

James Da Rocha Vitoriano, Augusto César Barreto Rocha, João Caldas do Lago Neto \*

# Produção de Pás para Turbina Hidrocinética: Inovação de Alta Tecnologia a partir de Baixa Tecnologia

\*

James Da Rocha Vitoriano é Graduado em Desenho Industrial (UFAM/AM) [jamesrocha@ufam.edu.br](mailto:jamesrocha@ufam.edu.br)  
ORCID 0000-0003-3914-2674

Augusto César Barreto Rocha é Doutorado em Engenharia de Transportes pela UFRJ (2009), mestrado em Engenharia de Produção pela UFSC (2002), especialização em Gestão da Inovação pela Universidade de Santiago de Compostela-Espanha (2000) e graduação em Processamento de Dados pela UFAM (1998). Possui ainda certificação em Estratégia e Inovação (2012) e Gestão & Liderança (2013) pelo Massachusetts Institute of Technology – Estados Unidos  
[agusto@ufam.edu.br](mailto:agusto@ufam.edu.br)  
ORCID 0000-0001-9477-2375

João Caldas Do Lago Neto é Doutorado em Energia Elétrica UFPA/PA, mestrado em Engenharia de Produção pela UFSC/SC, especialização em Gestão da Qualidade e Produtividade pela UFRGS/RS, Graduado em Engenharia Mecânica e Estatística, Graduado em Engenharia Mecânica (UTAM) e Estatística (UFAM).  
[jcaldas@ufam.edu.br](mailto:jcaldas@ufam.edu.br)  
ORCID 0000-0001-7382-8165

**Resumo** A história nos mostra que há diversos exemplos da humanidade tentando suprir suas necessidades e resolver problemas através da tecnologia, utilizando recursos e conhecimentos para garantir seu bem estar. O presente trabalho pretende fazer um comparativo entre alta e baixa tecnologia aplicada no mesmo processo de construção de pás em madeira para turbina hidrocinética, buscando responder se é possível inovar utilizando baixa tecnologia? Será feita uma análise comparativa da inovação com baixa tecnologia, conceito de turbina hidrocinética e construção de suas pás com alta e baixa tecnologia. Na análise de exemplos da fabricação das pás com alta e baixa tecnologia, constatou-se que cada tecnologia atende de forma distinta ao consumidor, a fabricação com alta tecnologia utilizando equipamentos CNC, melhor aplica-se a grandes centros, levando em conta suas características como custo de investimento e implantação. Para baixa tecnologia, utilizando ferramentas simples de marcenaria, conseguem-se resultados similares, confirmando a possibilidade da inovação caracterizada disruptiva para comunidades isoladas, promovendo principalmente desenvolvimento social atendendo a necessidade de geração de energia elétrica.

**Palavras-chave** Turbina hidrocinética, Inovação disruptiva, Inovação com baixa tecnologia.

### **Production of Blade for Hydrokinetic Turbine: High Tech Innovation from Low Tech**

**Abstract** *History shows us that there are many examples of humanity trying to meet its needs and solve problems through technology, using resources and knowledge to ensure its well-being. The present work intends to make a comparison between high and low technology applied in the same process of construction of wooden blades for hydrokinetic turbine, seeking to answer if it is possible to innovate using low technology? A comparative analysis will be made of the innovation with low technology, the concept of hydrokinetic turbine and the construction of its blades with high and low technology. In the analysis of examples of the manufacture of blades with high and low technology, it was found that each technology serves the consumer in a different way, the manufacture with high technology using CNC equipment, best applies to large centers, taking into account their characteristics as investment and deployment cost. For low technology, using simple woodworking tools, similar results are achieved, confirming the possibility of innovation characterized as disruptive for isolated communities, mainly promoting social development meeting the need for electricity generation.*

**Keywords** *Hydrokinetic turbine, Disruptive innovation, Low-tech innovation.*

### **Proucción de Àlabes para Tubina Hidrocinética: Innovación de Alta Tecnología la Baja Tecnología**

**Resumen** *La historia nos muestra que hay muchos ejemplos de humanidad tratando de satisfacer sus necesidades y resolver problemas a través de la tecnología, utilizando recursos y conocimientos para asegurar su bienestar. El presente trabajo pretende hacer una comparación entre alta y baja tecnología aplicada en un mismo proceso de construcción de álabes de madera para turbina hidrocinética, buscando responder si es posible innovar utilizando baja tecnología. Se realizará un análisis comparativo de la innovación con baja tecnología, el concepto de turbina hidrocinética y la construcción de sus palas con alta y baja tecnología. En el análisis de ejemplos de fabricación de palas con alta y baja tecnología, se encontró que cada tecnología atiende al consumidor de una manera diferente, la fabricación con alta tecnología utilizando equipos CNC, se aplica mejor a los grandes centros, teniendo en cuenta sus características. como costo de inversión y despliegue. Para baja tecnología, utilizando herramientas simples de carpintería, se obtienen resultados similares, lo que confirma la posibilidad de innovación caracterizada como disruptiva para comunidades aisladas, promoviendo principalmente el desarrollo social atendiendo la necesidad de generación de energía eléctrica.*

**Palabras clave** *Turbina hidrocinética, Innovación disruptiva, Innovación low-tech,*

## Introdução

A humanidade sempre busca a solução de problemas, para melhoria da qualidade de vida dos membros de uma sociedade, mas na cultura industrializada a invenção da roda que não se sabe ao certo quem a inventou, mas há registros de pelo menos 4.500 a. C. Esta foi uma grande inovação e um marco, que ajudou desenvolver a civilização.

Na história, a roda, foi utilizada em diversas aplicações como em bigas para luta, na agricultura em carros de boi, em moinhos para moer grãos, transportar tropas e alimentos, posteriormente utilizadas em máquinas a vapor da primeira revolução industrial, em forma de polias e engrenagens, que evoluiu, continuamente fazendo parte do nosso cotidiano nos mais diversos dispositivos que nos cercam, como: automóveis, ventiladores, condicionadores de ar, aviões, máquina de lavar, máquinas industriais e etc.

Em contraponto temos a canoa biselada, ou seja, em forma de cunha, que não era conhecida pelo homem branco, mas já era utilizada para manter o comércio entre havaianos e taitianos atravessando cadeias de ilhas a uma distância de 2.500 milhas sem se perderem, utilizando como referência, somente as estrelas, os pássaros e os peixes. Isto ocorreu pelo menos 1000 anos antes de descoberta do novo mundo em 1492, sendo esta distância equivalente entre o novo e o velho continente.

Na Austrália os aborígenes caçavam com um instrumento simples, mas muito eficaz, o bumerangue.

Os esquimós construía iglus, utilizando o próprio gelo, para manter a temperatura mais amena em seu interior, protegendo-os contra fortes tempestades na imensidão gelada do ártico.

Estes povos dispunham de conhecimentos sobre os meios e os recursos de onde viviam para garantir a sobrevivência e sua qualidade de vida, elementos essenciais para proporcionar inovações e estas não surgiram por passe de mágica, mas, com uma boa percepção dos elementos presentes e persistência na tentativa de erros e acertos para que suas aplicações se tornassem úteis, resolvendo determinados problemas.

Portando, podemos observar que a tecnologia utilizada por cada sociedade supriram suas necessidades humanas e foram inovações, apesar de não serem considerados de alta tecnologia, Herbig, Paul A., & Kramer, Hugh. (2007).

O presente trabalho tem como objetivo fazer um comparativo na utilização de baixa tecnologia em relação à alta tecnologia no processo de produção de pás em madeira para turbina hidrocinéticas axiais, ou seja, responder a questão: é possível inovar utilizando baixa tecnologia, para um processo que utiliza alta tecnologia para a produção das pás para a turbina hidrocinética? Desta forma, buscar entender como se dá o teor de inovação deste produto que possui sua concepção inicial utilizando alta tecnologia, com ferramentas CAD (Desenho Assistido por Computador), ou seja, são geradas por processo computacional, mas sua confecção pode ser realizada também com alta tecnologia, utilizando CNC (Comando Numérico Compu-

tadorizado), ou feita com ferramentas simples, utilizando: serra, plaina, lixa e outras que não fazem uso de energia elétrica, possibilitando sua execução em oficinas totalmente isoladas.

Como material utilizado para fabricação será utilizado a madeira, por se adequar as propriedades mecânicas e físicas necessárias, como resistência, leveza e durabilidade, além de ser um material relativamente abundante e acessível às comunidades isoladas na região amazônica. Sendo este material apropriado tanto em alta tecnologia quanto em baixa tecnologia.

As ferramentas utilizadas serão simples, facilitando a disponibilidade aos usuários, não sendo necessários grandes conhecimentos técnicos para que possam confeccionar as pás, elementos estes, vulneráveis em sua utilização e de custo relativamente alto utilizando outros materiais e processos, que neste caso se torna uma inovação dita disruptiva, por se tornar viável, em função da redução de custo e atendimento das carências de energia elétrica de comunidades isoladas, havendo seu beneficiamento, além do engajamento dos interessados poderem ter autonomia na produção e manutenção do equipamento.

## Metodologia

Será feita uma análise descritiva a respeito da inovação utilizando baixa tecnologia, o que a caracteriza, e sua definição, atribuindo ao processo de confecção das pás de uma turbina hidrocinética, sendo feita uma descrição conceitual, suas aplicações, principalmente em comunidades isoladas. Em seguida serão abordados os principais processos de fabricação por meio de alta e baixa tecnologia, suas implicações em relação ao atendimento de cada segmento ao qual se destina. Também abordaremos a inovação disruptiva aplicada à confecção das pás, utilizando baixa tecnologia, com ferramenta simples, além da madeira como matéria prima, recurso extraído com cuidados em relação à sustentabilidade, mas relativamente abundante na região. Serão descritos as características das turbinas hidrocinéticas, os tipos e aplicações. Veremos os processos de construção das pás em madeira de turbina hidrocinética realizados com alta e baixa tecnologia, em seguida será feita uma análise comparando os processos, suas diferenças e viabilidade, sejam estas, técnicas ou financeiras, fazendo um comparativo entre os extremos da tecnologia para obter resultados similares e funcionais, atendendo o público ao qual se destina.

## Inovação utilizando baixa tecnologia

Inovações tecnológicas do mundo industrial que mudaram nosso cotidiano a nível mundial, cada uma, dentro de uma determinada linha do tempo, temos então: a invenção do transistor, válvula iônica, raio X, vapor, energia nuclear, lâmpada, motor ciclo Otto, motor elétrico, telescópio, internet, dentre muitos outros. Todos são de grande importância, porque fizeram com houvesse um avanço do conhecimento da sociedade a nível

globalizado. Portanto, quando falamos em inovação, logo somos remetidos a um pensamento de tecnologia industrial, mas, este conceito é equivocado, a inovação não está restrita à alta tecnologia, devemos analisar o conceito de inovação ao qual se refere a uma novidade, algo desconhecido ou novo, que pode ser: uma ideia, um produto, um conceito, um processo, utilizados em um determinado contexto, dentro de uma sociedade. Uma inovação segundo o Manual de Oslo (1990-1992-1997), no qual uma “Inovação é a introdução de algo novo em qualquer atividade humana. A diversidade de significado de inovação se dá, pela abrangência de sua aplicação como vetor de desenvolvimento humano e melhoria da qualidade de vida”.

Para Freeman (1988) inovação é o processo que inclui as atividades técnicas, concepção, desenvolvimento, gestão e que resultam na comercialização de novos (melhorados) produtos ou processos.

Devemos analisar o conceito da palavra “inovação”, que vem do latim “inovare”, ou seja, criar algo diferente que faça uma mudança, ou algo que nunca antes tenha sido criado, e que traz algum benefício a um determinado grupo, não necessariamente é um avanço na base do conhecimento científico, mas alguma melhoria na qualidade de vida dos indivíduos, adaptando-se melhor ao seu ambiente que usufruam deste “novo”, tendo alguma utilidade e sendo normalmente de ordem econômica ou social.

Devemos também explorar o termo “tecnologia”, que também nos remete a um conceito de algo à frente, mas não é bem assim, em sua essência, este termo provém de 1750, no qual se originam das palavras gregas “techné e logos”, sendo: techné = saber fazer e logos = conhecimento científico, que na verdade, tecnologia é uma técnica com base científica para resolução de problemas, e de utilização no presente, tendo resultados concretos como por exemplo: transistores, compósitos, produtos industrializados, produção agrícola, ferramentas e etc. Também podemos obter resultados abstratos, como: privacidade, dignidade humana, ambiente de trabalho, resolução de problemas sociais, econômicos, políticos e etc., Cupani (2016).

Fazendo uma associação dos termos, para o homem primitivo, o fogo, é um fenômeno ao qual este não conhecia, e é uma inovação para o mesmo, trazendo grandes consequências, inclusive evolutivas, pois se mudou a forma de se preparar alimentos, serviu também para afugentar animais selvagens, impor poder perante outras sociedades, além de trazer toda uma gama de possibilidades que acabaram induzindo a outras inovações. Não se sabe que inventou, mas, descobriu-se que ao se fazer a fricção de determinados materiais, principalmente metálicos, produziam fagulhas, ou seja, com determinada técnica, conseguia-se acender o fogo e o processo podia ser replicado. Com o avanço do conhecimento humano, descobriu-se, por exemplo, que lentes podiam ser utilizadas para focalizar e concentrar um feixe de alta energia provinda do sol suficientemente quente para acender o fogo, os gregos na antiguidade, tiveram inclusive a ideia de transformar este conhecimento em arma. Outra técnica e a utilização de um palito de madeira com uma ponta revestida de pólvora, que ao se friccionar sobre uma determinada superfície, também se obtém o fogo.

Nestes três exemplos temos técnicas e tecnologias distintas para fazer o fogo, sendo a técnica, a prática ou a arte de se fazer, o procedimento para se chegar ao resultado. As tecnologias são o conhecimento, ou ciência adquirida para se utilizar as técnicas. E esta tecnologia pode ser explorada por mercados, sendo útil a determinados grupos sociais.

Quanto ao nível tecnológico, ainda hoje, há segmentos que utilizam barras metálicas utilizadas para produzir fogo, foram estudados materiais e formas que melhoraram sua eficiência em se produzir as fagulhas, portanto, não sendo necessariamente, esta, considerada uma tecnologia obsoleta ou baixa tecnologia, pois em locais extremamente úmidos, outras tecnologias não são tão eficientes quanto esta, portanto atende bem a determinado segmento. A técnica é praticamente a mesma do homem primitivo, porém a velocidade e facilidade para se fazer o fogo, melhorou consideravelmente por conta do conhecimento científico para aplicação dos materiais, forma e processo, ou mesmo a mudança para novos nichos como simplificar seu uso, em que em vez de uma barra metálica, necessitando certa habilidade em seu uso, agora temos um sistema compacto provido de uma pequena câmara de gás, em que com um movimento do polegar giramos um cilindro metálico que fricciona sobre outro metal especialmente projetado, gerando uma chama, pronto, temos o isqueiro, que partiu de baixa tecnologia para alta tecnologia, explorada por grandes marcas do mercado, desta forma, havendo um salto na tecnologia para chegar ao resultado do exemplo que no caso é fazer o fogo. Temos nesta situação uma “inovação disruptiva”, termo empregado primeiro em um artigo de Clayton Christensen, (1995) Harvard Business Review, tendo como coautor Joseph L. Bower, posteriormente no livro intitulado “the Innovator’s Dilemma”, Gobble (2016). Segundo Shang & Abdul (2018), este novo termo chamado “inovação disruptiva”, definia a perspectiva de uma tecnologia para resolver o dilema do inovador. A tecnologia disruptiva era inicialmente inferior a uma tecnologia de vanguarda na dimensão de desempenho e valor de consumo convencional, atrairia consumidores em mercados restritos, fornecendo produtos mais acessíveis, mais simples e mais convenientes. De uma perspectiva dinâmica, a inovação disruptiva ocupa inicialmente um lugar de destaque em mercados baixos e em novos mercados e continua a mover-se para mercados de ponta, acabando em alguns casos, por substituir os principais produtos. Christensen (2006) propôs o processo de construção de uma teoria disruptiva e reforçou a credibilidade e fiabilidade do quadro teórico. A maioria dos estudiosos concordou com os pontos de vista de Christensen e constantemente têm se aperfeiçoado na definição de inovação disruptiva a partir de múltiplas perspectivas.

De uma perspectiva estática, a inovação disruptiva tem sido vista como uma tecnologia, produto e processo que lentamente sobe das empresas existentes e ameaça deslocar as empresas já consolidadas no mercado. De uma perspectiva funcional, inovação disruptiva tem sido visto como um importante instrumento estratégico para expandir e desenvolver novos mercados ou para destruir as ligações de mercado existentes.

De uma perspectiva criativa, a inovação disruptiva foi definida como uma forma de alterar o desempenho do mercado, métricas ou expectativas dos consumidores, sendo estes os principais elementos que justificam a nova forma de inovação aplicada à construção das pás para a turbina hidrocinética de eixo horizontal atendendo determinadas necessidades nestas comunidades, como já foi visto anteriormente, uma novidade por este público, havendo interesse pelos benefícios trazidos, mesmo utilizando materiais, ferramentas e processos considerados simplórios ao nível de tecnologia, visto por outros olhos, mas para estes usuários, talvez não haja algo mais moderno, ou que melhor atenda seus anseios, provendo autonomia e independência, pois se uma lâmina for quebrada durante o funcionamento, estes poderão prontamente fazê-la, pois, os dados, gabaritos e processos, baseados em dados científicos. O know-how que será adquirido através de manual explicativo e treinamento, além dos meios com a utilização da madeira como matéria prima e ferramentas para execução do artefato.

## **Turbina hidrocinética**

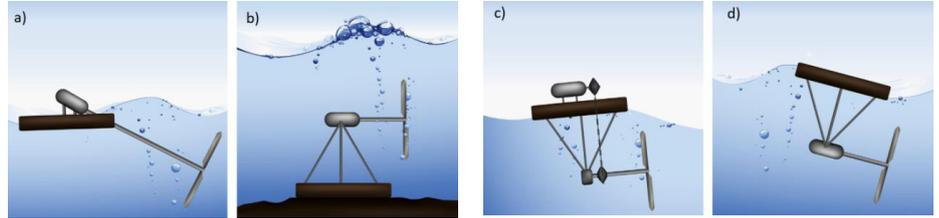
Segundo Muñoz (2014), as turbinas hidrocinéticas aproveitam as correntes da água de rios e canais artificiais, para transformar esta energia cinética, em energia elétrica, são diferentes em funcionamento das hidroelétricas, que dependem de queda da água ou se represamento, necessitando de grandes estruturas para implantação, sendo necessária a geração, transmissão e distribuição da energia gerada, chamada on-grid, ligados ao sistema energético local, só são viáveis para o atendimento grandes densidades demográficas, pois os custos financeiros, ambientais e sociais, são altos, apesar, conseguirem uma boa densidade de extração de energia em relação às turbinas hidrocinéticas, dentro do sistema energético chamado off-grid. As turbinas hidrocinéticas são de rápida implantação, operação, mas devem ser bem planejadas para que sejam viáveis dependendo do local onde serão instaladas, neste caso a região amazônica, com grandes bacias hidrográficas e afluentes, dificultando a transmissão e distribuição de energia elétrica. Também é um problema a utilização de fontes alternativas de energia, como a fotovoltaica e eólica, no caso da fotovoltaica, boa parte do ano fica nublado ou chovendo, devido ao grande volume pluviométrico, há também o acúmulo de fungos e vegetação sobre as placas solares e a própria umidade que não favorece o funcionamento de eletrônicos. Em relação à geração eólica, o problema é a topografia e a grande quantidade de árvores que impede que os ventos circulem e absorvendo boa parte da força necessária a sua utilização (Hincapié, 2018).

Há uma grande variedade de turbinas hidrocinéticas, portanto, torna-se necessário a sua classificação, que no caso está relacionada com a posição do seu eixo em relação ao fluxo da água, podendo ser axial ou transversal, no qual, há duas vertentes principais; as turbinas hidrocinéticas de eixo axial, com suas classificações, conforme podemos ver na figura

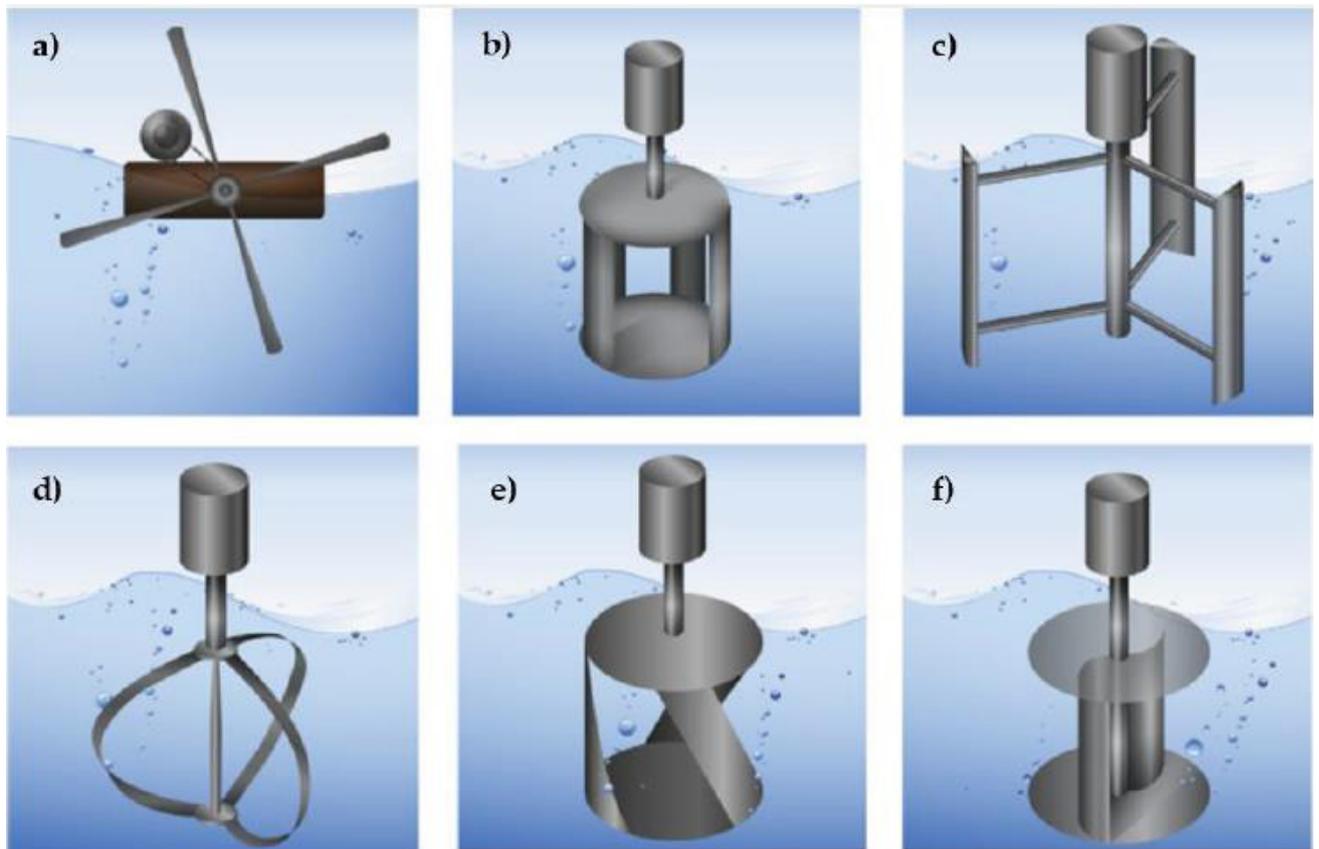
1. Este tipo de turbina o fluxo da água é paralelo ao eixo de rotação e em sua extremidade há um propulsor que transmite a energia cinética para o eixo.

**Figura 1** Turbinas hidrocinéticas axiais: a) eixo inclinado, b) base fixa, c) com gerador não submerso, d) com gerador submerso

Fonte Vermaak et al, 2014



O outro tipo de turbina hidrocinética são as turbinas de eixo cruzado, onde nesta situação o eixo é perpendicular ao fluxo da água, com uma posição horizontal e o restante na posição vertical, podemos ver suas classificações na figura 2.



**Figura 2** Turbinas hidrocinéticas de fluxo transversal: a) eixo horizontal, b) gaiola de esquilo Darrieus, c) H-Darrieus, d) Darrieus, e) Gorlov, e f) Savonius

Fonte Vermaak et al, 2014

Nesta situação o eixo está perpendicular em relação ao fluxo da água, podendo ter configuração horizontal conforma a figura 2a, ou vertical nas figuras 2b, 2c, 2d, 2e, 2f. Este sistema opera com dois estágios de extração de energia, diferente das turbinas hidrocinéticas de eixo axial, que trabalham em um estágio, portanto, possuem um rendimento inferior, além de serem mais complexas no quesito construção, por este motivo, o presente trabalho tratará da fabricação das pás para a turbina hidrocinética axial mostrada na figura 1d, com gerador submerso. Um dos elementos

essenciais ao funcionamento do sistema, portanto, sua fabricação deve ser bem planejada no que diz respeito a custo, pois é um elemento vulnerável, sujeito a possíveis substituições que implicam em transtornos para o usuário, por conta de sua troca e tempo parado sem a geração de energia.

## **Processo de fabricação de pás de turbinas hidrocinéticas em grandes centros**

Há diversos materiais e processos de alta tecnologia que podem ser utilizados para fabricação das pás de turbinas hidrocinéticas ou elementos propelentes similares como: turbinas eólicas ou hélices utilizadas em aviões, dentre os materiais podemos citar o alumínio, fibra de carbono, aço inox, compósitos e etc. Estes materiais são relativamente onerosos em relação ao preço, mas apresentam excelente desempenho dependendo da sua aplicação e são viáveis economicamente, quando fabricados em média ou larga escala.

Dentre os processos normalmente utilizados nos grandes centros urbanos, temos o CNC (Comando Numérico Computadorizado), executados em Centros de Usinagem, que são caracterizados pelo número de eixos, que podem ser de três, quatro, cinco ou seis eixos, e estes, determinam a precisão e a rapidez no qual o produto pode ser fabricado. Estes equipamentos também podem ser utilizados para a fabricação de moldes em diversos materiais, servindo à construção dos componentes de pequenas a grandes turbinas, amplamente utilizadas em turbinas eólicas.

Portanto, estes equipamentos são versáteis, precisos e rápidos em relação a mudanças no projeto, pois normalmente parte de um desenho feito em CAD (Desenho Assistido por Computador), possibilitando ver com antecedência o projeto pronto, além de simular esforços, propriedades físicas e mecânicas, minimizando erros e antecipando a possibilidade de prejuízos antes que aconteçam.

Mas para que o ciclo se complete os dados gerados no CAD, devem ser convertidos para NC (Comando Numérico) lidos pelas máquinas de CNC, esta conversão é feita por um CAM (Manufatura Assistida por Computador). Normalmente estes softwares, são proprietários e possuem um alto custo inerente as suas licenças, além, claro, o próprio Centro de Usinagem (CNC), possui um alto valor de aquisição, operação e manutenção, também elevados, o que acaba recaindo sobre o produto acabado sendo viável para produção em escala ou bens duráveis no qual o valor acaba se diluindo ao longo do tempo, portanto, todos estes devem ser bem avaliados.

Devendo levar em conta que o processo como um todo normalmente necessita de muita energia elétrica, grandes edificações para acomodar os equipamentos, ou seja, grandes investimentos para sua implantação, sendo possível somente para grandes instituições e centros urbanos.

Outros fatores importantes na utilização de CNC, é que este requer mão de obra qualificada, um bom conhecimento dos processos, simulações prévias até se chegar ao procedimento exato, pois um erro pode provocar

a quebra do equipamento ou descartes sucessivos das peças trabalhadas, acarretando em enormes prejuízos.

Para exemplificar o processo, temos a pá de uma turbina hidrocinética usinada em um bloco de madeira por um CNC de três eixos, mostrado na figura 3, e as pás montadas na turbina hidrocinética, ilustrado na figura 4.

**Figura 3** Corte das lâminas de uma turbina hidrocinética sendo realizada em um centro de usinagem padrão

Fonte Muñoz e De la Jara, 2014



**Figura 4** Lâminas já montadas na turbina hidrocinética

Fonte Muñoz e De la Jara, 2014



## Fabricação das pás para turbinas hidrocinéticas com baixa tecnologia

A madeira é um material versátil, abundantemente encontrado na região amazônica, requerendo alguns cuidados relativos à sustentabilidade, e também ao manuseio, pois é necessário tratamento prévio para evitar alguns problemas necessários a sua conservação, principalmente, rachadura, empenho, nós e etc. Contudo, este material é perfeitamente aplicável à construção, seja em grandes centros ou em comunidades iso-

ladas, necessitando de um estudo de métodos que resultem em uma produção adequada.

As primeiras hélices de avião eram de madeira, e ainda estão presentes no mercado hoje, onde há muitos fabricantes que vendem e se mantêm com uma marca forte no mercado utilizando este material, algumas possuem processos totalmente manuais e outras com um misto de tecnologias, figura 5.

Figura 5 Avião moderno utilizando hélice em madeira.

Fonte <https://stocktonpropeller.com>



Turbinas eólicas de pequeno e médio porte, também são alternativamente fabricadas em madeira, apresentam ótimo desempenho, figura 6.

Figura 6 Turbina eólica de pequeno porte, com as pás construídas em madeira

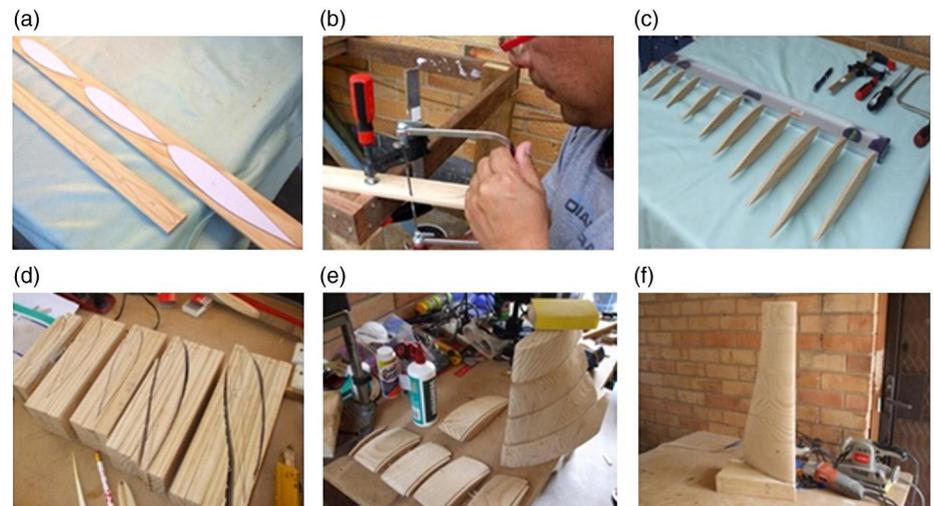
Fonte <https://www.eng-tips.com>



Anyi & Kirke (2011), propuseram a construção de pás em madeira para uma turbina hidrocinética na comunidade isolada de Sarawak na Malásia. Primeiro foi feito um modelo, no qual serviu de base para fazer mais três cópias, provando a viabilidade do processo, com a utilização de madeira da própria região e utilização de ferramental simples para a confecção das pás para a turbina hidrocinética, conforme figura 4.

**Figura 7** (a) (b) e (c) Fazendo os gabaritos das seções da pá, (d) (e) e (f) confecção do modelo da pá

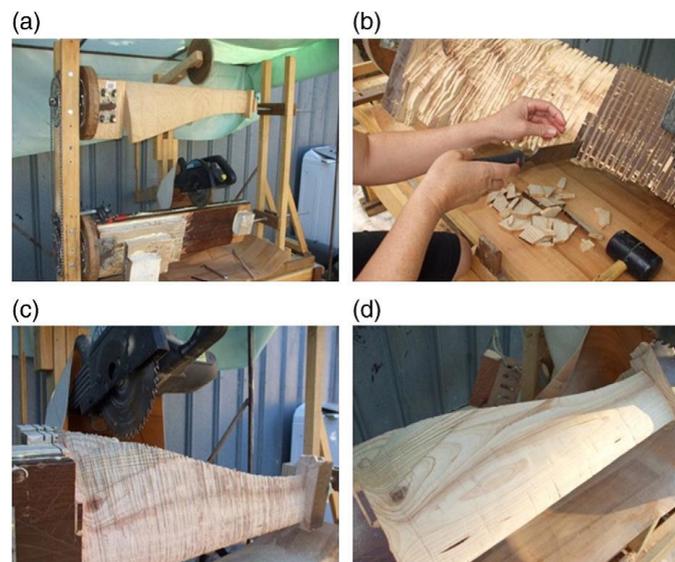
Fonte Anyi & Kirke, 2011



O modelo feito por Anyi & Kirke (2011), utilizaram recortes impressos de desenhos das seções produzidas em CAD (Desenho Auxiliado por Computador), Fig. 7(a), depois foram colados sobre lâmina de madeira e cortadas com arco de serra para marceneiro Fig. 7(b), as lâminas são organizadas Fig. 7(c), montadas sobre blocos, obedecendo aos ângulos determinados no projeto, então, cortados com uma serra de fita, Fig. 7(d), são colados, preenchidos e lixados, Fig. 7(e), finalmente o modelo acabado Fig. 7(f). Estes então puderam ser copiados utilizando duas alternativas, uma copiadora de disco e uma copiadora router, conforme figura 8.

**Figura 8** (a) e (b) pá sendo sendo feita pela copiadora com disco de serra, (c) e (d) pá sendo feita com copiadora tipo router

Fonte Anyi & Kirke, 2011



O trabalho destes autores mostrou e confirmou que é possível a construção de pás para turbinas hidrocinéticas e sua viabilidade, mesmo em comunidades remotas.

## Resultados e discussão

Fazendo um comparativo em ambas as tecnologias: alta tecnologia e baixa tecnologia aplicadas para a construção das pás para turbina hidrocinética, observamos que se consegue o mesmo resultado para os dois processos de fabricação, utilizando o mesmo material, no caso a madeira, sendo que o primeiro pode-se fazer uso de alta tecnologia, incorporando máquinas CNC ou processos automatizados. O segundo o processo é manual, ou mecanizado, utilizando ferramentas convencionais, ditas de baixa tecnologia.

Os processos mais empregados na fabricação de produtos em grandes centros, são sempre mais atrativos, e erroneamente parece sobrepor qualquer outra tecnologia, deve-se tomar cuidado, pois a inovação pode partir e em certos casos emergir de métodos e conceitos mais simples, com baixa tecnologia, que podem concorrer ou em alguns aspectos até substituir o que se considera alta tecnologia, dependendo de diversos fatores, como produtividade, custo, investimentos, materiais, e etc., a inovação nestas situações depende da necessidade e aceitação de determinado público.

Portanto, considerarmos o processo de fabricação utilizando ferramentas manuais dentro de uma comunidade isolada na floresta amazônica, ou em local com características similares, como o descrito no trabalho de Anyi & Kirke (2011), em Sarawak na Malásia, favorecendo especificamente este público. Desta forma, sendo restrito a este mercado, mostrando-se como uma grande novidade perante a realidade destas comunidades, sendo, desta forma, uma inovação disruptiva, segundo Clayton Christensen (1995), pois atende perfeitamente este público, com perspectiva inteiramente nova, suprimindo suas necessidades de forma simples, acessível e viável, do ponto de vista econômico e prático, pois, utilizaram matéria prima local, neste caso a madeira e ferramentas de carpintaria tais como: arco de serra, formões, lixas e etc.,

Com técnicas de confecção baseadas em estudos de similares e trabalho empírico, mas, trazendo um artefato novo, que no caso são as pás para a turbina hidrocinética, elemento delicado e crítico do sistema, principalmente na relação custo/desempenho, e função da viabilidade técnica e econômica, dependendo do local onde será utilizado, segundo Hincapié (2018).

O próprio conjunto: turbina hidrocinética, é um sistema novo, com amplos estudos em várias partes do mundo, Hincapié (2018), aponta como tecnologia emergente, fonte alternativa de energia para suprir necessidade energética de comunidades em locais específicos, normalmente off-grid, afastados dos grandes centros consumidores, ou limitados pela geografia.

Para os usuários, ter um sistema que produza energia elétrica, que atenda suas necessidades primárias, relativas à moradia, já é uma novi-

dade, despertando o interesse e o engajamento para produção própria das pás, que representam dentro do sistema turbina hidrocinética um custo relativamente alto se fosse comprado, além de ser suscetível a quebra, por conta de detritos suspensos no fluxo da água, portanto, teremos um mercado de exploradores, com todo interesse no resultado e autonomia para a produção própria deste componente. Mas os passos para a produção devem ser simples, conciso, utilizando ferramentas e insumos facilmente encontrados nas proximidades, a um custo acessível, para que haja despertar o interesse dessas comunidades.

## Considerações finais

No presente trabalho foi descrito o processo de fabricação das pás em madeira para turbina hidrocinética utilizando CNC e ferramentas convencionais, suas vantagens e desvantagens em relação a custo /benefício, fazendo um comparativo para ambas as tecnologias, sua viabilidade em relação aos usuários.

Foi possível constatar que a tecnologia depende do ambiente e da necessidade onde este é aplicado, e que, mesmo as ditas baixas tecnologias, podem concorrer e obter o mesmo resultado, em relação às ditas: altas tecnologias, claro, resguardando sua aplicação e viabilidade, que dependem de diversos fatores relativos a cada situação, portanto, mesmo uma tecnologia simples, pode conter uma inovação para determinado público, criando-lhes expectativas e novidade, propiciando novos mercados e benefícios sociais atrelados a sua utilização dentro de determinado contexto.

## Referências

ANYI, M., & KIRKE, B. Hydrokinetic turbine blades: Design and local construction techniques for remote communities. *Energy for Sustainable Development*, 2011. Recovered from (<http://doi.org/10.1016/j.esd.2011.06.003>)

GOBBLE, M. A. M. **Defining Disruptive Innovation**. Research-Technology Management. 2016

CUPANI, Alberto. **Modalidades da tecnologia e suas consequências culturais**. *Revista Dialectus*, p82-95, 2020.

FREEMAN, Christopher & C. Perez. **Structural crisis of adjustment, business cycles and investment behaviour**. In: Dosi, G. et alii (eds.) *Technical Change and Economic Theory*. London: Pinter Publishers, 1988.

HERBIG, Paul A., & KRAMER, Hugh. **Low Tech Innovation. Management Decicion**. Esmerald Backfiles, 2007.

HINCAPIÉ, Diego A. **Horizontal axis hydrokinetic turbines: A literature review.** 2018.

Manual de Oslo. **Proposta de Diretrizes para Coleta e Interpretação de Dados sobre Inovação Tecnológica.** FINEP, 2017.

MUÑOZ, A. H., Chiang, L. E., & De la Jara, E. A. **A design tool and fabrication guidelines for small low cost horizontal axis hydrokinetic turbines.** Energy for Sustainable Development, 2014. (<http://doi.org/10.1016/j.esd.2014.05.003>)

SHANG, Tiantian; MIAO, Xiaoming; ABDUL, Waheed. **A historical review and bibliometric analysis of disruptive innovation.** International Journal of Innovation Science. Vol 11, No. 2, pp. 208-226, 2019. ([www.emeraldinsight.com/1757-2223.htm](http://www.emeraldinsight.com/1757-2223.htm))

VERMAAK, H. J., KUSAKANA, K., & KOKO, S. P. **Status of microhydrokinetic river technology in rural applications: A review of literature.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014. (<http://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.066>)

**Recebido:** 10 de fevereiro de 2022

**Aprovado:** 11 de fevereiro de 2022