



IPI INSTITUTO
NACIONAL
DA PROPRIEDADE
INDUSTRIAL
Assinado
Digitalmente

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº BR 102023010989-6

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito: BR 102023010989-6

(22) Data do Depósito: 05/06/2023

(43) Data da Publicação Nacional: 03/10/2023

(51) Classificação Internacional: F03B 13/22; F03B 13/14; F03B 13/12; F03B 13/24; F03B 13/26; F03B 3/04.

(52) Classificação CPC: F03B 13/22; F03B 13/148; F03B 13/14; F03B 13/12; F03B 13/24; F03B 13/26; F03B 13/264; F03B 3/04.

(54) Título: TURBINA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA LIMPA A PARTIR DE FLUXOS OSCILATÓRIOS

(73) Titular: CYRO KETZER SAUL, Físico, químico, meteorologista, geólogo, oceanógrafo e afins. CGC/CPF: 38463555004. Endereço: AV VENANCIO AIRES 611 AP 803, Porto Alegre, RS, BRASIL(BR), 90040-193, Brasileira

(72) Inventor: CYRO KETZER SAUL.

Prazo de Validade: 20 (vinte) anos contados a partir de 05/06/2023, observadas as condições legais

Expedida em: 17/12/2024

Assinado digitalmente por:

Alexandre Dantas Rodrigues

Diretor de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados



TURBINA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA LIMPA A PARTIR DE FLUXOS OSCILATÓRIOS

[001]. A presente patente de invenção refere-se a "TURBINA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA LIMPA A PARTIR DE FLUXOS OSCILATÓRIOS", mais especificamente de uma configuração de turbina cujo sentido de rotação independe do sentido de deslocamento do fluido propulsor que induz seu giro, visando a produção de energias limpas a partir de movimentos oscilatórios induzidos por ondulações marítimas e/ou marés.

[002]. As turbinas unidirecionais se dividem em dois grupos, no qual as turbinas de impulso são as mais antigas e as turbinas de Wells, as mais recentes.

[003]. Conforme o site Espacenet o registro mais antigo de uma turbina de impulso ocorre na patente de David Cook [GB189606073A de 13/03/1897] onde a mesma é movida por vapor e seu movimento é empregado para impulsionar a hélice de uma embarcação. Geralmente este tipo de turbina é impulsionada por jatos de água, gases comprimidos ou vapor, como no caso da patente de Cook. A figura 1 ilustra uma configuração de turbina de impulso que visa o aproveitamento de energia a partir de fluxos oscilatórios de gases ou ar, na qual o elemento rotor (1) é impulsionado em apenas um sentido (horário) pelas aletas dos elementos estatores (2). Devido à sua configuração construtiva este tipo de turbina é mais adequado para operação em elevados fluxos de ar. Conforme M. Takao et al. [IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 240 052002 - 2019] este tipo de turbina apresenta uma eficiência de pico muito similar à da turbina de Wells.

[004]. A turbina de Wells, inventada no final dos anos 70 por A.A. Wells da Queen's University de Belfast [GB1595700A de 13/11/1976], visava a geração de energia a partir de ar comprimido pelas das ondas do mar em estruturas construídas especificamente para este propósito. A figura 2a mostra uma ilustração do elemento rotor (1) de uma Turbina de Wells. Sua configuração é tal que o elemento rotor (1) gira sempre no sentido

(horário), independentemente do sentido de deslocamento do ar que produz o movimento do elemento rotor (1). O detalhamento apresentado na figura 2b ilustra como o ar exerce impulso sobre uma pá do elemento rotor (1) de forma a garantir que o giro ocorra sempre no mesmo sentido (da direita para a esquerda) independentemente do sentido do fluxo do ar que impulsiona o elemento rotor (1). Esta configuração apresenta evidente desvantagem pois a maior fração da força atua sobre o corpo da pá, no sentido axial (mesmo do fluxo de ar), e não produz movimento. A componente útil (F_{Eft}) é bastante reduzida, como mostra a soma vetorial representada no interior da figura 2a. Conforme M. Takao et al. [IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 240 052002 - 2019] este tipo de turbina apresenta problemas de estol para elevados fluxos de ar e, portanto, preferencialmente opera em fluxos reduzidos de ar.

[005]. Conforme K. Veerabhadrapa et al. [Global Transitions Proceedings 3 (2022) 359–370] a densidade de energia das ondas na costa do Brasil é em média de 20 kW/m desde o Rio Grande do Sul até o Rio Grande do Norte e de 10 kW/m no resto da costa até o Amapá. Com base neste dado e considerando a extensão da costa por estado, é possível estimar um potencial de 90,6 GW na extensão do Rio Grande do Sul até o Rio Grande do Norte e um potencial de 28,5 GW do Rio Grande do Norte (inclusive) até o Amapá.

[006]. Em ambas as configurações apresentadas, e disponíveis no estado da técnica, fica evidente a impossibilidade de uso em meios de elevada viscosidade, como a água, pois o meio dificultaria a rotação do elemento rotor (1).

[007]. A presente patente de invenção propõe uma nova configuração de turbina para geração de energia a partir de fluxos oscilatórios, a qual pode operar em regimes de baixo e alto fluxo do meio

propulsor, assim como operar em meios de baixa viscosidade, como o ar, ou de alta viscosidade, como a água.

[008]. A turbina da presente patente de invenção deve conter um ou dois elementos rotores (1) compostos por um eixo longitudinal e uma pluralidade de aletas que descrevem um percurso helicoidal de passo variável (3) ao longo do eixo longitudinal do elemento rotor (1). Estes elementos rotores (1) são caracterizados por girar apenas um sentido independentemente do sentido longitudinal de deslocamento do fluido propulsor, sendo que no caso de haver dois elementos rotores (1), um elemento rotor gira em um sentido e o outro gira no sentido oposto.

[009]. O elemento rotor (1) pode ser aberto ou fechado na sua extremidade radial, sendo que no caso aberto a parede do corpo externo da turbina (8) deve estar próxima das aletas de passo variável (3) do elemento rotor (1) sem prejudicar seu deslocamento em torno do eixo, conforme é ilustrado na figura 3. No caso da extremidade radial ser fechada, conforme é ilustrado na figura 4, a superfície de fechamento da extremidade radial (7) deve estar próxima à parede do corpo externo da turbina (8) sem prejudicar seu deslocamento. O fechamento da extremidade radial (7) é interessante para a operação da turbina como um todo, pois isto produz um aumento considerável do momento de inércia da turbina, fato este que reduz a flutuação de velocidade da mesma, inerente ao movimento oscilatório do fluido propulsor. Se a operação da turbina ocorrer em meio de alta viscosidade, como a água, é interessante injetar ar comprimido entre a superfície de fechamento da extremidade radial (7) e a parede do corpo externo da turbina (8) visando reduzir o arraste provocado pela viscosidade do meio, e consequentemente aumentando a eficiência de produção de energia.

[010]. Ainda em se tratando do elemento rotor (1), o passo variável deve ser grande na parte longitudinal mais externa do mesmo (afastado do elemento estator (2)), isto é, as aletas de passo variável (3) devem

estar inclinadas entre 0° e 30° (graus) em relação ao eixo longitudinal da turbina, e ser pequeno na parte longitudinal mais interna do elemento rotor (1) (próximo do elemento estator (2)), isto é, as aletas de passo variável (3) devem estar inclinadas entre 40° e 60° (graus) em relação ao eixo longitudinal da turbina.

[011]. No caso da configuração com apenas um elemento rotor (1), a função deste é converter o movimento longitudinal, do fluido propulsor que vem de fora da turbina, em movimento espiral, gerando energia no processo. No caso do fluido propulsor ser proveniente do elemento estator (2), o elemento rotor (1) converte o movimento espiral em movimento longitudinal que ainda apresenta uma componente rotacional devido ao seu giro e/ou devido ao ângulo das aletas, gerando energia no processo.

[012]. No caso da configuração com dois elementos rotores (1) o elemento rotor (1) que recebe o fluido propulsor proveniente de fora da turbina, converte o movimento longitudinal em movimento espiral, enquanto o elemento rotor (1) que recebe o fluido propulsor proveniente do elemento estator (2), converte o movimento espiral em movimento longitudinal que ainda apresenta uma componente rotacional devido à rotação do mesmo e/ou devido ao ângulo das aletas. O caso se repete para o segundo elemento rotor (1).

[013]. A turbina da presente patente de invenção deve conter um elemento estator (2) composto por um eixo longitudinal e uma pluralidade de aletas que descrevem um percurso helicoidal de passo fixo (4) ou variável (3) ao longo do eixo longitudinal do elemento estator (2), o qual deve ser solidário à parede do corpo externo da turbina (8).

[014]. O elemento estator (2) deve conter aletas de passo variável (3), no caso da turbina conter apenas um elemento rotor (1). Neste caso a configuração do elemento estator (2) deve ser similar à do elemento rotor (1), podendo ser idêntica ao mesmo, sendo que na parte longitudinal

mais externa do elemento estator (2) (afastado do elemento rotor (1)) as aletas de passo variável (3) devem estar inclinadas entre 0° e 30° (graus) em relação ao eixo longitudinal da turbina, e na parte longitudinal mais interna do elemento estator (2) (próximo ao elemento rotor (1)), estar inclinadas com o mesmo ângulo das aletas de passo variável (3) do elemento rotor (1).

[015]. No caso da configuração com apenas um elemento rotor (1), o elemento estator (2) tem como função converter o movimento retilíneo longitudinal do fluido propulsor em um movimento espiral. Isto ocorre quando o fluido propulsor ingressa inicialmente no elemento estator (2). Quando o fluido propulsor vem do elemento rotor (1) seu movimento é espiral. Neste caso o elemento estator (2) converte o movimento espiral em movimento longitudinal com, eventualmente, alguma componente rotacional devido ao ângulo das aletas.

[016]. No caso da configuração com dois elementos rotores (1), o elemento estator (2) tem como função conservar o movimento espiral do fluido propulsor após a passagem do mesmo pelo primeiro elemento rotor (1) e injetar o fluido propulsor com movimento espiral no segundo elemento rotor (1).

[017]. Tendo em vista a possibilidade da turbina da presente patente de invenção poder operar com fluidos propulsores de diferentes viscosidades, como o ar e a água, o comprimento longitudinal do(s) elemento(s) rotor(es) (1) e do elemento estator (2) deve ser configurado de forma inversamente proporcional à viscosidade do fluido propulsor. Isto significa que quanto maior for a viscosidade do fluido propulsor mais curtos podem ser o(s) elemento(s) rotor(es) (1) e o elemento estator (2). Desta forma é possível maximizar a transferência de momento do fluido propulsor para o(s) elemento(s) rotor(es), e conseqüentemente aumentar a eficiência de conversão de energia da turbina.

[018]. A turbina da presente patente de invenção pode empregar quaisquer elementos(s) de geração de energia elétrica disponíveis no estado da técnica, sendo que o elemento rotor do gerador (6) deve estar mecanicamente acoplado ao elemento rotor (1) da turbina, diretamente ou por intermédio de engrenagens adequadas a esta finalidade. Já o elemento estator do gerador (5) deve estar mecanicamente acoplado ao elemento estator (2) da turbina, no caso de ser embutido na mesma, ou estar mecanicamente acoplado ao corpo externo da turbina (8).

[019]. A configuração construtiva apresentada na presente patente de invenção tem diversas vantagens em relação às configurações construtivas convencionais, dentre as quais podem ser citadas:

- Operação em regimes de elevado e reduzido fluxo do fluido propulsor.
- Operação em meios de baixa viscosidade, como o ar, e elevada viscosidade, como a água.

[020]. Visando analisar o comportamento da turbina em função de seus diversos parâmetros construtivos foi desenvolvida uma simulação numérica iterativa baseada em princípios físicos básicos. A iteratividade temporal da simulação permite estudar o movimento do elemento rotor (1) desde o repouso até o estado estacionário.

[021]. O movimento oscilatório do fluido propulsor, induzido por uma ondulação (do mar por exemplo) de amplitude e frequência fixas, produz uma vazão oscilatória do fluido propulsor, o qual ao passar pelo rotor induz seu movimento. Com base nestes dados a simulação determina o torque produzido pela variação do momento linear do fluido propulsor que interage com as aletas helicoidais da turbina. Conforme a velocidade angular do elemento rotor (1) aumenta, menor é o torque produzido nas pás devido a um efeito de vento relativo, no qual o ângulo

de curvatura “percebido” pelo fluido que se desloca junto à pá, diminui com o aumento da velocidade angular do elemento rotor(1). Desta forma o rotor aumenta sua velocidade angular até um valor limite onde o torque produzido pelo fluido propulsor é nulo. A potência produzida pela turbina é simulada introduzindo um torque dissipativo fixo, denominado carregamento, que é subtraído do torque produzido pelo fluido propulsor. A potência produzida é determinada multiplicando o carregamento pela velocidade angular do elemento rotor (ω). O torque resultante permite determinar a aceleração angular do elemento rotor (1), levando em consideração seu momento de inércia. A partir do valor da aceleração angular é possível determinar a velocidade angular do elemento rotor (1) mediante a fórmula (1),

$$\omega_{t+dt} = \omega_t + \alpha \cdot dt \quad (1)$$

onde ω_{t+dt} é a nova velocidade angular do elemento rotor (1) no instante ($t+dt$), ω_t é a velocidade angular anterior (t) do elemento rotor (1), α é a aceleração angular do elemento rotor (1) e dt corresponde ao intervalo de tempo entre duas iterações da simulação.

[022]. Considerando que a turbina funciona com fluxos oscilatórios (senoidais ou cossenoidais) do fluido propulsor, é possível inferir que mesmo que a velocidade angular limite não tenha sido atingida, existem momentos em que não há força induzida pelo fluxo e, portanto, nestes momentos apenas o termo dissipativo atua, reduzindo a velocidade de rotação do elemento rotor (1). Sendo assim observa-se que tanto a velocidade angular do estado estacionário, quanto a quantidade de energia produzida apresentam flutuações em torno de um valor médio.

[023]. Nesta simulação foi utilizado o fechamento da extremidade radial (7) para aumentar o momento de inércia do elemento rotor (1).

[024]. No caso de aplicações em meios de baixa viscosidade, como o ar, a impedância fluídica da turbina é tão reduzida que os eventuais efeitos do aumento pressão reversa na cavidade geradora do movimento do fluido propulsor foram desprezados. No caso de aplicações em meios de elevada viscosidade, como a água, a impedância não pode ser desprezada e as pressões reversas podem influenciar o comportamento do fluxo do fluido propulsor tanto em termos de sua amplitude quanto em termos da sua fase da oscilação.

[025]. A tabela 1 apresenta os parâmetros empregados na simulação:

Tabela 1. Parâmetros empregados na simulação.

Parâmetros	
Fluido Propulsor =	Ar
Viscosidade (Pa.s) =	$1,8 \times 10^{-5}$
Densidade (kg/m ³) =	1,2
Dados da Estrutura de Concreto em forma de Cavidade (10)	
Largura da Cavidade de Captação (m) =	5,0
Espessura da Cavidade de Captação (m) =	2,0
Altura da Cavidade de Captação (m) =	10,0
Parâmetros da Tubulação de acesso à turbina (9)	
Comprimento até a Turbina (m) =	1,0
Comprimento após a Turbina (m) =	1,0
Característica da Ondulação (11)	
Amplitude (m) =	1,0
Frequência (Hz) =	0,15
Parâmetros da Turbina (9)	
Comprimento total da turbina (m) =	0,8
Raio Externo (m) =	0,20
Raio Interno (m) =	0,10
Número de pás da turbina =	6
Espessura da pá (m) =	0,01
Ângulo de saída da pá (graus) =	60
Densidade Rotor (Alumínio) (kg/m ³) =	2700
Superfície de Fechamento do Elemento Rotor (7)	
Espessura do Fechamento (m) =	0,01

[026]. A figura 6 mostra o resultado da simulação em função do carregamento aplicado após a rotação do elemento rotor (1) ter alcançado o estado estacionário. Nota-se que a Velocidade Angular (ω)

apresenta uma correlação inversa com o aumento do carregamento aplicado, o que é evidente tendo em vista que energia está sendo retirada do sistema. O comportamento da Potência Gerada está relacionado à combinação do aumento do carregamento aplicado com a redução da Velocidade Angular (ω). Para carregamentos aplicados reduzidos, a redução da Velocidade Angular (ω) é pequena, conseqüentemente a Potência Gerada é dominada pelo aumento do carregamento aplicado e, portanto, também aumenta. Conforme o carregamento aplicado aumenta os efeitos da redução da Velocidade Angular (ω) se acentuam e promovem a estabilização e posterior queda da Potência Gerada. O mesmo ocorre no caso da Eficiência, pois a mesma está diretamente vinculada à Potência Gerada.

[027]. Nota-se que todos os parâmetros avaliados: Velocidade Angular (ω); Potência Gerada e Eficiência apresentam um aumento da flutuação, ilustrada pelas barras de erro dos gráficos, com o aumento do carregamento aplicado. É importante ressaltar que a Eficiência foi determinada dividindo a Potência Gerada pela máxima potência disponível (Pot_{Disp}) produzida pela movimentação do ar na entrada da turbina determinada pela equação (2).

$$Pot_{Disp} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{Ar} \cdot A_{Seção} \cdot v_{Ar}^3, \quad (2)$$

onde ρ_{Ar} é a densidade do ar, $A_{Seção}$ é a área da seção transversal da entrada da turbina e v_{Ar} é a velocidade do ar ao entrar na turbina.

[028]. Também é importante ressaltar que a flutuação observada na simulação está diretamente vinculada à característica oscilatória da excitação aplicada ao sistema pela ondulação do mar.

[029]. O aumento do Momento de Inercia do elemento rotor (1), quando não está associado às variações de outros parâmetros como

Raio Externo e/ou Interno, implica em uma redução da amplitude das flutuações. Isto pode ser obtido aumentando a espessura das pás e/ou aumentando a espessura da superfície de fechamento (7). Em um teste usando os mesmos parâmetros da tabela 1, verificou-se que a variação de 400% destes dois parâmetros (espessura da pá / espessura do fechamento) tem impacto ínfimo na variação da Velocidade Angular (ω), da Potência Gerada e da Eficiência, da ordem de 3%, enquanto a redução na flutuação da Velocidade Angular (ω) e da Potência Gerada chegou a 350%.

[030]. Considerando que para o carregamento aplicado de 60 N.m a Eficiência simulada da turbina foi de 32,5%, e a flutuação da Eficiência da ordem de 6%, este valor de carregamento foi empregado para repetir a simulação variando características dimensionais da turbina, no caso o Raio Externo, conforme ilustra a tabela 2. Como o Raio Externo tem influência direta sobre o momento de inércia (I) do elemento rotor (1) os valores correspondentes também são apresentados. Todos os demais parâmetros empregados nesta simulação são idênticos aos apresentados na tabela 1 e os valores obtidos correspondem ao momento após a rotação do elemento rotor (1) ter alcançado o estado estacionário.

Tabela 2. Parâmetros empregados na simulação com carregamento fixo de 60 N.m em função do Raio Externo da turbina.

Raio Externo (m)	I (kg.m ²)
0,15	0,506
0,20	0,991
0,25	1,761

[031]. Os resultados desta simulação, ilustrado nos gráficos da figura 7, mostram que Velocidade Angular (ω) e a Potência Gerada estão proporcionalmente vinculadas ao aumento do Raio Externo e a

Eficiência esta correlacionada de forma inversamente proporcional ao mesmo. É interessante ressaltar que apesar da flutuação da Velocidade Angular (ω) e da Potência Gerada apresentar uma redução numérica com o aumento do Raio Externo, proporcionalmente a flutuação de ambos aumenta, fato este que transparece no gráfico da Eficiência de geração de energia.

[032]. Em um segundo caso foi avaliada a influência do raio interno da turbina, que define o diâmetro do eixo da mesma. Neste caso também foi empregado o carregamento fixo de 60 N.m, o Raio Externo empregado foi de 0,20 m e os valores de Raio Interno estão listados na tabela 3, com os correspondentes valores de Momento de Inércia. Nesta simulação e os valores obtidos também correspondem ao momento após a rotação do elemento rotor (1) ter alcançado o estado estacionário.

Tabela 3. Parâmetros empregados na simulação com carregamento fixo de 60 N.m em função do Raio Interno da turbina.

Raio Interno (m)	I (kg.m ²)
0,05	0,804
0,10	0,991
0,15	1,618

[033]. Os resultados desta simulação estão apresentados na figura 8, mostram que o Raio Interno afeta os resultados de maneira oposta ao Raio Externo. Neste caso a Velocidade Angular (ω) e a Potência Gerada estão inversamente vinculadas ao aumento do Raio Interno enquanto a Eficiência esta correlacionada de forma proporcional ao mesmo.

[034]. Fica evidente que estes parâmetros devem ser otimizados para cada aplicação, em função das características de amplitude e frequência das oscilações do fluido propulsor que aciona a turbina.

DESCRIÇÃO DETALHADA DOS DESENHOS

[035]. As representações esquemáticas das configurações da turbina apresentadas a seguir, são meras ilustrações de possíveis configurações/aplicações da técnica associada à presente patente de invenção e não podem ser consideradas como limitações à abrangência da mesma.

[036]. A figura 1 mostra uma representação esquemática de uma turbina de impulso acionada por ar e empregada para geração de energia a partir de oscilações produzidas por ondas do mar. O dispositivo consiste em um elemento rotor (1) com aletas em forma de asa curva que recebe o fluxo de ar de aletas fixas (estator (2)) que direcionam o ar de forma que o elemento rotor gire apenas no sentido horário, independentemente do sentido em que o ar se desloca no interior com duto que contém a turbina.

[037]. Na figura 2, a figura 2a mostra uma representação esquemática de uma Turbina de Wells acionada por ar e empregada para geração de energia a partir de oscilações produzidas por ondas do mar. O dispositivo consiste em um elemento rotor (1) com aletas em forma de asa posicionadas perpendicularmente à direção do fluxo de ar, e dois conjuntos de paletas fixas dos estatores (2). O ar direcionado pelas paletas dos estatores (2) provoca um empuxo nas paletas do elemento rotor (1) que produzem rotação em sentido horário independentemente do sentido em que o ar se desloca no interior com duto que contém a turbina. Já a figura 2b detalha a incidência do ar em uma pá do elemento rotor (1) quando proveniente de ambos os sentidos com as correspondentes forças que atuam sobre a pá e a força resultante efetiva, que produz o movimento.

[038]. A figura 3 apresenta uma representação esquemática de uma possível configuração da turbina contendo um elemento rotor (1)

radialmente aberto e um elemento estator (2) nos quais as aletas descrevem um percurso helicoidal de passo variável (3). Na figura 3a, a turbina é apresentada com uma abertura para permitir a visualização dos componentes internos, assim como uma seção transversal (Seção AA) que permite detalhar de forma mais completa todos os elementos que compõe a turbina, como o elemento estator do gerador (5) que está embutido dentro do elemento estator (2) da turbina e o elemento rotor do gerador (6) que está diretamente conectado ao elemento rotor (1) da turbina. Nota-se nesta seção o fato das aletas de passo variável (3) do elemento estator (2) estarem solidárias a parede do corpo externo da turbina (8) e que as aletas de passo variável (3) do elemento rotor (1) estão próximas, mas não tocam a parede do corpo externo da turbina (8). Já a figura 3b apresenta uma visão isométrica da turbina com a abertura que permite visualizar os componentes internos assim como apresenta um indicador do sentido de giro do elemento rotor (1).

[039]. A figura 4 apresenta uma representação esquemática de uma possível configuração da turbina contendo dois elementos rotores (1) radialmente fechados por uma superfície de fechamento (7) e um elemento estator (2), sendo que nos elementos rotores (1) as aletas descrevem um percurso helicoidal de passo variável (3) e no elemento estator (2) as aletas percorrem um percurso helicoidal de passo fixo (4).

[040]. Na figura 4a, a turbina é apresentada com uma abertura para permitir a visualização dos componentes internos, assim como uma seção transversal (Seção AA) que permite detalhar de forma mais completa todos os elementos que compõe a turbina, como dois estatores dos geradores (5) que estão embutidos dentro do elemento estator (2) da turbina e os elementos rotores dos geradores (6) que estão diretamente conectados à cada um dos elementos rotores (1) da turbina. Nota-se nesta seção o fato das aletas de passo fixo (4) do elemento estator (2) estarem solidárias a parede do corpo externo da turbina (8) e que as

superfícies de fechamento (7) dos elementos rotores (3) estão próximas, mas não tocam a parede do corpo externo da turbina (8). Já a figura 4b apresenta uma visão isométrica da turbina com a abertura que permite visualizar os componentes internos assim como apresenta um indicador do sentido de giro de cada elemento rotor (1), os quais giram em sentidos opostos.

[041]. A figura 5 apresenta as representações esquemáticas de duas possíveis aplicações da turbina, uma empregando o ar como fluido propulsor, e a outra empregando a água como fluido propulsor. A figura 5a se refere ao exemplo em que a turbina (9) contendo um elemento rotor (1) e um elemento estator (2) é impulsionada por ar. A turbina (9) está ligada a uma estrutura de concreto em forma de cavidade (10) que converte a ondulação do mar (11) em um movimento oscilatório da superfície da água (12) dentro da estrutura de concreto em forma de cavidade (10) produzindo um fluxo oscilante de ar, que impulsiona o elemento rotor (1) produzindo energia por intermédio do elemento estator do gerador (5) em associação com o elemento rotor do gerador (6). A figura 5b se refere ao exemplo em que a turbina (9) contendo um elemento rotor (1) e um elemento estator (2) está submersa e é impulsionada pela água. Idealmente, neste caso, tanto o elemento estator (2) quanto o elemento rotor (1) devem ser mais curtos em função da elevada viscosidade do meio. Neste caso a turbina (9) está conectada a uma estrutura de concreto em forma de piscina (13) na qual o único acesso para a água passa pela turbina (9). Neste caso a ondulação do mar (11) produz uma vazão de água através da turbina (9) produzindo o movimento oscilatório da superfície da água (12) dentro da piscina. A vazão oscilatória que atravessa a turbina (9) produz energia por intermédio do elemento estator do gerador (5) em associação com o elemento rotor do gerador (6), que devem ter configuração adequada para operação submersa.

[042]. A figura 6 apresenta três gráficos contendo o resultado da simulação empregando os parâmetros da tabela 1. Todos os valores apresentados correspondem ao momento após a rotação do elemento rotor (1) ter alcançado o estado estacionário. Os gráficos apresentam o comportamento da Velocidade Angular (ω), da Potência Gerada e da Eficiência em função do carregamento aplicado na turbina durante a simulação. As barras de erro apresentadas estão associadas à flutuação dos resultados, e estão diretamente associadas à oscilação inerente do movimento do fluido propulsor.

[043]. A figura 7 apresenta os mesmos três gráficos da figura anterior empregando os mesmos parâmetros da tabela 1, com a exceção que neste caso o carregamento aplicado é fixo em 60 N.m e o Raio Externo da turbina varia conforme a tabela 2. O Raio Interno da turbina foi mantido em 0,10 m, conforme indica a tabela 1. Como no caso da figura anterior, todos os valores apresentados correspondem ao momento após a rotação do elemento rotor (1) ter alcançado o estado estacionário e as barras de erro apresentadas estão associadas à oscilação inerente do movimento do fluido propulsor.

[044]. A figura 8 apresenta os mesmos três gráficos das figuras anteriores empregando os mesmos parâmetros da tabela 1. Neste caso também foi empregado um carregamento aplicado é fixo em 60 N.m e o Raio Interno da turbina variou conforme a tabela 3. O Raio Externo da turbina foi mantido em 0,20 m, conforme indica a tabela 1. Como no caso das figuras anteriores, todos os valores apresentados correspondem ao momento após a rotação do elemento rotor (1) ter alcançado o estado estacionário e as barras de erro apresentadas estão associadas à oscilação inerente do movimento do fluido propulsor.

REIVINDICAÇÕES

1. "TURBINA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA LIMPA A PARTIR DE FLUXOS OSCILATÓRIOS", dotada de um ou dois elementos rotores (1) compostos por um eixo longitudinal e uma pluralidade de aletas (3) que descrevem um percurso helicoidal ao longo do eixo longitudinal do elemento rotor (1), caracterizada pelo fato do elemento rotor (1) ser fechado na sua extremidade radial e das aletas (3) apresentarem passo variável.
2. "TURBINA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA LIMPA A PARTIR DE FLUXOS OSCILATÓRIOS", que de acordo com a reivindicação 1, é caracterizada pelo fato da superfície de fechamento (7) do elemento rotor (1) dever estar próxima à parede do corpo externo da turbina (8) sem prejudicar seu deslocamento.
3. "TURBINA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA LIMPA A PARTIR DE FLUXOS OSCILATÓRIOS", que de acordo com a reivindicação 2, é caracterizada pelo fato de poder ser empregada injeção de ar comprimido entre a superfície de fechamento (7) do elemento rotor (1) e a parede do corpo externo da turbina (8), no caso de operação em meio de alta viscosidade, como a água.
4. "TURBINA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA LIMPA A PARTIR DE FLUXOS OSCILATÓRIOS", que de acordo com a reivindicação 1, é caracterizada pelo fato do passo variável ser grande na parte longitudinal mais externa do elemento rotor (1) (afastado do elemento estator (2)), isto é, as aletas de passo variável (3) devem estar inclinadas entre 0° e 30° (graus) em relação ao eixo longitudinal da turbina, e o passo deve ser pequeno na parte longitudinal mais interna do elemento rotor (1) (próximo do elemento estator (2)), isto é, as aletas de passo variável (3) devem estar inclinadas entre 40° e 60° (graus) em relação ao eixo longitudinal da turbina.

5. "TURBINA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA LIMPA A PARTIR DE FLUXOS OSCILATÓRIOS", que de acordo com a reivindicação 1, é caracterizada pelo fato do comprimento longitudinal do elemento rotor (1) apresentar uma vinculação inversamente proporcional à viscosidade do fluido propulsor da turbina, isto é, quanto maior a viscosidade do fluido propulsor mais curto deve ser o elemento rotor (1).
6. "TURBINA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA LIMPA A PARTIR DE FLUXOS OSCILATÓRIOS", que de acordo com a reivindicação 1, é caracterizada pelo fato de poder empregar quaisquer elementos de geração de energia elétrica disponíveis no estado da técnica, sendo que o elemento rotor do gerador (6) deve estar mecanicamente acoplado ao elemento rotor (1) da turbina, diretamente ou por intermédio de engrenagens adequadas a esta finalidade.
7. "TURBINA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA LIMPA A PARTIR DE FLUXOS OSCILATÓRIOS", dotada de um elemento estator (2), composto por um eixo longitudinal e uma pluralidade de aletas que descrevem um percurso helicoidal de passo variável (3) ou passo fixo (4) ao longo do eixo longitudinal do elemento estator (2), e caracterizada pelo fato das aletas de passo variável (3) ou de passo fixo (4) estarem solidárias à parede do corpo externo da turbina (8).
8. "TURBINA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA LIMPA A PARTIR DE FLUXOS OSCILATÓRIOS", que de acordo com a reivindicação 7, é caracterizada pelo fato do elemento estator (2) apresentar aletas de passo variável (3), no caso da turbina conter apenas um elemento rotor (1), sendo que a configuração do elemento estator (2) deve ser similar à do elemento rotor (1), podendo ser idêntica ao mesmo.
9. "TURBINA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA LIMPA A PARTIR DE FLUXOS OSCILATÓRIOS", que de acordo com a reivindicação 8, é caracterizada pelo fato de que na parte longitudinal mais

externa do elemento estator (2) (afastado do elemento rotor (1)), as aletas de passo variável (3) devem estar inclinadas entre 0° e 30° (graus) em relação ao eixo longitudinal da turbina, e na parte longitudinal mais interna do elemento estator (2) (próximo ao elemento rotor (1)), devem estar inclinadas com o mesmo ângulo das aletas de passo variável (3) do elemento rotor (1), na sua parte mais interna (próximo ao elemento estator (2)).

10. "TURBINA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA LIMPA A PARTIR DE FLUXOS OSCILATÓRIOS", que de acordo com a reivindicação 7, é caracterizada pelo fato do elemento estator (2) apresentar aletas de passo fixo (4) no caso da turbina ter dois elementos rotores (1).
11. "TURBINA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA LIMPA A PARTIR DE FLUXOS OSCILATÓRIOS", que de acordo com a reivindicação 10, é caracterizada pelo fato das aletas de passo fixo (4) apresentarem o mesmo passo das aletas de passo variável (3) do elemento rotor (1), na sua parte longitudinal mais interna (próximo ao elemento estator (2)), e portanto, estarem inclinadas com o mesmo ângulo das aletas de passo variável (3) do elemento rotor (1) na sua parte longitudinal mais interna (próximo do elemento estator (2)).
12. "TURBINA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA LIMPA A PARTIR DE FLUXOS OSCILATÓRIOS", que de acordo com a reivindicação 7, é caracterizada pelo fato do comprimento longitudinal do elemento estator (2) apresentar uma vinculação inversamente proporcional à viscosidade do fluido propulsor da turbina, isto é, quanto maior a viscosidade do fluido propulsor mais curto deve ser o elemento estator (2).
13. "TURBINA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA LIMPA A PARTIR DE FLUXOS OSCILATÓRIOS", que de acordo com a reivindicação 7, é caracterizada pelo fato do elemento estator do gerador (5) estar mecanicamente acoplado ao elemento estator (2) da

4/3

turbina, podendo estar embutido no mesmo, conforme o estado da técnica, ou estar mecanicamente acoplado ao corpo externo da turbina (8).

Figura 1

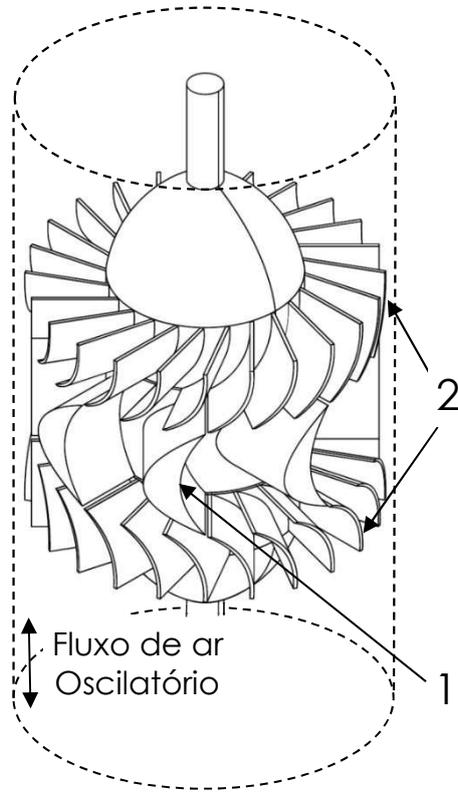
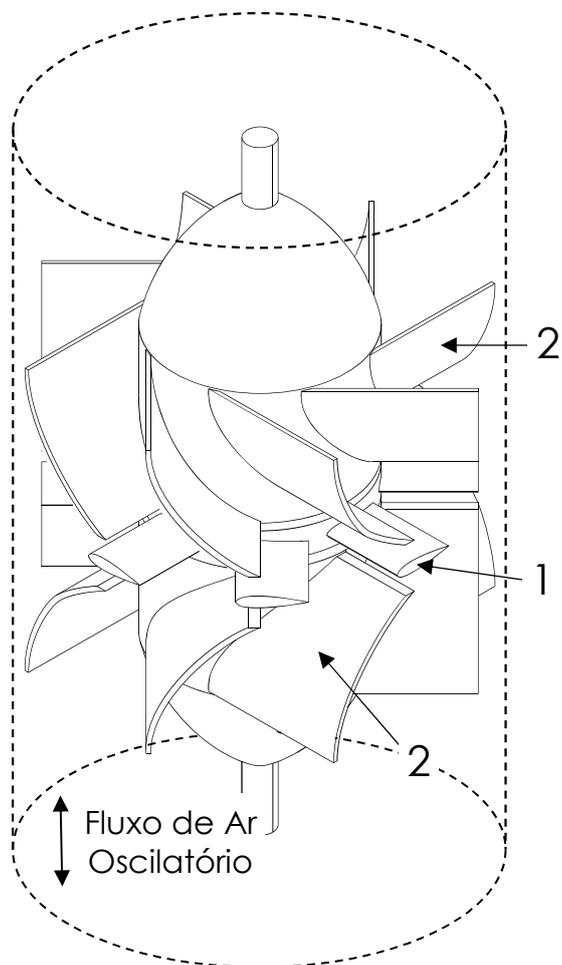
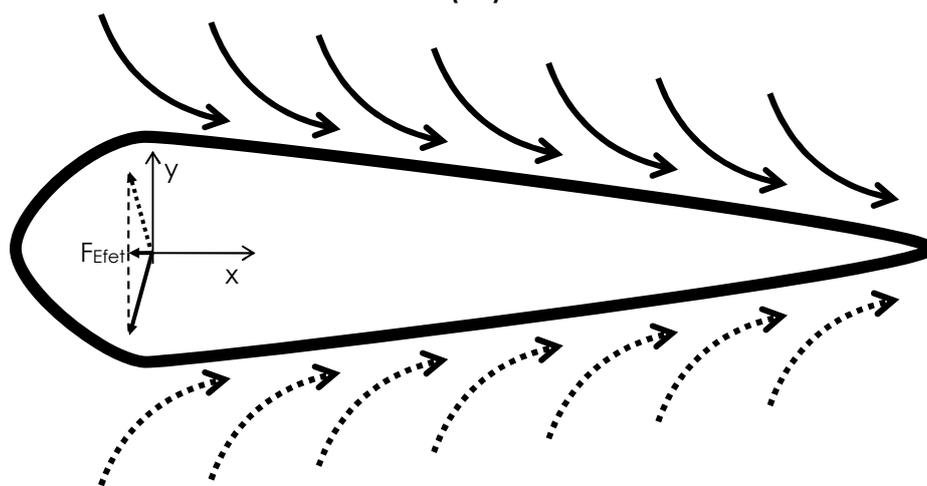


Figura 2



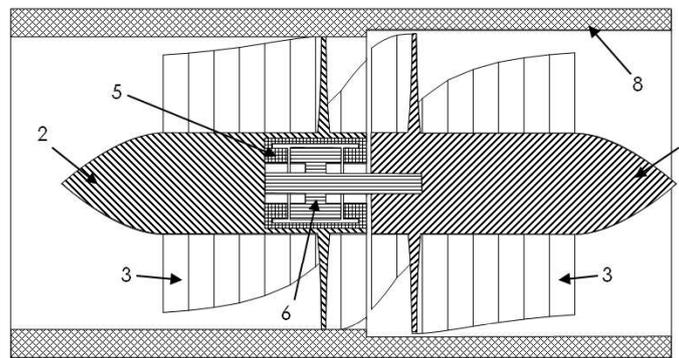
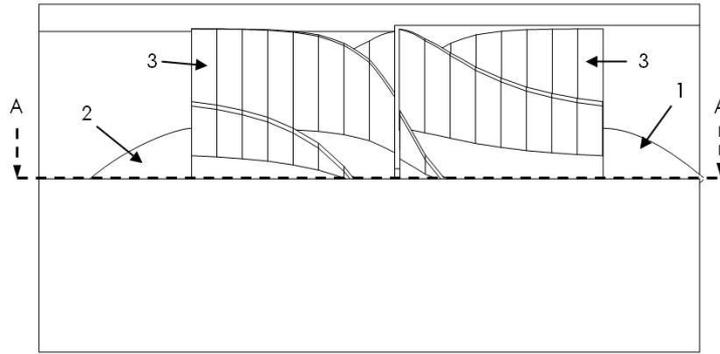
(a)



(b)

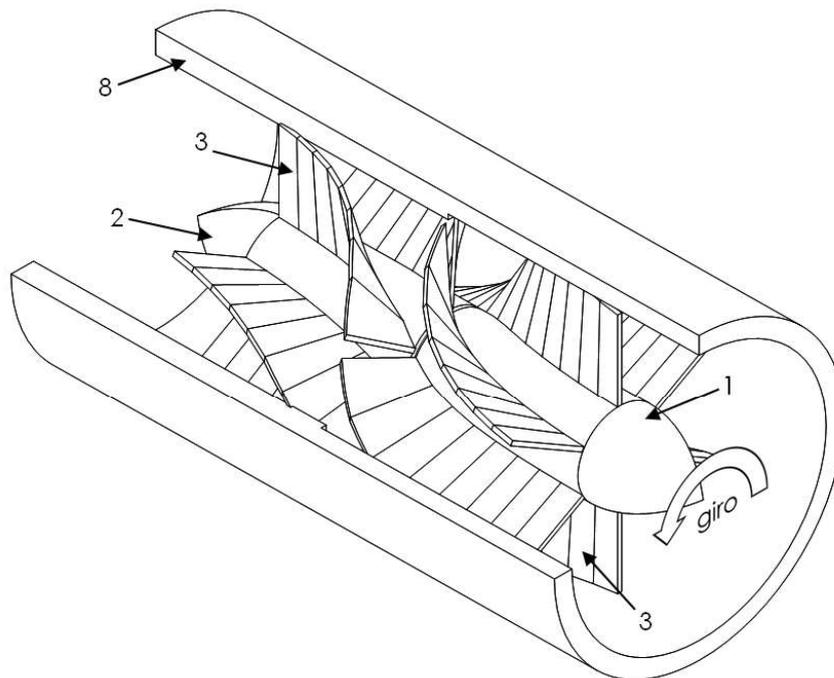
3/8

Figura 3



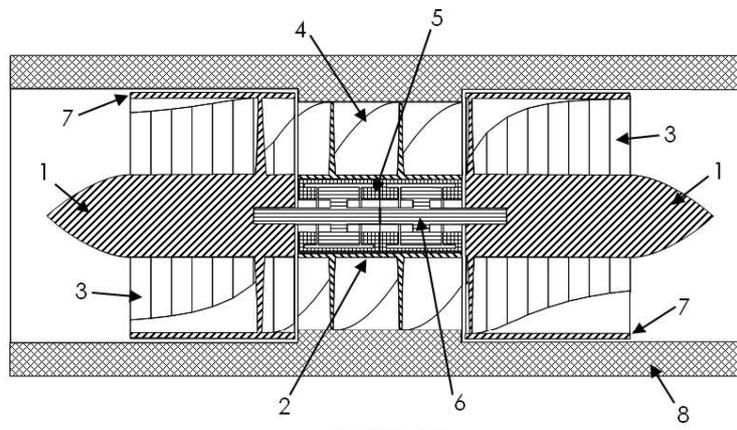
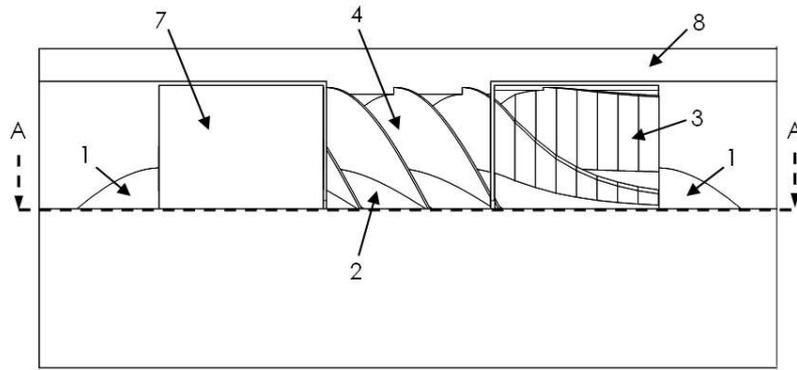
Seção AA

(a)



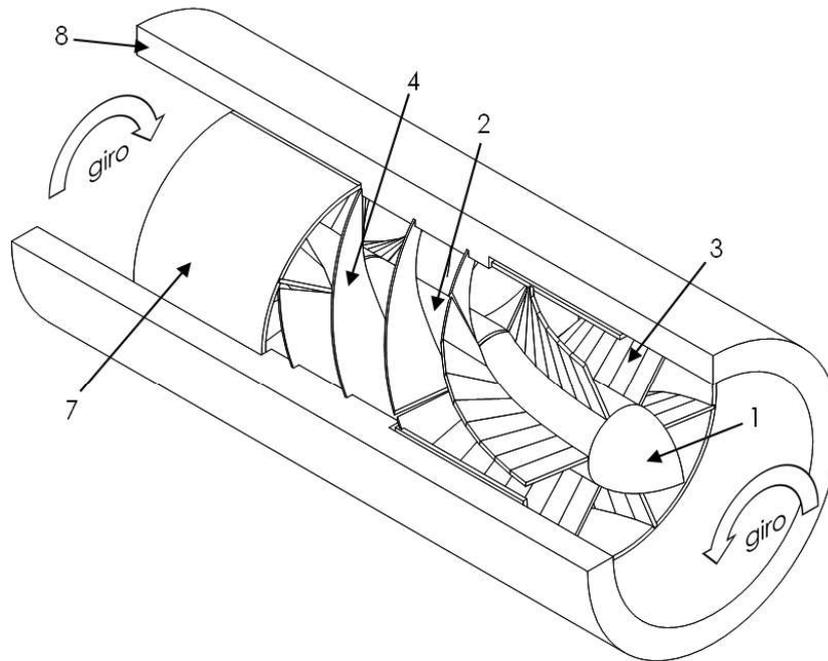
(b)

Figura 4



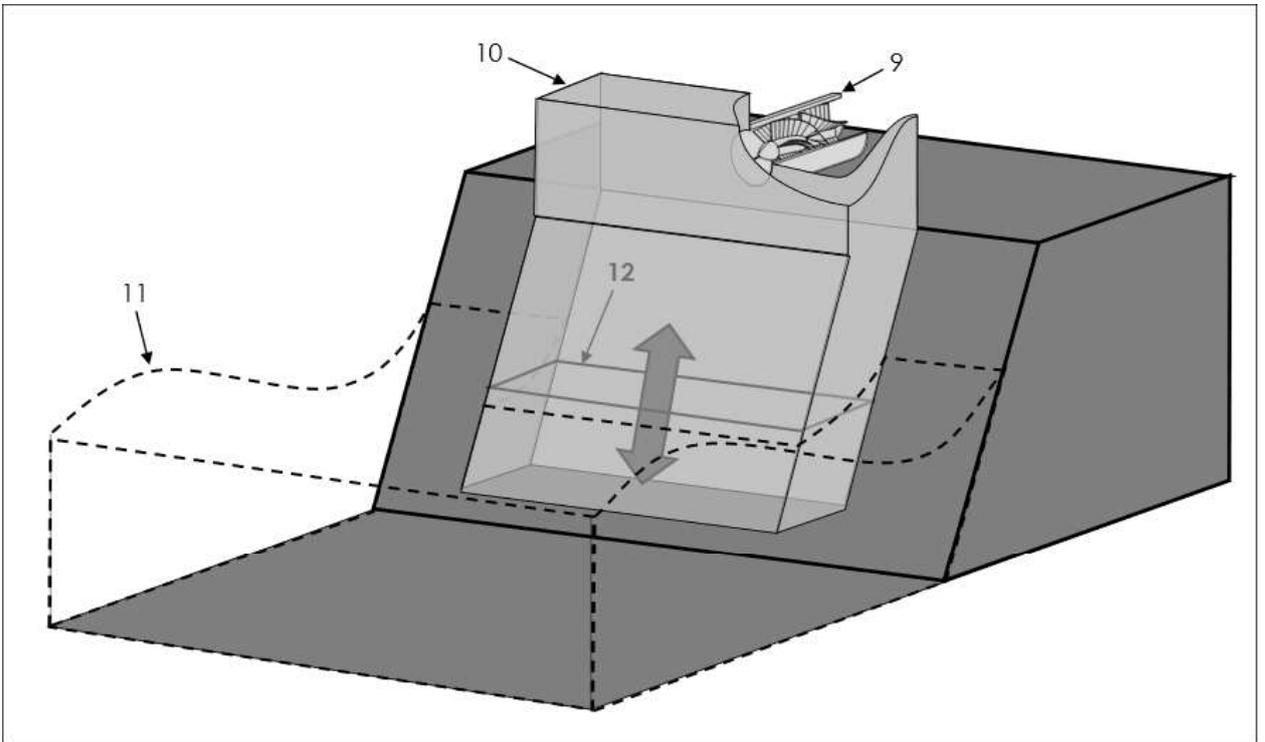
Seção AA

(a)

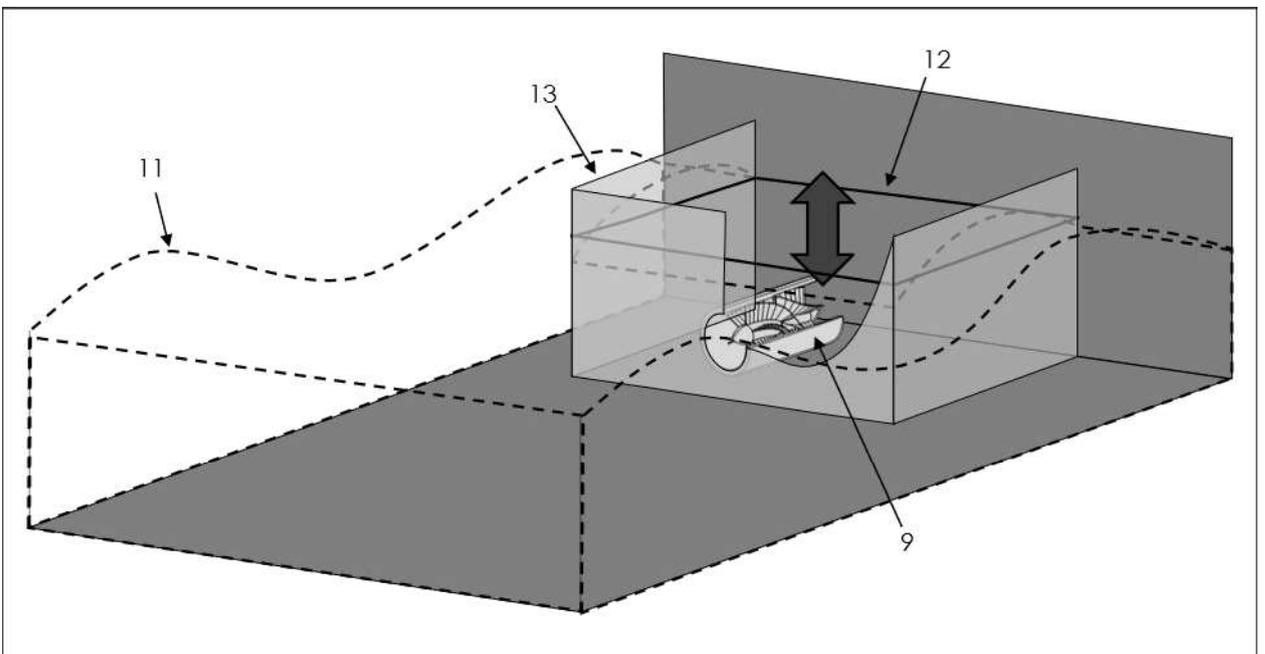


(b)

Figura 5



(a)



(b)

Figura 6

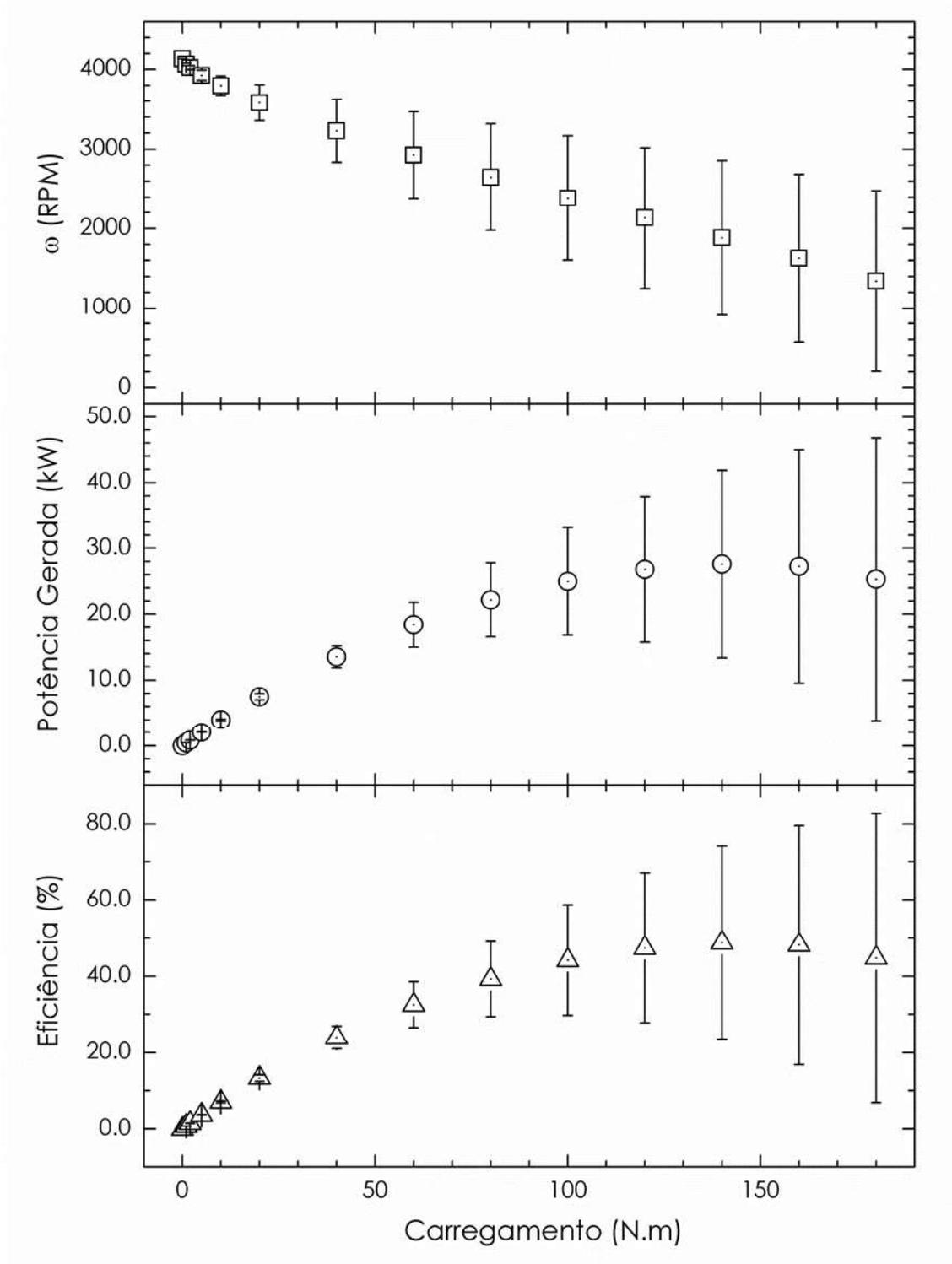


Figura 7

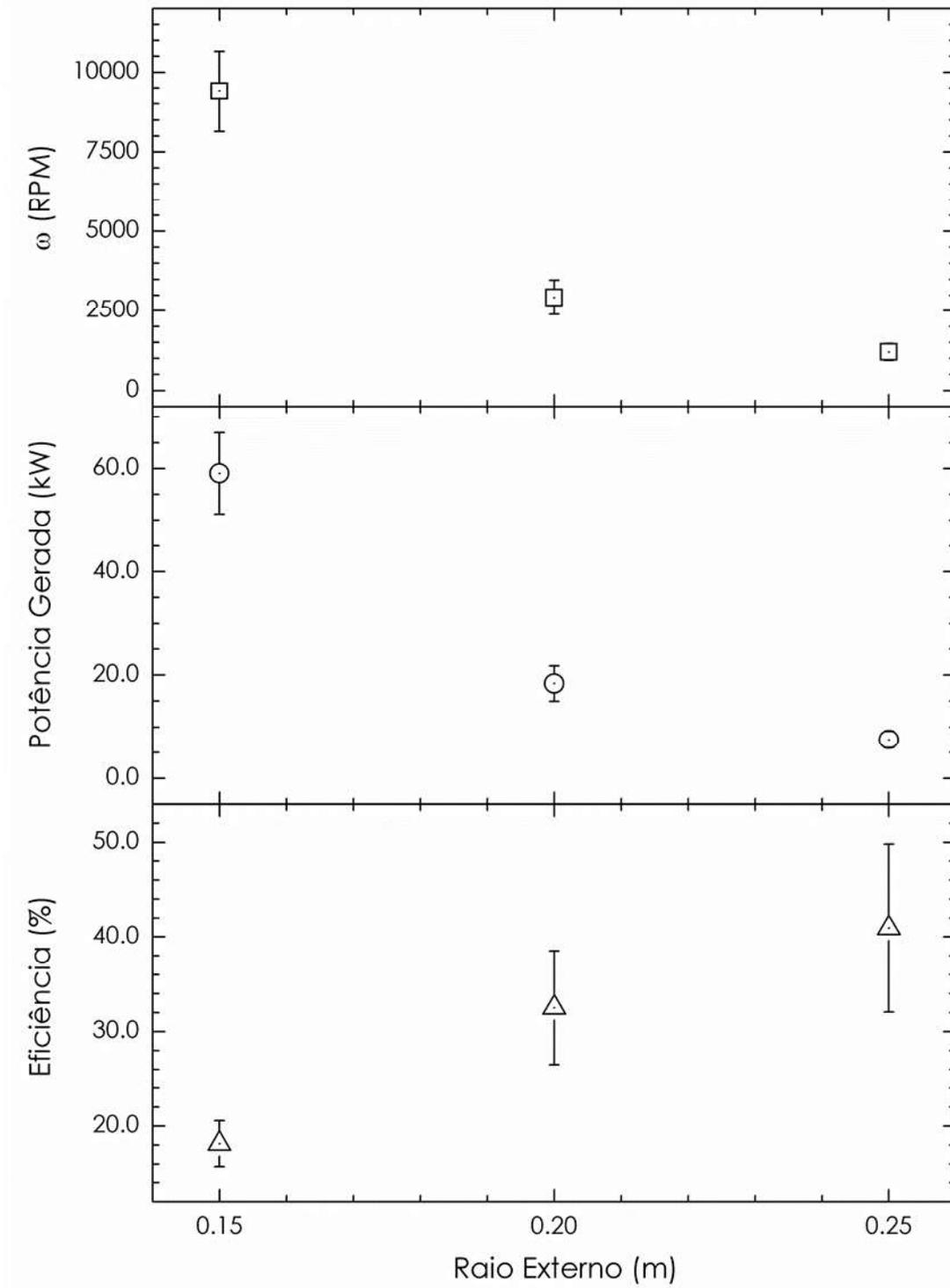


Figura 8

