	81.86	81.86	81.86	81.86	81.86	17.75	11677.65	22987.41	56.55	34695.79	104.39	20552.67	89913.52	236.60
195	73.91	78.73	86.28	86.28	86.28	86.28	86.28	86.28	23.36	12308.86	24229.98	60.31	36571.23	110.02	21663.83	94773.71	249.49
205	77.70	82.77	90.71	90.71	90.71	90.71	90.71	90.71	24.56	12940.10	25472.54	62.24	38446.88	115.65	22774.58	99633.90	262.38

Notas:

HPagua = THD*Q/76.06 [(m³m³/seg)/fator de unidades] HPbrake = HPagua/eficiencia da bomba

kWplanta = kWbrake/eficiencia do motor kW-hora = kWplanta*(horas operacao motor)

kWbrake = HPbrake*0.7457 kW/HP

O consumo de energia tem sido calculado por cada etapa do ciclo de cultivo usando os valores do item "b" deste Quadro e as tarifas aplicaveis do

Quadro 8, assim por exemplo, para etapa 1, 45m Ht (usuario tipo B):

$$\{[(0.59/6.59)*142.65]*19.91*0.072429 + [(6/6.59)*142.65]*19.91*0.019556\}/16ha = 4.32 \text{ US\$/ha}$$

(a primeira parte da equacao corresponde com as horas de bombeamento excedentes a 6 em que se aplica a tarifa convencional, e a segunda

corresponde a 6 horas de bombeamento em que se aplica a tarifa da portaria 105)

A partir de kWbrake > 75 kW, se aplica a tarifa para usuario tipo A incluindo demanda e consumo.

(1) A operacao e fora de ponta mas tambem fora do periodo das 23 as 5 horas

Preco medio

US\$/KW-hr

Preco medio

US\$/KW-hr

Quadro 8. Tarifas de cobro de energia para uso rural. Portaria MME 397 de abril de 1994 e Portaria MME 470 de 30 de maio de 1994.

Tipo de consumidor ou tipo de tarifa	consumo		demanda		R\$/US\$=	
	R\$/kWh	US\$/kWh	R\$/kW	US\$/kW	deman/ultrapas R\$/kW	US\$/kW
Tipo A						
Maio a novembro (seca)						
Azul fora de ponta	0.048150	0.057321	3.29	3.92		0.84
Azul Ponta	0.027100	0.032262	2.90	3.45	9.65	11.49
Azul Portaria 105	0.057000	0.067857	8.69	10.35	28.97	34.49
Verde Fora de Ponta	0.003011	0.003585				
Verde Ponta	0.027100	0.032262	2.90	3.45	9.65	11.49
Verde Portaria 105	0.257930	0.307060	2.90	3.45	9.65	11.49
	0.003011	0.003585				
Dezembro a abril (umido)						
Azul fora de ponta	0.023950	0.028512	2.90	3.45	9.65	11.49
Azul Ponta	0.052750	0.062798	8.69	10.35	28.97	34.49
Azul Portaria 105	0.002661	0.003168				
Verde Fora de Ponta	0.023950	0.028512	2.90	3.45	9.65	11.49
Verde Ponta	0.253700	0.302024	2.90	3.45	9.65	11.49
Verde Portaria 105	0.002661	0.003168				
Tipo B						
Portaria 105	0.060840	0.072429				
	0.016427	0.019556				

Fonte: CELPE, Pernambuco

Quadro 9. Efeito da variacao da eficiencia de irrigacao no consumo de energia-outras condicoes iguais ao Quadro 7

		Conducao		0.90		0.80		0.80	
		Distribui		0.90		0.80		0.80	
		Aplicacao		0.70		0.70		0.60	
		Efic tot		0.63		0.57		0.38	
Demanda		126534.1		140593.4		177938.5		207595.0	
planta*		1220.4		1356.0		1716.2		2002.3	
Total Ht	metros	kW	kW-hora	US\$/ha	kW-hora	US\$/ha	kW-hora	US\$/ha	US\$/1000m3
5	2.21	2700.11	12.22	3000.12	13.58	3797.02	17.19	4429.86	20.05
15	6.64	8100.32	36.67	9000.35	40.74	11391.07	51.56	13289.58	60.16
25	11.06	13500.53	61.11	15000.59	67.90	18985.12	85.94	22149.30	100.27
35	15.49	18900.74	85.56	21000.82	95.07	26579.17	120.32	31009.03	140.37
45	19.91	24300.95	110.01	27001.06	122.23	34173.21	154.69	39868.75	180.48
55	24.34	29701.16	134.45	33001.29	149.39	41767.26	189.07	48728.47	220.58
65	28.76	35101.37	158.90	39001.53	176.55	49361.31	223.45	57588.19	260.69
75	33.19	40501.59	183.34	45001.76	203.71	56955.35	257.82	66447.91	300.80
85	37.61	45901.80	207.79	51002.00	230.88	64549.40	292.20	75307.64	340.90
95	42.04	51302.01	232.23	57002.23	258.04	72143.45	326.58	84167.36	381.01
105	46.46	56702.22	256.68	63002.47	285.20	79737.50	360.95	93027.08	421.11
115	50.89	62102.43	281.12	69002.70	312.36	87331.54	395.33	101886.80	461.22
125	55.31	67502.64	305.57	75002.94	339.52	94925.59	429.71	110746.52	501.33
135	59.74	72902.85	330.02	81003.17	366.68	102519.64	464.08	119606.24	541.43
145	64.16	78303.07	354.46	87003.41	393.85	110113.69	498.46	128465.97	581.54
155	68.59	83703.28	378.91	93003.64	421.01	117707.73	532.84	137325.69	621.64
165	73.01	89103.49	403.35	99003.88	448.17	125301.78	567.21	146185.41	661.75
175	77.43	94503.70	427.80	105004.11	475.33	132895.83	601.59	155045.13	701.86
185	81.86	99903.91	452.24	111004.35	502.49	140489.87	635.97	163904.85	741.96
195	86.28	105304.12	230.95	117004.58	254.54	148083.92	317.21	172764.58	366.98
205	90.71	110704.33	242.79	123004.82	267.60	155677.97	333.48	181624.30	385.79

Notas:

As eficiencias de conducao variam de tubulacao ate canal aberto -ver explicacoes no texto do documento.

As eficiencias de distribuicao incluem distribuicao direta, com tanques intermediarios (EB1 e EB2).

As eficiencias de aplicacao passam somente de aspersao para irrigacao por gravidade.

Os custos da irrigacao foram calculados considerando tarifas fora de ponta sem incluir horario dentro da Portaria 105.

*Planta ou Estacao de Bombeamento

(1) (US\$/ha)*hectares totais/(m3 totais/1.000), tem que ser calculado assim devido as diferentes tarifas envolvidas na determinacao de US\$/ha. Os custos de energia por 1.000 m3 de agua somente variam em funcao da carga hidraulica.

Quadro 10. Custos de producao de Tomate - Plantio direto - Preços de 1990

Discriminacao	Unidade	Quantidade	Valor Unit CR\$	Valor Total CR\$	US\$	
Insumos				CR\$/US\$=	55	
Semente	kg	3	1680.00	5040.00	91.64	
Formula 6-24-12	kg	700	17.24	12068.00	219.42	
Ureia	kg	150	13.47	2020.50	36.74	
Ambush	lit	1	3840.71	3840.71	69.83	
Gusathion	lit	4	700.00	2800.00	50.91	
Cartap	kg	16	891.18	14258.88	259.25	
Microzol	lit	10	80.00	800.00	14.55	
Ridomil+Mancozeb	kg	1	1170.10	1170.10	21.27	
Coprantol	lit	6	209.28	1255.68	22.83	
Dithane	kg	9	370.86	3337.74	60.69	
Daconil	kg	3	910.00	2730.00	49.64	
Espalhante adesivo	lit	3	135.00	405.00	7.36	
Sencor po	kg	0.5	2880.00	1440.00	26.18	
Trifluralina	lit	1.5	500.00	750.00	13.64	
Agua (energia)						
Sub total				51916.61	943.94	
Servicos						
Preparacao solo	H/T	9	650.00	5850.00	106.36	
Aplic Herbicida	H/T	0.5	650.00	325.00	5.91	
Plantio/Adub	H/T	2	650.00	1300.00	23.64	
Adub cobertura	D/H, m.o.	2	122.48	244.96	4.45	
Irigacao	D/H, m.o.	20	122.48	2449.80	44.54	
Abacelamento	DTA	6	244.96	1469.76	26.72	
Fitosanitario	D/H, m.o.	9	650.00	5850.00	106.36	
Colheita	caixa, m.o.	1750	6.21	10867.50	197.59	
Transporte Interno	caixa, m.o.	1750	1.20	2100.00	38.18	
Incorporacao ao solo	H/T	6	650.00	3900.00	70.91	
Sub total		8573.6		34356.82	624.67	
Outras despesas						
Arrendamento	BTN/ha*ano	59.7	29.54	507.32	9.22	
Assist Tecnica	%/100custelo	0.02		1725.47	31.37	
Proagro	%/100custelo	0.03		2588.20	47.06	
Enc sociais	Total m.o.	21512.06	Salari mens	3674.4	Num salar ms	5.85
13 salario	%/100 m.o.	0.0833		1791.95	32.58	
ferias 8.33+33.33%	%/100 m.o.	0.1110		2387.84	43.42	
FGTS 8.33+40%	%/100 m.o.	0.1166		2508.31	45.61	
repouso remunerado	%/100 m.o.	0.2143		4610.03	83.82	
aviso prev-% sal mes*num sal mes		0.25	918.6	5378.02	97.78	
Depreciacao	Val inic=	210000	Val final=	21000	Vida util=	10
Infraestrutura	{[(VI-VF)/VU]/365}*105			5436.99	98.85	
Manutencao invest	% VI/365*105	0.025		1510.27	27.46	
Juros de custelo				3577.37	65.04	
Transporte pessoal	(123pessoas*Cr\$40)			4920.00	89.45	
Sub total				36941.77	671.67	
Total Geral				123215.1964	2240.28	

Fonte: W Espinoza (1991)

Quadro 11. Produtividades das principais culturas em áreas irrigadas do Nordeste - 1987 - kg/ha

Area irri (ha)	Caico, RN	Limoeiro		Baixo Jaguaribe, CE		Massangano	Sume II		M Gerais	Mandacar	Coelho	Nilo		Renda Bru
		Ceara	Paraiba	MG	Paraiba		Coelho	Dez 1987				Maxima 1/		
Area/produtor												Cz\$/kg	US\$/kg	US\$
Feijao de corda		714	620	1067	250	3800	382	753	50.65	0.70	748.01			
Feijao mulati		600	557	666	515	1555	847	42.58	0.59	916.43				
Milho	440	5034	3129	2052	2785	2242	7	15.40	0.21	477.88				
Arroz	984	8957	9247	10750	29716	2785	24994	25.40	0.35	1769.74				
Banana								8.80	0.12	1126.28				
Limao								9.30	0.13	1383.74				
Tomate indust								4.20	0.06	1727.44				
Algodao								48.00	0.66	1476.21				
Cebola								26.71	0.37	4128.70				
Melao								6.80	0.09	1306.45				
Melancia								4.38	0.06	662.43				

1/ Refere-se ao produto do preco maximo pagado nessas areas pela produtividade maxima obtida entre elas.

Fonte: BNB.ETENE (1990). Analise Agroeconomica e Capacidade de Pagamento do Pequeno Irrigante do Nordeste. Francisco Mavignier Franca e Jose Aluisio Pereira.

Quadro 12. Produtividades das principais culturas em áreas irrigadas do Nordeste - 1987 - kg/ha. Preços de fevereiro de 1995

Area/produzidor	Limoeiro		Baixo Jaguaribe, CE		Massangano		Surme II Gorutuba		Nilo Coelho		Preços fev 1995		Renda Bru		
	Caico, RN	Ceara	48.9	1.63	200	103	3800	382	6.72	7	6.5	R\$/kg	US\$/kg	Maxima 1/	US\$
Area/produzidor	314	954	48.9	1.63	200	103	3800	382	6.72	7	6.5				
Feijao de corda		714	620		1067	250						0.63	0.75	800.25	
Feijao mulati		600	557		666	515	1555					0.73	0.87	1351.37	
Milho	440	5034	3129		2052		2785					0.14	0.17	373.67	
Arroz	984	5034	3129		2052							0.16	0.19	958.86	
Banana	8957		9247									0.37	0.44	4073.08	
Limeao		4653	10750									0.34	0.40	4351.19	
Tomate indust						10248		29716		24994		0.04	0.05	1415.05	
Algodao						837	2222					-	-	-	
Cebola								11168				0.40	0.48	5318.10	
Melao								13881				0.18	0.21	2974.50	
Melancia										10927		0.14	0.17	1821.17	

1/ Refere-se ao produto do preço máximo pago nessas áreas pela produtividade máxima obtida entre elas.

Fonte: BNB.ETENE (1990). Análise Agroeconômica e Capacidade de Pagamento do Pequeno Irrigante do

Nordeste. Francisco Mavignier Franca e José Aluísio Pereira.

Preços de 1995 fornecidos pela EMATER a Benjamim Souto Nobrega, Especialista em Comercialização - IICA/SUDENE

Figura 1. Lay-Out do campo de 16ha

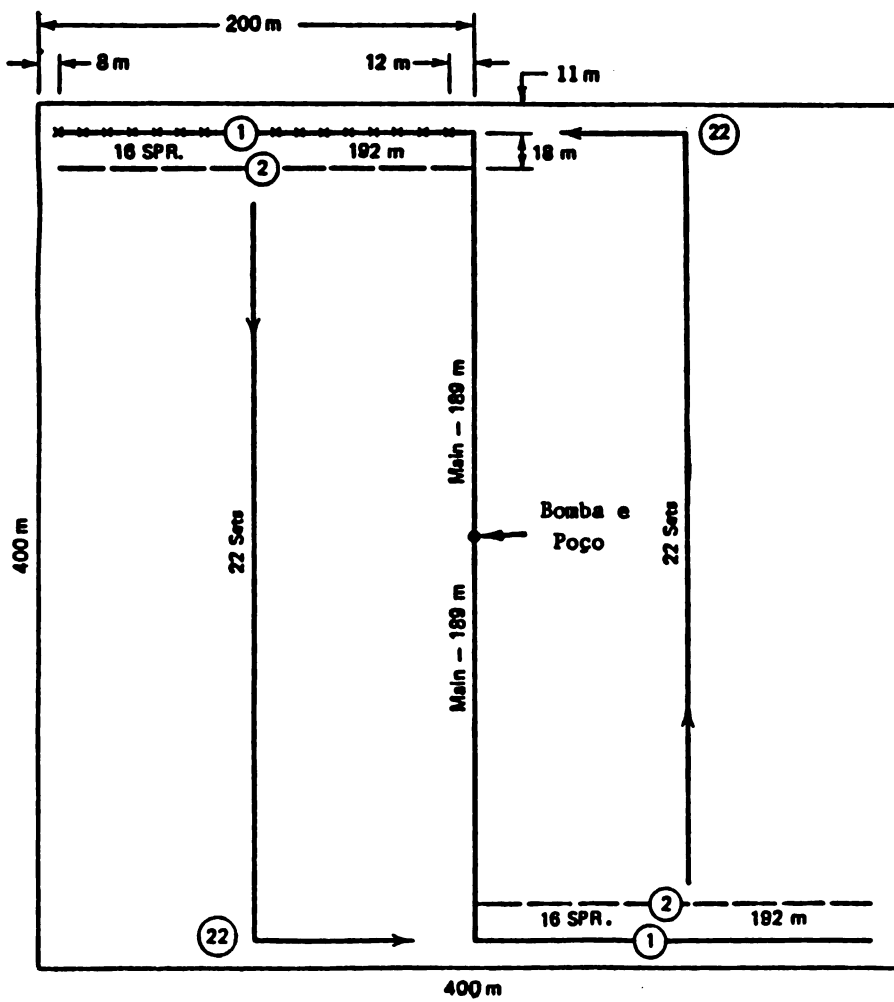


FIGURA 2. Lay-out do projeto de irrigação localizada a 70m de diferença do nível da bomba.

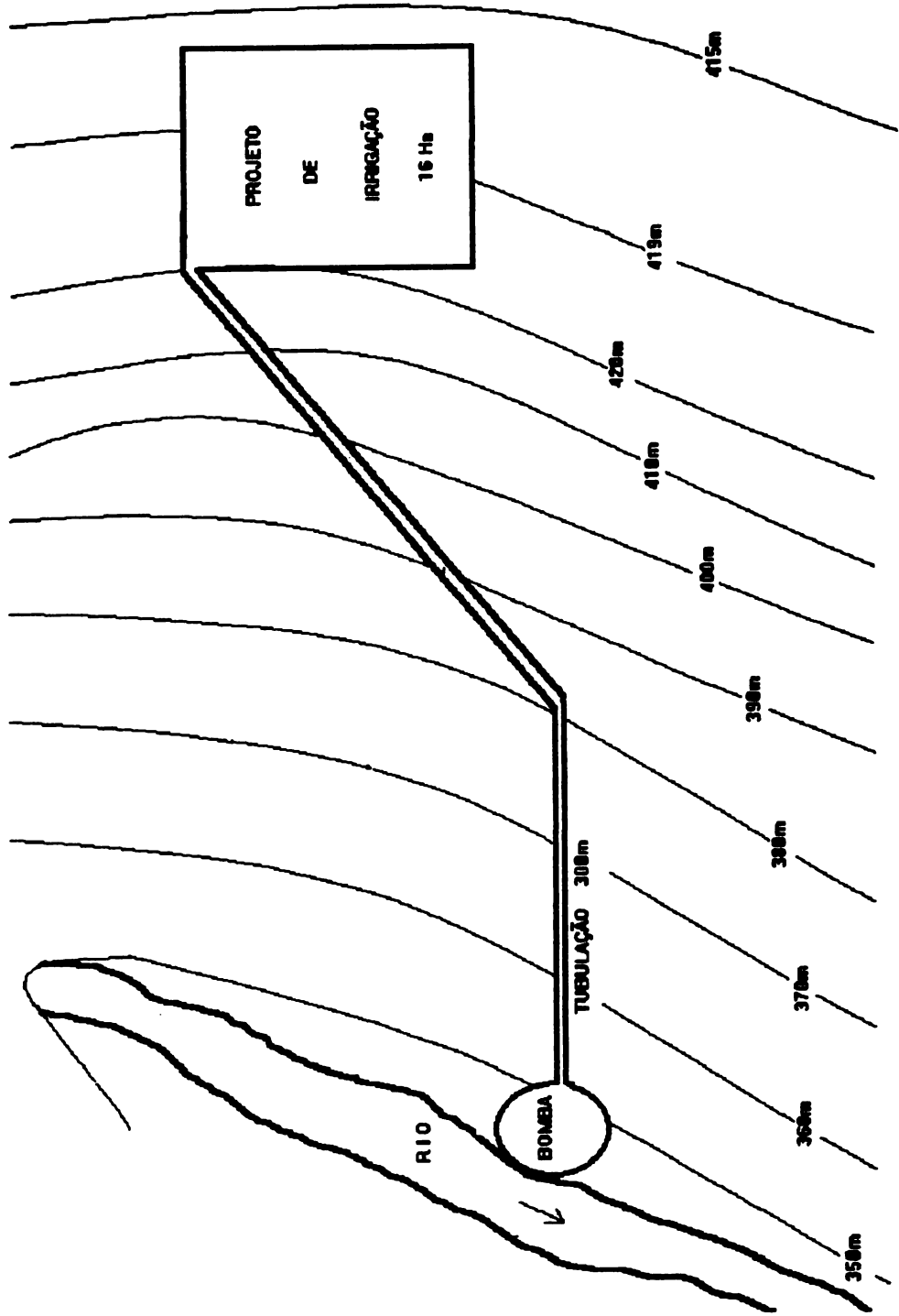


Figura 3. Custos de Energia Prod Tomate
funcao da eficiencia de irrigacao (Ei)

Tarifas convencionais fora de ponta

Area 16 ha

Vazao 28.8 l/s

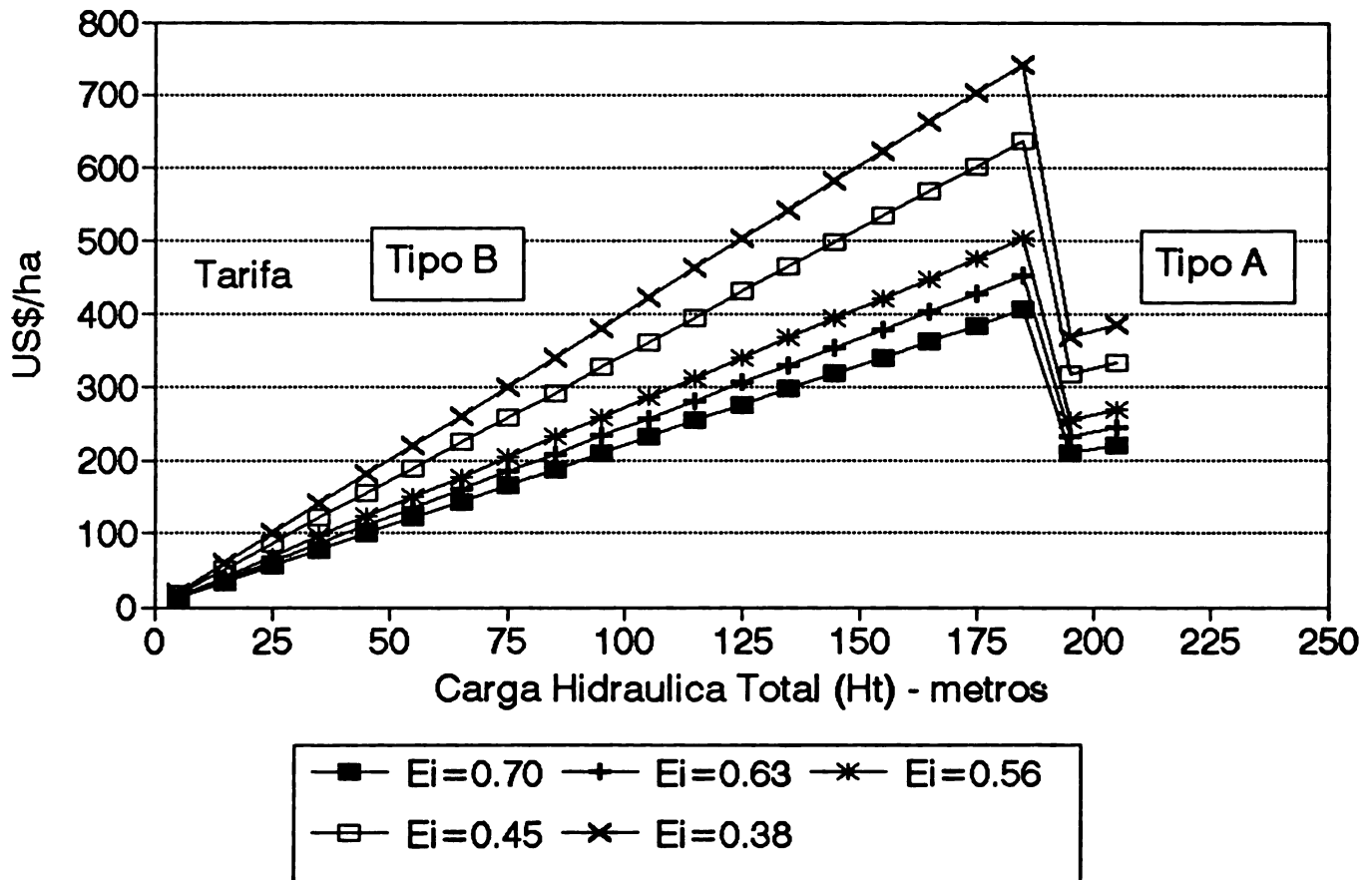
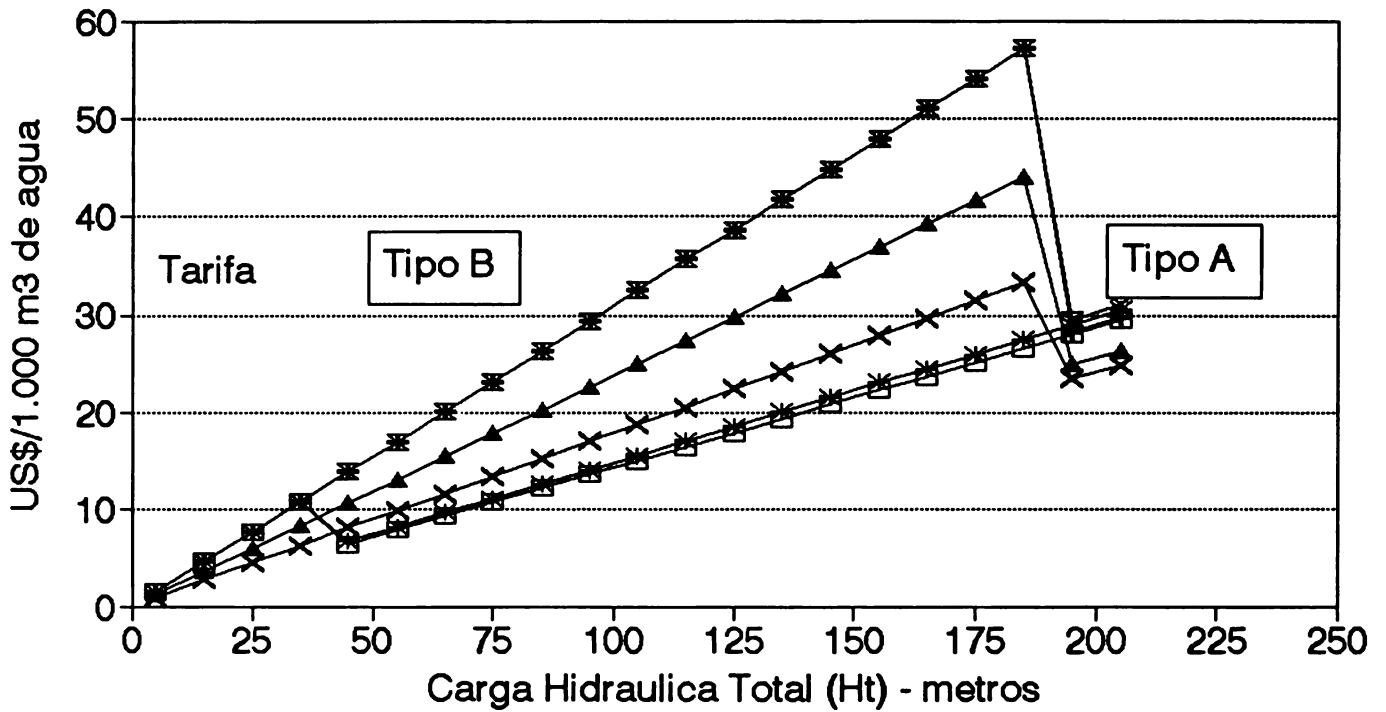


Figura 6. Custos de Energia Prod Tomate
funcao (Ht, Ei, Q)



Nota: para $Q=150 \text{ l/s}$, as tarifas sao tipo A a partir de $H_t=45 \text{ m}$
105 indica aplicacao de tarifas de 23:00 as 5:00 horas

---^*	$E_i=0.70, Q=28.8 \text{ l/s}$	$\text{---}\blacktriangle$	$E_i=0.38, Q=28.8 \text{ l/s}$	$\text{---}\blacksquare$	$E_i=0.70, Q=150 \text{ l/s}$
$\text{---}\diamond$	$E_i=0.38, Q=150 \text{ l/s}$	$\text{---}\times$	$E_i=0.70, Q=28.8 \text{ l/s}$	$\text{---}\blacktriangle$	$E_i=0.38, Q=28.8 \text{ l/s}$

