

HÁ NECESSIDADE DE MOLINHOS DE VENTO NOS PAÍSES MENOS DESENVOLVIDOS?

Para o aldeão Indu, para o homem comum em qualquer dos países menos desenvolvidos, o progresso depende em controlar mais energia do que ele possui no momento presente. Suas fontes de energia consistem atualmente em pouco mais do que seus próprios músculos e os de sua família. Se ele tem acesso a bois ou outros animais de trabalho, ele é afortunado, porém os animais não podem proporcionar uma saída para a população em geral em países de pouca área. O número de bois que podem estar disponíveis é limitado pela área de terra disponível para alimentá-los. Aumentar o tamanho da família também não é uma solução satisfatória. A energia produzida pelo músculo humano é tão pouca que usar o homem como fonte de energia é uma situação errônea economicamente mesmo na Índia. De acordo com um técnico, um homem pode produzir em torno de 150 kWh/ano de trabalho muscular. Isto vale \$6,00 dólares ao preço de 4 centavos por kWh que é o custo para o consumidor de energia elétrica no Havai.

Parece muito pouco provável que combustíveis extraídos do petróleo e da eletricidade gerada pela usina central possam ser produzidos em quantidade suficiente, levados a cada vila, cada residência, cada poço, em todos os campos a um custo que possa ser suportado pelo aldeão ou pelo país. Em muitos países o petróleo e o carvão precisam ser importados, por esta razão a utilização dos mesmos deve ser limitada na produção de alimentos, aquecimento e refrigeração, e para outros bens de consumo. As outras alternativas são a utilização de recursos locais disponíveis para produzir energia: geralmente o sol, o vento, a lenha e o estrume.

Neste trabalho consideramos a energia do vento, restringindo à realidade da engenharia e da economia, contra os cenários das necessidades da área rural nos países menos desenvolvidos. Supõe-se que a razão pela qual os moinhos de vento não são mais usados atualmente nos países menos desenvolvidos devido simplesmente à falta de conhecimentos técnicos e precedentes. O grande problema é que para cada instalação são necessários análises e decisões individuais.

Hoje, são conhecidos tres tipos comuns de moinhos de vento (Fig. 1): o tipo "Holandes" com velas amarradas a braços radiais, o tipo americano, catavento de múltiplas pás com muitos elementos radiais rígidos e a "hélice" com 2 ou 3 (algumas vezes mais) lâminas de secção aerófila. Durante a longa história dos moinhos de vento, muitos outros tipos foram concebidos e testados, e algumas vezes usados por longos períodos. O inventor de novos tipos de moinhos de vento fica portanto avisado de que o produto final de seu trabalho já está provavelmente registrado. A eficiência aerodinâmica e também a economia dos materiais usados parece ser menor para todos os outros tipos do que para a hélice simples. Entretanto a eficiência sozinha não tem muito valor quando o combustível é de graça e a economia de material necessário pode ser compensada pela simplicidade. Um desenho que é barato e simples pode ser útil em tamanhos pequenos mesmo se for ineficiente e necessite de muito material. O rotor Savonius (fig. 1d) parece ser um exemplo indicado. Em países desenvolvidos é usado em ventiladores e em condições de países menos desenvolvidos parece ter futuro para bombear pequenas quantidades de água.

ONDE PODEM SER USADOS OS MOINHOS DE VENTO?

Os lugares mais adequados para sua instalação são em:

- (1) locais que ventam muito
- (2) locais que estejam longe da estação central de força.
- (3) locais que sejam de difícil acesso para reabastecimento e
- (4) locais que possam fazer bom uso de uma quantidade modesta de força - de algumas centenas de watts para alguns kilowatts. Se for necessário uma grande quantidade de força, as instalações do moinho de vento para mais de 1000 kw tem sido construídas, mas significam grandes projetos de engenharia. Elas podem existir como produtoras de energia para acumuladores elétricos, mas isto é outro assunto.⁴

Estamos tratando aqui de energia para uma unidade familiar ou empresa, um grupo de famílias ou uma comunidade. As necessidades de energia para vários tipos de cargas são fornecidas na Tabela 1.

Os moinhos de vento em uso hoje em dia nos Estados Unidos continental, estão na maioria (1) bombeando água para o gado em áreas rurais isoladas, ou (2) gerando eletricidade para carregar baterias em estações meteorológicas, guardas florestais, etc., em áreas montanhosas remotas. Ao contrário das máquinas à óleo e à gasolina, que devem ser reabastecidas, os moinhos de vento podem facilmente funcionar sozinhos.

Adotar o sistema em ilhas parece especialmente apropriado. Em geral o vento é forte, a estação de energia central

não existe ou é dispendiosa, transporte de combustível é caro. Além do mais, a ecologia em ilha é sensível e limitada, e o poder do vento é não-poluente por natureza. Apesar disto, os moinhos de vento não tem sido usados em ilhas exceto em poucos casos. O Instituto Brace de Pesquisa da Universidade McGill⁵ desenvolveu um tipo de hélice bastante grande (10 kw) tipo da unidade⁶⁻⁸ para bombeamento de água para irrigação e instalou vários em ilhas do Caribe. Para elevar pequenas quantidades de água salgada para as destilarias solares, Brace introduziu o rotor Savonious, novamente nas Índias Ocidentais. Algumas ilhas da Dinamarca tem usado eletricidade gerada por moinhos de vento há anos.⁴ Um grande moinho de vento gerador de eletricidade (70 kw) está em funcionamento por algum tempo em uma ilha próxima à Taiwan (ver Apêndice A). Vários tipos de moinhos de vento são usados nas ilhas do Mar Egeu, há muitos anos.¹⁰

Outra aplicação natural de moinhos de vento é para drenagem costeira ou de estuários.

O vento é frequentemente forte e estável, a elevação não é grande e em geral os lugares são isolados. Moinhos de vento individuais não precisam ser grandes. Grandes regiões da Holanda foram recuperadas do mar através de moinhos de vento com capacidade abaixo de 2kw.

Em muitas regiões nos países menos desenvolvidos a água subterrânea existe para ser bombeada e em algumas destas áreas o vento é o suficiente para fazer funcionar moinhos de vento para bombeamento de água.^{4,10,11} Na América do Sul pare-

ce que há bastante bombeamento de água neste sentido. De acordo com relatórios existem meia-dúzia de fábricas na América do Sul e o fabricante que lidera nos Estados Unidos na fabricação de bombas de água movidas por cataventos com múltiplas pás transferiu sua produção à uma firma Argentina. Pelo menos foi feita uma instalação bem sucedida na África Ocidental.¹² Um programa para introduzir moinhos de vento foi posto em prática no Vietnam na década de 60, embora sem muito sucesso. Moinhos de vento são usados na Tailândia.

Os lugares onde não se deve usar moinhos de vento são (1) lugares com vento insuficiente (ver abaixo argumentação quantitativa) (2) lugares próximos à uma estação central distribuição de energia elétrica, e também (3) lugares que podem ser supridos com gasolina ou óleo diesel sem encargos excessivos no transporte ou taxas de importação. (Se um país não é um produtor de combustíveis de petróleo, existe sempre naturalmente a possibilidade de interrupção da importação, devido a guerras, crises de divisas externas, etc. A energia do vento deve ter um certo valor neste sentido embora não seria econômico num mundo livre e sem crises. A geração de energia elétrica produzida pelo vento foi bastante desenvolvida na Dinamarca, parcialmente como uma consequência da interrupção das importações de petróleo que aconteceu por duas vezes neste século.)

MOINHOS DE VENTO VERSUS MÁQUINAS DE COMBUSTÍVEL LÍQUIDO OU BOMBAS ELÉTRICAS.

Máquinas movidas à gasolina ou óleo diesel são mais

baratas do que os moinhos de vento de mesma capacidade e as economias de combustível em geral não compensam a diferença de custo de capital a não ser que o combustível é muito caro. A compra de uma bomba elétrica, se a estação de energia central estiver à disposição para operá-la, será quase que certamente mais barato do que a instalação de um moinho de vento se a estação central de energia é próxima e a energia pode ser trazida ao poço sem alto custo de instalação.

Para dar um exemplo concreto; consideremos dois produtos das Industrias Dempster. Esta companhia começou por produzir moinhos de vento para bombeamento de água do tipo catavento com múltiplas pás, e prosperou neste negócio por muitos anos. Em décadas recentes o mercado de moinho de vento reduziu-se tão dramaticamente (Dempster vendeu cerca de 10.000 unidades por ano na década de 40; contra cerca de 1.000 unidades por ano hoje em dia) que a companhia dedicou-se também à produção de bombas movidas à eletricidade e à gasolina.

Um dos produtos é um moinho de vento tipo catavento com múltiplas pás com rotor de 2.44mt de diâmetro, 15 pás, pesando 167.83kg. a ser montado sobre uma torre pesando 185.97kg. O moinho de vento é vendido por 350 dólares, a torre por 330 dólares e a bomba (tipo piston simples) custa 40 dólares. Consequentemente o conjunto de moinho de vento para bombeamento de água pesa cerca de 362.87 kg. e custa de 800 a 900 dólares, incluindo despesas de frete. Bombeará cerca de 1.514,16 lt de água por hora a uma elevação de 18.29m ou 946.35 lt por hora a uma elevação de 30.48 m com a velocidade do vento a 15 mph.

O outro produto é uma combinação de bomba elétrica a motor, submersa com 1/2 hp, pesando menos que 45.36kg e custando cerca de 260 dólares. Esta bomba distribuirá cerca de 5.299,58lt de água por hora a uma elevação de 18.29m, ou 4.353,22 l/hr a uma elevação de 30.48m.

Consequentemente a bomba elétrica tem as vantagens de ser compacta, custo de transporte baixo, livre do perigo de furacão e tornado, custo inicial baixo e maior capacidade; pois sendo dependente da rede elétrica, não necessita de combustível. Se o vento for suficiente para operar o moinho (digamos) 30% do total de horas em 1 ano e se a eletricidade distribuída para a bomba custa 4 centavos por kwh então o valor da eletricidade exigida para bombear a mesma quantidade de água em um ano como é bombeada pelo moinho de vento em 1 ano, é abaixo de 10 dólares. Está claro que o moinho de vento não tem vantagens. De fato, todos os moinhos de vento vendidos hoje são destinados a serviços afastados de conexões elétricas.

Bombas movidas por máquinas à gasolina ou diesel custam somente um pouco mais devido à combinação de bomba e motor do que à combinação de bomba elétrica e motor. Naturalmente o combustível é consideravelmente mais caro do que a eletricidade, e não é tão conveniente. As bombas elétricas dispensam operador; mas não as máquinas a combustível líquido.

USO APROPRIADO DA POTÊNCIA EFETIVA DOS MOINHOS DE VENTO

Já que o vento é intermitente os moinhos de vento são

mais bem aproveitados com carga ininterrupta. De outra forma deva-se providenciar um armazenamento de energia a custo mais elevado. (Moinhos de vento que produzem muita energia devem ser ligados a um acumulador de energia, para que as oscilações de energia efetiva de qualquer gerador de vento possam ser compensadas por outras ou por outras fontes geradoras dentro do sistema. Tais sistemas de larga escala não serão considerados aqui.) Felizmente existem muitas utilidades para energia ininterrupta. O bombeamento de água para consumo humano ou animal, para irrigação, ou para drenar alagado, é a carga para a qual a energia do vento tem sido utilizada mais do que qualquer outra. (Exceto talvez para propulsão de navio). A operação clássica da moagem de trigo em farinha é uma carga interruptível e podem ser enumeradas uma variedade de outras aplicações agroindustriais. Refrigeração, usando o moinho de vento para fazer funcionar o compressor, parece perfeitamente viável. Em bases experimentais a potência efetiva do moinho de vento tem sido usada para produzir água fresca da água do mar.

Cargas mecânicas, além de serem interruptíveis, deveriam ser capazes de funcionar em várias velocidades. Os mecanismos para manter potência efetiva em velocidade constante são muito complicados para pequenos moinhos de vento. A velocidade variável de carga deveria ter idealmente uma característica de velocidade de torque correspondente ao moinho de vento.

Cargas leves de eletricidade, assim como luz, rádio e TV, podem ser obtidas através do armazenamento de energia. O custo é substancial, porém é possível, se a quantidade de arma-

zenagem necessária não for muito grande.

SELEÇÃO DO TIPO DE MOINHO DE VENTO

O tipo de moinho de vento a ser selecionado depende em parte da natureza da carga, em parte do vento e em parte do melhor ajuste entre simplicidade e rusticidade por um lado e eficiência por outro.¹³ As curvas na fig. 2 mostram claramente que os melhores rendimentos são alcançados com rotores tipo hélice. Por outro lado, as velocidades rotativas e tensões dinâmicas também são mais altas nestas unidades, levando a maiores exigências quanto ao cuidado na fabricação e à manutenção no campo. Em outro extremo está o desenho Savonius, muito simples e rústico e que é muito ineficiente.

O tipo americano de múltiplas pás independente de rusticidade e simplicidade, tem a vantagem de produzir alto torque mesmo quando a velocidade do vento é baixa. Para bombear água com uma bomba piston standard (fig. 3) é essencial um alto torque inicial. Por outro lado, se o vento é normalmente forte e constante a maior parte da energia do vento estará perdida. Em tal caso é melhor que o interessado escolha um moinho de vento do tipo de hélice grande do tipo Brace com uma eficiência bem grande, dispensando o problema inicial de torque usando uma bomba centrífuga. O moinho de vento pesado tipo Holandês não é muito eficiente, mas ele pode ser construído em tamanhos razoavelmente grandes (10-40kw) por artesãos habilidosos, com materiais locais.

O moinho de vento tipo hélice, é o único tipo adequado para gerar eletricidade com eficiência razoável. Se a água vai

ser bombeada em um vale e o vento for disponível na cordilheira; um pouco distante, um moinho de vento tipo hélice sobre a cordilheira com uma bomba elétrica dentro do poço pode ser uma solução viável. Entretanto certamente não é comum. A maneira mais comum de usar moinhos de vento geradores de eletricidade tem sido para carregar baterias para armazenamento para operar radios. Unidades pequenas tipo hélice (lâminas de 1.83m) foram usadas aos milhares nos Estados Unidos nas décadas de 1920 e 1930.

A energia que um moinho de vento pode extrair do vento aumenta ao cubo da velocidade do vento. Logo, se a velocidade do vento aumenta de 20 a 25 mph, a produção de energia de um moinho de vento ideal, vai dobrar. Naturalmente para se obter o máximo de energia útil de um moinho de vento instalado é importante poder utilizar as maiores velocidades do vento. Por outro lado, as tensões nas partes rotativas e a estrutura de base serão maiores para vento em alta velocidade trazendo maiores complicações e despesas.

A maioria dos moinhos de vento² desenhada para embainhar suas pás, ou recolher-se, virar contra o vento ou tornar-se ineficiente quando o vento atinge uma velocidade crítica. Isto é para evitar danos em ventos de alta velocidade. Se a velocidade do vento que interrompe o uso for baixa, digamos a 25mph ou mais baixa, pode-se economizar uma soma considerável de dinheiro usando um desenho mais simples e mais leve.

Se ventos com velocidade acima da que interrompe o fun-

cionamento do moinho são pouco frequentes, ou se a energia disponível para velocidades mais altas não for necessária, é melhor usar o desenho para velocidades mais baixas e deliberadamente privar-se da energia disponível em ventos em alta velocidade. O tipo americano de bomba d'água de múltiplas pás é desenhado desta forma. Plantas detalhadas para construção de um moinho de vento deste tipo são disponíveis.¹⁴

Moinhos de vento de múltiplas pás são bem adequados para regiões onde os ventos são frequentemente fracos, e onde é muito incomodo se nenhuma água for bombeada por um ou dois dias. Baseado na literatura do fabricante teriamos a impressão que o desenho mais moderno de bombas de água "Lubing" ainda são os melhores.

SERÁ O VENTO SUFICIENTE ?

As velocidades do vento necessárias para fazer funcionar alguns tipos de moinho de vento disponíveis são mostradas na Tabela II. Através destes n^{os} podemos ver que (1) a velocidade média do vento de 12mph no mínimo, é necessária na maioria das vezes, e (2) não haverá rendimento algum abaixo de 6mph. Se o vento é forte num local em particular, de modo que a velocidade média é alta, então pode-se adquirir um moinho de vento menor. Se o vento é constante e frequente então é necessário menos armazenamento (seja elétrica ou de água). Tanto a força como a constância do vento são importantes para uma viabilidade econômica.

A análise econômica deve ser feita para cada caso em separado, e normalmente deve ser baseada em cuidadosas avaliações do vento no local. O significado em termos subjetivos, das várias velocidades do vento é dado na Tabela III, porém as medidas quantitativas são necessárias se a decisão não é tão fácil ou se envolver grande quantia de dinheiro. O anemômetro é comumente usado; existem vários outros instrumentos. Um instrumento muito simples não-registrado pode ser feito de um protractor (prolongador) e uma bola de tenis de mesa.¹⁵ Na verdade, existe a necessidade de desenvolver um novo instrumento que mediria exatamente a quantidade de interesse -- o valor do cubo da velocidade, integrado ou proporcional ao tempo. Os instrumentos comuns do serviço de meteorologia dão a velocidade como função do tempo, e que é mais informação do que necessário.

Quando os moinhos de vento estiveram em uso em centenas de milhares nos Estados Unidos, esta medida cuidadosa da velocidade do vento, análise econômica, escolha de alternativas, etc. não era tão importante como é hoje em dia considerando-se as aplicações em países menos desenvolvidos. As alternativas em geral não existiam, para começar.

A forte dependência de produção de energia na velocidade do vento, aponta a importância da seleção do local. Diferenças de 5 ou 10mph na velocidade média do vento são comuns entre locais com apenas algumas dezenas ou centenas de metros de distância. O perfil detalhado de uma montanha ou cordilheira leva em geral a velocidades bem maiores em alguns pontos do que em outros. A distância acima do solo também é importante,

pois a velocidade do ar é reduzida quando próximo ao solo devido ao movimento de fricção e também à interação com os obstáculos. Não há uma regra geral na escolha do local além da intuição e observação, seguidas por um programa de medidas da velocidade do vento.

Naturalmente o local é em geral pré-determinado de acordo com o local da carga se o rendimento do vento for obtido como energia mecânica. Somente moinhos de vento produtores de eletricidade podem ser localizados livremente tirando as vantagens das situações do vento. Hélice de múltiplas pás, tipo Savonius ou moinhos de vento "Holandeses" devem ser situados onde se encontra a bomba ou outra carga mecânica. Transmissão de energia mecânica é impraticável para distâncias horizontais além de alguns metros.

ECONOMIA NO CONTEXTO DOS PAÍSES MENOS DESENVOLVIDOS

Os argumentos mais usuais são algo parecidos com o seguinte:

"Suponhamos que possamos comprar um moinho de vento por x dólares. Então se supomos uma duração de y anos a taxa de juros pelo custo do dinheiro hoje em dia, m dólares por ano para manutenção e uma vez o custo i para instalação e a velocidade média do vento é v , a energia será produzida pelo moinho de vento a z centavos/kwh. Isto é desfavoravelmente comparável com o custo da energia elétrica a 2 ou 3 centavos para o consumidor que recebe da rede elétrica de distribuição, mas poderia ser competitivo com a energia de pequenas máquinas diesel ou à gasolina a 10-15 centavos/kwh."

Este tipo de argumento está completamente errado devido ao problema de pequenos moinhos de vento nos países menos desenvolvidos. Faz sentido somente quando levamos em consideração se moinhos de vento muito grandes podem se situar num sistema normal de rede elétrica, suplementando fontes convencionais (para uma boa discussão deste assunto ver o livro de Putnam.¹³)

Em primeiro lugar, o valor da energia (elétrica ou mecânica) produzida pelo moinho de vento depende drasticamente na finalidade de sua utilização. Para comparar o valor da energia usada para operar um rádio ou aparelho de TV com o custo de mercado da estação central de energia, que pode ser usada para qualquer fim (mesmo para aquecimento de água) é simplista. Hoje em dia muitos aldeões indianos compram baterias de lanterna para seus rádios transistores, pagando vários dólares por kwh. Na verdade, a eletricidade tem uma série de valores dependendo do uso. Propósitos médicos e de comunicação estão numa extremidade desta série, aquecimento e uso de eletricidade como carga química (fabricação de alumínio) estão no outro extremo. As mesmas considerações são válidas para energia mecânica - o rendimento de um moinho de vento para bombeamento de água para suprir as necessidades do homem, de beber água parece ser mais valioso do que o mesmo rendimento sendo aplicado a drenagem.

A primeira pergunta relevante, fazendo então uma análise econômica, é "Qual é a finalidade da energia produzida pelo vento?" A próxima pergunta relevante é, "Quanta energia é necessária?" Na Tabela 1 nós damos as necessidades de energia

de algumas cargas comuns. No Apendice B pode ser encontrado o rendimento de energia de alguns moinhos comerciais existentes.

A terceira pergunta relevante é, "O moinho de vento tem produção elétrica ou somente produção mecânica estará disponível?" Kilowatts elétricos são mais valiosos do que kilowatts mecânicos.

Um quarto ponto importante em comparações de custo se relaciona com qual parcela de custo existente para (a) mão de obra local, (b) materiais locais, (c) moeda corrente local, e (d) divisas externas. Fazendo uma rápida análise de custo frequentemente existe uma tendência de ignorar o fato de que gastar \$¹⁰⁰100 dólares em moeda local é preferível do que gastar \$50 dólares em moeda estrangeira.

Entretanto, a pergunta mais importante é, "A carga para a qual o moinho de vento se propõe, pode ser tratada de maneira satisfatória através de um método tradicional?" Se pode ser, mesmo se o custo parece ser mais elevado, o habitante local irá praticamente buscar sempre o método tradicional, já que a importância da segurança na previsão de custo para um homem acostumado a viver próximo ao limite de sobrevivência é muito grande. Com muita frequência a fonte de energia tradicional se encaixa bem na estrutura geral da comunidade e proporciona benefícios colaterais (como esterco de vaca para combustível) enquanto utilizar recursos (como garotos) que não possuem outra utilidade econômica.

O problema de bombear água para irrigar safras ilustra a complexidade de uma análise econômica realista, e a futilidade de tentar formar julgamentos baseados somente em um único número para o valor da energia. A carga de bombeamento de água mostrada na tabela 1 é o rendimento típico de um único boi puxando uma roda Persa na planície ao norte da Índia segundo Tabor.¹⁶ Se o boi for substituído por um moinho de vento, o moinho de vento tem que ser razoavelmente grande. Por outro lado, o moinho de vento ocupa uma área insignificante visto que a produção agrícola de 1/3 ou mais da área irrigada pela roda Persa é necessária para alimentar o boi. Mas assim mesmo, o moinho de vento não produz exerceo então como fazer o jantar? Então novamente o moinho de vento (ao menos alguns tipos) podem mudar as baterias armazenadas como carga adicional tornando possível a existência de rádios, máquinas de costura, etc. Por outro lado, o boi pode também fazer coisas (proporcionar transporte) que o moinho de vento não pode, e além disso é uma forma de riqueza estabelecida e negociável, que algumas vezes produz um dividendo especial com 4 pernas e um focinho molhado. Uma análise puramente econômica, se feita por completo tende ser longa e não convincente. Além do mais uma análise econômica simplesmente não incluirá alguns dos aspectos importantes no qual a decisão será finalmente baseada.

Parece que a maneira de verificar a viabilidade do moinho de vento numa situação rural nos países menos desenvolvidos, é fazer uma série de perguntas em vez de fazer cálculos. Para o caso acima (irrigação por elevação) as perguntas poderiam ser as seguintes:

1. A estação central de energia elétrica está disponível ou prestes a estar disponível?

2. Os métodos tradicionais (bois) podem suprir com as necessidades? Por exemplo a água se encontra muito profunda? Existe solo suficiente disponível para sustentar os bois?

3. A instalação de um moinho de vento suprirá as necessidades? O vento é suficientemente garantido? Algumas safras devem ser irrigadas exatamente no momento apropriado; outras são mais tolerantes.

4. Existe alguém disponível que seja competente para especificar um moinho de vento, selecionar um local, arcar com a instalação e manutenção?

5. Existe alguém disponível que seja competente para especificar, instalar, operar e consertar uma máquina e conjunto de bomba à gasolina ou a óleo?

6. Existe alguma razão externa (por exemplo, falta de moeda estrangeira, poluição, perigo de fogo, inconveniência no abastecimento) para rejeição da máquina de combustível líquido ou do moinho de vento?

7. Um moinho de vento adequado adquirido e instalado, custa menos do que uma máquina adequada a gasolina ou óleo diesel adquirida e instalada mais x anos de abastecimento de combustível, entregues no local de utilização. (sugerimos que x seja igual a 5).

8. Considerando-se o investimento mesmo para a alternativa mais barata, a necessidade ainda existe?

Estudando cada uma destas perguntas pode-se concluir racionalmente se deve-se ir em frente instalando-se um moinho

de vento. Se ou a primeira ou a segunda for positiva, ou se a terceira ou a quarta for negativa, rejeite o moinho de vento (nota: a terceira pode ou não necessitar medição.) Se não foi rejeitada na base de 1 e 4 ou se 5 ou 6 são desfavoráveis a motor de combustível líquido pode-se selecionar um moinho de vento. Se 1 e 4 não rejeitam o moinho de vento e se 5 e 6 não rejeitam a alternativa de motor a combustível líquido, investigue para responder o item 7. Se o item 7 é favorável ao moinho de vento e se 8 for positivo, prossiga com o moinho de vento.

É implícito no esquema analítico acima que não importa quão econômico o moinho de vento seja, que o mesmo não tomará o lugar dos meios tradicionais de bombeamento de água se estes atingem os objetivos. O fazendeiro encontra-se numa posição para avaliar os custos do método tradicional com bastante segurança e ele não tende a adreditar em qualquer estranho que lhe diga que o método desconhecido será mais barato a não ser que seja realmente óbvio.

GERADOR A VENTO - SISTEMA DE BATERIA PARA ARMAZENAGEM DE ENERGIA

Considerando-se o precedente, os moinhos de vento com pouca carga poderiam ter um potencial maior do que as bombas de água usadas em países menos desenvolvidos hoje em dia.

A energia mais valiosa é a energia elétrica para cargas relativamente pequenas e estas cargas, desde que são elétricas, não podem ser supridas por fontes tradicionais de ener-

gia. O maior problema, como é visto pelo gerente de vendas do principal fabricante é que os compradores estão necessariamente localizados em lugares de difícil acesso longe de estradas e linhas de transmissão embora a remuneração para o vendedor seja uma proporção generosa do preço de venda, ainda é muito dispendioso procurar e contratar compradores e o mercado não pode ser atendido adequadamente. Esta conclusão deveria ser revista com cuidado e a compensação para vendedor, deve ser analisada sob o enfoque dos salários e condições de trabalho nos países menos desenvolvidos. Não pode ser um problema maior do que parece ser. A falta de técnica na seleção do local, instalação e manutenção, e também a prevenção de roubo (especialmente de baterias armazenadas) podem causar problema da mesma maneira.

Na geração passada o mercado para geradores movidos a vento diminuiu dramaticamente. Consequentemente a maior fábrica americana (Dyna Technology) vende hoje cerca de 200 unidades por ano. Na década de 30 esta companhia (sob o nome de Wincharger) enviava mais de 1000 unidades por dia. O desaparecimento do mercado teve o efeito previsto, reduzindo o número de fabricantes e a variedade de modelos para venda. Anteriormente unidades geradoras de 110 e 220 volts fornecendo até alguns kw eram produzidas. Hoje em dia são encontrados somente carregadores de bateria (geralmente 12 volts). Elas proporcionam cerca de 200 watts quando o vento sopra bem (20mph). O fornecimento é sempre corrente contínua já que a regulação da velocidade do moinho de vento não é viável em unidades pequenas.

Os dois fabricantes comerciais americanos, Dyna e

Bucknell, vendem carregadores de bateria com especificações semelhantes. Entretanto, o desenho de Bucknell é mais moderno e eficiente (alternador magnético permanente, retificadores de silicone) e inclusive um regulador para carga de bateria. Se o desempenho, especialmente sob condições de não manutenção for maior que a unidade Bucknell que custa cerca de 900 dólares, contra cerca de 400 dólares para a unidade Dyna, pode-se justificar. O desenho do moinho de vento Dyna não mudou desde 1930. Entretanto, é seguro, digno de confiança (se verificado de vez em quando) e bem mais barato no custo total.

O gerador de vento "Lubing" de 24 volts é um desenho moderno e tem uma capacidade um pouco maior do que qualquer das unidades americanas.

Já que o vento é intermitente, os geradores de vento devem ser usados com baterias acumuladoras. As baterias são ao mesmo tempo substancialmente caras e uma importante fonte de perda de energia. Quando a eletricidade é colocada dentro de uma bateria e transformada em energia química, e mais tarde extraída novamente como energia elétrica, um pouco dela desaparece (mais precisamente, é convertida em calor).

Uma instalação cuidadosamente planejada e instrumentada, foi instalada em Eilat no Israel na década de 50. O rendimento do moinho de vento, o consumo de carga (2 pequenas casas) e as perdas elétricas nas baterias e cabos foram determinados com cuidado através de medidas, por um período de muitos meses. Uma descrição detalhada resume as partes principais

desta experiência.

1. A unidade usada foi uma de marca Jacobs,¹⁷ de 110 volts, corrente contínua, e gerador de 3kw.

2. O armazenamento era uma bateria de chumbo ácido de 110 volts e 150 amp/hr.

3. Devido às limitações da bateria (corrente de carga máxima 18amps, corrente de voltagem máxima 138 volts) a energia máxima do gerador era na verdade rebaixada para 2.5kw ou 175 watts por metro quadrado da área varrida pela hélice. Este rendimento foi atingido a 20mph. Mecanismos de controle evitaram um rendimento maior quando a velocidade do vento era maior.

4. A energia do vento no local era cerca de 12.550 kwh/ano por metro quadrado da área varrida pela hélice. Um moinho de vento ideal pode recuperar teoricamente um máximo de 59.3% da energia do vento. O gerador de vento Eilat, recuperou com sucesso 24% da energia do vento.

5. O rendimento anual do gerador de vento era de 4.200kwh, ou 1.680kwh/ano por kw instalado. 66% desta capacidade era praticamente consumido pela carga; o restante foi perdido na bateria.

6. No início da década de 50 o custo do projeto era de \$2,500 dólares incluindo a bateria que custava \$1,100 dólares. Este custo incluía instalação que era \$300 dólares.

7. Na instalação de Eilat, depreciada no prazo de 15 anos (5 anos para a bateria) o custo de energia a 8% produzia 10c/kwh, ou 15c por kwh consumido quando um equipamento à óleo diesel com capacidade idêntica no mesmo local teria pro-

duzido energia naquela época a 18c/kwh. A comparação do custo era então favorável para o moinho de vento. Bilat é um lugar com vento bom e com combustível a custos elevados.

As baterias usadas com geradores de vento deveriam ser do tipo comum chumbo-ácido, em vez da mais cara de níquel-cádmio. As células Ni-Cd às vezes invertem a polaridade quando sujeita a descargas profundas. Baterias para caminhões pesados, de 12 volts, cerca de 250 amp/hr, são perfeitamente adequadas. Elas custam nos Estados Unidos (1972) cerca de \$75 dólares cada.

Baterias de voltagens baixas, por exemplo, de 12 v tem a vantagem de serem encontradas com facilidade. Uma grande desvantagem de baterias de voltagens baixas é o fato de que os cabos de ligação devem permanecer curtos ou possuir uma seção grande; de outro modo a queda de voltagem e perda de resistência ao transportar a energia do gerador para a carga será excessiva. Os transformadores para converter a voltagem baixa de corrente contínua para 220 volt de corrente alternada (por exemplo) podem ser usados se a carga está localizada a uma certa distância.

Naturalmente qualquer moinho de vento, em princípio, pode ser ligado ao gerador de um automóvel ou caminhão e carregar baterias. As bombas de água tradicionais tipo catavento com múltiplas pás converte o movimento rotatório para um movimento alternativo no alto da torre, logo não são ideais

para serem acopladas a um gerador. As unidades VITA e Brace transportam energia mecânica rotativa para o fundo da torre, então ligação a um gerador é fácil. Parece ter existido moinhos de vento, porém este pode ter vantagens, especialmente se a quantidade necessária de energia elétrica é pequena. (Pode-se imaginar um fazendeiro pagando lentamente por seu moinho de vento carregando baterias para armazenamento para seus amigos locais.) O moinho de vento Brace Airscrew foi desenhado para fornecer energia mecânica ou elétrica. Entretanto este moinho é bastante grande (10kw) e o armazenamento elétrico do fornecimento elétrico total é impraticável.

MERCADOLOGIA DOS MOINHOS DE VENTO NOS PAISES MENOS DESENVOLVIDOS

A marcação da velocidade do vento, de cálculo e viabilidade, seleção do tipo de moinho de vento, determinação da quantidade de armazenamento necessário, e a instalação de tudo isto exige uma certa habilidade e experiência. Levando isto em consideração, deve se melhor estabelecer o marketing de forma diferente de uma venda direta normal. Pode-se considerar alugar o moinho de vento ou vender a produção (como uma empresa de serviços públicos) vender com contrato de manutenção ou vender o projeto total em funcionamento (turnkey) - poderia ser considerar a devolução do dinheiro se o rendimento não for tanto quanto previsto. Qualquer uma destas abordagens de mercado eliminaria a necessidade de uma técnica tanto para aquele que se utiliza do moinho como também para a maior parte do risco. As duas primeiras tenderiam também para ampliar o mercado eliminando a necessidade do cliente ter o quantia total

de compra na mão na fase inicial.

Nenhuma destas abordagens de mercado tende ser tão viável para um fabricante estrangeiro que importa para o país, como acontece com o fabricante local.

SUMÁRIO E CONCLUSÕES

Em lugares onde a velocidade média do vento excede 12mph, e especialmente nos lugares onde excede 15 mph, os moinhos de vento deveriam ser considerados para uso, como fontes descentralizadas de energia mecânica e elétrica. Seu atrativo econômico limita-se a circunstâncias onde a estação central de energia não é disponível e combustíveis líquidos de petróleo são caros ou inadequados.

O problema maior é que cada instalação deve ser executada de acordo com as características da carga e do vento local. A técnica para este tipo de engenharia de instalação não é amplamente disponível nos países menos desenvolvidos.

Os preços atuais para moinhos de vento produzidos para fins comerciais são suficientemente altos a ponto de restringir o mercado. Entretanto, eles são altos em parte, precisamente porque há tão pouco mercado e a produção em massa se faz impossível.

Os tipos de carga para os quais os moinhos de vento tem sido utilizados tradicionalmente, e para os quais eles po-

deriam ser utilizados hoje em dia são (1) bombear água para consumo humano ou animal, para irrigar safras para drenar terras, (2) energia mecânica para operar máquinas de moer farinha de trigo ou de indústria em pequena escala, e (3) gerar pequenas quantidades de eletricidade para carregar baterias a fim de operar radios e outras utilidades elétricas. Embora o bombeamento de água e as potencialidades de uma indústria são grandes, a geração de eletricidade pode ser a posição mais vantajosa para os moinhos de vento, hoje em dia, nos países menos desenvolvidos já que cargas elétricas não podem ser sustentadas por nenhuma fonte tradicional de energia. A quantidade necessária de eletricidade para operar radios, aparelhos de televisão e equipamento audio-visual, não é grande e seu valor é alto.

Nesta última década tem havido melhoramentos técnicos nos moinhos de vento (os desenhos "Lubing" são novos modelos; o Instituto de Pesquisa Erace possui um programa ativo de Pesquisa e Desenvolvimento). Entretanto seria muito bemvindo, consideravelmente mais trabalho sobre Pesquisa e Desenvolvimento. Este produto de desenvolvimento de trabalho não será financiado por um setor privado até que haja demonstração de um mercado substancial. Este mercado desenvolverá melhor se os moinhos de vento, ao invés dos já disponíveis, forem produzidos nos países menos desenvolvidos.

TABELA I

(Força necessária de algumas cargas comuns)

| | | <u>kw</u> | <u>kwh/dia</u> |
|--------------------------------------------|------------------------------|-----------|----------------|
| Radio transistor | uso contínuo | 0.001 | .024 |
| Conjunto de som. | 12hrs/dia | 0.1 | 1.2 |
| Aparelho de TV | 8hrs/dia | 0.6 | 4.8 |
| Radio transmissor (alcance da vez-50km) | 4hrs/dia | 0.1 | 0.4 |
| Máquina de costura | 12hrs/dia | 0.07 | 0.84 |
| Lampada fluorescente (0,60cm de comp.) | 12hrs/dia | 0.02 | 0.24 |
| Aspirador de pó | 1hr/dia | 0.1 | 0.1 |
| Geladeira | uso doméstico | 0.3 | 3.0 |
| Ar condicionado (para um quarto) | uso contínuo | 0.9 | 21.6 |
| Fogareiro elétrico (uma boca) | 3hrs/dia | 1.5 | 4.5 |
| Bomba d'água (eficiência 70%) | 57 lt/dia elevação de 8m. | | 4.2 |
| Torno para metal | motor de 1hp 8hr/dia | 0.75 | 6.0 |

TABELA II

Ventos necessários para operar alguns moinhos de vento comerciais

(Fonte de informação: literatura do fabricante)

| | Velocidade do vento (mph) para as diversas percentagens de rendimento máximo | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|------|------|------|
| | 0% | 30% | 50% | 75% | 90% | 100% |
| Dempster Mfg. Bomba d'água de multiplas pás - 2.43m | | 7.5 | 9.2 | 11.5 | 13.5 | 15 |
| Bomba d'água de multiplas pás - 3.60m | | 8 | 9.5 | 13 | 16 | 20 |
| Maschinenfabrik Ludwig Bening Lubing - desenho moderno de bomba d'água | 5 | 6 | 8.5 | 12 | 14 | 16 |
| Tecnologia Dyna (Wincharger) Modelo 1222 II Carregador de bateria 12 volt, 200 watt | 7 | 8 | 10 | 14 | 19 | 23 |

TABELA III

Descrições qualificativas da velocidade do vento

| <u>Escala</u> <u>Beaufort</u> | <u>Velocidade do</u> <u>vento (mph)</u> | <u>Efeito do vento observado em terra</u> |
|----------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0 | 0-1 | Calmo; a fumaça se ergue verticalmente |
| 1 | 1-3 | A direção do vento é mostrada através da tendência da fumaça, e não por cataventos. |
| 2 | 4-7 | Sente-se o vento na face; cataventos |
| 3 | 8-12 | Folhas e gravetos em movimento constante; vento estende bandeiras leves. |
| 4 | 13-18 | Levanta poeira, papel solto; pequenos galhos se deslocam. |
| 5 | 19-24 | Pequenas árvores começam a balançar; pequenas ondas espumosas se formam nas águas (açúdes, lagos) |
| 6 | 25-31 | Grandes galhos em movimento, ouve-se assovios nos fios de telégrafo; dificilmente usa-se um guarda-chuva. |
| 7 | 32-38 | Árvores inteiras se movimentam, sensação desagradável se andarmos contra o vento. |

Apêndice A

FABRICANTES DE MOINHOS DE VENTO

1. Aermotor Division of Braden Industries

800.E. Dallas St. - Broken Arrow - Oklahoma 74012

Bomba d'água tipo catavento com múltiplas pás. Toda a fabricação está sendo feita agora por licenciado Argentino.

2. Metalurgica

Belgrano 728 - Piso 1º - Buenos Aires - Argentina

Bomba d'água tipo catavento com múltiplas pás, licenciado da Aermotor.

3. Heller-Allen

Perry & Oakwood St. - Napoleon, Ohio 43545

Bomba d'água tipo catavento com múltiplas pás, marca "Baker".

4. Dempster Industries

P.O. Box 848 - Beatrice, Neb. 68310

Bomba d'água tipo catavento com múltiplas pás.

5. H.J. Godwin, Ltd.

Quenington - Gloucestershire - England GL75EX

Bomba d'água tipo catavento com múltiplas pás.

6. Sidney Williams & Co. (Pty.) Ltd.

Constitution Rd. - Dulwich Hill - Sidney - Australia

Bomba d'água tipo catavento com múltiplas pás, marca "Comet". Tamanhos grandes até 9,14m de diâmetro.

7. Aetna Steel Industries

613 Roman Santos - Bldg. - Plaza Coiti - Manila, Philippines

Bomba d'água tipo catavento com múltiplas pás marca "Southern Cross".

8. VITA (Bossel) (não é fabricante)

College Campus - Schenectady, N.Y. 12308

Bomba d'água tipo catavento com múltiplas pás. Isto é um conjunto de projetos. Construiu-se um protótipo.

9. Cytra, Inc.

Ambrosio Bldg. - Buendia - Cor Bantista - Makati, Philippines.

Bomba d'água com rotor helicoidal.

10. Maschinenfabrik Ludwig Bening
2847 Barnstorf - P.O. Box 171 - Germany

Gerador de eletricidade e bomba d'água marca "Lubing" -
Moderno desenho aerófilo com 3,4 ou 6 lâminas a 1kw.

11. Brace Research Institute
MacDonald College - Ste. Anne de Bellevue 800 - Quebec
Canada

Gerador de eletricidade e bomba d'água, semi-comercial
somento. Um modelo a 10kw.

12. Repair Works Taiwan Power Co.
61 Yuh Cheng St. - Nan-kong - Taipei, Taiwan

Gerador de eletricidade - 50kw - Hélice com 3 lâminas.

13. Aerowatt S.A.
12 Rue Leonidas - 75 Paris 14^e - 273-01-42

Gerador de eletricidade de 25 watts a alguns kw.

14. Bucknell Engineering
10717 Rush Street - So. El Monte - Californis 91733

Eletricidade para carregar baterias (220 watts), fabrica-
do sob encomenda.

15. Dyna Technology
P.O. Box 3263 - Sioux City, Iowa 51102

Eletricidade para carregar baterias (200 watts). Marca
"Wincharger", possui estoque.

Apêndice B

CARACTERÍSTICAS DOS MOINHOS DE VENTO DISPONÍVEIS

1. Pombas d'água tradicionais, tipo catavento com múltiplas pás.

a) Tamanhos disponíveis: diâmetro do catavento (em metro)

Dempster - 2, 2.5, 3, 3.5, 4

Aermotor - 2.2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5

Heller-Aller - 2, 2.5, 3, 3.5

Godwin - 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5

Aetna - 3, outros tamanhos feitos sob encomenda

Sidney Williams - até 9.2m de acordo com relatório

VITA (Bossel) - 3.5

b) Capacidade típica para bombeamento de água (vento a 15mph) em litros por hora.

| <u>elevação (metro)</u> | <u>de 2m</u> | <u>de 4m</u> |
|-------------------------|--------------|--------------|
| 25 | 350 | 24000 |
| 50 | 200 | 1425 |
| 100 | 150 | 600 |
| 150 | | 525 |
| 300 | | 200 |

c) A bomba necessária é a bomba cilindro alternativa, adquirida com o moinho, custa cerca de \$40 dólares no varejo.

d) Custo (1972) do moinho de vento e gerador:

de 2m - \$225 a \$250 dólares

de 4m - \$675 a \$750 dólares

Custo da torre - aproximadamente o custo do moinho de vento vezes 1.5. Frete extra.

e) Operação automática, se faz por si. Manutenção uma vez por ano.

2. Desenho moderno de bombas d'água

a) Tamanhos disponíveis

"Lubing" com motores aerófilos de 3, 5 e 6 lâminas; diâmetro dos rotores: 1.3m, 1.5m e 2.2m. Brace Airscrew com hélice de 3 lâminas e 9.6m de diâmetro.

b) Capacidades típicas para bombeamento de água

"Lubing" de 3 lâminas, rotor com 2.2m de diâmetro, a uma elevação de 30m, cerca de 757 litros/hora a uma velocidade de 15mph.

| <u>elevação</u> | "Brace Airscrew" | | Capacidade em lt/hr |
|-----------------|------------------|--------------|---------------------|
| | <u>15mph</u> | <u>30mph</u> | |
| 15m | 18,720 | 149,760 | |
| 30m | 9,360 | 74,880 | |
| 60m | 4,680 | 37,440 | |

c) Bomba: "Lubing" - bomba cilíndrica alternativa fornecida com o moinho de vento.

"Brace Airscrew" - bomba centrífuga impulsionada em vários estágios, do tipo que é frequentemente movida por motor elétrico.

d) Custo: "Lubing" cerca de \$600 dolares

"Brace Airscrew" - cerca de \$5,000

3. Bomba d'água Savonius

a) Tamanhos disponíveis

Não está disponível comercialmente. Faça-a você mesmo através das plantas fornecidas pelo Instituto Braco de Pesquisa, usando dois tambores de óleo e algum ceno.

b) Capacidade típica - lt/hr

| <u>elevação</u> | <u>7mph</u> | <u>10mph</u> | <u>12mph</u> |
|-----------------|-------------|--------------|--------------|
| 3m | 90 | 310 | 450 |
| 4,5m | 72 | 220 | 380 |

- c) Bomba: diafragma feito no local, de borracha e madeira.
- d) Custo: somente materiais - abaixo de \$75 dólares.

4. Geradores de vento de eletricidade para cargas de baterias.

- a) Tamanhos disponíveis
 - Dyna Technology - círculo com diâmetro de 2m movido por uma hélice com duas lâminas.
 - Bucknell Engineering - círculo com diâmetro de 1.5m movido por uma hélice com duas lâminas.
 - Aerowatt 24 FP7 - 1m.
 - Gerador Lubing N022-3;G024-400 - círculo de 2,2m movido por rotor de 3 lâminas.
- b) Rendimento elétrico (vento de 20mph)
 - Dyna Technology - 200watts
 - Bucknell Engineering - 220 watts
 - Aerowatt 24 FP7, 150 FP7 - 38 watts, 130 watts
 - Lubing N022-3;G024-400 - 400 watts
- c) A bateria necessária é de 12 volts tipo de caminhão com célula chumbo-ácido, cerca de 250amp por hora. Duas ou 4 destas baterias deveriam ser compradas (dependendo da quantidade de armazenamento necessária) por aproximadamente \$75 dl. cada.
- d) Custo: Dyna Technology - \$400 dólares pelo moinho de vento, gerador e torre.
 - Bucknell Engineering - cerca de \$900 dólares pelo moinho de vento, gerador, torre e regulador de voltagem.
 - Lubing - cerca de 600 dólaresBaterias e fretes custam aparte em todos os casos.
- e) Todos operam por si só, porém a unidade Bucknell é a melhor para condições extremamente desfavoráveis ou lugares extremamente inacessíveis.

5. Moinhos de vento geradores de eletricidade em tamanhos relacionados à capacidade.

a) Tamanhos.

Brace Airscrew: hélice com 3 lâminas: diâmetro de 9.6m

Aerowatt 1100 FP7: hélice de 2 lâminas: círculo com 5m de diâmetro

Taiwan Power - Hélice de 3 lâminas: círculo com 9,7m de diâmetro

VITA (Bossel): protótipo do catavento com múltiplas pás: rotor com 3.5m de diâmetro.

b) Capacidades

Brace Airscrew: a 20 mph, 10kw; a 30mph, 30kw

Aerowatt 1100 FP7: a 16 mph, 1.1kw

Taiwan Power: a 20 mph (?), 50kw

VITA (Bossel): a 20 mph, 2kw

c) Custos: Brace Airscrew estimado em cerca de \$5,000 dólares. Os outros não estão disponíveis.

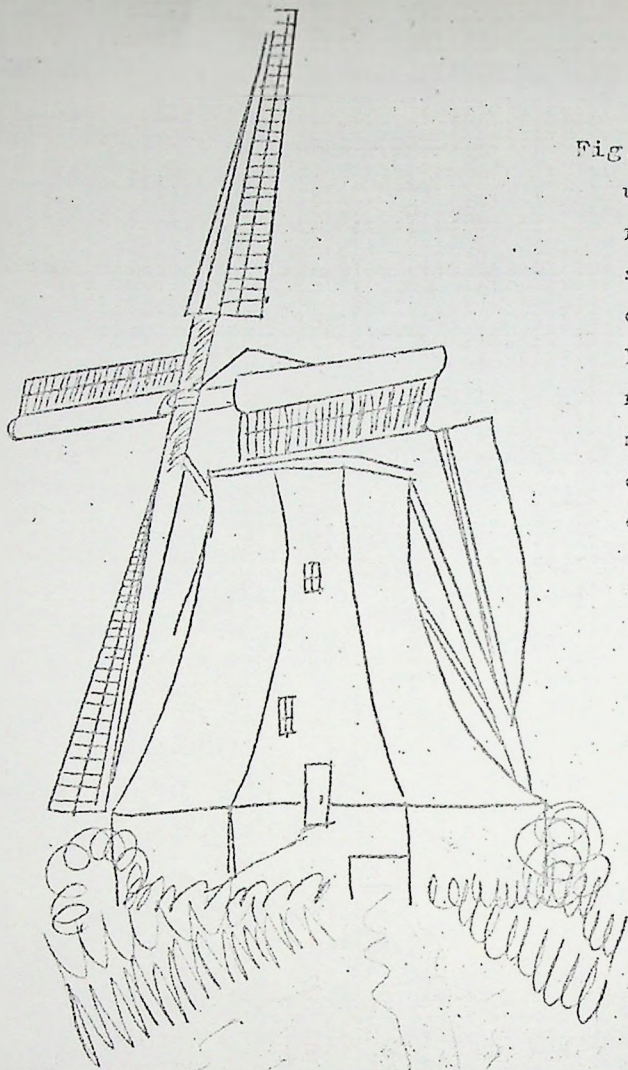
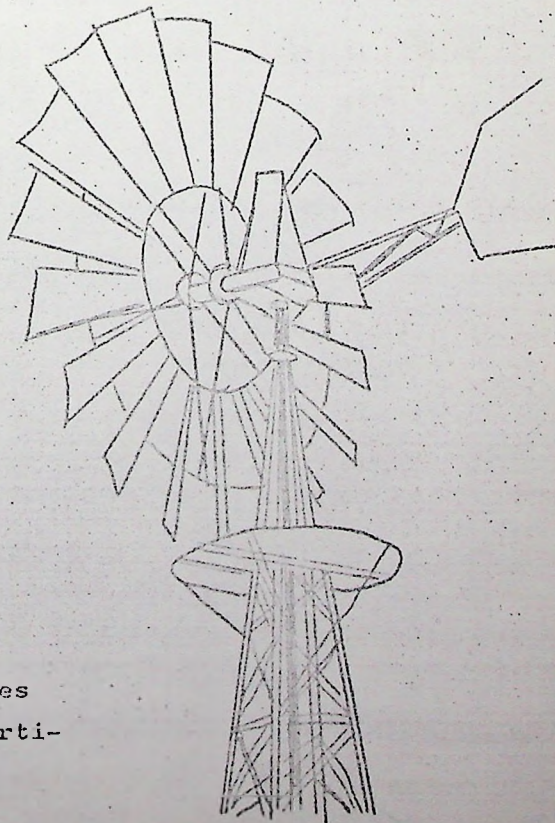


Fig. 1a. Moinho de vento tipo "Holandes" usado durante séculos na Holanda para drenagem agrícola e outros propósitos. Por volta de 1350 havia cerca de 9.000 moinhos funcionando nos Países Baixos; hoje em dia, permaneceram algumas centenas. Os moinhos maiores produzem 50hp, mas a maioria dos modelos mais antigos (século 17 e 18) são bem menores, menos de 10hp.

Fig. 1b. Moinho de vento tipo americano, catavento com múltiplas pás, inventado nos Estados Unidos no meio do séc. 19. Usado internacionalmente para elevação de água, em geral proporcionam elevação bem mais alta do que os moinhos de vento tipo "Holandes". Extremamente rústico e resistente e funciona com ventos fracos. Sua utilidade depende da bomba simples e barata onde é ligado o eixo vertical recíprocante.



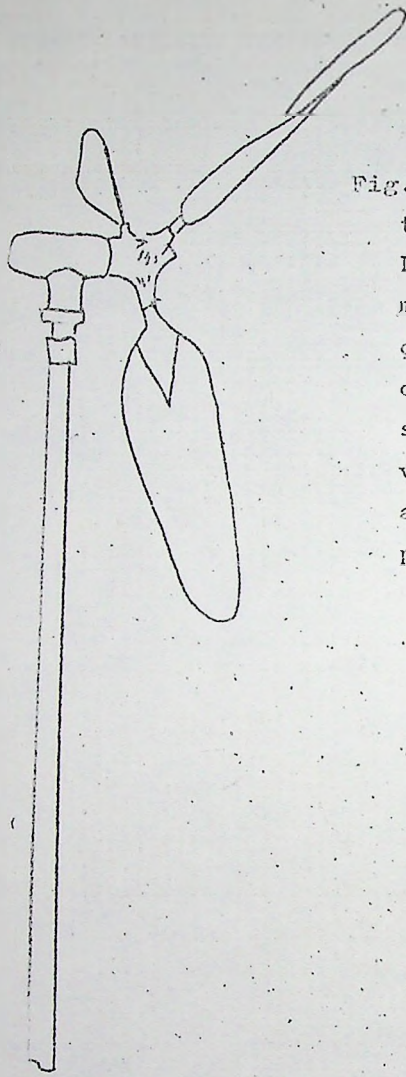


Fig. 1c. Moinho de vento tipo "Hélice". Existem vários tipos. O tipo mostrado aqui é o tubing de 3 lâminas, um desenho de certa forma moderno. A orientação é obtida pelas forças aerodinâmicas em volta da calota. Moinhos deste tipo em geral tem 2 ou 3 lâminas, que são principalmente movidas por forças de elevação aerodinâmicas (do que por forças de arrasto, como nos outros tipos). As lâminas podem estar acima ou abaixo da torre.

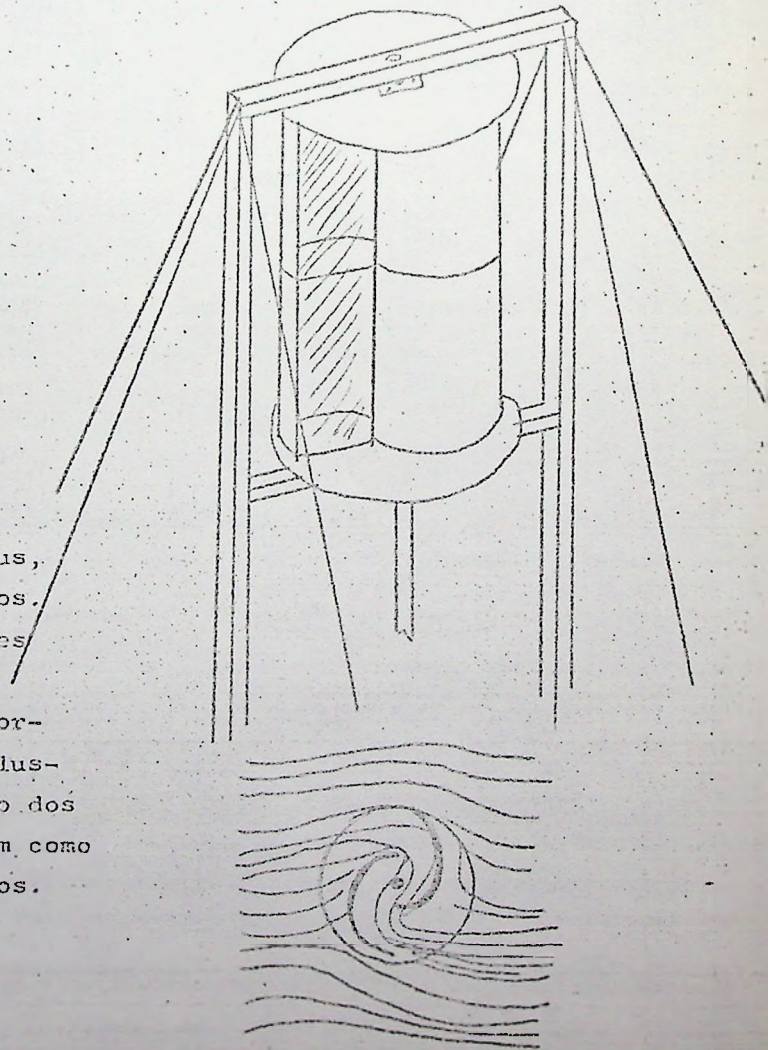


Fig. 1d. Rotor Savonius, mostrados em dois ângulos. Um rotor Savonius simples e barato pode ser feito com um tambor de óleo cortado ao meio, como na ilustração. A contraposição dos meio-cilindros funcionam como uma turbina em 2 estágios.

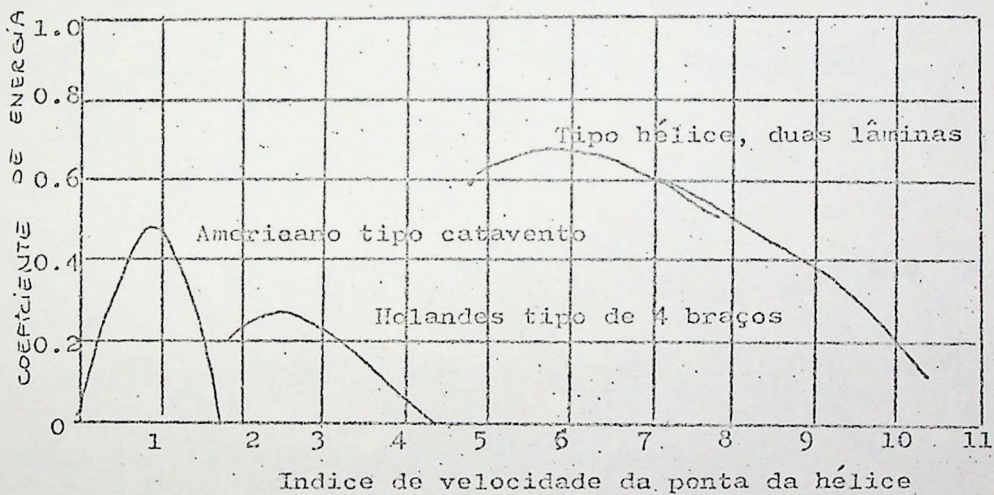


Fig. 2. Eficiência dos moinhos de vento de tipos diversos. O que está esquematizado é o chamado coeficiente de força na ordenada, o índice de velocidade da ponta da hélice na abcissa. Um moinho de vento ideal, retirando a quantidade de força máxima teórica, tem o coeficiente de força igual a 1.0. O índice de velocidade da extremidade é o índice da velocidade linear das extremidades da lâmina em relação à velocidade do vento.

Fig. 3 A bomba piston clássica, usada com moinhos de vento americanos tipo catavento com múltiplas pás. O piston sobe e desce dentro do cilindro movido pela barra de movimento alternativo que é impulsionada pelo moinho de vento. Existe uma válvula dentro do piston de um só sentido, e também no fundo do cilindro. A água entra pela válvula mais baixa quando o pistão se eleva e então passa através da válvula do piston quando este move-se para baixo. A válvula mais baixa está fechada quando o piston move-se para baixo, e a válvula superior está fechada quando o piston move-se para cima.

