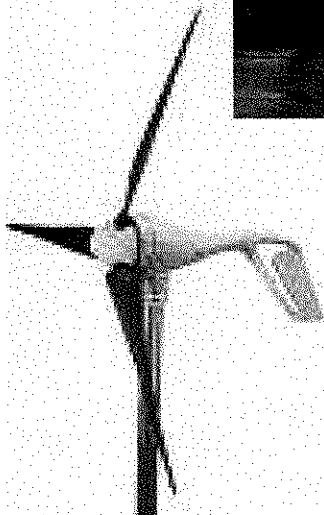


## Utilização de Turbinas Eólicas para Produção de Energia Elétrica em Embarcações



Boris Brandão

2009



**UFCG**  
**Universidade Federal de Campina Grande**

-----  
**Projeto de Engenharia Elétrica**  
-----

**Aluno:** Boris Silva Brandão  
**Matricula:** 20621630

**Professor Orientador:** Leimar de Oliveira

**Curso:** Engenharia Elétrica

**Assunto do Projeto:** Utilização de Turbinas  
Eólicas para Produção de  
Energia Elétrica em  
Embarcações

**Ano de Conclusão:** 2009



Biblioteca Setorial do CDSA. Fevereiro de 2021.

Sumé - PB

# Sumário

I-Introdução.....	3
II – Referencial Teórico.....	5
Capítulo 1 – Sistemas Eólicos.....	5
1.1 Equipamentos de um Sistema Eólico.....	7
1.1.1 Turbinas Eólicas.....	8
1.1.2 Transmissão.....	16
1.1.3 Geradores.....	17
1.1.4 Sistema de Armazenamento de Energia.....	18
Capítulo 2 - Principais Tipos de Embarcações.....	19
2.1 Rebocadores.....	19
2.2 Navios de Carga Geral.....	20
2.3 Navios Porta Contêineres.....	22
2.4 Navios Graneleiros.....	23
2.5 Navios Tanque.....	24
2.6 Navios Gaseiros.....	24
2.7 Navios de Operação por Rolamento – RoRo (Roll-on Roll-off).....	25
2.8 Navios Químicos.....	25
2.9 Navios Ore-Oil.....	26
2.10 Navios Aeroviários ou Porta Aviões.....	26
2.11 Navios Militares.....	27
2.12 Navios de Passageiros.....	27
2.13 Navios Veleiros.....	28
III – Implementação do Sistema Eólico.....	29
Capítulo 3 - Projeto Conceito.....	29
3.1 O Clima nas Principais Rotas Marítimas.....	30
3.2 Potência em Turbina Eólica.....	33
3.3 Tipos de Sistemas Eólicos.....	34
3.3.1 Sistemas Isolados.....	34
3.3.2 Sistemas Híbridos.....	35
3.4 Instalação do Sistema Eólico.....	36
IV – Conclusão.....	43
V – Sugestões.....	45
VI – Bibliografia.....	46
VII – Anexo Diagrama de Comando de Geradores Diesel em Paralelo.....	47

## I-Introdução

O presente Trabalho de Conclusão de Curso elaborado tem como objetivo mencionar a utilização de fonte eólica de energia em embarcações utilizadas para transporte marítimo de cargas, transporte marítimo de passageiros e transporte de apoio marítimo, enfatizando a necessidade da diminuição de consumo de combustíveis fósseis.

O citado Relatório abordará uma visão ampla e detalhada da importância do petróleo para o desenvolvimento da humanidade e sua interferência direta nos destinos do mundo. Razão pela qual se procede às seguintes considerações: O petróleo almeja como o principal produto conducente da economia mundial desde as suas primeiras explorações na metade do século XIX. Entretanto sua utilização remonta ao ano de 4000<sup>a</sup>.C, onde se registram, no Oriente Médio e Norte da África, Egito, Mesopotâmia e Pérsia, seu uso efetivo na pavimentação de estradas com betume, iluminação pública, construções de templos, monumentos e ainda para fins bélicos. Mas consolidou-se como produto comercializável, quando da perfuração e descoberta de ambientes onde foram encontrados carvão mineral e xisto betuminoso, atingindo o ápice com o refino do óleo.

Hoje, o petróleo como principal fonte de energia, é evidente que se torne um produto de caráter político, influenciador de economias de governo, fomentador de crises e guerras. Não obstante a sua inegável importância, é um produto esgotável. Após as diversas Crises do Petróleo, ocorridas nas décadas de 70 e o desenrolar das infundáveis guerras no Oriente Médio, a humanidade despertou para a necessidade de discussão acerca de fontes alternativas de energia. Como medida preventiva, grande parte de países emergentes e desenvolvidos passaram adotar mecanismos protecionistas para salvaguardar suas reservas naturais.

Dentre as inumeráveis utilidades do petróleo, destaca-se a sua influência nos setores do transporte, dando-se especial ênfase ao transporte marítimo, uma vez que este desponta como o principal fluxo de mercadorias internas e externas, firmando a importação e a exportação como grande alvo dos interesses e joguetes políticos.

Até o início do século XX o principal meio de combustão para a propulsão era o carvão mineral que aquecia as caldeiras dos navios transatlânticos de passageiros e mercantes. Com o advento do petróleo, essa atividade tornou-se mais viável, facilitou-se a manutenção, como também reduziu significativamente o número de tripulantes. Em contra partida, exigiu-se trabalhadores com maior grau de instrução na área naval. Entretanto a

concorrência com o transporte aéreo ofuscou o desenvolvimento da construção naval, relegando seus estudos, quase que, exclusivamente, a construções para fins militares.

Em que pese essas restrições, duas construções foram determinantes para a padronização da construção naval: o Canal de Suez (1869) e o Canal do Panamá (1913), este último serve de parâmetro para o tamanho das eclusas, que passaram a ser padronizadas em 1000 pés de comprimento, 110 pés de largura e 85 pés de calado. As expressões: Panamax e Suezmax tornaram-se comuns para a designação dos tipos de navios. Outros três estreitos assumem, também, importância determinante para as dimensões de embarcações – o Estreito de Malacca – navios que obedecem a essa dimensão são designados Malaccamax - o Estreito de Sunda que são rotas bastante utilizadas por navios entre o Japão, Sudeste Asiático, China e Europa. Assim também, as eclusas de Saint-Laurent têm função importante, pois determinam as dimensões navais dos navios que procedem o fluxo de carga, entre as Regiões dos Grandes Lagos e o Oceano Atlântico, uma das regiões mais economicamente ativas e importantes do mundo. As condições naturais também estão incluídas como influenciadoras, cite-se aqui, o Cabo da Boa Esperança, cujas águas tormentosas são marcadas historicamente por naufrágios.

Assim, o citado Relatório procura descrever e, ao mesmo tempo, elaborar um roteiro básico e prático que possa ser esclarecedor a utilização de geradores eólicos funcionando paralelamente aos geradores movidos a diesel. Para que as atividades relacionadas à geração de energia em embarcações sejam compreendidas de modo amplo e que, no futuro pesquisas sejam elaboradas frente às inúmeras necessidades do setor de construção naval. O presente relatório aborda de maneira didática e prática, as vertentes técnicas que norteiam os diferentes tipos de aproveitamento eólico em diferentes padronizações de navios, com a finalidade de tornar claro o entendimento dessa atividade (transporte marítimo) tão importante para o mundo.

## II – Referencial Teórico

### Capítulo 1 – Sistemas Eólicos

Atualmente a tecnologia mais destacada, juntamente com a energia proveniente das hidroelétricas, na área de energia renovável é a eólica. Sua participação na composição energética mundial aumentou significativamente e vem sendo utilizada em larga escala em muitas localidades no mundo. Sua evolução demonstra a aceitação como fonte geradora, com tendências de crescimento expressivo relativamente às matrizes energéticas dos países que a utilizam. A capacidade global instalada já passa os 50.000 MW. A maioria dos projetos estão localizados na Alemanha, Dinamarca, Espanha, Estados Unidos e Índia. Os avanços tecnológicos nos últimos anos têm colocado a energia eólica em posição de competir, em um futuro próximo, com as tecnologias de geração de energia convencionais, principalmente vindas de combustíveis fósseis.

Na década passada, aerogeradores eram equipamentos que chegavam a uma potência de 250 a 500 kW, com diâmetro do rotor de 50m e altura de torre de 50m. Nos dias de hoje, eles são produzidos em escala industrial e chegam a 3.000kW, com diâmetro de rotor de 100m e altura de torre também de 100m. O mercado já atua com protótipos de 4.500 kW de potência, diâmetro de 100m e torre de 120m. Quando essas máquinas se tornarem comercialmente viáveis, uma única turbina poderá alimentar cerca de 20 mil consumidores em residências, o equivalente a um conjunto habitacional de mais de 4.000 residências.

A energia eólica é uma energia renovável e de baixo impacto ambiental. Não existem emissões de gases na geração, rejeitos efluentes e tampouco consumo de outros bens naturais como a água. No espaço ocupado, o conjunto de equipamentos ocupa 1% da área de uma usina eólica e o restante pode ser aproveitado por lavoura ou pastagem, sem ocasionar problemas para plantas, mas pode causar estresse em animais devido ao ruído provocado. Pode-se morar a uma distância de 400 metros das usinas eólicas sem que seu ruído cause danos ou perturbações ao ser humano.

O custo de produção de eletricidade pela ação do vento na Europa (continente de maior produção) diminuiu nos últimos 20 anos aproximadamente em 80%. Ao mesmo tempo, a capacidade instalada aumentou muito, desde menos de 100 MW até 35.000 MW em 2006. Estas reduções de custo tão importantes foram conseguidas graças ao desenvolvimento de turbinas eólicas mais seguras, mais eficientes, em combinação com a produção de turbinas maiores e com uma expansão do mercado. Durante os últimos anos o preço das turbinas eólicas diminuiu em 5% cada ano, enquanto que o rendimento aumentou em 30% ao longo de 10 anos. Outra circunstância é o aumento de capacidade das máquinas em gerar energia elétrica, que se multiplicou por um fator de 10 nos últimos 10 anos.

A produção de energia limpa será um grande impulsor da energia eólica, pois quando comparada à mesma quantidade de energia produzida por uma fonte que utiliza combustível fóssil, a redução da emissão de gás carbono é total. Com a ratificação do Protocolo de Kyoto, a geração de energia por fonte eólica poderá se beneficiar fortemente com a emissão dos certificados de carbonos cujos valores poderão ser expressivos, contribuindo assim para melhorar o rendimento econômico dos projetos eólicos.

Durante estes últimos anos, o mercado eólico europeu dominou claramente o mercado mundial, com 72,8% do total da capacidade instalada. O desenvolvimento europeu foi graças a medidas econômicas que proporcionam incentivos para a produção de energia eólica que, além disso, se viu favorecida pela aceitação social e uma maior conscientização com as questões ambientais. Embora as condições de fornecimento de energia difiram muito entre os países europeus, a energia eólica foi introduzida em quase todas as nações.

O grande desafio é a implantação das energias renováveis no mercado de meios de transportes, em especial: setor terrestre (rodoviário) e setor marítimo. Isso devido a empresas de atividade petrolíferas que realizam pressões econômicas nesses setores para permanência do combustível fóssil com principal fonte.

A energia eólica enfrenta certos problemas potenciais e reais que podem criar obstáculos a sua rápida introdução no mercado mundial da energia. Os pontos mais importantes são os de integração na rede e os de ordem econômica e ambiental (impacto visual, produção de ruído e impacto sobre as aves e morcegos).

Os problemas referentes à integração na rede podem estar relacionados com as circunstâncias locais, a qualidade da energia (principalmente em termos de estabilidade da tensão e frequência) e o planejamento do fornecimento. A qualidade da energia depende fundamentalmente do tipo de gerador utilizado (assíncrono ou síncrono) e de sua regulação. Parques eólicos precisam estar conectados à rede local.

Um fornecimento grande de energia eólica em uma determinada área pode ultrapassar a capacidade das linhas de distribuição locais. Se a rede elétrica onde a usina eólica estiver conectada, for considerada estável, a influência da variação de tensão da energia elétrica produzida pelo aerogerador é pouco percebida devido à variação da velocidade do vento. Ao contrário, se a rede for instável, esta variação poderá ocasionar forte flutuação da tensão da energia elétrica ao longo desta rede.

A energia eólica só pode entrar no mercado elétrico se for produzida a custos competitivos, que ainda são mais altos que os de produção de energia a partir de combustíveis fósseis. Por isso é essencial investir em desenvolvimento de tecnologia dos equipamentos e buscar outras aplicações para reduzi-los.



O aspecto ambiental mais importante é o impacto visual sobre a paisagem. Embora muitas pessoas apóiem a idéia de utilizar energia eólica, outras se preocupam com o impacto sobre a paisagem. Por esta razão, a construção de parques eólicos deve ser vista com um cuidado especial e planejada em âmbito local, regional. A prática mais segura é evitar a instalação de turbinas eólicas em terrenos de alto valor ecológico e construir as plantas de energia eólica em estreita cooperação com a comunidade local, tendo em conta o uso do terreno existente: agrícola, comercial ou recreativo.

Apesar do baixo ruído das turbinas eólicas, isso pode criar problemas em áreas rurais especialmente tranqüilas, sobretudo se as turbinas estão situadas perto das casas. O ruído é produzido pelas palhetas e a carcaça. O impacto sobre as aves e morcegos pode ser outro problema. Principalmente quando os parques eólicos de energia estão em rota com a emigração de pássaros. Como foi mencionado anteriormente.

Para o caso da utilização das turbinas em embarcações de grande porte não teria problemas ambientais, pois o ruído gerado é insignificante, relacionado com as outras máquinas operadas neste ambiente de trabalho.

Para a abordagem em instalação dessas turbinas em embarcações, se faz necessária uma menção teórica relacionada aos vários tipos de turbinas eólicas, geradores e aos vários tipos de embarcações, com o intuito de realizar uma análise posterior quanto a disposição e a melhor adequação da instalação do equipamento no projeto.

## 1.1 **Equipamentos de um Sistema Eólico**

Um sistema eólico é constituído por vários componentes que devem trabalhar em conjunto de maneira a obter um objetivo final de maior rendimento na transformação de energia. Com isso, para essa conversão eólica têm que ser considerados os seguintes fenômenos físicos e componentes:

- **Vento** → Comportamento local energético da instalação do sistema;
- **Rotor** → Transformação da energia cinética do vento em energia mecânica de rotação;
- **Transmissão e Caixa Multiplicadora** → Transmissão da energia mecânica entregue pelo eixo do rotor até a carga. Alguns geradores não utilizam este componente e o eixo é acoplado diretamente à carga;
- **Gerador Elétrico** → Conversão da energia mecânica em energia elétrica;

- **Mecanismo de Controle** → Orientação do rotor, controle de velocidade, controle da carga etc;
- **Torre** → Sustentação e posicionamento do rotor na altura conveniente;
- **Sistema de Armazenamento** → Armazenamento da energia para produção de *energia firme* (estável) partir de uma fonte intermitente;
- **Transformador** → Acoplamento elétrico entre o aerogerador e a rede elétrica;
- **Acessórios** → São os componentes periféricos.

### 1.1.1 Turbinas Eólicas

As turbinas eólicas têm a função de transformação de energia cinética originada dos ventos para energia mecânica e, conseqüentemente, transformam-nas em energia elétrica.

De uma forma geral, a turbina eólica constitui de alguns elementos como:

- Uma torre, que eleva a turbina eólica até ventos mais regulares;
- Carcaça, que contem o sistema mecânico;
- Eixo que permite a rotação das pás e transmite a energia mecânica ao gerador elétrico;
- As pás, que permitem “absorver” a energia cinética do vento.

O vento é definido, essencialmente, pelos parâmetros de velocidade e direção. A sua intensidade não é regular e a sua disponibilidade depende do local. Como tal, antes de cada instalação, medições dos parâmetros do vento têm que ser efetuadas, assim como um estudo topográfico do local. Quanto menores forem as alterações do relevo, menores serão as barreiras físicas e assim melhor será a regularidade do vento. Esta é a razão pela qual, hoje em dia se estão a desenvolver parques eólicos em *offshore*, pois a superfície da lamina d’água são as mais regulares que se pode encontrar naturalmente.

Definida as condições de vento, o rendimento do sistema eólico relaciona a potência disponível do vento com a potência final que é entregue pelo sistema. Os rotores eólicos ao extraírem a energia do vento reduzem a

sua velocidade; ou seja, a velocidade do vento frontal ao rotor (velocidade não perturbada) é maior do que a velocidade do vento atrás do rotor (na esteira do rotor). Uma redução muito grande da velocidade do vento faz com que o ar circule em volta do rotor, ao invés de passar através dele.

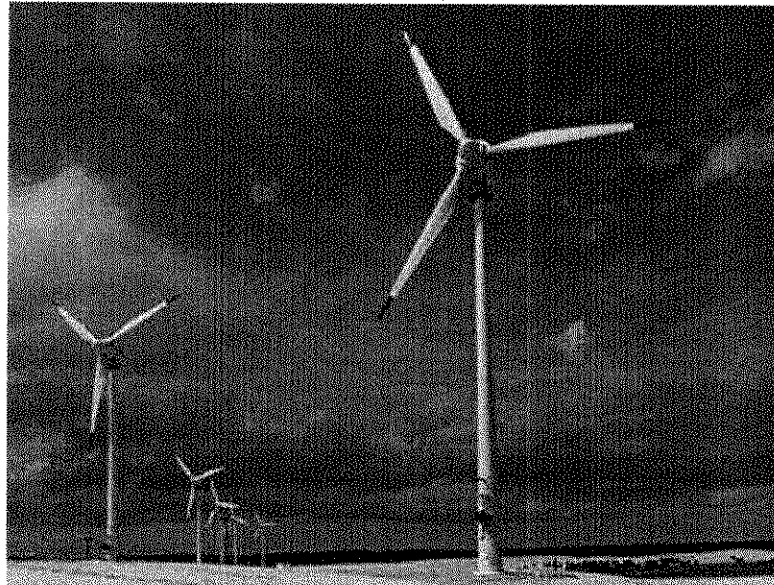


Figura 1.1.1- Parque Eólico de Geração de Energia

A condição de máxima extração de energia verifica-se para uma velocidade na esteira do rotor igual a 1/3 da velocidade não perturbada. Uma turbina eólica não permite transformar a totalidade da energia cinética do vento em energia útil. A potência recuperável por uma turbina eólica está em função da velocidade do vento ao cubo, valor denominado por limite de Betz:

$$P=0,37 v^3 \text{ em W/m}^2$$

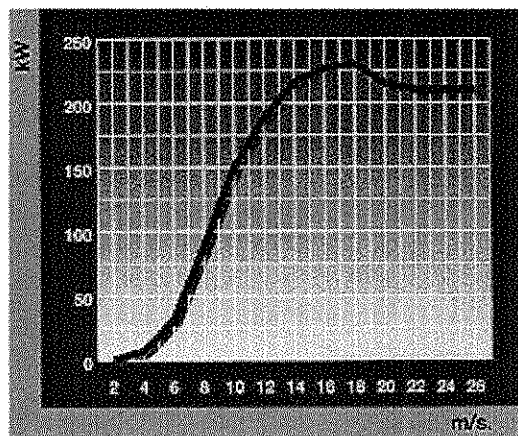


Figura 1.1.2- Relação entre a potência e a velocidade do vento

Na prática, entretanto, o rendimento aerodinâmico das pás reduz ainda mais este valor. Para um sistema eólico, existem ainda outras perdas, relacionadas com cada componente (rotor, transmissão, caixa multiplicadora e gerador). Além disso, o fato do rotor eólico funcionar em uma faixa limitada de velocidade de vento também irá contribuir para reduzir a energia por ele captada. Velocidades de vento demasiadamente elevadas podem acarretar grandes problemas para o funcionamento das turbinas eólicas, não só relacionada problemas de resistência do material de que são feitos as pás e o eixo da turbina, bem como segurança e de travagem da engrenagem. Assim, cada turbina eólica é equipada com pelo menos dois dos seguintes sistemas de travas:

- **Sistema de controle por força centrífuga:** dois pesos afastam-se do centro por ação da força centrífuga resultante do movimento de rotação e ativam os travas aerodinâmicas (por exemplo: este sistema é utilizado nas turbinas eólicas Vergnet);
- **Regulação e travagem por leme articulado:** a turbina eólica desalinha-se automaticamente do vento;
- **Regulação e travagem tombando a turbina eólica para trás:** quando o vento é muito forte, a turbina eólica pode tombar completamente. Esta solução é apenas possível em pequenas turbinas eólicas;
- **Regulação aerodinâmica sobre as pás:** sistemas em que as pás têm a possibilidade de serem colocadas em posições que oferecem menos resistência ao vento ou que ativam um sistema de travão aerodinâmico.
- **Paragem com travões de disco automáticos:** neste caso não é apenas uma travagem, mas antes uma paragem. Quando a velocidade do vento diminui, os travões desbloqueiam-se.

### 1.1.1.1 Principais Tipos de Turbinas Eólicas

A turbina é o componente do sistema eólico responsável por captar a energia cinética dos ventos e transformá-la em energia mecânica de rotação. É o componente mais característico de um sistema eólico. Por este motivo, a configuração do eixo influenciará diretamente no rendimento do sistema.

Os aerogeradores e aeromotores costumam ser classificadas pela posição do eixo do seu rotor que pode ser vertical ou horizontal. O vertical

ainda pode trazer a combinação de duas técnicas de pares eólicas. Nos tópicos seguintes serão abordadas as principais dessas técnicas com base nos tipos de turbinas.

### 1.1.1.1 Turbina de Eixo Horizontal

Eixo horizontal de turbinas eólicas, também conhecidas como *HAWT's* (*Horizontal Axis Wind Turbines*), são as mais comuns e mais bem conhecidos tipos de turbinas eólicas. Eles são todos modelados de forma semelhante aos clássicos moinhos holandeses do passado, são consideravelmente mais eficientes e são capazes de produzir relativamente grandes quantidades de energia em comparação a outros tipos de energia renovável, como energia solar. Turbinas tipo *HAWT* têm um rotor de eixo horizontal e um gerador elétrico, ambos situados no topo de uma torre. Esses tipos de turbinas devem ser sempre apontados na direção do vento, para que sejam utilizados de forma eficiente.

Pela disposição horizontal e pelos menores tamanhos, as turbinas podem mudar de direções pelo simples movimento das palhetas com relação aos ventos aplicados. Enquanto as turbinas maiores e mais modernas mudam sua direção com algum sistema de controle adjunto.

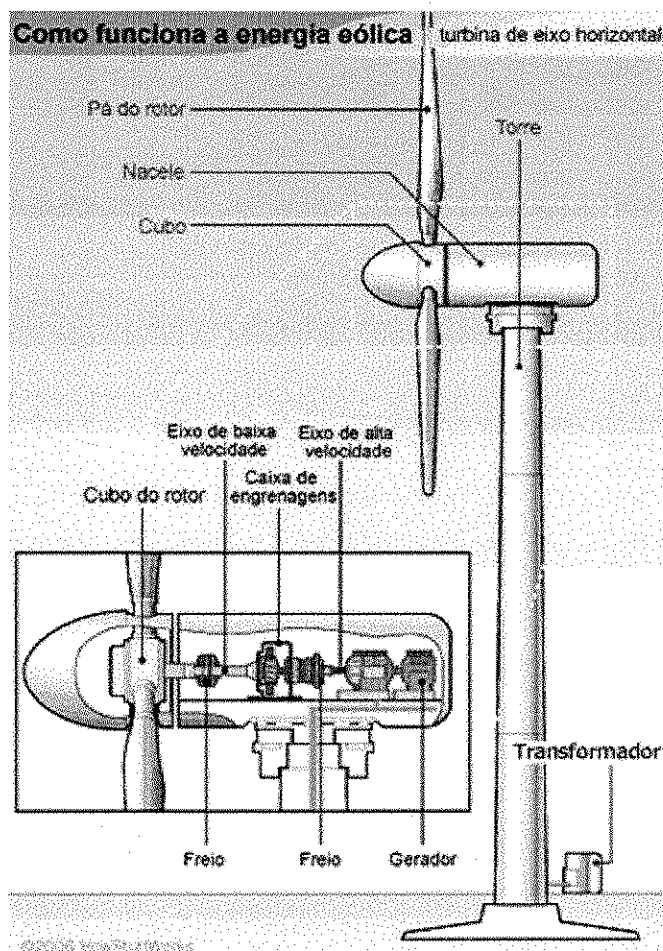


Figura 1.1.3 - Turbina de eixo Horizontal

Com finalidade de gerar energia através de um sistema *HAWT*, o vento deve ter seu primeiro golpe sobre as gigantes palhetas da turbina. Como o vento sopra as pás, eles começam a rodar em um determinado rumo, baseado no ângulo em que viram as lâminas. As lâminas rotativas estão ligadas a uma caixa localizada no topo da torre da turbina. Na caixa de velocidade, o lento movimento das pás é transformado em uma rotação mais rápida na engrenagem da turbina, para um melhor aproveitamento na transformação de energia.

Os principais modelos diferem quanto às características que definem o uso mais indicado, sendo eles:

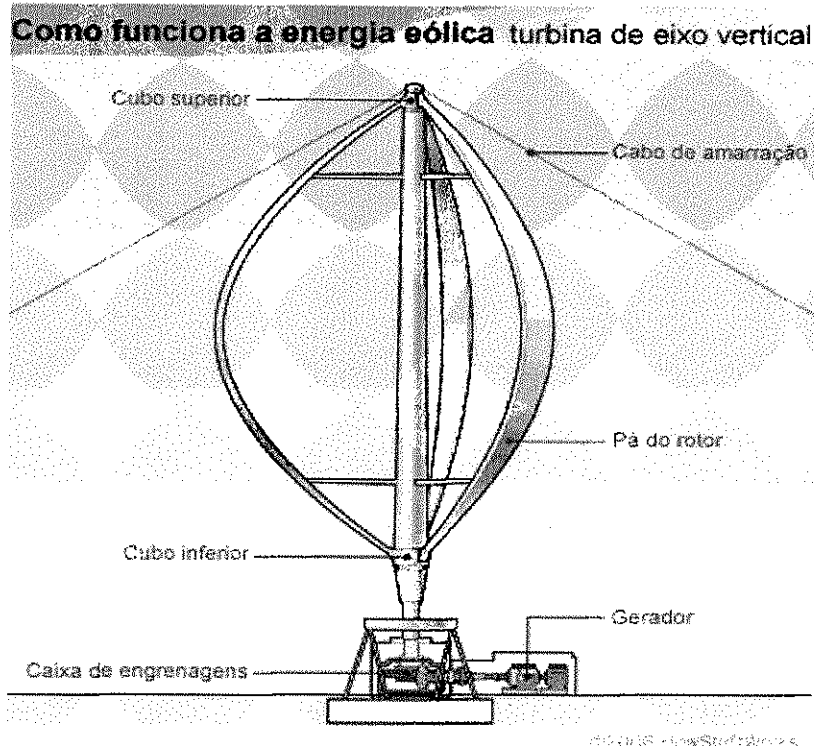
- **Rotor Multipás** – atualmente representa a maioria das instalações eólicas, tendo sua maior aplicação no bombeamento d água. Suas características tornam seu uso mais próprio para aeromotores, pois dispõe de uma boa relação torque de partida / área de varredura do rotor, mesmo para ventos fracos, em contrapartida seu melhor rendimento encontra-se nas baixas velocidades, limitando a potência máxima extraída por área do rotor, que não é das melhores, tornando este tipo pouco indicado para geração de energia elétrica. O fato de alguns autores de livros, escritos em outras décadas, contrariamente a percepção atual, apontarem-no como sendo a melhor opção devido a sua característica de menor variação de velocidade do rotor em função da velocidade do vento, devia-se as limitações de controle da curva de tensão de saída dos sistemas de geração de energia disponíveis naquelas épocas, o que restringia o aproveitamento da energia gerada, a uma faixa estreita de velocidade do rotor. Com o desenvolvimento da eletrônica este panorama mudou, pois os sistemas atuais podem ser facilmente projetados para uma faixa de velocidade bastante ampla e com um rendimento bastante satisfatório, passando o fator determinante a ser a potência obtida pelo rotor em relação a área de varredura, onde os modelos de duas e três pás se destacam com um rendimento muito superior.
- **Rotor de Três ou Duas Pás** – é praticamente o padrão de rotores utilizados nos aerogeradores modernos, isto se deve ao fato da grande relação de potência extraída por área de varredura do rotor, muito superior ao rotor multipás (embora isto só ocorra em velocidades de vento superiores), pois além do seu rendimento máximo ser o melhor entre todos os tipos, situa-se em velocidades mais altas. Entretanto, apresenta baixos valores de torque de partida e de rendimento para velocidades baixas, características que apesar de aceitáveis em sistemas de geração de eletricidade, incompatibilizam seu uso em sistemas que requeiram altos momentos de força e ou carga variável.

### 1.1.1.2 Turbina de Eixo Vertical

Em contraste com eixo horizontal de turbinas eólicas, também há o eixo vertical de turbinas eólicas, conhecidas como *VAWT's (Vertical Axis Wind Turbines)*, que trabalham de uma maneira muito diferente e que se destinam a colheita das diferentes direções e tipos de vento. As turbinas verticais não são tão bem conhecidas como as turbinas horizontais. Mesmo assim, elas servem para importantes objetivos, nos quais as turbinas horizontais não alcançaram. As *VAWT's* são concebidas com um rotor de eixo vertical, um gerador que é colocado na parte inferior da turbina, e pode ser até composta por uma única lâmina moldada no rotor que se destina a colheita da energia do vento em todas as direções em que sopra.

Os principais tipos de turbinas verticais são:

- **Darrieus** – turbina eólica que é projetada para funcionar de modo semelhante a uma pá de bateadeira para ovo. Essas turbinas têm uma boa eficiência e confiabilidade. Apesar da má e enorme quantidade de torque que eles exercem sobre a armação. Eles também necessitam de um pequeno gerador para obter energia.
- **Giromill** – é outro tipo de *VAWT*. Esta turbina eólica tem lâminas verticais e é essencialmente um tipo de turbina Darrieus modificadas. Ao contrário dos seus predecessores, eles têm auto capacidade de partida e não produzem tanta tensão sobre o quadro, levando a melhor confiabilidade.



**Figura 1.1.4 - Turbina de Eixo Vertical**

A principal vantagem das turbinas de eixo vertical é não necessitar de mecanismo de direcionamento, sendo bastante evidenciada nos aerogeradores por simplificar bastante os mecanismos de transmissão de potência.

Como desvantagens apresentam o fato de suas pás, devido ao movimento de rotação, terem constantemente alterados os ângulos de ataque e de deslocamento em relação à direção dos ventos, gerando forças resultantes alternadas, o que além de limitar o seu rendimento, causa vibrações acentuadas em toda sua estrutura. Por isso, algumas técnicas como intuito de melhorias do sistema serão mencionadas com base nas características dos principais tipos de rotores verticais, que são:

- **Rotor Savonius** - Apresenta sua curva de rendimento em relação a velocidade próxima a do rotor de multipás de eixo horizontal, mas numa faixa mais estreita, e menor amplitude, seu uso, como o daquele, é mais indicado para aeromotores, principalmente para pequenos sistemas de bombeamento d'água, onde o custo final devido a simplicidade do sistema de transmissão e construção do rotor propriamente dito, podem compensar seu menor rendimento.



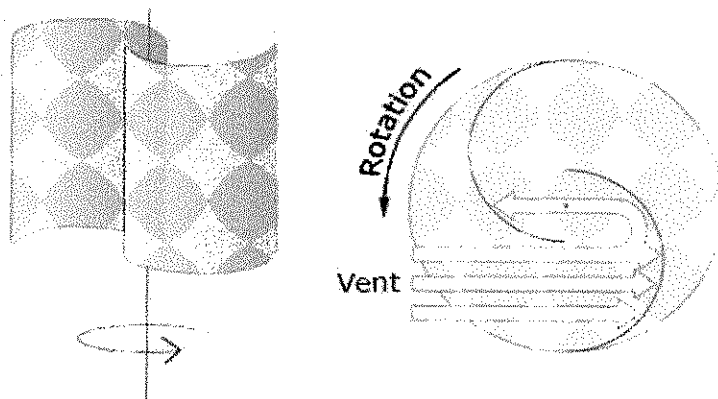


Figura 1.1.5 - Esquema de funcionamento Rotor Savonius

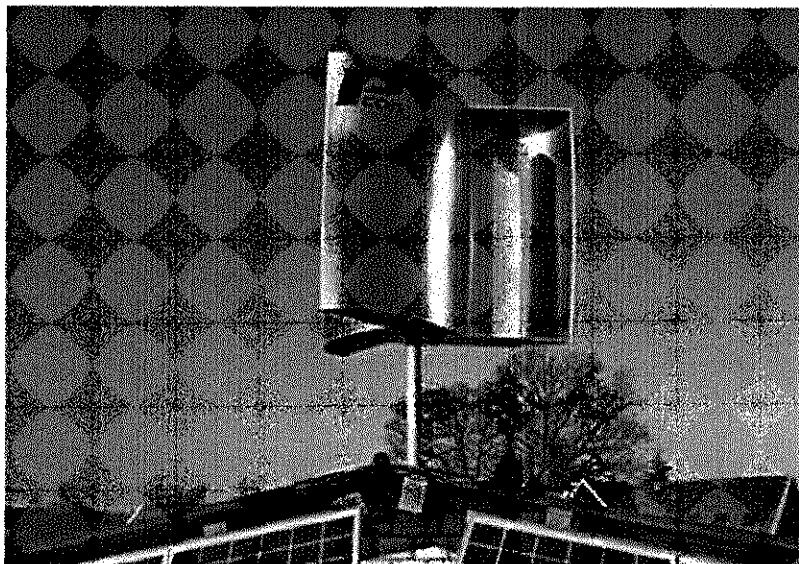
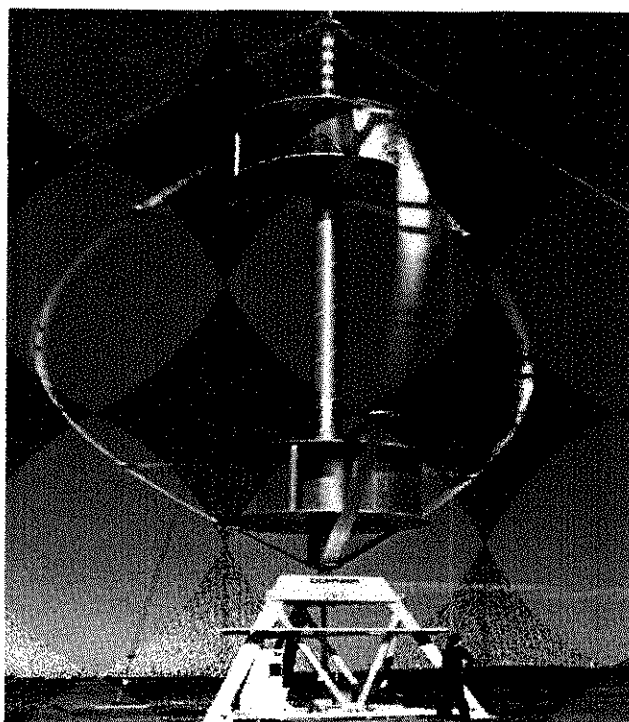


Figura 1.1.6 - Aplicação Residencial do Rotor Savonius

- Rotor Darrieus** - Por ter curva de rendimento característica próxima a dos rotores de três pás de eixo vertical, são mais compatíveis com o uso em aerogeradores, mas como nestes os sistemas de transmissão já são bastante simples, seja qual for o tipo de disposição do eixo do rotor, o Darrieus perde uma das vantagens comparativas. Além disto, a necessidade de sistema de direcionamento para o outro tipo de rotor, é compensada pela facilidade de implementação de sistemas aerodinâmicos de limitação e controle de potência, que amplia a faixa de utilização em relação a velocidade dos ventos e deixa-o muito menos susceptível a danos provocados por ventos muito fortes. Desta forma o Darrieus parece ficar em plena desvantagem em relação ao rotor de eixo horizontal, sendo seu uso pouco notado.



**Figura 1.1.7 - Uso combinado Rotor Darrieus-Savonius**



**Figura 1.1.8 - uso combinado Rotor Darrieus-Savonius**

## **1.1.2 Transmissão**

A transmissão, na qual a caixa multiplicadora faz parte, tem a finalidade de transmitir a energia mecânica entregue pelo eixo do rotor até o gerador. É composta por eixos, mancais, engrenagens de transmissão e acoplamentos.

A caixa multiplicadora é colocada entre o rotor e o gerador de forma a adaptar a baixa velocidade do rotor à velocidade de rotação mais elevada dos geradores.

A velocidade angular dos rotores geralmente varia na faixa de 20 a 150 RPM (são mais rápidas nos aerogeradores de turbina de eixo vertical), devido às restrições de velocidade na ponta da pá (*tip speed*). Entretanto, geradores (sobretudo geradores síncronos) trabalham a rotações muito mais elevadas (em geral, entre 1200 a 1800 RPM), tornando necessária a instalação de um sistema de multiplicação entre os eixos.

É possível obter aerogeradores se a caixa multiplicadora, pois ao invés de utilizar as engrenagens com alta relação de transmissão, utiliza-se um gerador multipolos. Mas isso proporciona, no projeto, um gerador com maiores proporções em suas dimensões.

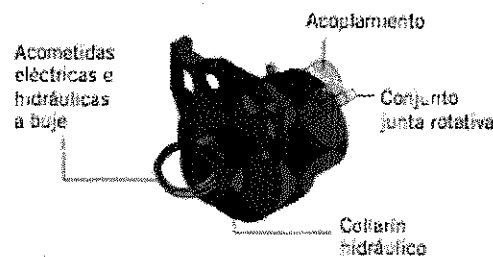


Figura 1.1.9 – Caixa multiplicadora

### 1.1.3 Geradores

A transformação da energia mecânica de rotação em energia elétrica através de equipamentos de conversão eletro-mecânica é um problema tecnologicamente dominado e, portanto, encontram-se vários fabricantes de geradores disponíveis no mercado.

Entretanto, a integração de geradores a sistemas de conversão eólica constitui-se em um grande problema, que envolve principalmente:

- Variações na velocidade do vento (extensa faixa de rotações por minuto para a geração);
- Variações do torque de entrada (uma vez que variações na velocidade do vento induzem variações de potência disponível no eixo);
- Exigência de frequência e tensão constante na energia final produzida;
- Facilidade de instalação, operação e manutenção devido ao isolamento geográfico de tais sistemas, sobretudo em caso de pequena escala de produção (isto é, necessitam ter alta confiabilidade).

Atualmente, existem várias alternativas de conjuntos moto-geradores, entre eles: geradores de corrente contínua, geradores síncronos, geradores

assíncronos, geradores de comutador de corrente alternada. Cada uma delas apresenta vantagens e desvantagens que devem ser analisadas com cuidado na sua incorporação a sistemas de conversão de energia eólica.

#### **1.1.4 Sistema de Armazenamento de Energia**

Como o comportamento do vento muda ao longo do tempo, pode ser necessária a utilização de um sistema de armazenamento de energia que garanta o fornecimento adequado à demanda.

Nos casos em que a energia eólica é utilizada para complementar a produção de energia convencional, a energia gerada é injetada diretamente na rede elétrica, não sendo necessário o armazenamento de energia, bastando que o sistema elétrico convencional de base esteja dimensionado para atender à demanda durante os períodos de calmaria.

Quando a energia eólica é utilizada como fonte primária de energia, uma forma de armazenamento se faz necessária para adaptar o perfil aleatório de produção energética ao perfil de consumo, guardando o excesso de energia durante os períodos de ventos de alta velocidade, para usá-la quando o consumo não puder ser atendido por insuficiência de vento.

As formas mais conhecidas de armazenamento de energia eólica são através de baterias e sob a forma de energia potencial gravitacional.

## Capítulo 2 - Principais Tipos de Embarcações

É fundamental o entendimento do funcionamento e a operacionalização das possíveis embarcações de ser instalado um sistema eólico, bem como disposição correta desses equipamentos para um bom funcionamento. Nos tópicos abaixo estarão descritos os navios comerciais de cargas, navios militares, de passageiros e um breve justificativa da inviabilidade da utilização de turbinas eólicas em rebocadores de suprimento.

### 2.1 *Rebocadores*

A constante necessidade de Rebocadores mais fortes e ágeis como tendência mundial, fez surgir uma nova classe dessas úteis embarcações com os chamados Tratores Rebocadores. Eles diferem por serem menores que os rebocadores atuais e de forma mais arredondadas, com motores com até o dobro de potência e com uma principal característica: alguns deles não possuem leme nem hélices *bow thruster*.

Rebocadores são embarcações com excelente capacidade de manobra, por isso são usados com o fim de auxiliar a manobra de grandes navios. Porém, o tamanho não permite a instalação e a aplicação de turbinas eólicas, pois os rebocadores são usados em sua máxima potência, com os geradores a diesel mais potentes que os geradores eólicos.

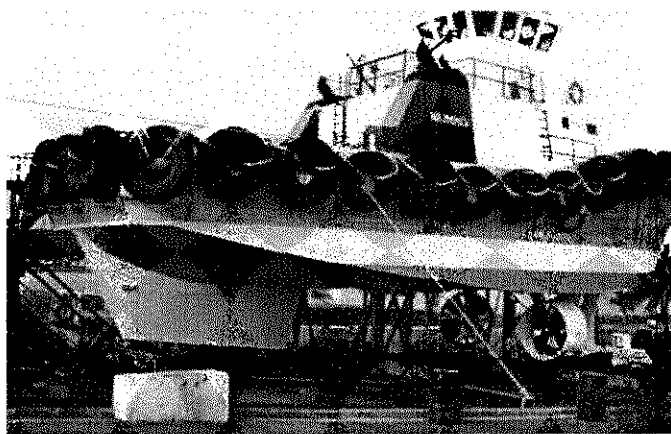


Figura 2.1.1 - Trator Rebocador



Figura 2.1.2 - Rebocador AHTS

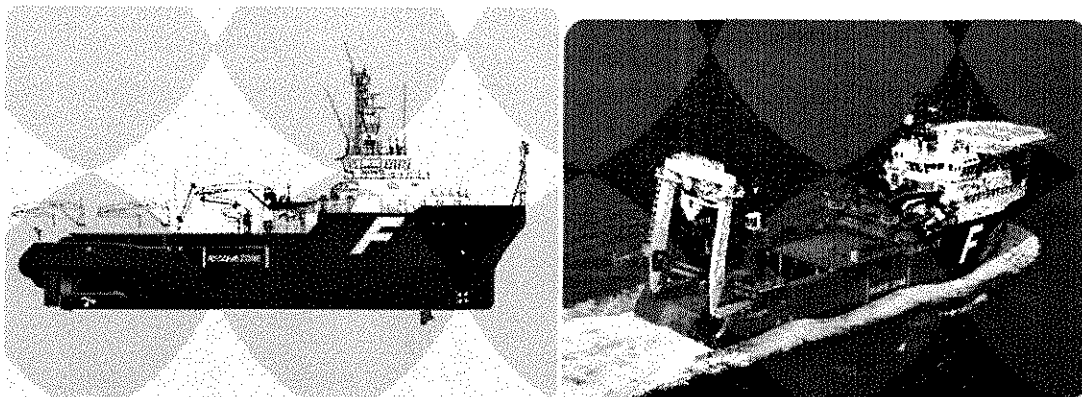
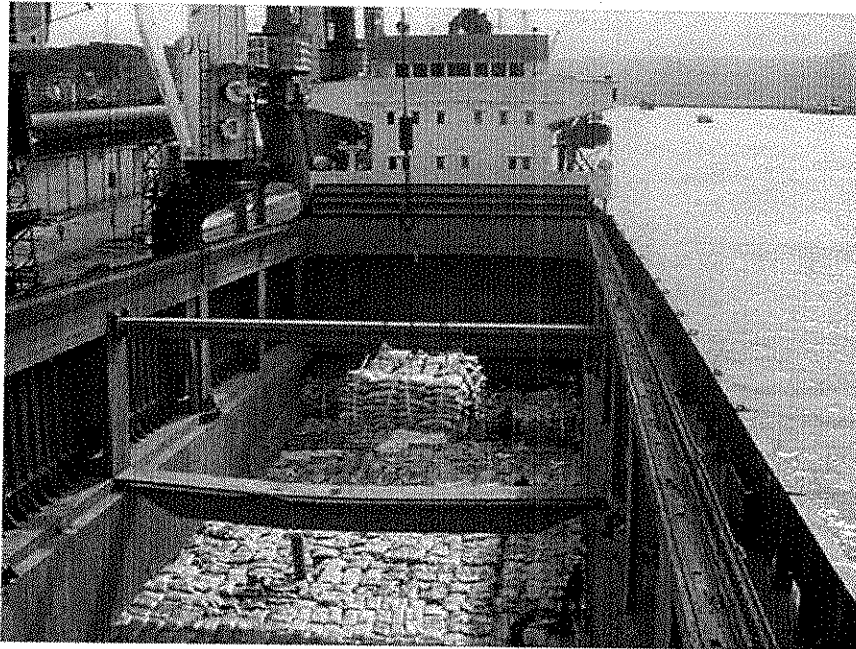


Figura 2.1.3 - Rebocadores de Resgate

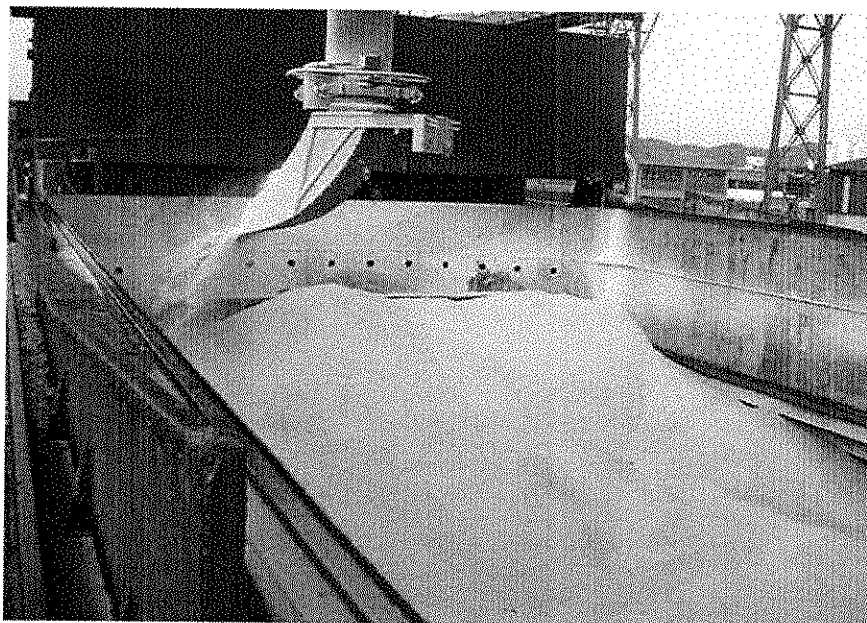
## 2.2 *Navios de Carga Geral*

São os navios que transportam vários tipos de cargas, geralmente em pequenos lotes – sacarias, caixas, veículos encaixotados ou sobre rodas, bobinas de papel de imprensa, vergalhões, barris, barricas etc. Tem aberturas retangulares no convés principal e cobertas de carga chamadas escotilhas de carga, por onde a carga é embarcada para ser estivada nas cobertas e porões. A carga é içada ou arriada do cais para bordo ou vice-versa pelo equipamento do navio (paus de carga e ou guindastes) ou pelo existente no porto.



**Figura 2.2.1 - Navio de Carga Geral utilizado para caixas e sacos.**

As áreas laterais dos graneleiros são propícias para instalação dos geradores, devido o menor grau de movimentação de equipamentos (guinchos e braços mecânicos) no convés do navio. Situação diferente de um navio contêineiro.



**Figura 2.2.2 - Navio de Carga Geral utilizado para granel**

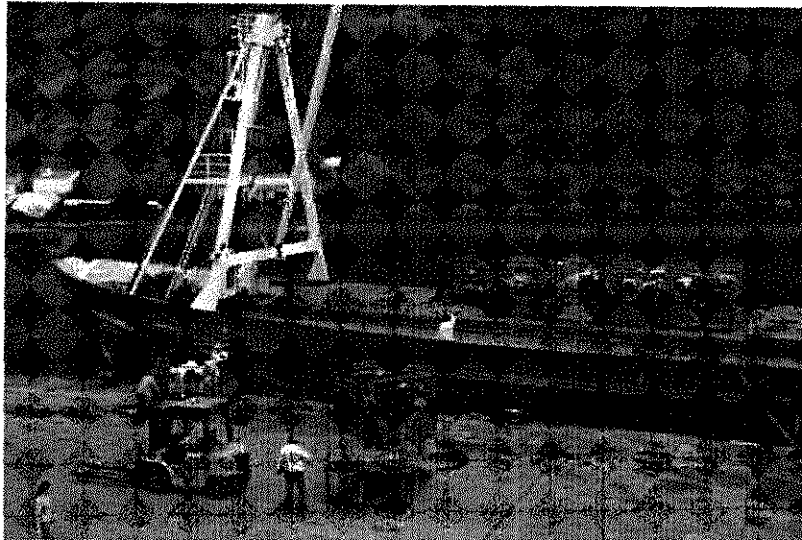


Figura 2.2.3 - Navio de Carga Geral utilizado para contêineres

### 2.3 Navios Porta Contêineres

São os navios semelhantes aos navios de carga geral, mas normalmente não possuem além de um ou dois mastros simples sem paus de carga. As escotilhas de carga abrangem praticamente toda a área do convés e são providas de guias para encaixar os contêineres nos porões. Alguns desses navios apresentam guindastes especiais.

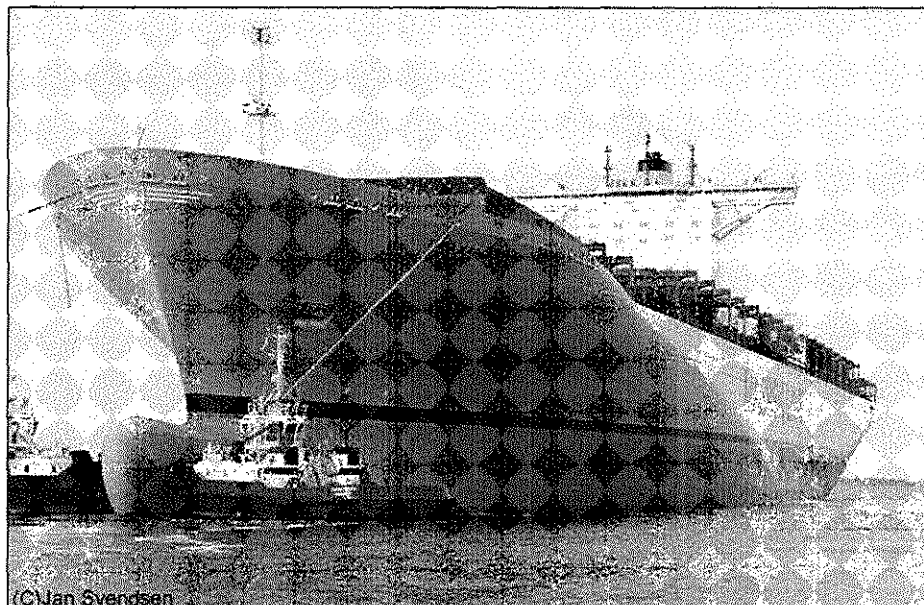
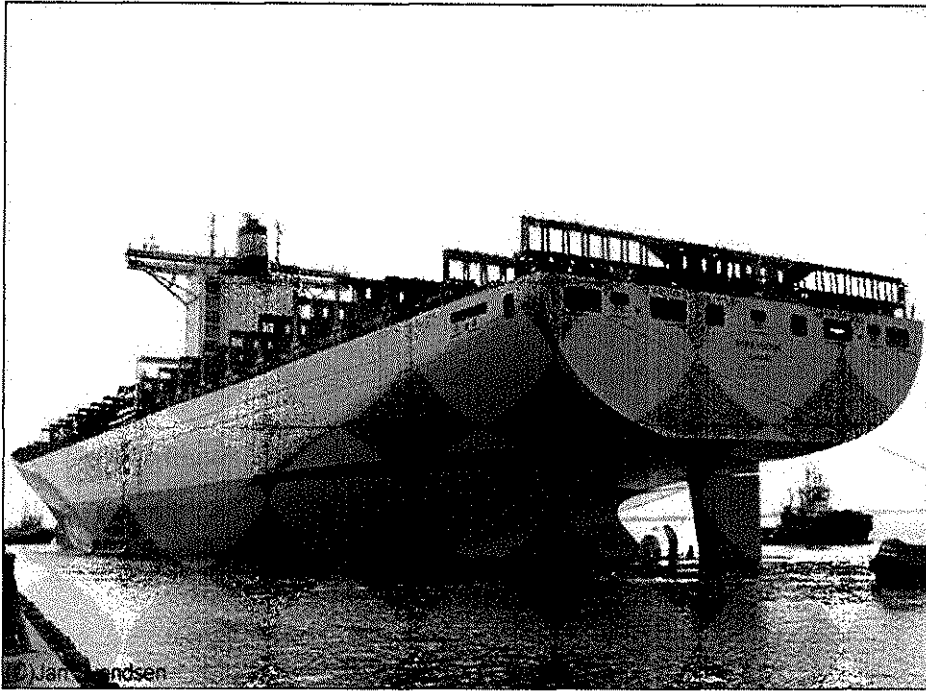


Figura 2.3.1 - Navio Porta Contêineres (Emma Maersk)





**Figura 2.3.2 - Navio Porta Contêineres (Emma Maersk)**

## **2.4 Navios Graneleiros**

São os navios destinados ao transporte de grandes quantidades de carga a granel: milho, trigo, soja, minério de ferro, etc. Se caracterizam por longo convés principal onde o único destaque são os porões.



**Figura 2.4.1 - Navio Graneleiro (Berge Stahl)**

## 2.5 Navios Tanque

São os navios para transporte de petróleo bruto e produtos refinados (álcool, gasolina, diesel, querosene, etc.). Caracterizam-se por sua superestrutura a ré e longo convés principal quase sempre tendo à meia nau uma ponte que vai desde a superestrutura até a proa. Essa ponte é uma precaução para a segurança do pessoal, pois os navios tanques carregados passam a ter uma pequena borda livre, fazendo com que no mar seu convés seja "lavado" com frequência pelas ondas.



Figura 2.5.1 - Navio Tanque (Jahre Viking – “Knock Nevis”)

## 2.6 Navios Gaseiros

São os navios destinados ao transporte de gases liquefeitos. Se caracterizam por apresentarem acima do convés principal tanques típicos de formato arredondado.

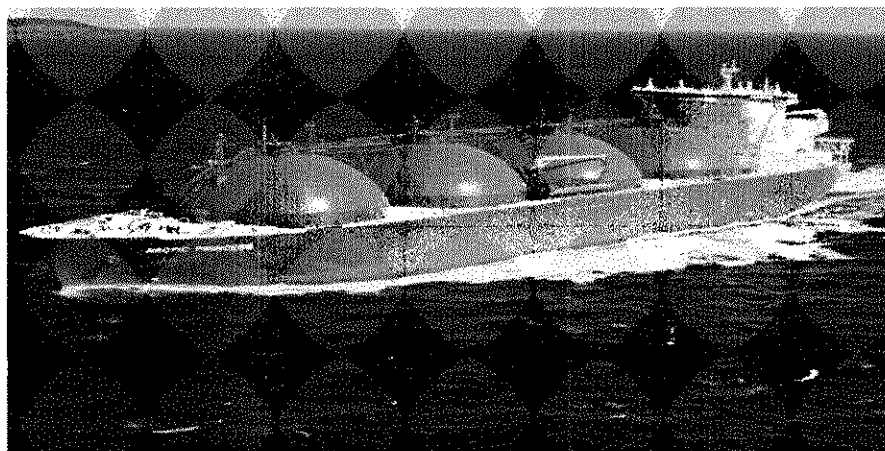


Figura 2.6.1 - Navio Gaseiro (Arctic Princess)

## 2.7 *Navios de Operação por Rolamento – RoRo (Roll-on Roll-off)*

São os navios em que a carga entra e sai dos porões e cobertas, na horizontal ou quase horizontal, geralmente sobre rodas (automóveis, ônibus, caminhões) ou sobre veículos (geralmente carretas, trailers, estrados volantes, etc.). Existem vários tipos de RoRos, como os porta-carros, porta-carretas, multi-propósitos, etc., todos se caracterizando pela grande altura do costado e pela rampa na parte de ré da embarcação.

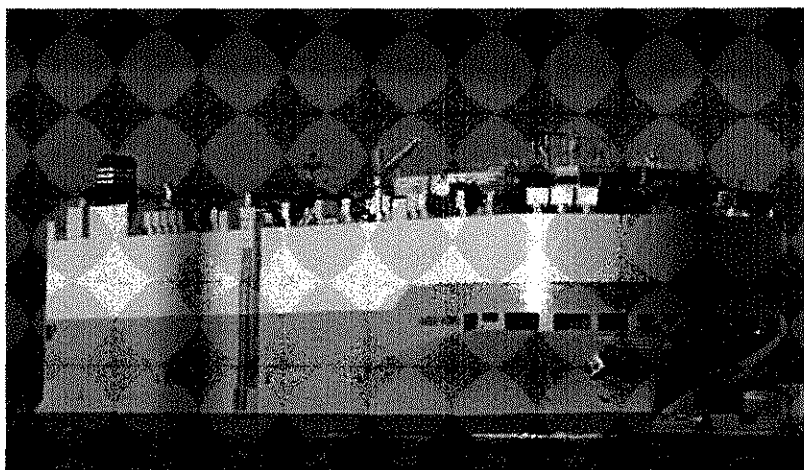


Figura 2.7.1 - Navio RO-RO (Maersk Wizard)

## 2.8 *Navios Químicos*

São os navios parecidos com os gaseiros, transportando cargas químicas especiais, tais como: enxofre líquido, ácido fosfórico, soda cáustica, etc.

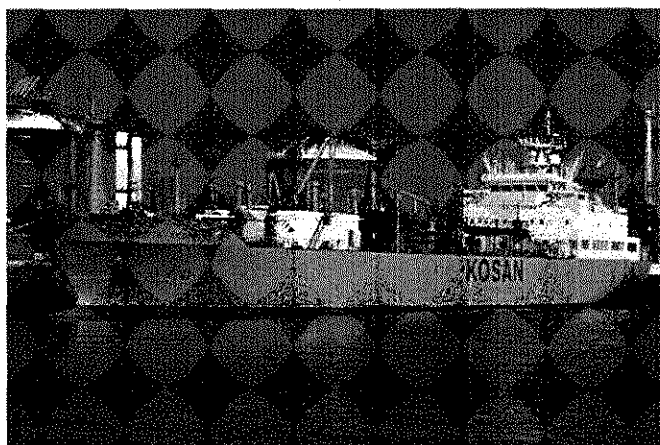


Figura 2.8.1 - Navio Químico (Greta Kosan)

## 2.9 *Navios Ore-Oil*

São os navios de carga combinada, ou seja, transportam minério e petróleo.



Figura 2.9.1 - Navio Ore-Oil

## 2.10 *Navios Aeroviários ou Porta Aviões*

São os navios utilizados pelas Forças Armadas (Marinha) para o transporte de aviões, até a zona principal de atuação dos mesmos. Servem como uma base móvel de operação, inclusive com pista de pousos e decolagens. As novas fabricações têm em sua composição a geração de energia por reatores nucleares.



Figura 2.10.1 - Navio Porta Aviões

## 2.11 *Navios Militares*

São vários os tipos, além do Porta-Aviões, como:

- Fragatas;
- Submarinos;
- Contratorpedeiros;
- Navios-Balizadores;
- Navios-Faroleiro;
- Navios Oceanográficos;
- Navios de Assistência Hospitalar;
- Navio-Tanque Fluvial;
- Navios-Tanque;
- Navio-Transporte Fluvial;
- Navio de Socorro Submarino;
- Navios-Transporte de Tropas;
- Rebocador de Alto-Mar;
- Navios-Varredores;
- Corvetas;
- Monitor;
- Cruzadores;
- Navios-Patrolha;
- Navios de Desembarque-Doca.

## 2.12 *Navios de Passageiros*

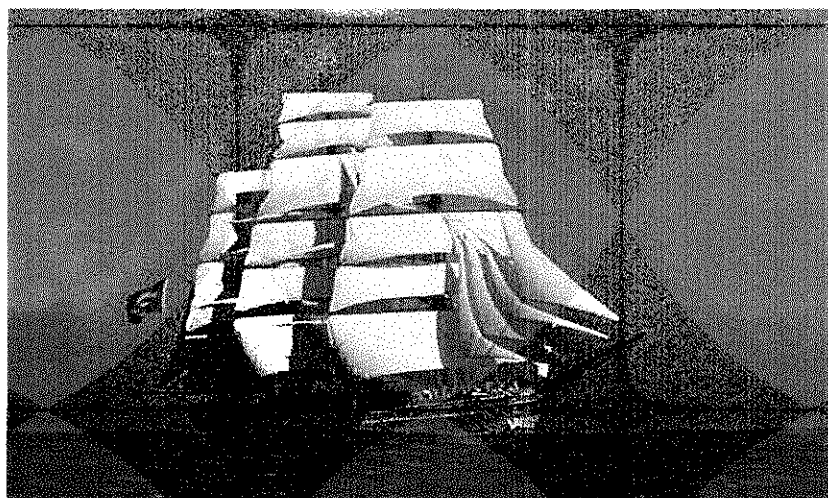
São os navios que tem a finalidade única de transportar pessoas e suas bagagens. Pode ser para viagens normais como para cruzeiros turísticos. Possuem uma estrutura voltada ao lazer, como restaurantes de luxo, cassinos, bares, cinema, boite, lojas, piscina, salão de jogos e ginástica, etc.



Figura 2.12.1 - Navio Passageiro (Freedom of the Sea)

## 2.13 Navios Veleiros

Um veleiro é uma embarcação propelida por um velame, conjunto de velas de tecido de corte e formato apropriado, apoiado em um ou mais mastros e controlada por um conjunto de cabos chamado *cordoalha*.



**Figura 2.13.1 - Navio Velerio (U-20 Cisne Branco – Marinha do Brasil)**

### **III – Implementação do Sistema Eólico**

#### **Capítulo 3 - Projeto Conceito**

Para se iniciar um empreendimento de energia eólica, é necessária uma avaliação ou até simulação do projeto a ser realizado. Os elementos de um projeto de energia eólica envolvem premissas tais como:

- Avaliação dos recursos eólicos;
- Avaliação ambiental;
- Aprovação legal;
- Projeto;
- Construção;

Com base nessas premissas, avaliam-se os recursos existentes para um bom andamento do projeto como: a velocidade média dos ventos e o local a ser instalado o equipamento.

O próximo assunto a ser levantado é o custo do sistema com base na capacidade energética instalada. Para turbinas eólicas de sistemas individuais o custo são variáveis e maiores que as fazendas eólicas. O estudo de viabilidade, desenvolvimento e engenharia representam a maior parte dos custos. Assim, é imprescindível a realização de uma apurada avaliação dos recursos do projetos para reduzir significativamente os custos de produção, pois são investimentos de alto valor. O ponto do projeto mais importante é a capacidade de interconexão à Rede.

Para o bom funcionamento e a garantia de integridade do sistema e dos equipamentos alimentados, é fundamental o correto planejamento da manutenção do sistema eólico. Assim, definem-se padrões e prioridades para realização de trocas e reparos na rede e na geração, com isso, garantindo confiabilidade.

O presente projeto é um conceito em que se constitui a utilização de turbina eólica de eixo vertical em embarcações, especificamente navios contêineres e graneleiros, para produção elétrica. A escolha desse tipo de turbina foi fundamentada devido à facilidade de captação da potência dos ventos em varias direções e sentidos. Assim, proporcionando a diminuição de emissão de CO<sub>2</sub>.

O transporte marítimo é um dos principais emissores de gases poluentes lançados na atmosfera. A Frota mercante tem sido criticada por não fazer o suficiente para combater o aquecimento global. Calcula-se que as emissões anuais da frota mercante mundial sejam de 1,12 bilhões de toneladas de dióxido de carbono, cerca de 4,5% do total de emissões globais desse gás. Pesquisas independentes apontam um crescimento de 75% nas emissões de CO<sub>2</sub> provenientes de embarcações nos próximos 15 a 20 anos. Os navios são responsáveis pelo transporte de 90% das mercadorias resultantes das

negociações mundiais e, nos últimos 25 anos, os despachos marítimos dobraram de volume.

Apesar das VAWT's serem de menor rendimento que as HAWT's (como mencionado anteriormente), sua principal vantagem na utilização em embarcações seria as maiores eficiências na captação das potências mecânicas dos ventos, devido as constantes mudanças de direções e velocidades dos ventos em mar aberto. Essas mudanças se dão através das diferenças de pressão atmosférica causadas pelo aquecimento diferencial terrestre ou marítimo que provocam deslocamento de massas de ar. O deslocamento destas massas de ar é influenciado pelas condições atmosféricas (intensidade de direção) por obstáculos e condições do solo, no caso da terra, e diferentes temperaturas e posição geográfica dos oceanos e mares, bem como precipitações.

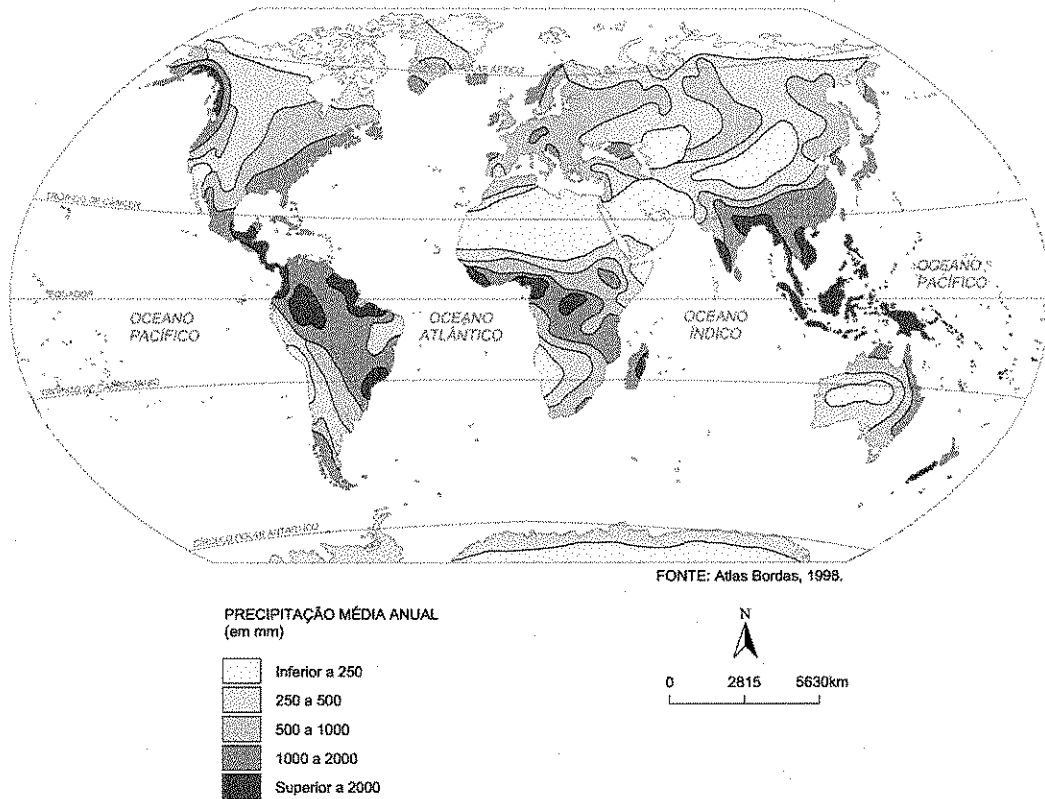
### **3.1 O Clima nas Principais Rotas Marítimas**

Devido ao aquecimento e arrefecimento da superfície terrestre, formam-se respectivamente zonas de baixas e altas pressões. Para equilibrar estas diferenças de pressões o ar desloca-se de uma alta para uma baixa pressão, dando origem aos ventos. Este ainda sofre umas defleccões devido a uma força resultante da rotação da Terra (força de Coriolis), explicando-se assim o sentido de rotação diferente dos ciclones no hemisfério Norte e Sul. A força do vento depende da velocidade do ar em movimento. Meteorologicamente é dada em metros/segundo mas, em termos náuticos, em nós (milhas marítimas/hora). Isso influencia amplamente nos níveis de precipitação e, como consequência, a temperatura.

Com o aquecimento acelerado ocasionado pela emissão de gases poluentes, o derretimento das geleiras do Ártico está criando novas rotas marítimas no Pólo Norte que poderão derrubar os custos logísticos do comércio mundial. Para grandes empresas internacionais de navegação, já existem condições de trafegar pelo Ártico durante boa parte do ano - elas só aguardam uma definição sobre a posse das águas para explorar regularmente esses caminhos. São lugares onde há ventos regulares em boa parte do ano. Mas o degelo não é o objetivo de sustentação ambiental da terra.

Nos gráficos abaixo se observa que a região das principais rotas marítimas está em condições estáveis de direção e intensidade dos ventos, também com as condições de medias anuais climáticas favoráveis a interceptação dos ventos pelas turbinas.





**Figura 3.1.1 –Precipitação média anual**

As principais rotas de mercadorias por meio naval estão localizadas entre o Japão e China passando pelo estreito de Malacca, canal de Suez, mar Mediterrâneo até Roterdam, e outras entre o America do Sul (especialmente Brasil) ligando para todos continentes, utilizando também o canal do Panamá para a costa oeste da America do Norte.

Observa-se no mapa das precipitações, correntes marítimas e ventos, que as atividades dos ventos são estáveis nessas regiões durante a maior parte do tempo, com exceção de algumas áreas no Mar do Caribe e sudeste da Ásia. Isso se deve ao comportamento de correntes nos oceanos. Assim, reforçando a viabilidade da utilização de turbinas eólicas em embarcações. A Figura 3.1.2 representa as principais correntes marítimas indicando a cor azul para a corrente fria e a vermelha para a quente. No caso da Figura 3.1.3 representa as frentes de ar agindo sob as costas litorâneas e a influência das da localização geográfica da linha do equador para a direção e intensidade dos ventos.

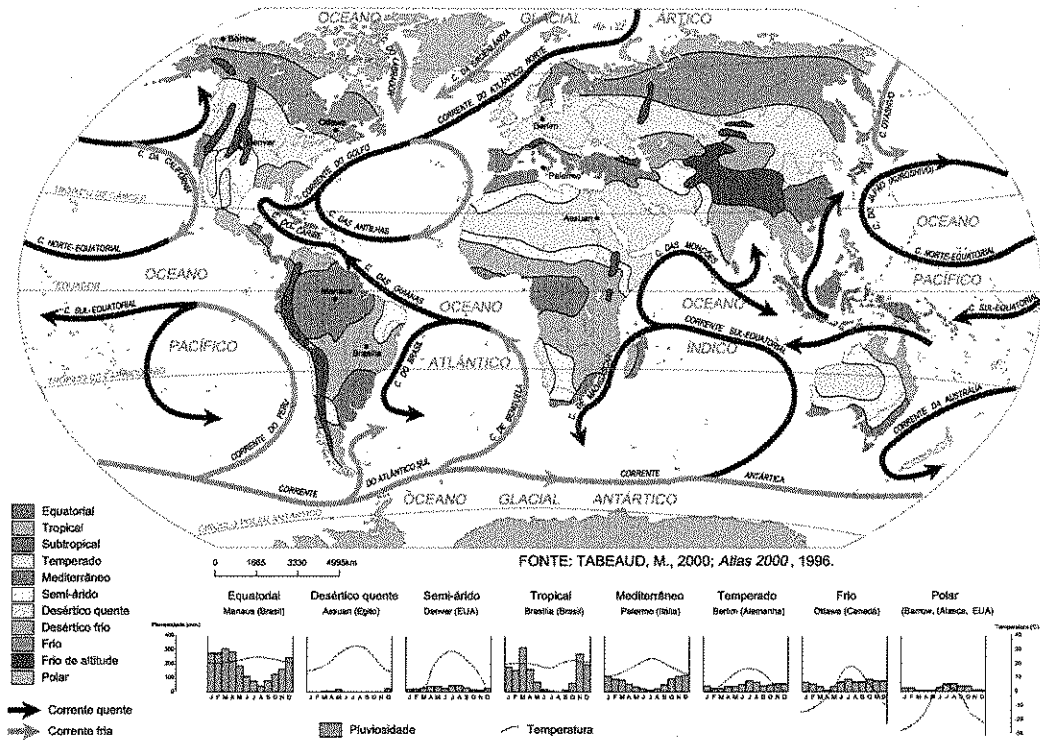


Figura 3.1.2 – Correntes marítimas

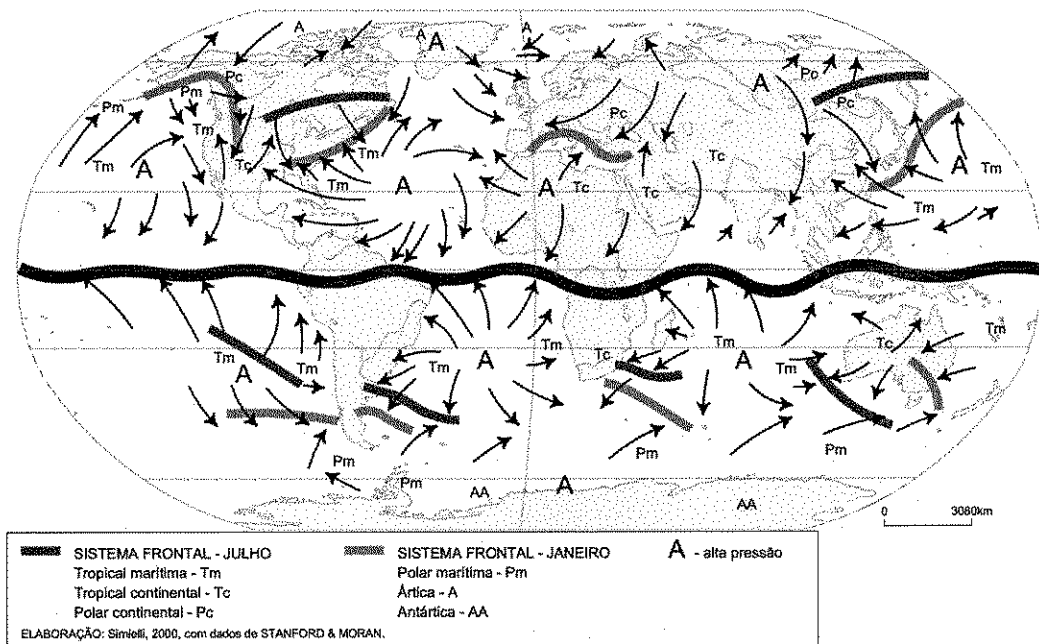


Figura 3.1.3 – Frentes de Ar

### 3.2 Potência em Turbina Eólica

No caso de uma turbina horizontal, a potência do vento que passa perpendicularmente através de uma área circular:

$$P = 1/2 \cdot \rho \cdot v^3 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \eta$$

Onde:

P = potência média do vento em Watts (w)

$\rho$  (rho) = densidade do ar seco = 1,225 kg/m<sup>3</sup>

v = velocidade média do vento (m/s)

$\pi$ (pi) = raio do rotor em m (metros)

$\eta$  = eficiência do conjunto gerador/transmissões mecânicas e elétricas  
(~0,93-0,98)

Contudo, esta energia não pode ser inteiramente recuperada pelo aerogerador, pois há que evacuar o ar tubinado. Assim introduz-se, de modo a tornar o cálculo mais preciso o coeficiente  $C_p$  (coeficiente aerodinâmico de potência do rotor) no cálculo da potência:

$$P = 1/2 \cdot \rho \cdot v^3 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \eta \cdot C_p$$

$$C_p = (\text{Potência disponível no eixo}) / \text{Potência disponível (recuperável)}$$

O limite de Betz indica que, mesmo para os melhores aproveitamentos eólicos (turbinas de 2 ou 3 pás de eixo horizontal), recupera-se apenas um máximo de 59% de energia do vento, o que significa que  $C_p$  máximo (teórico) é 0,59. Para uma aplicação real, este coeficiente é da ordem de 0,3 a 0,45 no máximo.

Considerando que cada rotor do gerador tenha 1,3 metro de diâmetro com a Velocidade Média do vento de 15m/s uma eficiência de conjunto entre 0,93 e 0,98 e coeficiente aerodinâmico entre 0,3 e 0,45, tem-se:

$$P_{\min} = 1/2 \cdot 1,225 \cdot 15^3 \cdot 3,14 \cdot (1,3/2)^2 \cdot 0,93 \cdot 0,3$$

$$P_{\max} = 1/2 \cdot 1,225 \cdot 15^3 \cdot 3,14 \cdot (1,3/2)^2 \cdot 0,98 \cdot 0,45$$

$$P_{\min} = 2742,4343 \cdot 0,93 \cdot 0,3 = 765,1391697$$

$$P_{\max} = 2742,4343 \cdot 0,98 \cdot 0,45 = 1209,4135263$$

Com isso afirma-se que se podem conseguir entre 0,76 e 1,21 kW por cada turbina eólica instalada na embarcação. Portanto, se um navio graneleiro dispuser de 8 turbinas eólicas instaladas e devidamente distribuídas, sendo elas de turbina vertical ou horizontal, atinge uma potência de 9,68 kW que corresponde a uma parcela de 10,75% de uma carga média consumida em um navio. Economia considerável levando-se em conta as dimensões em que são utilizados os combustíveis.

Os custos com a instalação das turbinas são rapidamente recuperáveis devido aos altos custos com gastos de combustível para propulsão.

### 3.3 **Tipos de Sistemas Eólicos**

#### 3.3.1 **Sistemas Isolados**

Os sistemas isolados de pequeno porte, em geral, utilizam alguma forma de armazenamento de energia. Este armazenamento pode ser feito através de baterias ou na forma de energia potencial gravitacional com a finalidade de armazenar a água bombeada em reservatórios elevados para posterior utilização. Alguns sistemas isolados não necessitam de armazenamento, como no caso dos sistemas para irrigação onde toda a água bombeada é diretamente consumida. Os sistemas que armazenam energia em baterias necessitam de um dispositivo para controlar a carga e a descarga da bateria. O *controlador de carga* tem como principal objetivo não deixar que haja danos ao sistema de bateria por sobrecargas ou descargas profundas.

Para alimentação de equipamentos que operam com corrente alternada (CA) é necessário a utilização de um *inversor*. Este inversor pode ser de estado sólido (eletrônico) ou rotativo (mecânico).

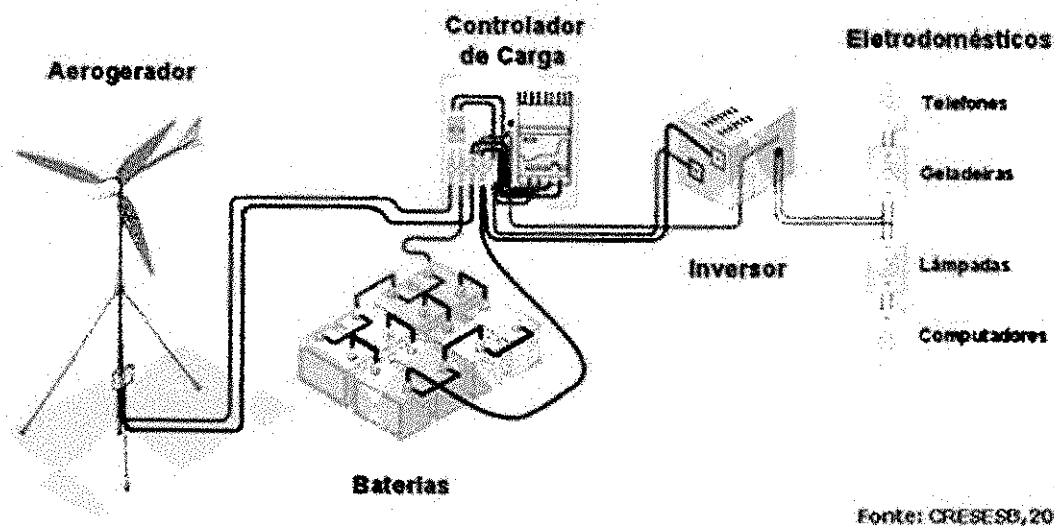


Figura 3.3.1 – Esquema de Distribuição de Energia

### 3.3.2 Sistemas Híbridos

Os sistemas híbridos são aqueles que apresentam mais de uma fonte de energia como, por exemplo, turbinas eólicas, geradores Diesel, módulos fotovoltaicos, entre outras. A utilização de várias formas de geração de energia elétrica aumenta a complexidade do sistema e exige a otimização do uso de cada uma das fontes. Nesses casos, é necessário realizar um controle de todas as fontes para que haja máxima eficiência e otimização dos fluxos energéticos na entrega da energia para o usuário.

Em geral, os sistemas híbridos são empregados em sistemas de médio porte destinados a atender um número maior de usuários. Por trabalhar com cargas em corrente alternada, o sistema híbrido também necessita de um inversor. Devido à grande complexidade de arranjos e multiplicidade de opções, a forma de otimização do sistema torna-se um estudo particular a cada caso.

Este caso é o melhor indicado para utilização em embarcações. Ou seja, a utilização de turbinas eólicas em paralelo com geradores com movimentação do eixo realizado por motor a diesel.

### 3.4 *Instalação do Sistema Eólico*

A utilização das turbinas eólicas em embarcações se torna mais eficiente em embarcações de grandes proporções, como navios de contêineres e graneleiros, este último obtém vantagens, pois as operações no convés do navio são mais reduzidas e menos complexas que os navios de contêiner, cuja movimentação de cargas é intensa no convés. Porém os contêineres têm vantagem com relação à altura do navio, o que facilita a captação de ventos mais fortes e regulares.

As operações no convés de um navio contêineiro são mais intensas, pois a movimentações de guinchos (para a retirada ou posicionamento de contêineres), operadores e estivadores deixam as turbinas mais suscetíveis a danificações através dessas operações. Outro caso, se a turbina for posicionada no casco do navio no lado do convés, o fluxo dos ventos ficaria prejudicado devido aos paredões de cargas da embarcação, os tornando mais turbulentos e ineficientes.

Com o vão do convés livre e operações reduzidas a braços de atracação para transferência de grãos e óleos, a instalação e manutenção das turbinas em navios graneleiros ficam facilitadas pela superfície regular e livre acesso. Também, a não interferência de obstáculos para os ventos ajudam na melhor eficiência do aproveitamento dos ventos nas turbinas, captando ventos mais regulares.

O melhor posicionamento de uma turbina eólica é na parte superior a cabine de comando, todavia os equipamentos de comunicação da embarcação, AIS e Radares, devem estar dispostos de maneira a não apresentarem interferências eletromagnéticas.

Na parte superior (exposta) do navio, preferencialmente sobre a cabine de comando, é instalada as partes dos cubos das engrenagens superior e inferior, pás verticais, caixa de engrenagem e o próprio gerador, de preferência assíncrono devido ao sistema não realizar a distribuição direta na rede. Antes essa energia deverá ser armazenada em banco de baterias.

Um gerador assíncrono, ou de indução, a potência é gerada devido à diferença entre a frequência do campo magnético girante do estator e a velocidade do rotor. Esta característica é chamada de escorregamento (slip). Então, quando a máquina está gerando, o rotor não gira à velocidade síncrona, mas em uma velocidade ligeiramente maior. Geradores de indução requerem potência reativa indutiva, por isso há necessidade de energia reativa indutiva no sistema.

Geradores de indução auto-excitados são utilizados com turbinas eólicas, pois são confiáveis, de baixo custo, e requerem pouca manutenção.

Em pequenos sistemas, onde a capacidade dos outros componentes para gerar reativo é limitada, é necessário o uso de banco de capacitores nos terminais do gerador para compensar a demanda de potência reativa no sistema. A auto-excitação é feita por bancos de capacitores que suprem a

potência reativa requerida.

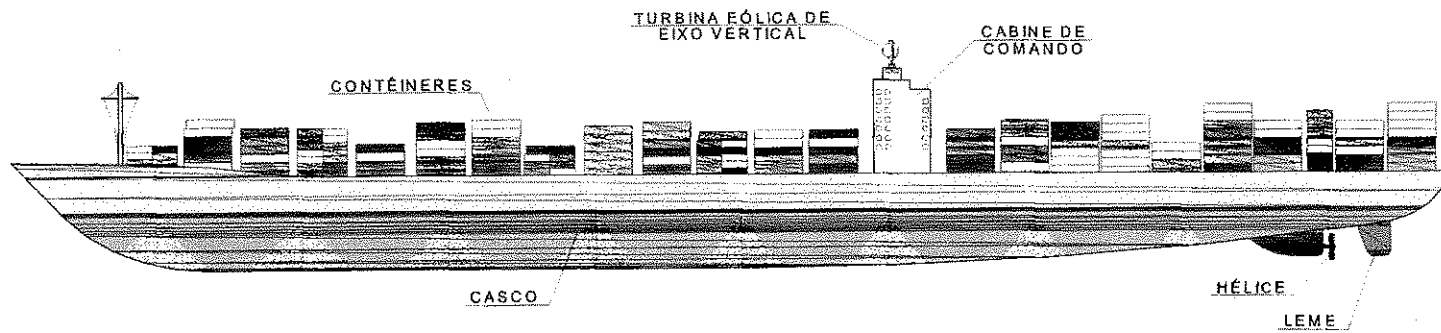
O uso de banco de baterias é muito comum em pequenos sistemas híbridos, com finalidade de armazenar energia quando a oferta das fontes renováveis excede a demanda de carga, para posterior utilização. As baterias normalmente utilizadas são do tipo chumbo-ácido, sendo também ocasionalmente usadas baterias de níquel-cádmio. A configuração do banco é feita através de associações em série e em paralelo convenientes para obter-se a tensão e a corrente de interesse. As vantagens da utilização de baterias são que elas estão prontamente disponíveis. A desvantagem é que as baterias são mais adaptadas para armazenar energia por longos períodos, podendo dificultar a conversão da energia. Os fatores que devem ser monitorados em uma bateria são: tempo de vida, métodos de monitoração do estado de carga, eficiência e máxima taxa de carga.

A quantidade de do banco de baterias deverá depender dos ativos existentes no navio, como: quantidade de equipamentos de cozinha, sistema de monitoramento de navio, ar condicionado etc. Em suma, dependerá da capacidade instalada da embarcação e, com isso, está diretamente ligada ao tamanho do navio e sua função, como foi abordado em capítulos anteriores.

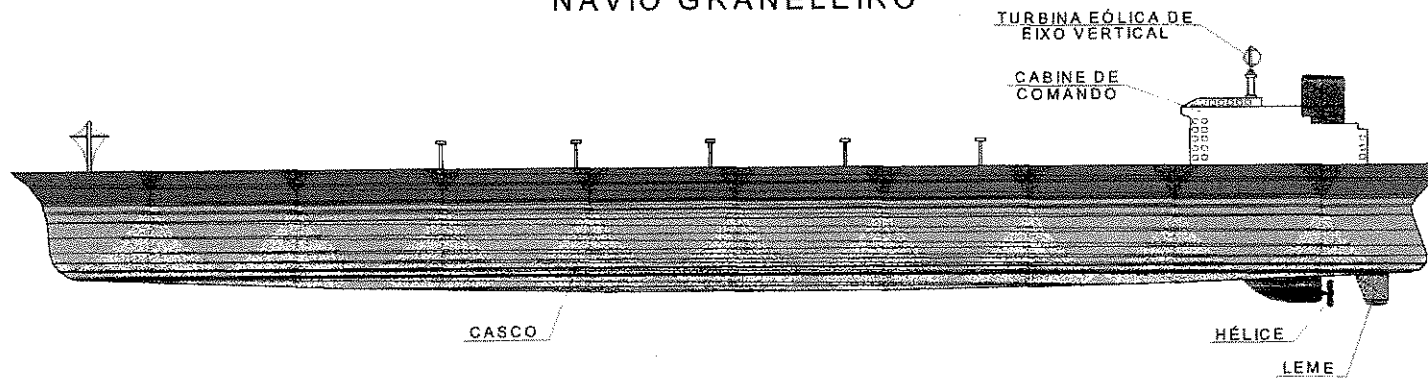
Os inversores convertem potência CC em CA, e são utilizados para alimentar diretamente a carga envolvida. Os inversores são, geralmente, baseados no chaveamento de transistores de potência em alta frequência. Eles podem ser comutados pela rede ou auto comutados. Inversores comutados pela rede necessitam da presença de uma rede CA externa, pois não podem por si só, estabelecer a frequência do sistema. Inversores auto comutados controlam a frequência internamente e, normalmente, não podem ser utilizados junto com outros dispositivos que também controlam a frequência do sistema (que é o caso desse sistema). No entanto, há inversores que podem operar tanto independente quanto em paralelo com outros geradores, em sistemas híbridos.

O presente sistema consiste na retificação da tensão que posteriormente é armazenada em um banco de baterias e, logo em seguida, realizando a inversão para obter uma distribuição com amplitude e frequência constantes, para a alimentação da carga. Sistema com a representação da instalação da turbina, gerador, inversor, banco de baterias, bem como suas conexões e acessórios, ilustrados nas figuras a seguir.

## NAVIO PORTA CONTÊINERES



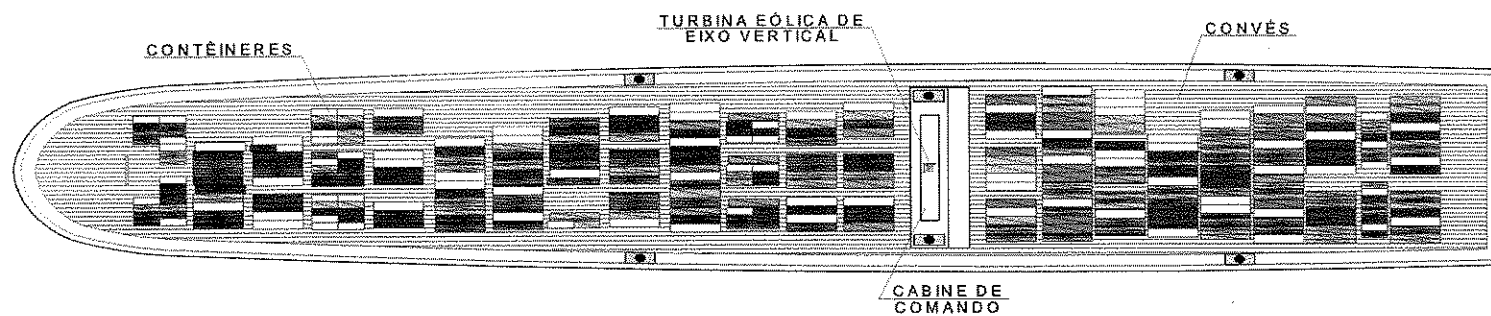
## NAVIO GRANELEIRO



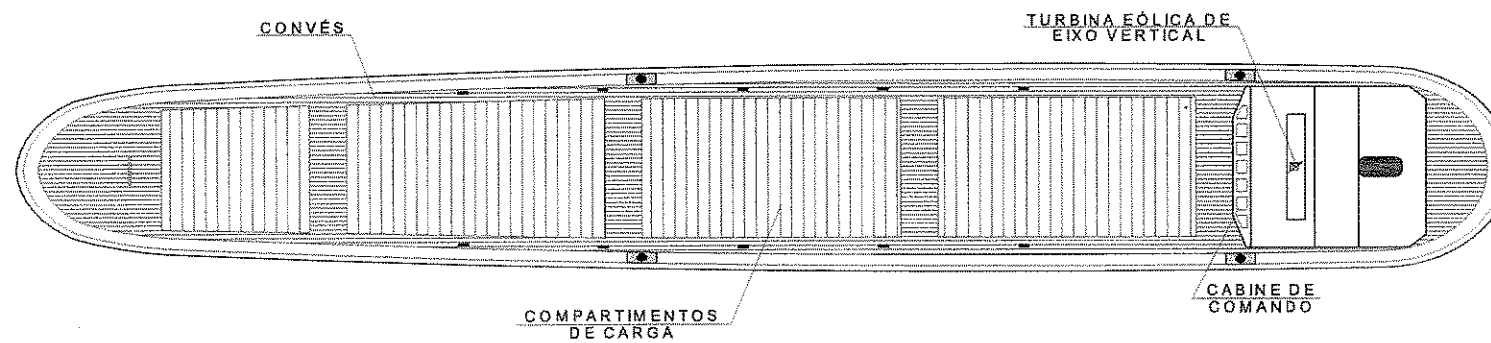
DESENHO SEM ESCALA



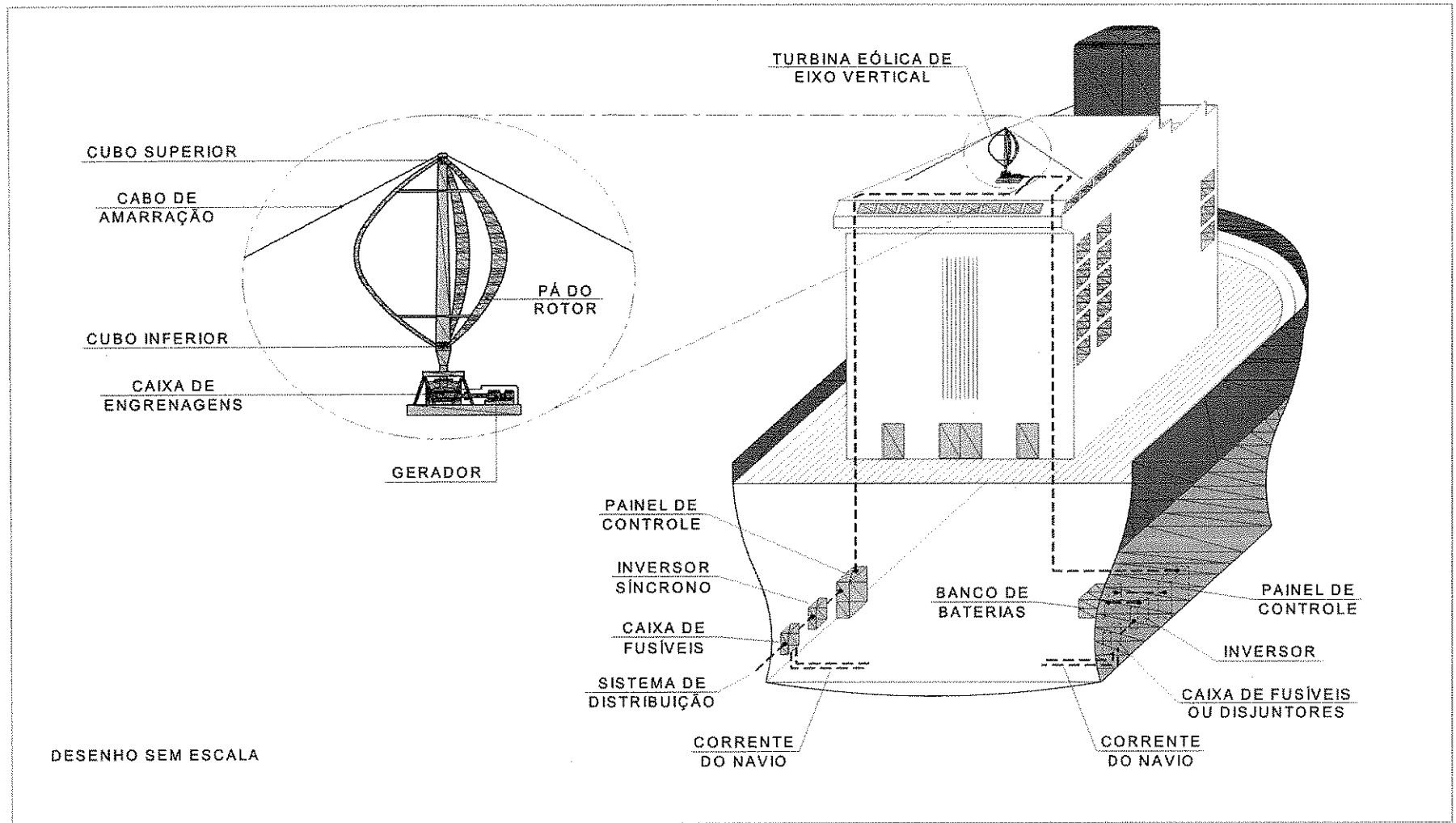
## NAVIO PORTA CONTÊINERES



## NAVIO GRANELEIRO



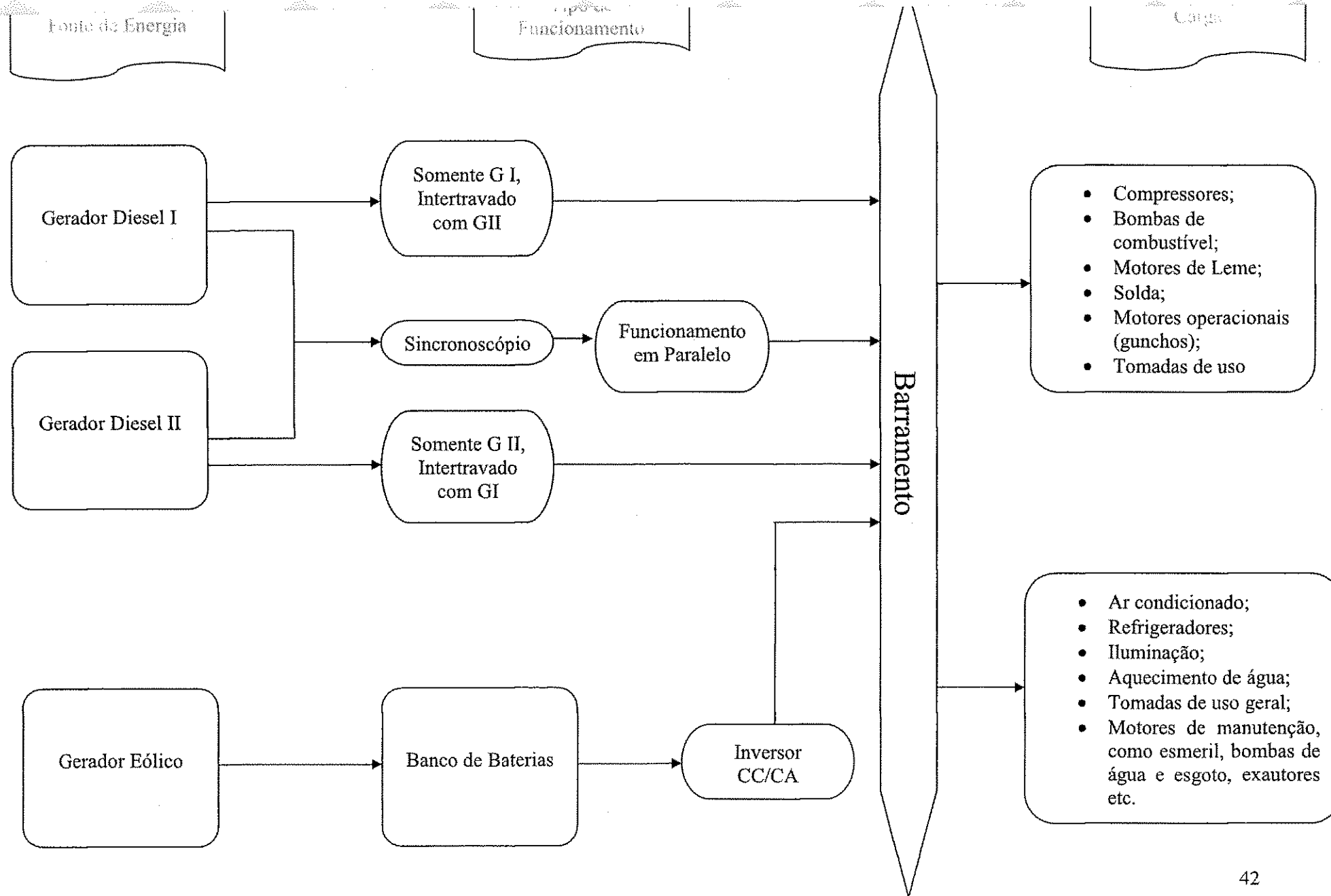
DESENHO SEM ESCALA



Para a alimentação, a turbina somente poderia ser utilizada para fins de segurança de funcionamento para os pontos de energia que se enquadram nas chamadas operações vitais de uma embarcação, ou seja, para a alimentação de aparelhos de instrumentação (24V) e motores essenciais: medidores de pressão de tanques e dutos, medidores de temperatura, aparelhos de comunicação (AIS e Radares), controle automatizado de lemes e potência de motores, soldas, compressores, alarmes etc. A energia das turbinas está condicionada, principalmente, a utilização em operações secundárias ou que são ligadas remotamente:

- Ar condicionados;
- Refrigeradores;
- Iluminação;
- Aquecimento de água;
- Tomadas de uso geral ou específica;
- Motores de manutenção, como esmeril, bombas de água e esgoto, exautores etc;

Os geradores dieleis devem ser dimensionados para que supram a necessidade da carga estimada, pois tem que ser previsto que o gerador eólico pode não estar funcionando, devido à falta de ventos e uma determinada região marítima ou devido a excesso de turbulência, bem como o banco de baterias estarem sem carga. Eles devem funcionar em paralelo entre si, mas com o gerador eólico é opcional. No esquema abaixo, exemplifica um sistema com dois geradores diesel e geradores eólicos para instalação. Já o diagrama de comando de geradores diesel em paralelo que está representado e esquematizado em documento anexo neste relatório.



## IV – Conclusão

O Projeto de Conclusão de Curso foi de grande valia para o aprendizado relacionado a construção naval e a produção alternativa de energia elétrica. Atividade do mercado importante para o crescimento profissional, pois proporciona a oportunidade de conhecer e aprofundar com assuntos de diversos setores e áreas de distintos segmentos econômicos à formação acadêmica de Engenharia Elétrica, como Setores de Mecânica (Produção), Ambiental e Economia.

Com o desenvolvimento do projeto, foi concluído que é possível a instalação de turbinas eólicas e implementação do sistema de distribuição em paralelo com os geradores diesel em embarcações, visto que as condições de captação de vento são ideais, devido a regularidade e velocidade dos ventos que estão em sua maioria acima de 4m/s de velocidade no mar (com exceção de regiões específicas já mencionadas). Algumas embarcações, como navios graneleiros, fornecem condições favoráveis para instalação desses equipamentos, pois as operações no convés estão restritas, quase que exclusivamente através de braços de atracação não interferindo no espaço das turbinas, sendo menores os riscos de acidentes e danificações quando a operação de descarregamento (estiva) é realizada. Em um graneleiro de grande porte pode-se conseguir até nove turbinas de eixo vertical instaladas. Já no caso dos navios contêineres e de carga geral a instalação das turbinas é restrita devido a grande movimentação de guinchos e outros maquinários no convés, e o grande espaço que os contêineres ocupam na embarcação. Com isso a capacidade de energia é bastante diminuída com relação aos graneleiros e navios tanques. Comparação que pode ser comprovada com a representação da Figura 2.3.1 (contêineiro) e Figura 2.4.1 (graneleiro).

Outro fator importante é a atenção as engrenagens do sistema, em especial a caixa multiplicadora. Responsável pela transferência de potência para o gerador e a eficiência depende do perfeito funcionamento do equipamento.

Inicialmente, a idealização do projeto foi dificultada pela ausência de bibliografia disponível, pois não existia uma linha de pesquisa relacionada ao assunto: utilização de turbinas de geração eólica para embarcações. No entanto, como a área de Construção Naval é um segmento que envolve grandes quantias de dinheiro, trabalha com prazos curtos em prestação de serviços com alta complexidade do sistema, também é dominada pelo segmento de petróleo. Assim, não se dá a importância devida à utilização alternativa das fontes, pois a utilização delas em embarcações exige maior tempo para análise, testes e implementação. Hoje, para construção naval, o objetivo maior de uma produção é a rápida conclusão de uma montagem ou serviço, devido a grande quantidade de embarcações a serem reparadas e pouca mão de obra e equipamentos existentes para tal função, sobrecarregando estaleiros. A idéia de uma embarcação que não se encontra

em operação representa prejuízos para as partes envolvidas, tanto para agenciadores marítimos e oficinas (estaleiros). Com isso, a importância de um bom funcionamento para a operação é questionada, pois as embarcações são reconduzidas para suas atividades sem estarem totalmente reparadas ou com funcionamento de equipamentos não desejáveis, o que diminui a . Isso torna a utilização de energia alternativa em segundo plano. Mas o objetivo deste relatório é contribuir para a mudança desse quadro.

Para a concretização do uso de energia eólica em embarcações depende do crescimento tecnológico com o objetivo de diminuir os custos relativos à manutenção, diminuir o efeito sonoro e aumentar o rendimento das turbinas e engrenagens. Essas melhoras são dependentes do avanço tecnológico de outros setores da indústria. Como no caso da fabricação de materiais mais leves, baratos, resistentes e na produção de máquinas com maiores taxas de rendimento e aproveitamento de energia. Os custos relativos à implantação de fontes de energia eólica estão em um declínio gradativo. Mas um fator negativo é a necessidade de uma mão de obra especialidade, na qual pode aumentar nesses custos.

O aproveitamento da energia eólica será de vital importância em um futuro próximo, pois suprirão as necessidades dos meios de transporte, o que deixa a demanda maior de energia recair sobre as fontes convencionais de energia. O que se espera é que avanço da tecnologia na implantação de fontes de energia alternativas será suficiente para toda a demanda de energia do planeta.

Mesmo abordando teoricamente o assunto, teve-se a oportunidade de vivenciar, na prática, as teorias estudadas em sala de aula e laboratórios, consolidado pela realização do estágio profissional integrado ligado amplamente a área de construção naval. Motivo pelo qual foi a inspiração deste projeto. Observou-se a aplicação de matérias, as quais muitos não relacionam com Engenharia Elétrica, todavia amplamente aplicadas amplamente neste relatório. Algumas dessas matérias são os princípios de Engenharia Econômica, Administração, Mecânica, Gerenciamento e Planejamento da Produção, História, Conhecimentos Geográficos, Ciências do Ambiente, entre outras.

Como base, este projeto ratificou a importância da necessidade de significativas melhorias no setor de construção naval e atividades de apoio marítimo, pois as outras atividades de transporte (aérea e terrestre), bem como segmento industrial, estão adiantadas com relação à diminuição do consumo de combustíveis fósseis. Se não houver melhorias no setor naval com relação à economia de combustíveis, os quase 5% de participação nas emissões de gases poluentes poderá triplicar em menos de 30 anos, devido à necessidade e ao crescimento acelerado do setor.

## **V – Sugestões**

Como sugestão, a Universidade poderia proporcionar algum horário específico para que ex-alunos ou recém formados, voluntariamente, pudessem expor opiniões, a respeito dos seus estágios realizados e projetos de conclusão de curso, para os alunos que ainda irão realizá-los. Apesar de existir a disciplina Introdução a Engenharia Elétrica, é necessário que durante todo o período do curso, os alunos tenham a oportunidade de aprender experiências alheias. Acredita-se que isso facilitaria na escolha de qual especialidade seguir e ajudaria nas tendências de pesquisa realizadas na própria instituição. Com isso, tornando-se um diferencial e um maior ganho em posições de destaque no cenário acadêmico internacional.

O término de minhas atividades como graduando de Engenharia Elétrica consolidou o pensamento de que o conhecimento proporcionado por este curso é muito abrangente e essencialmente necessário para a aplicação nas principais atividades econômicas.

## VI – Bibliografia

RÜNCOS, Fredemar. **Gerador Eólico**. 1ªed. Edgard Blücher, 2006.

CRESESB. **Energia Eólica Princípios e Aplicações**.

MARKUS, Otávio. **Circuitos Elétricos**. 1ª ed. Erica, 2001

LOPEZ, Henrique Floranvanti; WERZEL, Guilherme Munchen; ALÉ, Jorge Villar. **Aproveitamento de Sistemas Eólicos em Áreas Urbanas: Estudo de Caso em Porto Alegre**.

MONTEIRO DA SILVA, Gustavo Vitorino. **Instrumentação Industrial**. 2ª Ed. Peres, 2004.

BARBOSA, Marina Carvalho e ESTEVES, Elisabete de Almeida. **A Navegação de Apoio Marítimo no Brasil**. 1ª edição. 1989.

BRAGA, Roberto. **Fundamentos e Técnicas de Administração Financeira**. 1 ed. SãoPaulo: Atlas, 1989.

BRITO, Paulo. **Análise e Viabilidade de Projetos de Investimentos**. Atlas, 2003.

LAPPONI, Juan Carlos. **Projetos e Investimentos**. Laponi Treinamento e Editora Ltda,2000.

SOUZA, Alceu e CLEMENTE, Ademir. **Decisões Financeiras e Análise de Investimentos**. 5ª ed. Atlas, 2004.

Internet:

[www.mdic.gov.br](http://www.mdic.gov.br) – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

[www.petrobras.com.br](http://www.petrobras.com.br) – Petróleo Brasileiro SA

[www.siemens.com](http://www.siemens.com) – Produtos Siemens

[www.abb.com](http://www.abb.com) – Automação e Tecnologias de Potência.

<http://www.aondevamos.eng.br/textos/texto01.htm>



# VII - Anexo Diagrama de Comando de Geradores Diesel em Paralelo

