



DO MOINHO DE VENTO A TURBINA HIDROcinÉTICA

Resumo: O presente texto apresenta um breve histórico sobre os moinhos de vento e sua evolução até as atuais turbinas (eólicas e hidrocinéticas), enfocando características históricas e técnicas dos dispositivos precursores da energia eólica e das tecnologias iniciais dos aerogeradores, além de abordar brevemente sobre importantes contribuições nacionais para o desenvolvimento de turbinas hidrocinéticas. O formato conciso das informações permite que o texto sirva de texto inicial para discussões importantes em disciplinas como mecânicas dos fluidos, turbomáquinas, energias renováveis e afins.

Palavras-chave: Moinho de vento; turbinas eólicas; turbinas hidrocinéticas

INTRODUÇÃO

A civilização humana após deixar a atividade nômade e passar a residir em território fixo mudou drasticamente a forma de obtenção de alimentos para sua subsistência. Antes, a sobrevivência de povos primitivos estavam limitados aos exercícios de coleta de frutas, pesca e a caça de animais vivendo em constantes migrações sempre em busca de suprimentos para manutenção de seus clãs.

A partir do momento em que as culturas foram se fixando a terra e formando fazendas para cultivo do solo com intuito de inserir plantações e animais domesticados nestas regiões, obteve-se, então, uma nova forma de aquisição de alimentos para o sustento e desenvolvimento dos povoados. Com o avanço da agricultura ao longo do tempo novas ferramentas precisaram ser criadas para auxiliar as diversas etapas de trabalho.

A produtividade agrícola foi aumentando e as tarefas de moagem de grãos e bombeamento de água eram realizadas exigindo maior esforço humano e animal. Isso levou ao desenvolvimento de uma forma primitiva de moinho de vento, utilizada no beneficiamento dos produtos agrícolas, que constava de um eixo vertical acionado por uma longa haste presa a ela, movida por homens ou animais caminhando numa gaiola circular. Esse sistema foi aperfeiçoado com a utilização de cursos d'água como força motriz surgindo, assim, as rodas d'água. Historicamente, o uso das rodas d'água precede a utilização dos moinhos de ventos devido sua concepção mais simplista de utilização de cursos naturais de rios como força motriz. Como não se disponha de rios em todos os lugares para aproveitamento em rodas d'água, a percepção do vento como fonte natural de energia possibilitou o surgimento de moinhos de ventos substituindo a força motriz humana ou animal nas atividades agrícolas (BRITO, 2008).

1. MOINHO DE VENTO

2.1 Origem história e evolução

A utilização de fontes de energia renovável é uma prática que visa uma alternativa sustentável para atender uma determinada demanda energética da população. Dentre os tipos de energia renovável, pode-se citar a energia eólica a qual não se sabe ao certo sua verdadeira origem. Etimologicamente a palavra eólico é derivada do latim *aeolicus*, pertencente ou relativo a *Éolo*, deus dos ventos na mitologia grega e, portanto, refere-se diretamente ao vento.

O primeiro registro histórico é proveniente da Pérsia, por volta de 200 A.C (figura 1), em que o cata vento era utilizado para bombear água e moer grãos. Este tipo de moinho era constituído de eixo vertical e se espalhou pelo mundo islâmico. No entanto, acredita-se que antes da invenção dos cata-ventos na Pérsia, os egípcios (por volta do ano 2800 A.C.) começaram a usar velas para ajudar a força dos remos dos escravos, as velas



também ajudavam o trabalho da força animal em tarefas como moagem de grãos e bombeamento de água, a China (por volta de 2000 A.C.) e o Império Babilônico (por volta de 1700 A.C) também utilizavam cata-ventos rústicos para irrigação (BRASCEP, 1987).

Figura 1 – Primeiro modelo de turbina eólica registrado



Apesar da baixa eficácia os cata-ventos primitivos foram importantes para o desenvolvimento das necessidades básicas substituindo a força motriz humana ou animal. Esta tecnologia representa os primeiros modelos a utilizarem velas de sustentação em eixo horizontal encontrados nas ilhas gregas do mediterrâneo.

A introdução dos cata-ventos na Europa, deu-se no retorno das Cruzadas há aproximadamente 900 anos. Essas máquinas primitivas persistiram até o século XII quando começaram a ser utilizados moinhos de eixo horizontal na Inglaterra, França e Holanda. Os moinhos de vento do tipo “holandês” foram rapidamente disseminados em vários países da Europa. Durante a Idade Média, a maioria das leis feudais incluía o direito de recusar a permissão à construção de moinhos de vento pelos camponeses, o que os obrigava a usar os moinhos dos senhores feudais para a moagem dos seus grãos.

As leis de concessão de moinhos proibiam a plantação de árvores próximas aos moinhos assegurando, assim, o “direito ao vento”. Os moinhos de vento na Europa tiveram, sem dúvida, uma forte e decisiva influência na economia agrícola por vários séculos. Com o desenvolvimento tecnológico das pás, sistema de controle e eixos, fez com que aumentasse seu uso para otimizar várias atividades utilizando-se do vento como força motriz.

A Holanda, durante os séculos XVII a XIX, utilizou bastante os moinhos de vento para drenar as terras cobertas por águas. Vale ressaltar, que os moinhos de vento na Holanda tiveram uma grande variedade de aplicações, dentre eles, pode-se citar; o primeiro moinho de vento utilizado para a produção de óleos vegetais construído em 1582, com o surgimento da imprensa e o rápido crescimento da demanda de papel, foi construído, em 1586, o primeiro moinho para a fabricação de papel e ao final do século XVI, surgiram moinhos de vento para acionar serrarias para processar madeiras provenientes do Mar Báltico. Em meados do século XIX, aproximadamente 9000 moinhos de vento existiam em pleno funcionamento na Holanda (BRASCEP, 1987).

A Revolução Industrial no final do século XIX foi um marco importante para a energia eólica na Europa, pois com o surgimento da máquina a vapor, iniciou-se um declínio do uso da energia eólica na Holanda. Pois no início do século XX, existiam apenas 2500 moinhos de ventos em operação, caindo para menos de 1000 no ano de 1960. Preocupados com a extinção dos moinhos de vento pelo novo conceito imposto pela Revolução Industrial, foi criada, em 1923, uma sociedade holandesa para conservação, melhoria de desempenho e utilização mais efetiva dos moinhos holandeses.

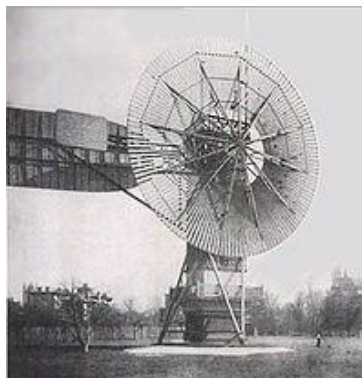


A utilização de cata-ventos de múltiplas pás destinados ao bombeamento d'água desenvolveu-se de forma efetiva, em diversos países, principalmente nas suas áreas rurais. Acredita-se que desde a segunda metade do século XIX mais de 6 milhões de cata-ventos já teriam sido fabricados e instalados somente nos Estados Unidos para o bombeamento d'água em sedes de fazendas isoladas e para abastecimento de bebedouros para o gado em pastagens extensas (BRASCEP, 1987). Os cata-ventos de múltiplas pás foram usados também em outras regiões como a Austrália, a Rússia, a África e a América Latina. O sistema se adaptou muito bem às condições rurais tendo em vista suas características de fácil operação e manutenção (SHEPHERD, 1994). Toda a estrutura era feita de metal e o sistema de bombeamento era feito por meio de bombas e pistões favorecidos pelo alto torque fornecido pelo grande número de pás.

2.2 Precursores da energia eólica

No final do século XIX Charles F. Bruch em 1888, um industrial voltado para eletrificação em campo, ergueu na cidade de Cleveland, Ohio, o primeiro cata-vento destinado a geração de energia elétrica (figura 2). Tratava-se de um cata-vento que fornecia 12kW em corrente contínua para carregamento de baterias as quais eram destinadas para o fornecimento de energia para 350 lâmpadas incandescentes. Bruch utilizou-se da configuração de um moinho para o seu invento. A roda principal, com suas 144 pás, tinha 17 m de diâmetro em uma torre de 18 m de altura. Todo o sistema era sustentado por um tubo metálico central de 36 cm de diâmetro que possibilitava o giro de todo o sistema acompanhando, assim, o vento predominante. Esse sistema esteve em operação por 20 anos sendo desativado em 1908.

Figura 2 – Turbina eólica de Bruch: primeira turbinada usada para geração de energia elétrica



O invento de Bruch apresentava três importantes inovações para o desenvolvimento no uso da energia eólica para geração de energia elétrica. Em primeiro lugar, a altura utilizada pelo invento estava dentro das categorias dos moinhos de ventos utilizados para beneficiamento de grãos e bombeamento d'água. Em segundo lugar, foi introduzido um mecanismo de grande fator de multiplicação da rotação das pás (50:1) que funcionava em dois estágios possibilitando um máximo aproveitamento do dínamo cujo funcionamento estava em 500 rpm. Em terceiro lugar, esse invento foi a primeira e mais ambiciosa tentativa de se combinar a aerodinâmica e a estrutura de moinhos de vento com as recentes inovações tecnológicas na produção de energia elétrica. De fato, vale ressaltar a contribuição de outros pesquisadores pioneiros da energia eólica, tais como:

- Poul la Cour (1846-1908), meteorologista dinamarquês foi considerado o pai da indústria eólica moderna e serviu de referência para diversos estudiosos. Sua primeira turbina eólica comercializável foi instalada após a Primeira Guerra



Mundial, durante um período de escassez generalizada de combustível, e foi a primeira turbina a utilizar conceitos definidos de aerodinâmica. Fundou o primeiro centro de investigação de energia eólica em Jütland, região central da Dinamarca, onde ministrou os primeiros cursos a engenheiros eólicos. Juntamente com suas primeiras experiências nas técnicas dos túneis de vento publicou a primeira revista mundial sobre energia eólica (OLIVEIRA, 2010);

- Albert Betz (1885-1968) físico alemão foi o diretor do Instituto de Aerodinâmica em Göttingen, cidade situada na região central da Alemanha, distante 125 km de Hannover, formulou a lei de Betz, demonstrando que o ponto otimizado físico da utilização da energia cinética dos ventos é 59,3%. A sua teoria sobre o design das pás ainda hoje serve como referência para a construção dos equipamentos;
- Palmer Cosslet Putnam (1910-1986), engenheiro norte-americano que desenvolveu a turbina eólica 1,25 MW Smith Putnam, em 1941, que funcionou com interregnos até 1945 e foi encerrada devido a danos nos materiais de construção, causados por materiais inapropriados;
- Ulrich W. Hütner (1910-1990), engenheiro alemão que desenvolveu a turbina 100 kW StGW-34, que foi instalada em 1957 num campo experimental nos Alpes Suábios, cadeias de Montanhas do sul da Alemanha, é considerada também um dos marcos da tecnologia de energia eólica moderna.
- Johannes Juul (1887-1969), foi aluno de Paul la Cour e construiu a primeira turbina eólica do mundo utilizada para produção de corrente alternada na Dinamarca em Vester Egesbord, cidade situada na região central/sul da Dinamarca, distante 88 km de Copenhagen, em 1957. Esta turbina foi um esboço das turbinas eólicas modernas e gerava 200 kW (OLIVEIRA, 2010).

2.3 Aerogeradores

Um aerogerador é um dispositivo destinado a converter a energia cinética contida no vento em energia elétrica. A quantidade de energia gerada depende: da velocidade do vento, do diâmetro do rotor e do rendimento de todo o sistema.

É importante mencionar, que um dos primeiros passos para o desenvolvimento de turbinas eólicas de grande porte para aplicações elétricas foi dado na Rússia em 1931, chamado, aerogerador *Balaclava* era um modelo avançado de 100 kW conectado, por uma linha de transmissão de 6,3 kV de 30 km, a uma usina termelétrica de 20 MW. Essa foi a primeira tentativa bem-sucedida de se conectar um aerogerador de corrente alternada com uma usina termelétrica (SHEPHERD, 1994). A energia medida foi de 280.000 kWh.ano, o que significa um fator médio de 32%. O gerador e o sistema de controle ficavam no alto da torre de 30 metros de altura, e a rotação era controlada pela variação do ângulo de passo das pás. O controle da posição era feito através de uma estrutura em treliças inclinada apoiada sobre um vagão em uma pista circular de trilhos.

Após o desenvolvimento desse modelo, foram projetados outros modelos mais ambiciosos de 1MW e 5MW. Aparentemente, esses projetos não foram concluídos devido à forte concorrência da tecnologia de combustíveis fósseis que com o surgimento de novas reservas, tornava-se mais competitiva economicamente contribuindo, assim, para o abandono de projetos ambiciosos de aerogeradores de grande porte. No entanto, durante a Segunda Guerra Mundial (1939-1945) os aerogeradores de médio e grande porte foram bem desenvolvidos, uma vez que, os países em geral estavam se esforçando para economizar a utilização dos combustíveis fósseis.

Dentre esses países, os Estados Unidos (EUA) desenvolveu um projeto de construção do *Smith-Putnam*, maior aerogerador já edificado até o presente momento. Esse modelo apresentava 53.3m de diâmetro, uma torre de 33.5m de altura e duas pás de aço com 16



toneladas. A geração elétrica era constituída de um gerador síncrono de 1250kW com rotação constante de 28rpm, no qual funcionava em corrente alternada, conectado diretamente à rede elétrica local (KOEPLL, 1994). Esse aerogerador iniciou seu funcionamento em 10 de outubro de 1941, em uma colina de Vermont chamada Grandpa's Knob. Em março de 1945, após quatro anos de operação intermitente, uma das suas pás (que eram metálicas) quebrou-se por fadiga.

Após o fim da Segunda Guerra, os combustíveis fósseis voltaram a abundar em todo o cenário mundial. Um estudo econômico na época mostrava que aquele aerogerador não era mais competitivo e, sendo assim, o projeto foi abandonado. Esse projeto foi pioneiro na organização de uma parceria entre a indústria e a universidade objetivando pesquisas e desenvolvimento de novas tecnologias voltadas para a geração de energia elétrica através dos ventos. Essa parceria viabilizou o projeto com o maior número de inovações tecnológicas até então posto em funcionamento.

De maneira geral, posteriormente a Segunda Guerra Mundial, o petróleo e grandes usinas hidrelétricas se tornaram extremamente competitivos economicamente, e os aerogeradores foram construídos apenas para fins de pesquisa, utilizando e aprimorando técnicas aeronáuticas na operação e desenvolvimento de pás além de aperfeiçoamentos no sistema de geração. A Inglaterra, durante a década de 1950, promoveu um grande estudo anemométrico em 100 localidades das Ilhas Britânicas culminando, em 1955, com a instalação de um aerogerador experimental de 100 kW em Cape Costa, Ilhas Orkney. Neste mesmo período, foi desenvolvido um raro modelo de 100 kW com as pás ocas e com a turbina e gerador na base da torre. Ambos os modelos desenvolvidos na Inglaterra foram abandonados por problemas operacionais e principalmente por desinteresse econômico (DIVONE, 1994).

A Dinamarca, no período inicial da Segunda Guerra Mundial, apresentou um dos mais significativos crescimentos em energia eólica em toda Europa. Esse avanço deu-se sob a direção dos cientistas dinamarqueses Poul La Cour e Johannes Juul. Sendo um país pobre em fontes energéticas naturais, a utilização da energia eólica teve uma grande importância quando, no período entre as duas guerras mundiais, o consumo de óleo combustível estava racionado. Durante a Segunda Guerra Mundial, a companhia F.L. Smidth (F.L.S) foi a pioneira no desenvolvimento de uma série de aerogeradores de pequeno porte na faixa de 45 kW. Nesse período, a energia eólica na Dinamarca produzia, eventualmente, cerca de 4 milhões de quilowatt-hora anuais dada a grande utilização dessas turbinas em todo o país. O sucesso dos aerogeradores de pequeno porte da F.L.S, que ainda operavam em corrente contínua, possibilitou um projeto de grande porte ainda mais ousado. Projetado por Johannes Juul, um aerogerador de 200 kW com 24 m de diâmetro de rotor foi instalado nos anos de 1956 e 1957 na ilha de Gedser. Esse aerogerador apresentava três pás e era sustentado por uma torre de concreto. O sistema forneceu energia em corrente alternada para a companhia elétrica Sydostsjaellands Elektricitets Aktieselskab (SEAS), no período entre 1958 até 1967, quando o fator de capacidade atingiu a meta de 20% em alguns anos de operação (DIVONE, 1994).

A França também se empenhou nas pesquisas de aerogeradores conectados à rede elétrica. Entre 1958 e 1966 foram construídos diversos aerogeradores de grande porte. Entre os principais estavam três aerogeradores de eixo horizontal e três pás. Um dos modelos apresentava 30m de diâmetro de pá com potência de 800kW a vento de 16,5 m/s. Esse modelo esteve em operação, conectado à rede EDF, nos anos de 1958 a 1963. Todo o sistema elétrico não funcionou em estado satisfatório, entretanto, com diversas partes mecânicas. O mais importante desse projeto foi, sem dúvida, o bom funcionamento interligado à rede elétrica de corrente contínua. O segundo aerogerador apresentava 21m de diâmetro operando com potência de 132 kW a vento de 13,5 m/s, foi instalado próximo ao canal inglês de Saint-Remy-des-Landes onde operou com sucesso durante três anos, com um total de 60 dias em manutenção por problemas diversos. O terceiro aerogerador operou por apenas sete meses entre 1963 e 1964. Tratava-se de um modelo que operava com potência de 1085 kW a vento de 16.5 m/s, apresentava três pás com um rotor de 35



m. Esses três protótipos mostraram claramente a possibilidade de se interconectar aerogeradores na rede de distribuição de energia elétrica (DIVONE, 1994).

Durante o período entre 1955 e 1968, a Alemanha construiu e operou um aerogerador com o maior número de inovações tecnológicas na época. Os avanços tecnológicos desse modelo persistem até hoje na concepção dos modelos atuais mostrando o seu sucesso de operação. Tratava-se de um aerogerador de 34 m de diâmetro operando com potência de 100kW, a ventos de 8m/s. Esse aerogerador possuía rotor leve em materiais compostos, duas pás a jusante da torre, sistema de orientação amortecida por rotores laterais e torre de tubos estaiada, operou por mais de 4.000 horas entre 1957 e 1968. As pás, por serem feitas de materiais compostos, aliviaram os esforços em rolamentos diminuindo assim os problemas de fadiga.

3. TIPOS DE TURBINAS HIDRAÚLICAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

3.1 Turbinas de eixo vertical

Os rotores de eixo vertical não necessitam de mecanismos de acompanhamento para variações da direção do vento, o que reduz a complexidade do projeto e os esforços devido às forças de Coriolis. Os rotores de eixo vertical podem ser movidos por forças de sustentação e por forças de arrasto. Os principais tipos de rotores de eixo vertical são Darrieus, Savonius e turbinas com torre de vórtices. Os rotores do tipo Darrieus são movidos por forças de sustentação e constituem-se de lâminas curvas (duas ou três) de perfil aerodinâmico, atadas pelas pontas ao eixo vertical.

A turbina eólica do tipo Savonius é movida por forças de arrasto e consistem em duas ou três conchas. Olhando de cima para a turbina de duas conchas ela tem o formato da letra “s” e, por causa da sua curvatura, as conchas sofrem menos arrasto quando se movem contra o vento do que quando se movem a favor do vento. Essa diferença na força de arrasto gera um momento binário que faz a turbina girar. Por serem turbinas de arrasto, elas extraem muito menos potência do vento quando comparadas com turbinas de tamanho similar movidas por força de sustentação.

3.2 Turbinas de eixo horizontal

As turbinas de eixo horizontal são as mais comumente usadas. Possuem um sistema de pás impulsionadas sobre o rotor montado na horizontal e têm um segundo eixo direcional. Possuem velocidade de arranque mais baixas que as turbinas de eixo vertical e a produção deste tipo de turbina é mais barata. Uma vantagem das turbinas de eixo horizontal é a capacidade de se construir grandes parques eólicos com turbinas posicionadas de uma forma relativamente compacta, sem afetar significativamente o desempenho de cada uma. Por outro lado, este tipo de turbina possui uma mecânica mais elaborada com maior necessidade de manutenção.

2. TURBINAS HIDROCINÉTICAS

Turbina é um mecanismo rotativo que extrai energia do fluxo de um fluido e o converte em trabalho útil. As turbinas mais simples são constituídas por apenas um elemento móvel, a estrutura do rotor. O fluido em movimento atua sobre as pás para que estas se movam, impondo desta forma energia rotativa ao rotor.

As turbinas primitivas são os moinhos de vento e as noras de água já mencionado anteriormente. As modernas turbinas a água, a vapor e a gás possuem um invólucro em redor das pás ou lâminas que contém e controla o fluido de trabalho. A invenção da turbina a vapor é tanto atribuída ao engenheiro britânico Charles Parsons (1854-1931),



que construiu a primeira turbina de reação, como ao engenheiro sueco de Gustaf de Laval (1845-1913), responsável pela primeira turbina de impulso.

As atuais turbinas a vapor utilizam habitualmente tanto o princípio da reação como o do impulso na mesma unidade, que variam no grau de cada um deles da raiz das lâminas até à sua periferia. O cientista francês Claude Burdin cunhou o corrente termo a partir da palavra latina *turbo* (“vórtice”) em 1828 durante uma prova de engenharia. Benoît Fourneyron, um dos seus estudantes, construiu a primeira turbina prática de água.

As turbinas são do tipo a vapor, a gás, hidráulicas, aeronáuticas e eólicas. Dentre as turbinas hidráulicas, destacam as principais do tipo: Pelton, Francis, Kaplan e Bulbo.

O termo Turbina Hidrocinética (THC) é dedicado às máquinas hidráulicas que convertem energia cinética dos rios ou de correntes de maré em eletricidade. O sistema de potência hidrocinética, de pequeno porte e com baixos impactos ambientais, representa uma ótima fonte de geração de energia para pequenas comunidades isoladas que se localizam as margens de rios (BRASIL JUNIOR *et al*, 2006).

4.1 Pioneirismo brasileiro: “cata-água”

Atualmente, sabe-se que a energia cinética oriunda dos rios também pode ser utilizada para gerar eletricidade. E um dos primeiros artigos a serem publicados nacionalmente foram desenvolvidos por Harwood e Ameida pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) no início da década de 1980. Harwood, após demonstrar o potencial de correntezas de rios como fonte de energia, concluiu que seria interessante usar um rotor Savonius como acionador de bombas d’água e rotores do tipo fluxo axial como geradores de Hidroeletricidade (HARWOOD, 1980).

A ideia básica foi construir um cata-vento multi-pá e colocá-lo submerso, para girar na correnteza de maneira semelhante à de cata-vento. Assim, o nome “cata-água” (figura 3). A unidade foi ancorada no rio Solimões num local com uma correnteza de 0,6 m/s. O alternador girou com uma velocidade de 1.500 rpm correspondendo a uma velocidade da turbina de 4,8 rpm. A potência desenvolvida foi de 40 W. A conversão de energia da correnteza em energia elétrica foi de 12% (HARWOOD, 1981).

O novo protótipo de cata-água conservou os elementos básicos incorporados no primeiro protótipo. No entanto, algumas adaptações foram melhoradas, esta unidade consistiu no desenvolvimento de uma turbina feita de uma roda de cata-vento da marca “Fortuna”. Em geral a produção elétrica começou a ser significativa com velocidades de correnteza superiores a 0,7 m/s. A potência de 1kW foi alcançada com uma correnteza de 1,1 m/s. O rendimento global ficou em torno de 12%, isto é, 12% da energia cinética da correnteza que passa pela turbina foi convertida em energia elétrica (HARWOOD, 1985).

Figura 3 – Cata-água





4.2 Turbinas Hidrocinéticas Geração 1

A origem do projeto de construção da THC Geração 1, surge a partir de uma demanda social solicitada por um médico Edgard Van Den Beush feita ao Departamento de Engenharia Mecânica (DEM) da Universidade de Brasília para fornecer energia elétrica a um posto de saúde localizado em um povoado à beira do rio Corrente, no município de Correntina/BA.

Teoricamente para a turbina funcionar, a velocidade da correnteza precisa ter, no mínimo, 1,5 m/s e profundidade de pelo menos 1m. Com esses requisitos, é possível obter 400 kWh/mês, porém, em melhores condições, podem atingir uma produção de até 3.000 kWh/mês, o que representa o consumo médio de 10 casas populares. A máquina desenvolvida foi composta por um rotor axial de 2 (duas) pás com uma grade cônica de proteção frontal contra eventuais destroços flutuantes. Um estator com pás diretrizes direcionando o fluxo da água que entra na turbina para melhorar o ângulo de ataque na hélice, otimizando a transformação da energia hidráulica em mecânica. Em testes realizados no campo, os melhores resultados para esta turbina foram obtidos com uma velocidade de escoamento de 2m/s e seis pás, 80cm de diâmetro e coeficiente de solidez de 30%. Nestas condições a máquina gera 1,5 kW, atendendo plenamente a necessidade de energia do pequeno posto de saúde (BRASIL JUNIOR *et al.*, 2005).

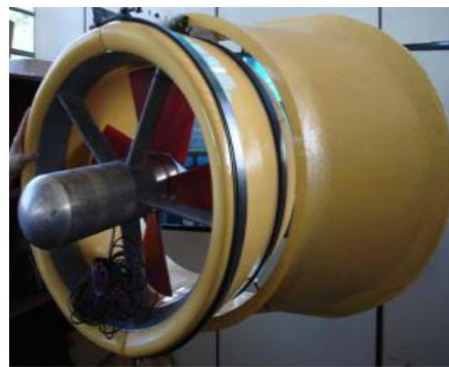
4.3 Turbinas Hidrocinéticas Geração 2

Com a instalação de um difusor cônico - usando o mesmo conceito de turbinas eólicas com difusor, surgiu a turbina hidrocinética Geração 2 (figura 4a), instalada também em Correntina-BA em Agosto de 2005 e no Maracá - AP (Outubro 2006) (Município de Mazagão). O uso do difusor gera uma desaceleração do escoamento na saída da turbina criando uma região de baixa pressão neste ponto, aumentando a velocidade do escoamento na entrada e consequentemente o coeficiente de potência da máquina. Esta melhora de desempenho foi efetivamente observada em testes realizados, no entanto, um aumento das dimensões devido ao uso do difusor, torna esta máquina inadequada para uso em certos rios com baixa profundidade (BRASIL JUNIOR *et al.*, 2005).

Figura 4 – a) Turbina hidrocinética Geração 2; b) Protótipo da turbina hidrocinética Geração 3



a)



b)



4.3 Turbinas Hidrocinéticas Geração 3

O projeto foi evoluindo e a busca por uma máquina axial livre com difusor mais compacto, portátil e com um desempenho hidrodinâmico melhor, foi concebido a turbina hidrocinética Geração 3 (figura 4b). A superfície interna da carcaça perfilada age como um difusor, reduzindo a pressão na saída. O gerador agora também foi integrado ao núcleo, formando um conjunto com o rotor. Estas foram as importantes inovações nesta nova geração. Este tipo de geometria proposto visa à obtenção de uma máquina axial com um bom desempenho hidráulico, como o de uma turbina axial convencional, que pode alcançar uma eficiência hidráulica próxima a 90%. Por outro lado, como estabelecido pelo limite de Betz para máquinas de fluxo livre, a energia máxima que pode ser convertida da energia cinética na área do rotor de projeção é 59.3% ($C_p = 0.59$). Esta baixa eficiência deve-se à redução da velocidade do fluxo na entrada da turbina e induz a uma baixa exploração de energia cinética. O uso de um difusor partido faz com que o escoamento externo da turbina passe pelo vão entre a carcaça e o difusor, levando a um controle da camada limite na superfície interna deste difusor.

A concepção do *design* hidrodinâmico é inovadora, e permite uma plena resposta aos objetivos de evolução tecnológica da máquina. Para o desenvolvimento tecnológico desta turbina, três abordagens foram consideradas:

- Abordagem convencional para o desenvolvimento de projeto hidrodinâmico de máquinas hidráulicas: Nesta etapa foi possível uma concepção preliminar das partes, baseadas na teoria de máquinas de fluxo carenadas;
- Simulação do escoamento: Através de ferramentas de CFD (*Computational fluid dynamics*) foi possível a otimização da geometria da máquina, prevendo sua curva de eficiência para diferentes condições de operação;
- Ensaio em modelo reduzido: A partir de ensaios em túnel de vento foi possível realizar a verificação dos resultados numéricos obtidos e a posterior melhoria dos mesmos;

A partir do desenvolvimento do projeto hidrodinâmico e mecânico da turbina, foi possível uma construção, e posterior ensaio, do protótipo da turbina G3 (BRASIL-JUNIOR, 2005). Atualmente, tem-se vários projetos que visam melhorar o desempenho energético das turbinas hidrocinéticas. Dentre as quais, cita-se a Turbina Hidrocinética da Smart Hidropower (figura 5).

Figura 5 – Turbina hidrocinética Smart



O uso dessa tecnologia da THC, revela-se como um interessante meio de geração de energia renovável e não – poluente. Tal sistema de desenvolvimento é uma forma alternativa de gerar eletricidade e representa um excelente meio de aproveitar a energia



renovável dos rios, sem agredir o meio ambiente para comunidades que são desprovidas do abastecimento elétrico convencional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRITO, S. S. *Energia eólica: princípios e tecnologias*. CEPEL/CRESESB – centro de referência para energia solar e eólica, 2008.
- BRASCEP, C. Fontes Energéticas Brasileiras, Inventário/Tecnologia. Energia Eólica. V.1 *De cata-ventos a aerogeradores: o uso do vento*, Rio de Janeiro, 1987.
- BRASIL-JUNIOR, A. C. P.; ELS, R.V.; SALOMON, L. R. B.; OLIVEIRA, T.; RODRIGUES, A.P; FERREIRA, W. *Turbina Hidrocinética Geração 3*. UNB, 2005.
- BRASIL-JUNIOR, A.C.P.; SALOMON, L. B. R; VAN-ELS, R; FERREIRA, W. O. A *new conception of hydrokinetic turbine for isolated communities in Amazon*. in Proc. of CONEM 2006, 2006.
- DIVONE, L.V. *Evolution of Modern Wind Turbines*. In Wind Turbine Technology – Fundamental Concepts of Wind Turbine Engineering, SPERA, S.A, 1 ed. New York, ASME Press, pp 73-138. 1994.
- HARWOOD, J.H. *Comparação de três rotores feitos localmente com eixos em diferentes dimensões extraindo energia cinética hidráulica dos rios Amazônicos*. Acta Amazônia, 10 (1) 167-177,1980.
- HARWOOD, J. H. *Hidreletrecidade do rio Solimões usando um “cata-água”*. Acta Amazonica 11(3):1981.
- HARWOOD, J. H. *Protótipo de um cata-água que gera 1 kW de Eletricidade*. Acta Amazonica; Vol. 3; Num. 15; pp 403-412; Manaus; 1985.
- KOEPL, G.W. *Putnam’s Power from the Wind*. 2. ed. Van Nostrand Reinhold Co., New York. apud SHEPHERD, 1994 Op. cit.
- OLIVEIRA, A.A. *Turbinas Eólicas*. UNERJ, Jaraguá do Sul, Out. 2010.
- SHEPHERD, D. G. *Historical Development of the Windmill*. In Wind Turbine Technology – Fundamental Concepts of Wind Turbine Engineering, SPERA, S.A, (ed), 1 ed. New York, ASME Press, pp 1-46, 1994.

FROM THE WINDMILL TO THE HYDROKINETIC TURBINE

Abstract: *This paper presents a brief history of windmills and their evolution to the current turbines (wind and hydrokinetic), focusing on the historical and technical characteristics of wind power precursors and the initial technologies of wind turbines, as well as briefly discuss important contributions Development of hydrokinetic turbines. The concise format of the information allows the text to serve as the initial text for important discussions in disciplines such as fluid mechanics, turbomachinery, renewable energies, and the like.*

Key-words: *Windmill; Wind turbines; Hydrokinetic turbines*