

MARINHA DO BRASIL
DIRETORIA DE ENSINO DA MARINHA
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE WANDENKOLK

CURSO DE APERFEIÇOAMENTO AVANÇADO EM PROPULSÃO NAVAL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

A PROPULSÃO TOTALMENTE ELÉTRICA DO BPC TONNERRE

1º TEN MATHEUS GOMES CORRÊA DOS SANTOS

Rio de Janeiro
2020

1º TEN MATHEUS GOMES CORRÊA DOS SANTOS

A PROPULSÃO TOTALMENTE ELÉTRICA DO BPC TONNERRE

Monografia apresentada ao Centro de Instrução
Almirante Wandenkolk como requisito parcial à
conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado
Propulsão Naval.

Orientadores:

CMG (RM1-EN) Wladimir Pedro Barbosa

Prof. Robson Francisco da Silva Dias

Rio de Janeiro
2020

1º TEN MATHEUS GOMES CORRÊA DOS SANTOS

A PROPULSÃO TOTALMENTE ELÉTRICA DO BPC TONNERRE

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Wandenkolk como requisito parcial à conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Propulsão Naval.

Aprovada em _____

Banca Examinadora:

Wladimir Pedro Barbosa, CMG (RM1-EN) – CIAW _____

Carlos Alfredo Orfão Martins, CC (RM1) – CIAW _____

Robson Francisco da Silva Dias, D. Sc. – UFRJ _____

Rio de Janeiro
2020

Dedico este trabalho à minha família: Vice-Almirante (IM) Wagner, Ivone e Estevão. O amor incondicional de vocês foi o alicerce para eu chegar até aqui. Sou eternamente grato por tudo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao meu Deus, por me capacitar e ajudar a cada momento. Reconheço que sem Ele nunca chegaria a lugar algum. A Ele ahonra e a glória em tudo o que eu fizer!

Aos meus pais Vice-Almirante (IM) Wagner e Ivone, e irmão Estevão, pelo apoio em todas as áreas e por acreditarem quando nem eu mesma achava possível conseguir. Muito obrigado.

Aos meus amigos da “Mission Jeanne D’Arc 2016” da Marinha Nacional Francesa a bordo do BPC Tonnerre, agradeço pelos ensinamentos e experiências vividas. Saudações com o brado: “À vous! Tout a vant!”.

Ao meu orientador técnico, CMG (RM1-EN) Wladimir, agradeço por me orientar pela segunda vez neste ano tão intenso de estudos. A experiência e dedicação do senhor fizeram toda a diferença para mim.

Ao meu coordenador de Propulsão Naval do C-ApA, CC (RM1) Carlos Martins, o senhor “manobrou”! Vencemos todos os obstáculos.

Ao meu orientador acadêmico, Prof. Robson, agradeço pela visão profissional oriunda da Academia, primeira vez que posso desfrutar desse tipo de conhecimento em tão elevado nível. Muito obrigado.

“O mar é um curso de força e uma escola de previdência. Todos os seus espetáculos são lições: não os contemplemos frivolamente, Esquadras não se improvisam”.

Rui Barbosa

A PROPULSÃO TOTALMENTE ELÉTRICA DO BPC TONNERRE

RESUMO

O presente estudo trata-se de uma pesquisa sobre a planta elétrica e a propulsão totalmente elétrica no “*Batiments de Projection et de Commandement (BPC) Tonnerre*” da Marinha Nacional Francesa. O estudo foi levado a termo a partir de análises documentais feitas *in loco* no navio, pesquisa bibliográfica em manuais técnicos do navio, manuais técnicos de geradores e livros sobre a propulsão elétrica. O estudo tem por objetivo apresentar as vantagens de consumo e os diversos recursos da planta elétrica e da propulsão totalmente elétrica no BPC Tonnerre, a fim de auxiliar em futuros projetos de aquisições de navios pela Marinha do Brasil (MB). Para tal, foram abordados um breve histórico, conceitos básicos de eletricidade, características do navio em relação à geração e distribuição de energia elétrica, possibilidades de configurações da planta elétrica, características do POD (“*Propulsion or Drive*”), do “Bow Thruster” e dos geradores de alta tensão (6.600V), uma comparação do consumo de óleo diesel e milhas navegadas do BPC Tonnerre com um navio da Marinha do Brasil, uma descrição da manutenção preventiva da planta elétrica e abordagem sobre inovações no campo da propulsão elétrica. Concluiu-se que o referido modelo de planta elétrica e de propulsão elétrica é uma possibilidade vantajosa para auxiliar futuros projetos de aquisição de meios navais de propulsão totalmente elétrica para a MB.

Palavras Chaves: Planta elétrica. Propulsão totalmente elétrica. POD. Tensão 6.600V. Consumo de combustível.

THE TOTALLY ELECTRICAL PROPULSION OF BPC TONNERRE

ABSTRACT

The present study is a research about the electric plant and the totally electric propulsion at “*Batiments de Projection et de Commandement (BPC) Tonnerre*” of the French National Navy. The study was carried out based on documentary analyzes carried *in loco* on the ship, bibliographical research in technical manuals of the ship, technical manuals of generators and books on electric propulsion. The study aims to present the consumption advantages and the resources of electric plant and the all-electric propulsion of BPC Tonnerre, in order to assist in future acquisition projects of ships by the Brazilian Navy. Therefore, this study presents a brief history, basic concepts of electricity, characteristics of the ship in relation to the generation and distribution of electrical energy, possibilities of configurations of the electrical plant, characteristics of the POD (Propulsion or Drive), Bow Thruster and high voltage generators (6.600V), a comparison of diesel consumption and miles sailed of BPC Tonnerre with a Brazilian warship, a description of the preventive maintenance of the electrical plant and an approach to innovations in the field of electric propulsion. It was concluded that this model of electric propulsion plant is an advantageous possibility to assist future acquisition projects for naval means with fully electric propulsion for Brazilian Navy.

Keywords: Electric plant. Fully electric propulsion. POD. Voltage 6.600V. Fuel consumption.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - USS Júpter	19
Figura 2 - Valores de tensão	22
Figura 3 – Dimensões gerais da visão frontal do BPC Tonnerre	26
Figura 4 – Dimensões gerais da visão do través do BPC Tonnerre	26
Figura 5 – Quadro Elétrico Principal	30
Figura 6 – Rede Principal 440V-60Hz	31
Figura 7 – Rede Principal 400V/230V-60Hz	32
Figura 8– Rede Principal De Emergência 440V-60Hz	33
Figura 9 – Planta Elétrica Tipo U	34
Figura 10 – Planta Elétrica Tipo I	34
Figura 11 – Planta Elétrica Tipo L	35
Figura 12 – POD	36
Figura 13 – Motor Elétrico POD	38
Figura 14 – Controle Passadiço	40
Figura 15 – Controle CCM	40
Figura 16 – Controle Emergência	40
Figura 17 – Console Conversores	41
Figura 18 – DAP	43
Figura 19 – DAA	44
Figura 20 – DAS	44
Figura 21 – Localização dos principais elementos do sistema propulsor	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação tempo de resposta para cada modo de manobra	27
Tabela 2 – Relação ordem de manobra e velocidade no Modo “Standard”	27
Tabela 3 – Relação ordem de manobra e velocidade no Modo “Fast Ramp”	28
Tabela 4 – Comparação de Consumo de Óleo Diesel (litros/dia)	46
Tabela 5 – Comparação de milhas náuticas navegadas por velocidade	48

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Consumo de Diesel/dia por Velocidade Navio	47
Gráfico 2 –Distância em milhas náuticas por Velocidade Navio	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Preparação das Máquinas para o suspender do navio	45
--	----

LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A	ampér
BPC	<i>Batiments de Projection et de Commandement</i>
BT	baixa tensão
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CCFET	conversor
CCM	Centro de Controle de Máquinas
CIAA	Centro de Instrução Almirante Alexandrino
DA	motores diesel alternadores
DAA	motor diesel alternador auxiliar
DAP	Motor Diesel Alternador Principal
DAS	Diesel Alternador de Emergência
DDP	diferença de potencial
E	tensão
E _{max}	valor máximo
ES	eletricidade para iluminação
ET	compartimentos habitáveis
EUA	Estados Unidos da América
FCN	Fragata Classe Niterói
FEM	força eletromotriz
FFAA	Forças Armadas
GPS	“Global Position System”
HT	alta tensão
I	corrente
MB	Marinha do Brasil
MNF	Marinha Nacional Francesa
NDM	Navio Doca Multipropósito
OTAN	Organização do Tratado do Atlântico Norte
PCL	Painel de Controle Local
POD	"Propulsion or Drive"
R	resistência
SI	Sistema Internacional
SNCC	Sistema de Controle e Comando
TPBHT	Quadro Principal de Alta Tensão de Bombordo
TPFS	Quadro Principal de Emergência
TPTF	Quadros Elétricos de Força de Baixa Tensão de 440V 60Hz
TPTFE	Quadros Elétricos de Força de Baixa Tensão de 400V-230V 60Hz
TPTHT	Quadro Principal de Alta Tensão a Boreste
TT1HT	Quadros de Alimentação de Terra

USN	Marinha dos Estados Unidos da América
V	Volts
V _{ef}	Valor eficaz
V _m	valor médio
V _p	valor de pico
V _{pp}	valor de pico a pico
V _{rms}	Valor RMS
W	Watts

SUMÁRIO

1 Introdução	16
1.1 Apresentação do Problema	17
1.2 Justificativa e Relevância	17
1.3 Objetivos	18
1.3.1 Objetivo Geral	18
1.3.2 Objetivos Específicos	18
1.4 Metodologia	18
2 Breve Histórico	19
3 Conceitos Básicos de Eletricidade	21
3.1 Geradores de Corrente Alternada	22
3.2 Motores Síncronos	23
3.3 Requisitos de Motores e Geradores	24
4 O BPC Tonnerre	25
4.1 Características gerais BPC Tonnerre	25
4.2 Velocidade	27
4.3 Eletricidade	28
4.3.1 A produção de energia elétrica	28
4.3.2 A distribuição de energia	29
4.3.3 A rede principal de 6.600V-60Hz	30
4.3.4 A rede principal de 440V-60Hz	30
4.3.5 A rede principal de 400V/230V-60Hz	31
4.3.6 A rede principal de emergência de 440V-60Hz	32
4.3.7 A configuração do Quadro Elétrico	33
4.3.7.1 Configuração normal	33
4.3.7.2 Configuração para interligar a planta elétrica	34
4.3.7.3 Configuração em caso de avaria	34
4.4 Propulsão	35
4.4.1 Características técnicas do POD	35
4.4.2 Descrição funcional do POD	36
4.4.3 Modos de manobra do POD	37
4.4.4 Conjunto Elétrico do POD	37
4.4.5 Conjunto Mecânico do POD	38
4.4.5.1 Dispositivo de propulsão do POD	38
4.4.5.1.1 Hélice	38
4.4.5.1.2 Eixo propulsor, rolamentos e freio	39

4.4.5.2 Dispositivo de secagem do POD	39
4.4.6 Operação do POD	39
4.4.7 Utilização Do “Bow Thruster”	41
4.5 Geradores: Motores Diesel Alternadores	41
4.5.1 Características técnicas dos Motores Diesel Alternadores	42
4.5.1.1 DAP	42
4.5.1.2 DAA	42
4.5.1.3 DAS	43
4.6 Localização dos Motores Diesel e POD no Navio	44
4.7 Preparação para o suspender	45
4.8 Consumo no BPC Tonnerre	46
4.9 Distância em milhas náuticas navegadas do BPC Tonnerre	47
4.10 Manutenção	48
4.10.1 Manutenção preventiva nos POD	48
4.10.2 Manutenção preventiva na planta elétrica	49
4.10.3 Manutenção preventiva nos geradores	49
5 Atualidades	50
6 Considerações Finais	51
7 Referências	52
Apêndices	54

1 INTRODUÇÃO

O Comandante da Marinha (Marinha do Brasil, 2019) afirmou que o Brasil busca inserção político-estratégica no cenário internacional, sendo assim, é fundamental que a Marinha do Brasil (MB) disponha de uma Força moderna, aprestada e com alto grau de independência tecnológica. No entanto, o atual cenário de restrições orçamentárias impostas às Forças Armadas (FFAA) demanda estudos que vislumbrem a utilização de tecnologias que ofereçam novas e modernas opções de propulsão para os navios da MB. Nesse sentido, o estudo apresentado neste trabalho tem como objetivo registrar as características principais da Planta Elétrica de um navio de propulsão totalmente elétrica, visando auxiliar futuros projetos de aquisição de meios navais para a MB.

Para tanto, serão analisadas as possibilidades de emprego da propulsão elétrica utilizando geradores de alta tensão e propulsores POD ("*Propulsion or Drive*"), a partir de análises documentais feitas *in loco* no navio *Batiments de Projection et de Commandement (BPC) Tonnerre* da Marinha Nacional Francesa (MNF), pesquisa bibliográfica no manual técnico "*Livret Navire*" (2007), manuais técnicos de geradores e livros sobre a propulsão elétrica.

Assim, será descrito no capítulo 2 um breve histórico da propulsão elétrica. No capítulo 3, serão abordados conceitos básicos da eletricidade. O capítulo 4 será apresentado os diversos aspectos do BPC Tonnerre. No item 4.1, destacam-se as características gerais do citado navio. As velocidades do navio serão detalhadas no item 4.2. No item 4.3 serão descritas a planta elétrica, a produção e distribuição de energia elétrica; as redes principais de energia e a configuração do Quadro Elétrico. No item 4.4 serão relacionados os pontos mais relevantes da propulsão, constando de características técnicas, descrição funcional, conjuntos elétricos e mecânicos do POD; do "Bow Thruster", e as características gerais dos geradores de eletricidade. No item 4.5, serão apresentadas informações mais detalhadas sobre os geradores. Nos itens 4.6 e 4.7, serão apresentadas a localização dos geradores e a preparação para o suspender do navio, respectivamente. Nos itens 4.8 e 4.9, serão apresentadas comparações de consumo e milhas náuticas navegadas do BPC Tonnerre com um navio da MB e no item 4.10 serão tecidos alguns comentários sobre a manutenção preventiva dos geradores e do POD.

Por fim, a partir de uma análise das informações constantes dos itens citados anteriormente, será apresentada uma breve conclusão, focada na possibilidade de

aquisição de meios com esse tipo de propulsão, objeto do presente estudo, bem como sua vantagem econômica devido a redução de consumo de óleo diesel. Dessa forma, o estudo auxiliará os projetos de compras de navios com característica de consumo reduzido para a MB.

1.1 Apresentação do Problema

O presente estudo busca analisar as possibilidades de emprego da propulsão elétrica nos navios da MB, tendo como principal elemento de estudos os navios cuja planta elétrica é constituída por geradores de alta tensão e propulsores POD. São estudadas as vantagens e possibilidades de aplicação dessa tecnologia, bem como suas eventuais restrições no âmbito da construção de futuros meios navais. O estudo baseia-se em análises documentais feitas *in loco* no navio *Batiments de Projection et de Commandement (BPC) Tonnerre* da Marinha Nacional Francesa (MNF). Como delimitadores, o estudo busca sugerir propostas que tornem possíveis a aplicação da citada propulsão pela indústria naval brasileira, considerando-se sua versatilidade no emprego operativo e a redução do custo operacional do meio.

1.2 Justificativa e Relevância

O presente estudo se justifica face ao atual cenário de restrições orçamentárias destinadas às Forças Armadas bem como à necessidade de otimização de fontes energéticas com maior efetividade e menor custo. Segundo o Comandante da Marinha (Marinha do Brasil, 2019), no momento em que o Brasil busca inserção político-estratégica no cenário internacional, é fundamental que a MB disponha de uma Força moderna, aprestada e com alto grau de independência tecnológica. Assim, é oportuno o estudo de tecnologias que ofereçam novas e modernas opções de propulsão dos meios operativos da MB. Ademais, a aplicação da citada tecnologia tem o potencial para contribuir com o desenvolvimento da indústria naval brasileira.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Apresentar à MB uma alternativa de propulsão de menor custo operacional, compatível com o atual cenário de constantes buscas do emprego eficaz dos recursos públicos.

1.3.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos são abordados os seguintes assuntos:

- a) Identificar a viabilidade técnica de aplicação do citado sistema de propulsão e suas vantagens econômicas no que tange à manutenção e operação dos navios da MB.
- b) Enumerar as tecnologias de propulsão elétrica existentes no atual cenário de Defesa Nacional e apresentar as possibilidades e inovações futuras em relação à planta elétrica dos navios de guerra.

1.4 Metodologia

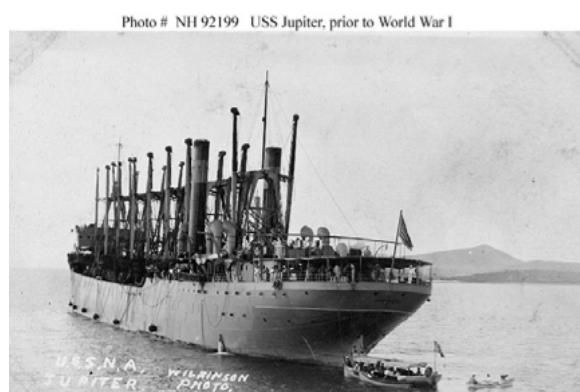
O estudo é levado a termo a partir de pesquisa bibliográfica em níveis acadêmicos múltiplos, tendo em vista manuais técnicos do navio BPC Tonnerre, manuais técnicos de geradores, artigos acadêmicos e livros sobre propulsão elétrica. Além disso, foram realizadas consultas a bibliotecas e centros de pesquisa de interesse em diversas localidades que contemplem acervo adequado ao tema.

2 BREVE HISTÓRICO

A ideia de navios e submarinos utilizarem motores elétricos como propulsão tem seus primeiros registros no século XIX. A primeira embarcação registrada a utilizar propulsão elétrica foi uma pequena lancha de transporte de passageiros na Rússia (ARRINGTON, 1998).

No início do século XX os Estados Unidos da América (EUA) utilizaram uma instalação elétrica experimental no navio carvoeiro USS “Júpiter”. Em 1922, esse navio foi convertido no primeiro navio-aeródromo da Marinha Americana, nomeado como “USS Langley” (ALVES, 2007).

Figura1 - “USS Júpiter”



Fonte: ALVES, Renata. Propulsão Elétrica de Navios. 2007

Entre a Primeira Guerra (1914-1918) e a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), a Marinha dos Estados Unidos da América (USN) construiu mais de 160 navios de grande porte que utilizavam propulsão elétrica e outros 500 navios de pequeno porte foram equipados com plantas elétricas de propulsão que utilizavam motores de Corrente Contínua (DOYLE, 1999).

Durante o período entre Guerras, o sucesso da propulsão elétrica foi alavancado devido à falta de capacitação técnica para produção de engrenagens redutoras aplicadas na propulsão a diesel e a vapor. Porém, entre 1940 e 1950, o desenvolvimento dos sistemas de engrenagens de dupla redução permitiu a produção das engrenagens redutoras dos navios em larga escala. Esse fato tornou as plantas de propulsão a diesel ou a vapor economicamente mais vantajosas que as plantas elétricas. Além disso, a propulsão elétrica ainda era muito rústica, ocupando grande espaço e maior peso. Sendo assim, esses fatos citados culminaram na estagnação do desenvolvimento tecnológico da propulsão elétrica, dando lugar à propulsão convencional. (ALVES, 2007)

Nas décadas de 80 e 90, destaca-se grande desenvolvimento na área da eletrônica de potência, possibilitando a redução do tamanho e do peso dos sistemas de transmissão elétrica de energia, tornando-os mais eficientes. Dessa forma, as plantas de propulsão elétrica tornaram-se mais eficientes devido as seguintes vantagens: formato compacto; peso e volume reduzido; elevada faixa de potência gerada para diversos valores de torque; resistência ao choque; e baixos valores de assinatura acústica e eletromagnética (ALVES, 2007).

Atualmente, a USN investe elevados recursos financeiros em quatro frentes de pesquisa em motores para a propulsão:

- a) Motores de Indução;
- b) Motores Síncronos de Imãs Permanentes;
- c) Motores Síncronos com materiais supercondutores em alta temperatura; e
- d) Motores Homopolares em Corrente Contínua (CC).

Os avanços tecnológicos permitem o aumento da eficiência desses motores e versatilidade no emprego da energia elétrica na propulsão de navios (PINHEIRO, 2013).

3 CONCEITOS BÁSICOS DE ELETRICIDADE

Segundo o “Manual de Eletricidade Básica” do Centro de Instrução Almirante Alexandrino (CIAA), faz-se necessária a definição de alguns conceitos de eletricidade para a melhor compreensão do assunto.

A carga elétrica é a quantidade de elétrons existente em um condutor, que estão em constante movimento de forma desordenada. A unidade de medida no Sistema Internacional (SI) é o Coulomb (C).

A tensão é a força necessária para produzir o fluxo de elétrons através dos condutores de um circuito. É também conhecida como diferença de potencial (DDP) ou força eletromotriz (FEM). A unidade de medida no SI é o Volts (V).

A tensão alternada é o tipo de tensão que varia de valor entre um máximo positivo e um máximo negativo ao longo do tempo. A tensão contínua é o tipo de tensão em que seu valor permanece constante ao longo do tempo.

A corrente elétrica é o fluxo de elétrons livres ordenadamente através de um condutor provocado pela ação da tensão. A unidade de medida no SI é o ampér (A). A Corrente Alternada (CA) é o tipo de corrente em que o fluxo de elétrons alterna o seu sentido ao longo do tempo. A Corrente Contínua (CC) é o tipo de corrente em que o fluxo de elétrons mantém constante o seu sentido ao longo do tempo.

A resistência elétrica é a oposição oferecida por um material à passagem da corrente elétrica. A unidade de medida no SI é o ohm.

A potência elétrica é a rapidez com que se produz trabalho em um circuito elétrico. O trabalho é definido em eletricidade como a energia gasta para se deslocar uma carga elétrica de um ponto ao outro do circuito. A unidade de medida no SI é o Watts (W).

A lei de ohm exprime a relação entre tensão, corrente e resistência. A corrente diminui quando diminuimos a tensão ou aumentamos a resistência. A recíproca também é verdadeira, a corrente aumenta quando aumentamos a tensão ou diminuimos a resistência. Assim, a lei de Ohm pode ser expressa por uma equação, em que a corrente (I) é igual à razão entre a tensão (E) e a resistência (R): $I = E/R$.

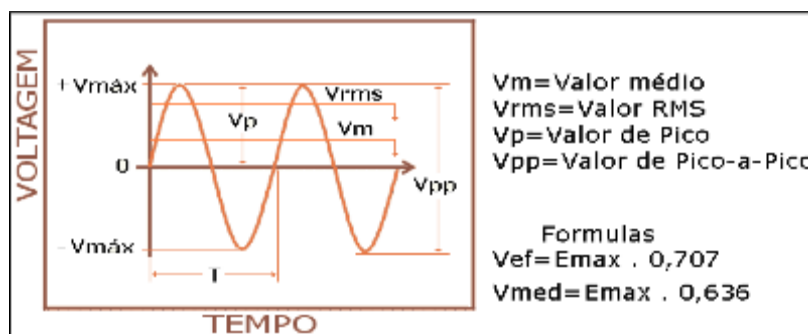
Na CA, a tensão varia continuamente, de modo que cada valor de tensão só existe por um instante, assim, existem diversos valores de tensão à medida que uma espira gira. Os valores são representados na figura 1.

O valor de pico (V_p) ou valor máximo (E_{max}) é o mais alto valor alcançado em cada alternância, podendo ser positivo ou negativo. O valor de pico a pico (V_{pp}) é o valor medido do pico positivo ao pico negativo.

O Valor eficaz (V_{ef}) ou Valor RMS (V_{rms}) é o valor de CC que produz o mesmo trabalho de uma CA. O cálculo é baseado na equação $V_{ef} = V_p \times 0,707$.

O valor médio (V_m) de um ciclo completo de uma onda senoidal é zero, já que a alternância positiva é exatamente igual à alternância negativa. Em certos tipos de circuito, entretanto, é necessário calcular o valor médio de uma alternância. Isso pode ser feito pela adição de valores instantâneos da onda entre 0° e 180° e em seguida, dividindo-se a soma pelo número de valores instantâneos tomados, ou seja, corresponde à média aritmética sobre todos os valores numa onda senoidal para um meio ciclo. O cálculo é baseado na equação $V_m = E_{max} \times 0,636$.

Figura 2- “Valores de tensão”



Fonte: “Manual de Eletricidade Básica do CIAA”

3.1 Geradores de Corrente Alternada

Os primeiros estudos no campo da eletricidade foram baseados em pilhas voltaicas. Como consequência, os primeiros dispositivos elétricos foram projetados para operar com CC. Nos sistemas de CC, uma desvantagem é que a tensão de alimentação deve ser fornecida no nível requerido pela carga, isto é, se uma lâmpada solicita 240V para acender, o gerador deve fornecer uma tensão de saída de 240V.

Uma outra desvantagem do sistema de CC é a grande quantidade de potência perdida devido à resistência nas linhas de transmissão, usadas para transportar a energia da fonte geradora aos utilizadores. Essa perda poderia ser reduzida substancialmente se as linhas

de transmissão fossem operadas com alta voltagem e baixa corrente. As perdas ocorrem devido a resistência oferecida pelos condutores.

A tensão CA pode ser aumentada ou reduzida por um dispositivo denominado transformador.

Um gerador básico de CA converte energia mecânica em energia elétrica. A conversão ocorre segundo o princípio da indução eletromagnética, quando um condutor em curto circuito for varrido por um campo magnético, surge sobre esse condutor uma corrente elétrica. Um campo magnético pode ser obtido de duas maneiras: através de ímãs permanentes ou através de eletroímãs (ímãs criados pela corrente elétrica).

A estrutura básica do gerador é formada por: rotor, estator e regulador de tensão.

No rotor, começa o processo de produção de energia elétrica. Construído sobre um eixo de aço, possui em seu interior uma bobina de cobre fixada no seu eixo que é envolvida por um par de rodas polares.

No estator é produzida a corrente elétrica. As bobinas de fios de cobre são fixadas sobre um núcleo constituído em aço. As bobinas do estator são construídas de forma a aproveitar ao máximo a produção de corrente, são isoladas entre si e cobertas por verniz especial para resistir às altas temperaturas e entrada de resíduos. A corrente elétrica é induzida pelo campo magnético, agindo nos fios do estator.

No regulador de tensão monitora e controla a tensão do alternador através dos contatos das escovas de carvão com o coletor, adequando os níveis de tensão e corrente às condições ideais para o bom funcionamento do alternador.

3.2 Motores Síncronos

Segundo Silveira (2012 p. 18), o motor síncrono é uma máquina em que a rotação do enrolamento de campo localizada no rotor é proporcional à frequência da rede elétrica em que é alimentada.

O motor síncrono converte energia elétrica em mecânica. Um exemplo deste motor é o motor azimuthal ou POD, que será abordado ao longo deste trabalho.

A estrutura do motor é dividida em um estator e um rotor. Uma corrente contínua é conduzida por meio de escovas estacionárias até o enrolamento de campo, localizado no rotor que é a parte girante da máquina.

Essa excitação pode ser fornecida por excitatrizes em corrente alternada e retificadores de estado sólido, podendo ser tanto pontes simples quanto diodos como retificadores de fase controlada. Esses retificadores são responsáveis por fechar o contato com anéis coletores girantes, excitando o enrolamento de campo.

Decorrente desse fato, a rotação do enrolamento de campo gera um campo magnético que induz no enrolamento de armadura (estator) um fluxo variante no tempo. A tensão gerada é sincronizada com a velocidade mecânica, recebendo por esse motivo o nome de máquina síncrona.

3.3 Requisitos de Motores e Geradores

O Apêndice 1 detalha os parâmetros e características dos equipamentos elétricos que podem ser empregados a bordo dos navios da Marinha do Brasil. Para tal, a publicação ENGENALMARINSTN 30-11 “Especificação de motores de indução e geradores síncronos para uso naval” apresenta os requisitos obrigatórios para esses equipamentos. Esse apêndice tem objetivo de descrever com maiores detalhes os motores e gerados, facilitando a compreensão do assunto abordado por este trabalho.

4 O BPC TONNERRE

4.1 Características gerais BPC Tonnerre

O *Bâtiment de Projection et de Commandement (BPC) Tonnerre* é um navio da classe Mistral da MNF. Essa classe é composta por três navios: Mistral, Tonnerre e Dixmude. O BPC Tonnerre é classificado pela Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN) como um navio porta-helicóptero multipropósito. O emprego operacional desse navio está relacionado com o apoio às operações anfíbias de desembarque de carros de combate, operações aéreas de helicópteros, transporte de tropas de Fuzileiros Navais e navio hospitalar. O navio possui as seguintes características:

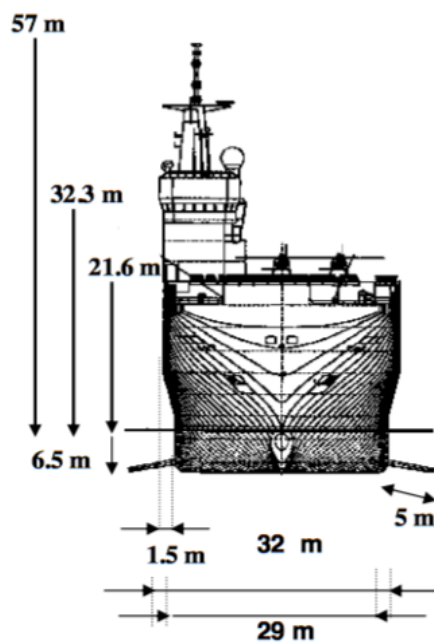
- a) Idicativo internacional: FATO;
- b) Número de costado: L 9014;
- c) Comprimento total: 199,70 metros;
- d) Comprimento da linha de flutuação: 189,85 metros;
- e) Comprimento entre perpendiculares: 179,97 metros;
- f) Largura máxima (boca): 32 metros;
- g) Largura da linha de flutuação: 29 metros;
- h) Deslocamento leve: 16.090 toneladas;
- i) Deslocamento total: 22.400 toneladas;
- j) Capacidade de carga: 5.071 toneladas;
- k) Calado com deslocamento leve: 6,5 metros;
- l) Calado com deslocamento total: 8,42 metros;
- m) Altura máxima (entre linha d'água e antenas): 57 metros;
- n) Altura total (entre quilha e antenas): 63,5 metros;
- o) Altura do convoo: 21,6 metros;
- p) Potência máxima da propulsão: 2 X 7 MW;
- q) Velocidade máxima alcançada em testes: 19,5 nós; e
- r) Velocidade com 90% de potência máxima: 18,8 nós.

O BPC Tonnerre possui propulsão elétrica baseada em dois propulsores azimutais POD. Os hélices do POD são formados por 5 pás fixas e a potência máxima de cada POD é 7 MW. Esses propulsores são supridos eletricamente por três motores diesel alternadores (DA) com potência de 6480 kW cada, além de um motor diesel alternador auxiliar (DAA)

de 3150 KW. Além do POD, o navio possui dois “Bow Thrusters” na proa de 1,5 MW de potência cada para auxiliar na manobrabilidade.

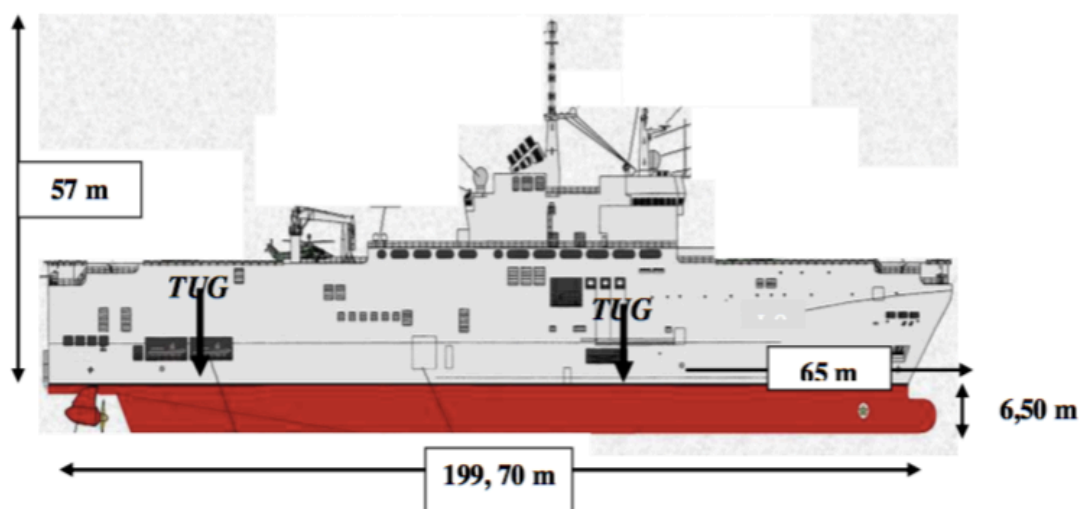
A Figura 3 apresenta as dimensões gerais da visão frontal do BPC Tonnerre e a Figura 4 apresenta as dimensões gerais da visão do través.

Figura 3 – “Dimensões gerais da visão frontal do BPC Tonnerre”



Fonte: LIVRET NAVIRE. Edition définitive. s.l., DCNS, 2007.

Figura 4 – “Dimensões gerais da visão do través do BPC Tonnerre”



Fonte: LIVRET NAVIRE. Edition définitive. s.l., DCNS, 2007.

4.2 Velocidade

O sistema de propulsão possui dois modos de operação em relação à manobrabilidade do navio. É possível selecionar o Modo “Standard” padrão e o Modo “Fast Ramp” rápido. O Modo “Standard” possui maior tempo de resposta devido utilização de menor potência do sistema elétrico, adaptado para navegação em mar aberto. O Modo “Fast Ramp” possui menor tempo de resposta devido utilização de maior potência do sistema elétrico, adaptado para manobras do navio como atração ou entrada e saída de portos.

A Tabela 1 apresenta a relação de tempo de resposta para cada faixa de rotação do eixo do POD. A Tabela 2 apresenta a relação entre velocidade do navio e os comandos de propulsão no passadiço no Modo “Standard”, utilizando os dois POD. A Tabela 3 apresenta a relação entre velocidade do navio e os comandos de propulsão no passadiço no Modo “Fast Ramp”, utilizando os dois POD.

Tabela 1 – “Relação tempo de resposta para cada modo de manobra”

Rotações por minuto (RPM)	Modo "Standard" padrão	Modo "Fast ramp" rápido
0 a 50	6 seg	6 seg
50 a 100	40 seg	40 seg
100 a 164	11 min e 40 seg	4 min e 16 seg
164 a 100 (frenagem)	5 min e 20 seg	16 seg
100 a 50 (frenagem)	25 seg	7 seg
50 a 0 (frenagem)	5 seg	5 seg

Fonte: LIVRET NAVIRE. Edition définitive. s.l., DCNS, 2007.

Tabela 2 – “Relação ordem de manobra e velocidade no Modo Standard”

Ordem de Manobra em RPM	Velocidade em nós
Avante 030	3
Avante 050	4,5
Avante 060	5,5
Avante 070	6,5
Avante 080	8
Avante 090	9
Avante 100	10,5
Avante 110	11,5
Avante 120	12,5
Avante 130	14
Avante 140	15,5
Avante 150	17
Avante 160	18,7

Fonte: LIVRET NAVIRE. Edition définitive. s.l., DCNS, 2007.

Tabela 3 – “Relação ordem de manobra e velocidade no Modo Fast Ramp”

Ordem de Manobra	rotações (RPM)	Velocidade (nós)
Avante toda força	150	18
Avante 2/3	90	10
Avante 1/3	60	5,5
Avante 1/3 lento	30	3
A ré 1/3 lento	30	3
A ré 1/3	60	5
A ré 2/3	80	7
A ré toda força	110	10

Fonte: LIVRET NAVIRE. Edition définitive. s.l., DCNS, 2007.

4.3 Eletricidade

4.3.1 A produção de energia elétrica

O BPC Tonnerre é um navio de propulsão totalmente elétrica, para suprir a grande demanda de energia, é necessária a geração suficiente de energia elétrica para propulsão e cargas normais do navio.

A produção de eletricidade de consumo geral e para propulsão do navio é gerada por três geradores Diesel Alternador Principal (DA), um gerador Diesel Alternador Auxiliar (DAA) e um gerador Diesel Alternador de Emergência (DAS).

Os três geradores de Motor Diesel Alternador Principal (DAP: DAP1, DAP2, DAP3) possuem potência de 6480 kW (7.813 kVA). O gerador Diesel Alternador Auxiliar (DAA), possui potência de 3150 kW (3.808 kVA).

Os geradores da propulsão DA e DAA alimentam eletricamente a rede de alta tensão (HT) de 6.600V. A planta elétrica do navio é dividida em dois quadros principais de alta tensão (6.600V): um quadro a boreste e outro a bombordo. O Quadro Principal de Alta Tensão a Boreste (TPTHT) alimenta o DA1 e o DAA. O Quadro Principal de Alta Tensão de Bombordo (TPBHT) alimenta o DA2 e o DA3.

Cada um dos Quadros Principais de Alta Tensão (bombordo e boreste) alimentam duas redes elétricas de baixa tensão (BT), num total de quatro redes BT, por meio de quadros elétricos principais e secundários: os Quadros Elétricos de Força de Baixa Tensão de 400V-230V 60Hz (TPTFE e TPBFE) e os Quadros Elétricos de Força de Baixa Tensão de 440V 60Hz (TPTF e TPBF). Os TPTF e TPBF podem ser interconectados ao Quadro

Principal de Emergência (TPFS). Os TPTFE e TPBFE são responsáveis pela eletricidade para iluminação (ES) e para os compartimentos habitáveis (ET). Esses dois quadros elétricos podem ser interconectados.

A configuração da planta elétrica possibilita ao navio receber energia elétrica do cais para os utilizadores quando o Navio estiver atracado no porto. O navio recebe energia de terra por meio de dois Quadros de Alimentação de Terra (TT1HT a boreste e TT2HT a bombordo). Como a energia proveniente do cais tem tensão de 440V, o Quadro de Alimentação de Terra possui transformadores de 440V para 6.600V, a fim de suprir a energia elétrica para os Quadros Principais de Alta Tensão.

Em caso de perda total de energia a bordo ("*black out*"), um diesel gerador de emergência (DAS) é capaz de suprir alimentação elétrica em 440V/1000 kVA. O DAS possui potência de 800 kW e é conectado ao Quadro Principal de Emergência (TPFS). O objetivo desse gerador é garantir a alimentação elétrica das cargas essenciais ao navio.

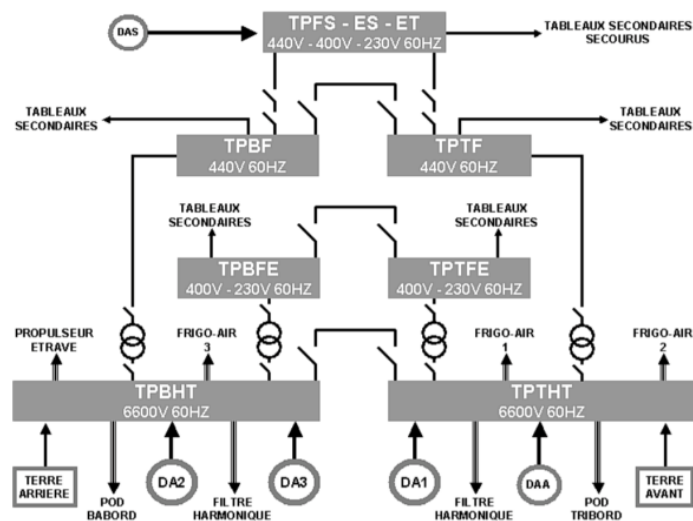
4.3.2 A distribuição de energia

A planta elétrica no Navio é alimentada pelos DA (DA1, DA2 e DA3) e pelo DAA. A distribuição de energia divide-se em: rede principal de 6.600V-60Hz, rede principal de 440V-60Hz, rede principal de 400V/230V-60Hz e rede de emergência de 440V-60Hz.

A planta elétrica é composta pelos Quadros Principais de Alta Tensão a Boreste (TPTHT e TPBHT), Quadros Elétricos de Força de Baixa Tensão de 400V-230V 60Hz (TPTFE e TPBFE) e Quadros Elétricos de Força de Baixa Tensão de 440V 60Hz (TPTF e TPBF).

A organização da planta elétrica é representada na figura abaixo:

Figura 5 – “Quadro Elétrico Principal”



Fonte: LIVRET NAVIRE. Edition définitive. s.l., DCNS, 2007.

4.3.3 A rede principal de 6.600V-60Hz

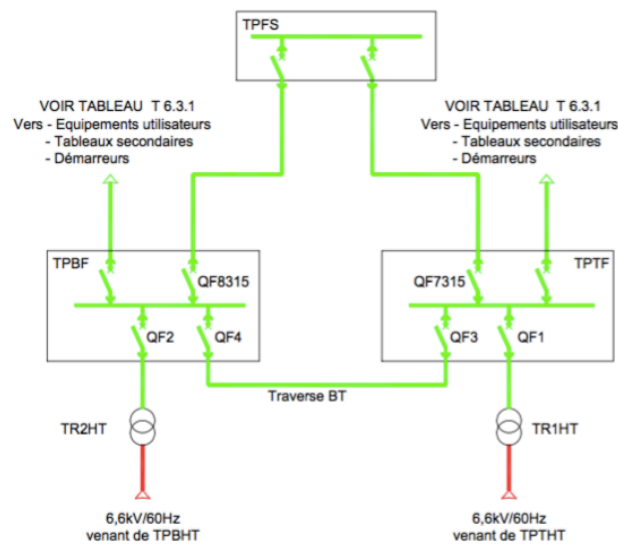
A rede principal de energia possui as seguintes características: tensão trifásica de 6.600V, frequência de 60Hz, potência nominal disponível com quatro motores (três DAP e um DAA). Na rede, são instalados dois filtros harmônicos conectados aos Quadros Principais de Alta Tensão. Esses filtros são responsáveis por manter a qualidade da energia suprida, garantindo uma variação máxima de 5% na qualidade da energia para o consumo dos utilizadores.

4.3.4 A rede principal de 440V-60Hz

A rede principal de baixa tensão de 440V-60Hz é responsável por distribuir no Navio a tensão alternativa trifásica de 440V-60Hz a partir de dois Quadros Elétricos de Força de Baixa Tensão de 440V 60Hz (TPTF e TPBF).

A rede de 440V-60Hz alimenta os equipamentos utilizadores diretamente ou através de painéis elétricos secundários ou terciários. A rede também supre energia através de tomadas de energia de 440V-60Hz distribuídas por todo o Navio.

Figura 6 – “Rede Principal 440V-60Hz”



Fonte: LIVRET NAVIRE. Edition définitive. s.l., DCNS, 2007.

4.3.5 A rede principal de 400V/230V-60Hz

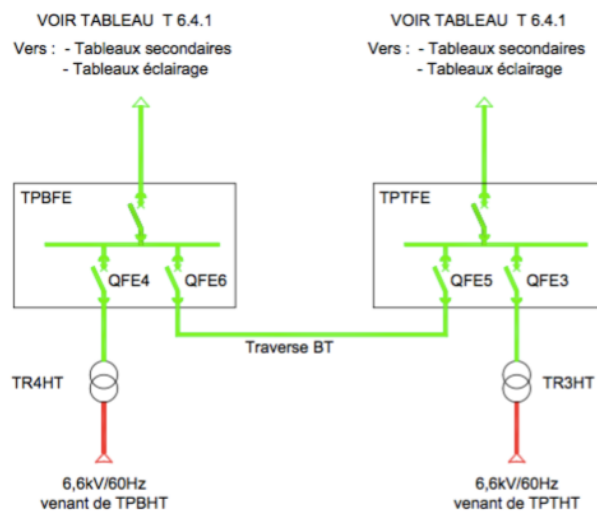
A rede principal de baixa tensão de 400V/230V-60Hz é responsável por distribuir no Navio a tensão alternativa trifásica de 400V-60Hz ou 230V-60Hz a partir de quatro quadros elétricos: dois quadros à boreste, Quadros Elétricos de Força de Baixa Tensão de 400V-230V 60Hz (TPTFE1 e TPTFE2) e dois quadros à bombordo, Quadros Elétricos de Força de Baixa Tensão de 400V-230V 60Hz (TPBFE1 e TPBFE2).

Os quadros elétricos TPBFE1 e TPBFE2 possuem redes responsáveis por suprir a iluminação do hangar, torre de controle aéreo e passadiço. Os quadros elétricos TPTFE1 e TPTFE2 possuem redes responsáveis por suprir instalações de iluminação de compartimentos habitáveis como cozinha, lavanderia e alojamentos.

A rede de 400V/230V-60Hz alimenta os equipamentos utilizadores diretamente ou por meio de painéis elétricos secundários ou terciários. A rede também supre energia através de tomadas de energia distribuídas por todo o Navio.

Os transformadores TR4HT e TR3HT reduzem a tensão de 6.600V dos quadros TPBHT e TPTHT para os quadros TPBFE (1 e 2) e TPTFE (1 e 2).

Figura 7 – “Rede Principal 400V/230V-60Hz”



Fonte: LIVRET NAVIRE. Edition définitive. s.l., DCNS, 2007.

4.3.6 A rede principal de emergência de 440V-60Hz

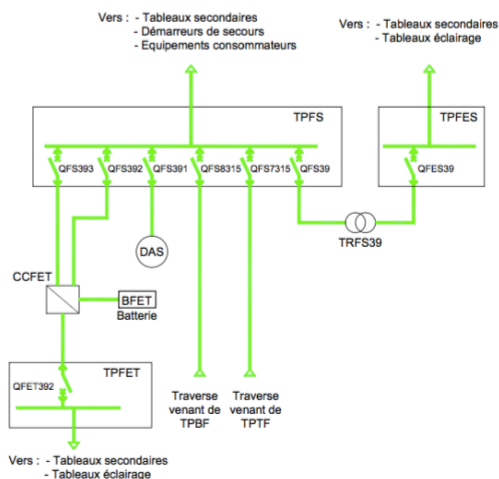
A rede principal de emergência de baixa tensão de 440V-60Hz é utilizada principalmente em caso de "black out". A rede é alimentada pelo Quadro Principal de Emergência (TPFS), responsável por distribuir energia para os seguintes componentes: Quadro Principal de Iluminação de Emergência (TPFES), Quadro Principal de Iluminação de Emergência Transitória (TPFET), motores de arranque e quadros auxiliares de emergência.

O Quadro Principal de Iluminação de Emergência Transitória (TPFET) é alimentado pelo conversor (CCFET) de duas formas: pelo transformador integrado, em situação normal, ou pela bateria integrada em caso de emergência.

O Quadro Principal de Emergência (TPFS) é alimentado de duas formas: pela rede de baixa tensão 440V-60Hz por intermédio dos TPTF e TPBF, em situação normal, ou Motor Diesel Alternador de Emergência (DAS).

Em caso de "black out", o DAS se conecta automaticamente com o TPFS o Sistema de Controle e Comando (SNCC) distribui a energia elétrica para alimentar os sistemas auxiliares supridos pela rede principal de emergência 440V-60Hz.

Figura 8– “Rede Principal De Emergência 440V-60Hz”



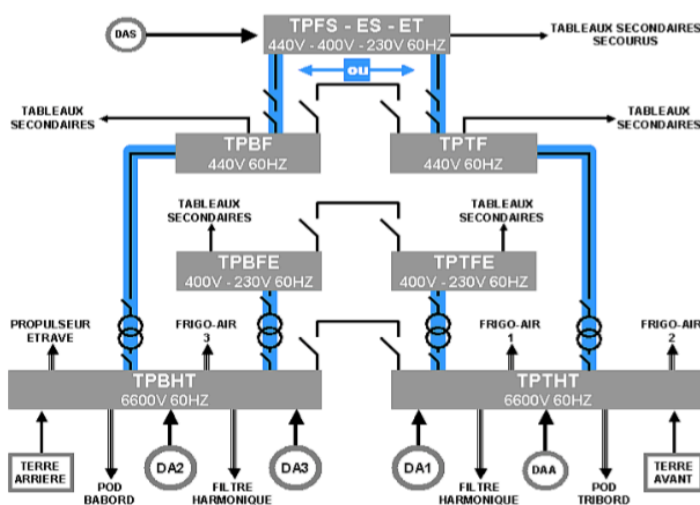
Fonte: LIVRET NAVIRE. Edition définitive. s.l., DCNS, 2007

4.3.7 A configuração do Quadro Elétrico

4.3.7.1 Configuração normal

A configuração normal da Planta Elétrica no mar ou no porto é no dispositivo tipo "U", em que os Quadros Principais de Alta Tensão (TPTHT e TPBHT) estão divididos eletricamente e os Quadros Elétricos de Força de Baixa Tensão de 440V 60Hz (TPTF e TPBF) estão interligados aos seus respectivos quadros de alta tensão. O TPTF está interligado ao TPTHT e o TPBF está interligado ao TPBHT.

Figura 9 – “Planta Elétrica Tipo U”

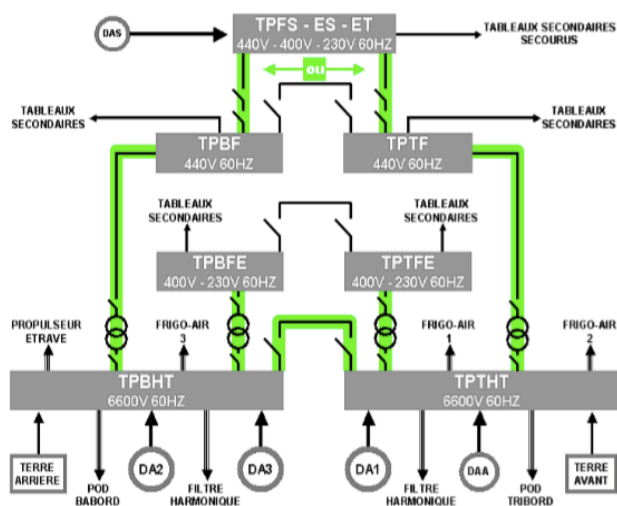


Fonte: LIVRET NAVIRE. Edition définitive. s.l., DCNS, 2007

4.3.7.2 Configuração para interligar a planta elétrica

A fim de poupar a utilização dos DA, é possível interligar os TPBHT e TPTHT, utilizando apenas um DA para ambos os quadros elétricos. Para tal, é utilizada a configuração da planta elétrica no dispositivo tipo "I", em que os Quadros Principais de Alta Tensão (TPTHT e TPBHT) estão interligados.

Figura 10 – “Planta Elétrica Tipo I”

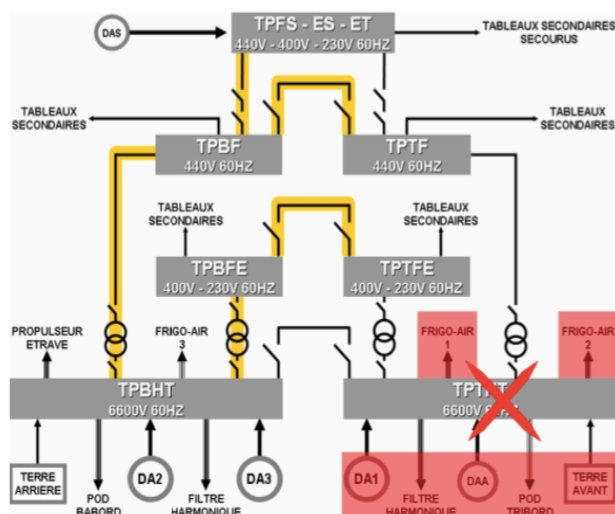


Fonte: LIVRET NAVIRE. Edition définitive. s.l., DCNS, 2007

4.3.7.3 Configuração em caso de avaria

Em caso de avaria, é utilizada a configuração da planta elétrica no dispositivo tipo "L", em que ocorre avaria em um dos Quadros Principais de Alta Tensão (TPTHT ou TPBHT). Os equipamentos alimentados exclusivamente por um desses quadros elétricos ficam indisponíveis até que sanada a avaria.

Figura 11 – “Planta Elétrica Tipo L”



Fonte: LIVRET NAVIRE. Edition définitive. s.l., DCNS, 2007

4.4 Propulsão

O sistema de propulsão do Navio é do tipo diesel elétrico executado por meio de dois POD's à ré do navio e dois “Bow Thruster” avante. Os “Bow Thruster” são dimensionado para o movimento lateral do navio, a fim de facilitar as manobras realizadas na atracação ou desatracação.

Os POD's são constituídos por invólucro giratório de 360°, motor síncrono de 7 MW instalado no invólucro e 5 pás fixas convergentes. A capacidade giratória possibilita ao navio maior manobrabilidade porque não depende de um leme para direcionar o navio. O próprio POD é responsável pela direção e propulsão.

O POD, devido sua capacidade de giro de 360°, é responsável pelas seguintes funções: propulsão e direção do navio simultaneamente, frenagem do Navio devido inversão de direção da propulsão, manutenção da posição “Global Position System” (GPS) do Navio em operações anfíbias e controle da navegação no modo piloto automático.

4.4.1 Características técnicas do POD

O POD possui as seguintes características técnicas: fornecedor é a ALSTOM POWER CONVERSION ROLLSROYCE; modelo é o Mermaid SMU 21FBMS; dimensões (altura, comprimento e largura) são 4900x8000x2150mm; potência de 7MW; tensão de

6.660V; corrente elétrica de 1817 A; peso de 140 toneladas; e o número de pás do hélice é de 5 pás.

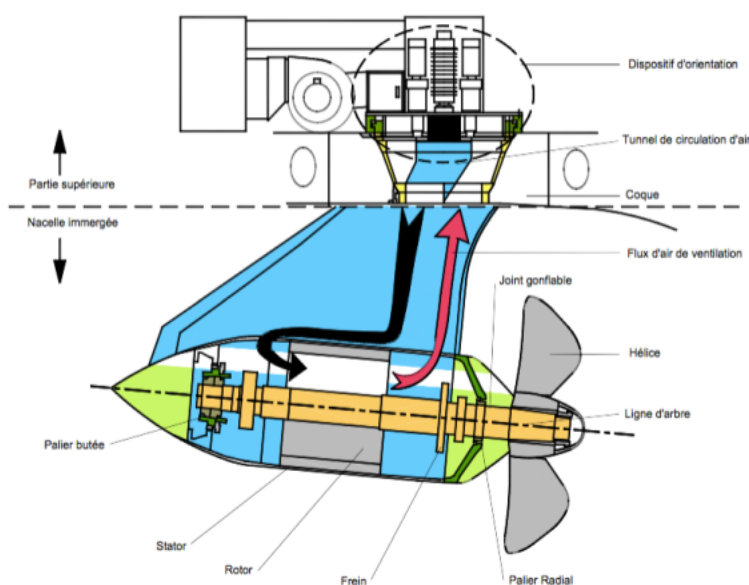
4.4.2 Descrição funcional do POD

Cada POD é dividido em dois conjuntos: superior e inferior. O conjunto superior é composto pelo motor elétrico de propulsão, seu eixo, os mancais e o hélice. O conjunto inferior é composto pelo dispositivo de orientação, sistema de refrigeração e sistema de distribuidor de óleo lubrificante.

A direção do POD é realizada por dois grupos hidráulicos independentes chamados de "Steering". A lubrificação é fornecida por um sistema de direção hidráulica. A refrigeração é realizada, em sua maior parcela, pela água do mar ao redor do invólucro, auxiliada por um sistema interno de refrigeração por água doce. A lubrificação e refrigeração são auxiliadas por um conjunto de bombas de lubrificação e bombas de água doce.

A condução dos equipamentos elétricos do sistema de propulsão, em particular a regulação de velocidade de rotação dos motores, é gerenciada pelos sistemas de controle no Centro de Controle de Máquinas (CCM) e passadiço.

Figura 12 – "POD"



Fonte: LIVRET NAVIRE. Edition définitive. s.l., DCNS, 2007

4.4.3 Modos de manobra do POD

Existem três tipos básicos de modos de manobra do POD: controle por alavanca local, controle por volante remoto e modo avaria.

Quando em controle por alavanca local, os POD's podem variar o ângulo de giro entre + 35 ° e -35 °. As ordens de leme e a orientação do sentido de rotação das pás do hélice são idênticas a um navio convencional equipado com lemes.

Nesse caso, a potência pode ser ajustada individualmente pela alavanca local em cada POD. A potência empregada é máxima quando em marcha avante e é reduzida a 60% em marcha à ré.

Quando em controle por volante remoto (Passadiço ou CCM), os POD's são operados individualmente em orientação e potência. Nesse caso, se a velocidade do navio for superior a 10 nós ou se a rotação dos hélices for superior a 100 RPM, a variação do ângulo de giro do POD não pode exceder 30 °.

Nesse modo, caso a velocidade seja inferior a 10 nós, a potência empregada na marcha avante será máxima se variação do ângulo de giro for entre + 35 ° a -35 °. Caso a variação do ângulo for menor que + 35 ° a -35 °, a potência empregada será reduzida a 65%.

Em todos os modos, a potência aplicada em marcha à ré será de 60%, independente do ângulo de variação do POD.

Em caso de dano no sistema de direção, o modo avaria permite a atuação diretamente nos POD's sem passar pelo sistema de controle eletrônico. Como nesse modo os “interloques” de segurança do sistema não estão ativos, deve-se tomar cuidado para não exceder os ângulos de direção recomendados pelo fabricante, correndo o risco de danificar outros circuitos dos POD's.

4.4.4 Conjunto Elétrico do POD

Os equipamentos elétricos dos POD fornecem a potência e a excitação dos motores de propulsão elétrica e permitem a variação da velocidade de rotação dos motores. Este equipamento é formado pelos seguintes componentes: transformadores de tensão de 6.600V para 1.400V; quatro conversores estáticos; e dois módulos de excitação.

A propulsão elétrica é alimentada a partir da rede principal de 6.600V-60Hz. O sistema de excitação dos motores é alimentado pelos Quadros Elétricos de Força de Baixa Tensão

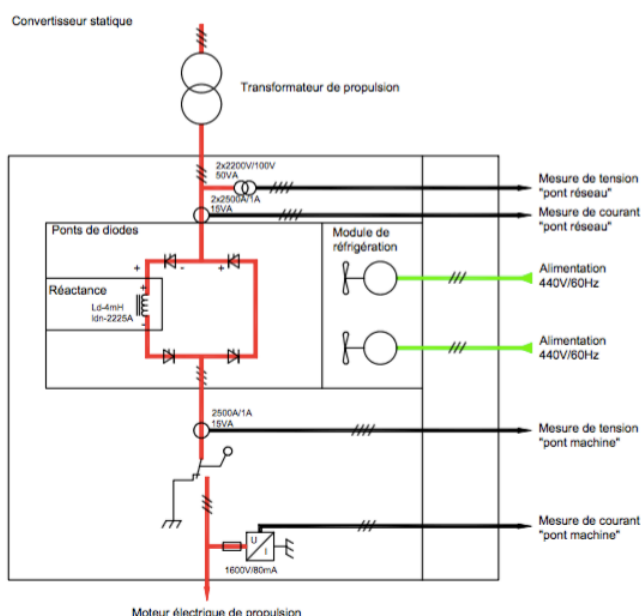
de 440V 60Hz (TPTF e TPBF). Os motores elétricos de propulsão estão localizados no conjunto superior do POD.

O motor elétrico de propulsão é do tipo síncrono, composto por dois enrolamentos trifásicos, separados e conectados em estrela

A velocidade de rotação do motor de propulsão elétrica é em função da frequência da corrente de alimentação fornecida pelo conversor estático. O conversor é controlado pelo sistema de controle do POD.

O motor elétrico de propulsão é representado na figura abaixo:

Figura 13 – “Motor Elétrico POD”



Fonte: LIVRET NAVIRE. Edition définitive. s.l., DCNS, 2007

4.4.5 Conjunto Mecânico do POD

4.4.5.1 Dispositivo de propulsão do POD

4.4.5.1.1 Hélice

O hélice fixo de 5 pás é localizado avante do POD. A estrutura é afixada no eixo do motor elétrico de propulsão.

4.4.5.1.2 Eixo propulsor, rolamentos e freio

O eixo propulsor é de aço, sua rotação é gerada por dois mancais de rolamento lubrificados a óleo, localizados em ambos os lados do motor de propulsão elétrica. Os mancais radial e axial são localizados ao lado do hélice.

4.4.5.2 Dispositivo de secagem do POD

O sistema de secagem consiste em duas bombas de roletes e um poço localizado no fundo do POD. As bombas de roletes são acionadas periodicamente pelo sistema e param automaticamente, conforme o nível de água no poço.

4.4.6 Operação do POD

A operação do POD pode ser realizada a partir dos seguintes locais do Navio: passadiço; Central de Controle de Máquinas (CCM); em local, no console de controle de velocidade e rumo; em local, no console dos conversores; e no Painel de Controle de Emergência.

A operação do POD é responsabilidade do Sistema de Controle e Comando (SNCC). Esse sistema é automatizado e faz o controle das seguintes funções: ligar e desligar o POD; controle de velocidade e potência; controle e supervisão dos sistemas auxiliares de propulsão (sistemas de refrigeração, lubrificação e excitação elétrica); controle do sistema de limitação de potência; e controle dos sistemas de alarme.

A figura 14 apresenta o display do controle no passadiço, a figura 15 apresenta o controle no CCM, a figura 16 apresenta o controle de emergência e a figura 17 apresenta o controle no console dos conversores.

Figura 14 – “Controle Passadiço”



Fonte: LIVRET NAVIRE. Edition définitive. s.l., DCNS, 2007

Figura 15 – “Controle CCM”



Fonte: LIVRET NAVIRE. Edition définitive. s.l., DCNS, 2007

Figura 16 – “Controle Emergência”



Fonte: LIVRET NAVIRE. Edition définitive. s.l., DCNS, 2007

Figura 17 – “Console Conversores”



Fonte: LIVRET NAVIRE. Edition définitive. s.l., DCNS, 2007

4.4.7 Utilização Do “Bow Thruster”

O “Bow Thruster” é dimensionado para o movimento lateral do navio, a fim de facilitar as manobras realizadas na atracação ou desatracação.

Posicionado na proa do navio, esse dispositivo oferece potência de 1,5 MW e empuxo de até 17 KN. Além disso, apresenta as seguintes características que impactam na capacidade de manobra do navio:

- a) Permite a manutenção de posição com ventos de até 17 nós;
- b) A capacidade de empuxo é reduzida em 25% a cada nó de velocidade e possui um limite de atuação de até 4 nós do navio;
- c) Faz-se necessário utilizar pelo menos 50% da sua potência para que afete o movimento do navio; e
- d) A utilização em 80% de potência é equivalente ao uso do POD na posição transversal, surgindo o mesmo efeito de movimento transversal do navio.

4.5 Geradores: Motores Diesel Alternadores

Os geradores a diesel (DA1, DA2, DA3, DAA e DAS) fornecem toda a eletricidade consumida a bordo. Os motores diesel são acoplados a alternadores trifásicos que alimentam a rede elétrica do Navio.

Os Motores Diesel Principais (DA) são acionados pela unidade de controle local ou pelo Sistema de Controle e Comando (SNCC). O Motor Diesel Alternador Auxiliar (DAA) também pode ser controlado a partir do SNCC ou de seu gabinete de controle local.

O Motor Diesel Alternador de Emergência (DAS) de 440V-60Hz é responsável por alimentar os equipamentos essenciais supridos pelas tensões de 440V. Essa distribuição de energia é realizada pelo Quadro Principal de Emergência (TPFS), alimentado pelo DAS.

A quantidade de DA empregada na geração de energia depende da demanda de fornecimento de energia elétrica para os utilizadores. Essa demanda depende das diversas formas de emprego tático do Navio (navegação, atracação, suspender, fundear, entre outros). Assim, podem ser selecionados um DA, dois DA ou até três DA ao mesmo tempo. O DAA é um gerador auxiliar que será empregado em caso de falha em um dos DA em serviço ou para substituir um dos DA em caso de necessidade extrema.

Quando o Navio está atracado, a necessidade de energia elétrica é consideravelmente menor, comparada com o Navio no mar. Sendo assim, pode-se empregar apenas um DA para alimentação do Quadro Elétrico Principal.

4.5.1 Características técnicas dos Motores Diesel Alternadores

4.5.1.1 DAP

As seguintes características técnicas são observadas no DAP:

- a) Fabricante: WARTSILA;
- b) Tipo: quatro tempos;
- c) Identificação: 16V32LNE;
- d) Potência: 6480 kW;
- e) Velocidade de rotação: 720 RPM;
- f) Sentido de rotação: horário; e
- g) Taxa de compressão: 13.8.

4.5.1.2 DAA

As seguintes características técnicas são observadas no DAA:

- a) Fabricante: WARTSILA;
- b) Tipo: quatro tempos;
- c) Identificação: 18V200 PH1C;
- d) Potência: 3150 kW;
- e) Velocidade de rotação: 650 RPM;
- f) Sentido de rotação: anti-horário; e
- h) Taxa de compressão: 11.2.

4.5.1.3 DAS

As seguintes características técnicas são observadas no DAS:

- a) Fabricante: CUMMINS;
- b) Tipo: quatro tempos;
- c) Identificação: KTA38 DM;
- d) Potência: 1 007 kW;
- e) Velocidade de Rotação 620 RPM;
- g) Sentido de rotação: anti-horário; e

f) Taxa de Compressão: 10.7.

A figura 18 apresenta um motor DAP, a figura 19 apresenta um motor DAA e a figura 20 apresenta um motor DAS.

Figura 18 – “DAP”



Fonte: LIVRET NAVIRE. Edition définitive. s.l., DCNS, 2007

Figura 19 – “DAA”



Fonte: LIVRET NAVIRE. Edition définitive. s.l., DCNS, 2007

Figura 20 – “DAS”

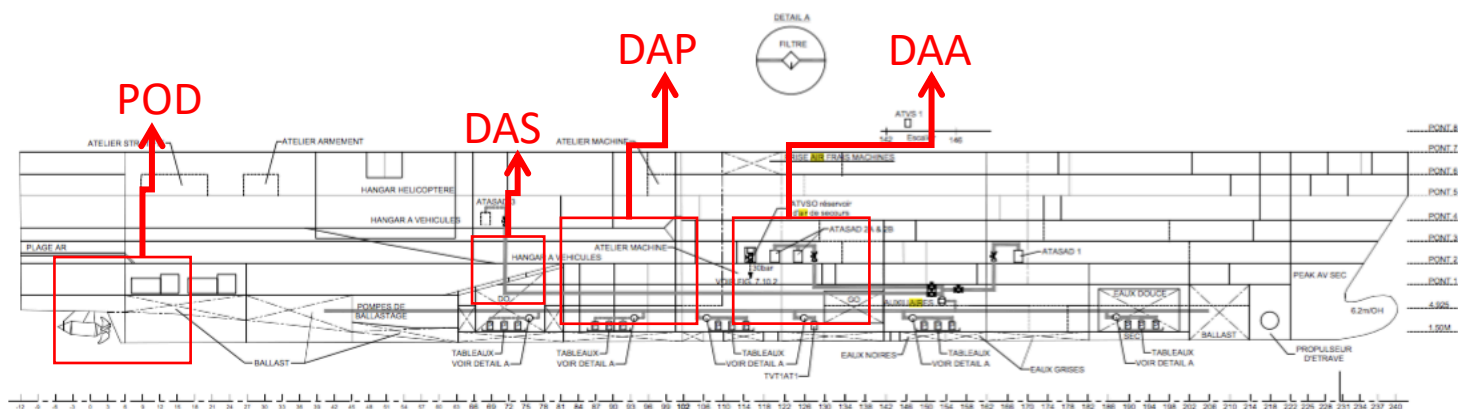


Fonte: LIVRET NAVIRE. Edition définitive. s.l., DCNS, 2007

4.6 Localização dos Motores Diesel e POD no Navio

Os Motores Diesel (DAP, DAA, DAS) e POD estão localizados conforme apresenta a figura 21:

Figura 21 – “Localização dos principais elementos do sistema propulsor”



Fonte: LIVRET NAVIRE. Edition définitive. s.l., DCNS, 2007

4.7 Preparação para o suspender

O navio deve estar preparado para ir ao mar na hora prevista pela diretiva da operação. Para isso, os sistemas e as máquinas devem seguir um cronograma de ações prévias para que estejam preparados no momento previsto.

O Quadro 1 apresenta a sequência de ações que devem ser tomadas em relação às máquinas antes do suspender.

Quadro 1 – “Preparação das Máquinas para o suspender do navio.”

Antecedência	Ações a serem empregadas
4 horas	Pelo menos 3 DA disponíveis (1 em alerta e 2 desligados).
2 horas	Navio no cais, alimentado eletricamente pelo cais. Pelo menos 2 DA ligados e 1 desligado. Tempo mínimo necessário para realizar as seguintes ações: 1- Retirar os cabos de energia do cais para bordo; 2- Acionar a refrigeração dos POD; 3- Ligar as máquinas auxiliares e conectar os disjuntores elétricos da propulsão; e
1 hora	Navio no cais, alimentado eletricamente por bordo. Os 3 DA devem estar ligados. Tempo mínimo necessário para realizar as seguintes ações: 1 – Engrazar 2 DA e manter o terceiro em “stand-by”; e 2 – Verificar a refrigeração dos POD.
20 minutos	Navio no cais, alimentado eletricamente por bordo. Verificar os comandos da propulsão no Passadiço, CCM e local. Tempo mínimo necessário para realizar as seguintes ações: Partir as bombas de direção dos POD; Partir as máquinas auxiliares e conectá-las à propulsão; Partir todo sistema de propulsão; e
5 minutos	Navio no cais, alimentado eletricamente por bordo. 2 DA ligados e selecionados, pronto para receber carga. 2 bombas de direção por cada POD. O correto funcionamento de todo sistema de propulsão deve ser verificado e informado ao Passadiço.
Pronto para suspender	Todo sistema de propulsão em funcionamento e verificado. Dependendo da necessidade, 1 ou 2 “Bow Thrusters” em funcionamento. Comando das máquinas com o Passadiço.

4.8 Consumo no BPC Tonnerre

O Gráfico 1 se refere ao consumo de óleo diesel em toneladas por dia, conforme cada velocidade do Navio, até velocidade máxima de 20 nós.

Considerando-se a densidade do óleo diesel no valor de 0,85 kg/L, pode-se extrair do gráfico as seguintes informações sobre o consumo: para velocidade média de 8 Nós, o navio consome cerca de 24.000 L de óleo diesel em um dia; para velocidade média de 10 Nós, o navio consome cerca de 30.000 L de óleo diesel em um dia; e para velocidade média de 14 Nós, o navio consome cerca de 53.000 L de óleo diesel em um dia.

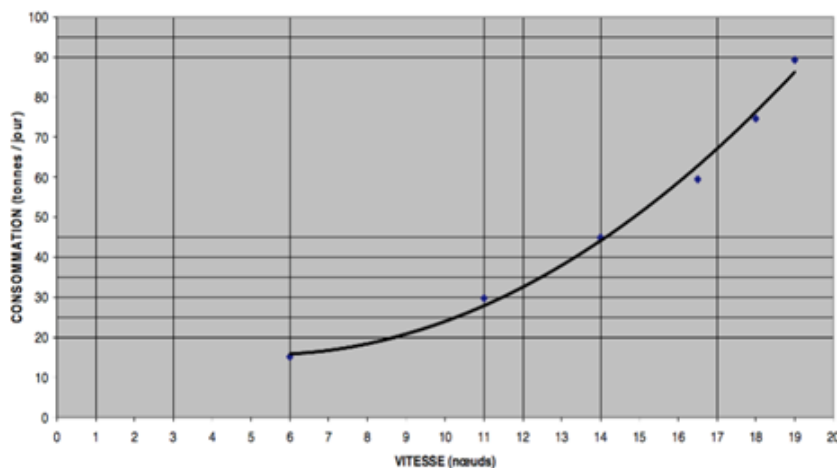
A fim de comparar o consumo do BPC Tonnerre com um navio da Marinha do Brasil, a Tabela 4 apresenta dados de comparação de consumo de óleo diesel em litros por dia do BPC Tonnerre com o Navio Doca Multipropósito (NDM) Bahia. O BPC Tonnerre pode ser diretamente comparado com o NDM Bahia, ambos são navios de tipo doca, empregados em operações táticas que exigem menores velocidades na área de combate. Além disso, ambos possuem deslocamento elevado e dimensões estruturais de grande porte. Analisando-se o consumo diário de óleo diesel do BPC Tonnerre e do NDM Bahia para as velocidades de 8 Nós, 10 Nós e 14 Nós, pode-se observar que o BPC Tonnerre possui consumo de óleo diesel inferior de aproximadamente 25%.

Outro aspecto importante a ser considerado em relação à redução do consumo de combustível é a diminuição da emissão de gases poluentes no meio ambiente. Quanto menor for a queima de combustíveis fósseis, menor será a emissão de gases poluentes, como o gás carbônico (CO₂). Essa mentalidade ecológica vai ao encontro das demandas internacionais quanto ao aquecimento global derivado da queima de combustíveis fósseis. Portanto, a planta elétrica do BPC Tonnerre apresenta uma redução significativa no consumo de óleo diesel. Esse fato gera vantagens econômicas e operativas. As vantagens econômicas envolvem a diminuição de gastos com combustíveis e as vantagens operativas, envolvem maior permanência do Navio na área operativo.

Tabela 4 – Comparação de Consumo de Óleo Diesel (litros/dia)

Velocidade Média por dia	BPC TONNERRE	NDM BAHIA
8 Nós	24.000 L	33.000 L
10 Nós	30.000 L	40.000 L
14 nós	53.000 L	69.000 L

Gráfico 1 – Consumo de Diesel/dia por Velocidade Navio.



Fonte: LIVRET NAVIRE. Edition définitive. s.l., DCNS, 2007

4.9 Distância em milhas náuticas navegadas do BPC Tonnerre

O Gráfico 2 se refere a distância em milhas náuticas (MN) navegadas conforme cada velocidade do Navio, até velocidade máxima de 20 nós.

Pode-se extrair do gráfico as seguintes informações sobre a distância navegada: para velocidade média de 8 Nós, o navio navega cerca de 14.000 MN; para velocidade média de 10 Nós, o navio navega cerca de 13.000 MN; e para velocidade média de 14 Nós, o navio navega cerca de 11.000 MN.

A Tabela 5 apresenta dados da distância em MN navegadas do BPC Tonnerre com o Navio Doca Multipropósito (NDM) Bahia.

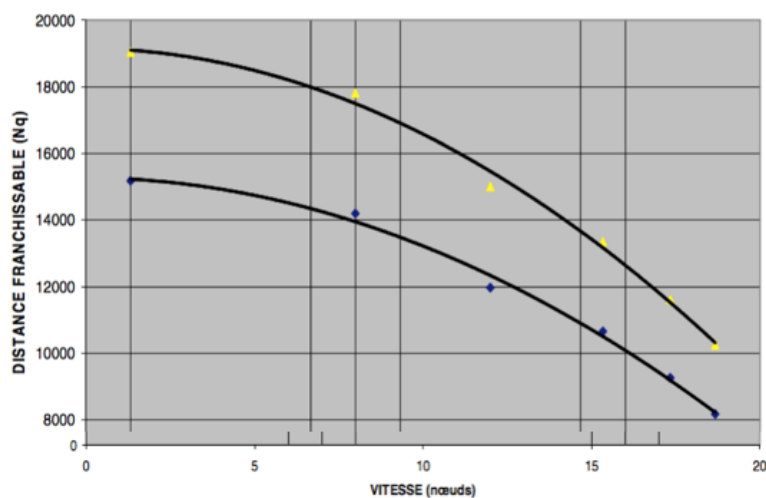
Analisando-se os dados para as velocidades de 8 Nós, 10 Nós e 14 Nós, pode-se observar que o BPC Tonnerre possui um aumento de cerca de 20% nas milhas náuticas navegadas.

Ao analisarmos a redução de 25% do consumo de óleo combustível e somando-se a incremento de cerca de 20% nas milhas náuticas navegadas, pode-se concluir que a eficiência da planta propulsiva do BPC Tonnerre é muito superior ao NDM Bahia, considerando-se os dois aspectos apresentados neste trabalho.

Tabela 5 – Comparação de milhas náuticas navegadas por velocidade

Velocidade Média por dia	BPC TONNERRE	NDM BAHIA
8 Nós	14.000 L	11.200 L
10 Nós	13.000 L	10.500 L
14 nós	11.000 L	8.700 L

Gráfico 2 –Distância em milhas náuticas por Velocidade Navio.



Fonte: LIVRET NAVIRE. Edition définitive. s.l., DCNS, 2007

4.10 Manutenção

4.10.1 Manutenção preventiva nos POD

As seguintes manutenções preventivas devem ser realizadas nos POD: a cada 6 meses, deve-se verificar possíveis vazamentos nas válvulas do sistema; a cada 6 meses, deve-se verificar o bom funcionamento do sistema de refrigeração do POD; a cada 1 ano, deve-se verificar o estado geral das válvulas do sistema; e a cada 3 anos, o óleo do sistema de lubrificação deve ser trocado.

4.10.2 Manutenção preventiva na planta elétrica

A seguinte manutenção preventiva deve ser realizada na planta elétrica: a cada 1 ano, deve-se verificar a qualidade da produção de energia elétrica, o rendimento dos gerados e o estado de conservação das redes de distribuição de energia.

4.10.3 Manutenção preventiva nos geradores

As seguintes manutenções preventivas devem ser realizadas nos geradores: a cada 24 horas de funcionamento, deve-se verificar a diluição do óleo lubrificante; a cada 150 horas de funcionamento, deve-se verificar a acidez e a contaminação do óleo lubrificante; a cada 1 mês, deve-se inspecionar os filtros de óleo lubrificante e filtros de óleo diesel; a cada 1 ano, deve-se efetuar inspeção no circuito de admissão de ar do sistema; a cada 1 ano, deve-se efetuar inspeção no sistema de refrigeração de água doce; e a cada 1 ano, deve-se efetuar inspeção no sistema de óleo combustível.

5 ATUALIDADES

A planta totalmente elétrica e a propulsão elétrica do BPC Tonnerre exemplificam a tendência mundial de desenvolvimento de tecnologias e inovações no campo da eletrônica de potência e utilização da eletricidade como fonte principal propulsiva.

É fundamental destacar algumas dessas aplicações no ambiente militar. A Marinha Inglesa, desde 2009, utiliza motores de indução com design robusto e elevada densidade de potência elétrica em seus navios de escolta contratorpedeiros “Type 45” da classe “HMS Daring”.

Outro exemplo importante de aplicação dessas tecnologias é o navio escolta “USS Zumwalt” da USN. Esse navio possui o formato do casco tipo “stealth”, capaz de despistar a detecção em radares convencionais. Essa característica furtiva deve ser acompanhada pela propulsão elétrica, porque garante maior discricção sonora durante a navegação, sendo mais difícil de ser detectada por inimigos.

Além do ambiente militar, destacam-se os carros elétricos amplamente comercializados das marcas Tesla, BMW, Nissan, entre outras. Esses modelos são capazes de utilizar baterias que proporcionam grandes vantagens econômicas e possuem elevada eficiência em relação as distâncias percorridas, além disso, contribuem para redução da emissão de gases poluentes na atmosfera.

Outro destaque nas inovações tecnológicas é o avião de passageiros elétrico anunciado pela Embraer em maio de 2019, fruto de um acordo de cooperação científica e tecnológica com a multinacional brasileira Weg, que desenvolveu o motor e o inversor do avião.

Esses exemplos citados corroboram com a importância do estudo da viabilidade de implementação das tecnologias propulsivas elétricas como alternativa para os navios da Marinha do Brasil.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi abordado que o BPC Tonnerre da Marinha Nacional Francesa é um navio de propulsão totalmente elétrica capaz de suprir as elevadas demandas de energia, tanto para a propulsão como para as cargas normais do navio, resultado da grande capacidade de seus geradores e de sua eficiente rede de distribuição. Isso é decorrente da utilização de geradores de alta tensão de 6.600V e quadros elétricos que possibilitam o fornecimento diversificado de energia, em tensões do tipo 440V, 400V e 230V.

Além disso, a planta elétrica do citado navio é versátil, o que permite três configurações diferentes de utilização, garantindo a produção e distribuição de energia, nos casos de avarias nos geradores, interligação da planta elétrica ou em situação normal de uso com a planta elétrica dividida.

O POD é um sistema de propulsão simples e muito vantajoso, tendo em vista possuir capacidade de giro de 360°, o que garante maior capacidade de manobra ao navio.

Após análise dos consumos de óleo diesel e milhas náuticas navegadas do BPC Tonnerre e do NDM Bahia, concluiu-se que o BPC Tonnerre possui uma significativa vantagem no tocante à redução de, aproximadamente, 25% do consumo de combustível para as velocidades de 8, 10 e 14 Nós. Além disso, as milhas náuticas navegadas são cerca de 20% superiores, comparadas ao NDM Bahia para as mesmas velocidades, comprovando-se a elevada eficiência de sua planta propulsiva elétrica.

Outro aspecto relevante é que as manutenções preventivas identificadas no estudo destacam a simplicidade do sistema de propulsão totalmente elétrico.

Dessa forma, pode-se concluir que os diversos recursos da planta elétrica e propulsão elétrica apresentados no presente estudo, tais como, as vantagens econômicas de redução de consumo de óleo diesel e os recursos de geração e distribuição de energia elétrica, podem servir de subsídios para auxiliar em futuros projetos de aquisição de meios navais para a MB que venham a empregar propulsão totalmente elétrica.

7 REFERÊNCIAS

ALVES, Renata Nunes. **Propulsão Elétrica de Navios**. 201 f. Dissertação (Mestrado em Energia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPEE, Rio de Janeiro, 2007.

ARAÚJO, Daniel Mesquita De. **Eficiência da propulsão elétrica nos navios**. Monografia (Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Náutica - APNT). Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, Rio de Janeiro, 2013.

ARRINGTON, J., W. **The Analysis of Components, Designs, and Operation for Electric Propulsion and Integrated Electrical System**, Master of Science in Electrical Engineering, Naval Postgraduate School (NPS), Monterey, California, USA, 1998.

DOYLE, T., J., STEVENS, H., O., ROBEY, H. **An Historical Overview of Navy Electric Drive, Naval Symposium on Electric Machines Warfare Center**. Annapolis, Detachment, 1999.

HANSEN, Jan Fredrik. **History and State of the Art in Commercial Electric Ship Propulsion, Integrated Power Systems, and Future Trends**. Vol. 103, No 12, December 2015.

HOBART, H. M., **The Electric Propulsion of Ships**. Londres, Harper & Brothers, 1911.

LIVRET NAVIRE. Edition définitive. s.l., DCNS, 2007.

MARINHA DO BRASIL. **Política Naval**. 2019. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/sites/all/modules/politica_naval/book.html>. Acesso em: 05 jan. 2020.

MARINHA DO BRASIL. **Manual de Eletricidade Básica**. Centro de Instrução Almirante Alexandrino (CIAA). 2ª edição. Rio de Janeiro, RJ, 2004.

MARINHA DO BRASIL. **Especificação de motores de indução e geradores síncronos para uso naval**. ENGENALMARINSTN 30-11. Rio de Janeiro, RJ, 2006.

PINHEIRO, Milton de Lima. **Acionamento de motor síncrono de ímãs permanentes (MSIP) em embarcações com sistema de propulsão elétrica**. Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, R.J., Brasil, 2013.

SERVICE & SUPPLY OFFICE. STP-Schottel Twin Propeller-duplo hélice schottel: sistemas de propulsão para aplicações. Disponível em: <<https://www.schottel.de/pt/propulsao-maritima/stp-twin-propeller>>. Acesso em 04 dez. 2019.

SILVEIRA, Karoline Claro Pereira. **Regiões de Segurança Estática Considerando as Curvas de Capacidade de Geradores Síncronos**. Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, R.J., Brasil, 2012.

VAN DOKKUM, Klaas. **Ship knowledge: ship design, construction and operation.** 6. ed. Netherland: Dokmar Maritime, 2010

APÊNDICE 1 - REQUISITOS DE MOTORES E GERADORES

A Marinha do Brasil define os parâmetros e características dos equipamentos elétricos que podem ser empregados a bordo de seus navios. Para tal, a publicação ENGENALMARINSTN 30-11 “Especificação de motores de indução e geradores síncronos para uso naval” apresenta os requisitos obrigatórios para esses equipamentos.

1 Requisitos Gerais

No fornecimento dos motores de indução e geradores síncronos, o fabricante deve atender aos requisitos definidos e considerar também os seguintes aspectos:

- a) Todos os materiais empregados deverão ser resistentes ao ambiente marinho;
- b) Todos os componentes deverão ser dimensionados para funcionamento contínuo dentro das condições ambientais especificadas; e
- c) Deverão ser empregados, sempre que possível, componentes construídos de materiais não propagadores de fogo e de baixo índice de emissão de fumaça e gases tóxicos quando expostos a chamas.

1.1 Temperatura

Os motores e geradores deverão ser projetados para operarem continuamente sob temperatura definida de acordo com a Tabela 1 em função do seu local de instalação.

Tabela 1 – “Temperatura ambiente de acordo com o local”

Local	Faixa de temperatura (°C)
Espaços fechados, exceto praça de máquinas	+ 5 a + 45
Praça de máquinas	+ 5 a + 55
Áreas com ar condicionado	+ 5 a + 40
Conveses expostos	- 25 a + 45

Fonte: “ENGENALMARINSTN 30-11”.

1.2 Umidade

Os motores e geradores deverão operar continuamente sobre as seguintes condições de umidade: quando instalados em áreas expostas ou locais sujeitos a vapor d'água ou umidade elevada deverão operar com um limite de 95% de umidade; e quando instalados nos demais compartimentos do navio, deverão operar com o limite de 80% de umidade.

1.3 Resfriamento

Quando o método de resfriamento para motores e geradores empregar líquido, o sistema deverá ser projetado para que a temperatura deste líquido resfriador na entrada da máquina ou do trocador de calor não ultrapasse +25°C nem seja inferior a +5°C.

Nos equipamentos onde for utilizado resfriamento à água, o resfriador deverá ser projetado de modo a evitar a entrada de água na máquina, quer por vazamento quer por condensação no trocador de calor.

Os resfriadores deverão ter tubulação com parede dupla e dispositivo de detecção de vazamento. Os materiais do trocador de calor em contato com a água salgada deverão ser preferencialmente de cupro-níquel 90-10 ou equivalente.

Os tubos do trocador de calor deverão ser protegidos contra corrosão. Deve ser dada preferência por uma proteção realizada por anodos de sacrifício. Neste caso, os anodos deverão ser fixados em posição de fácil acesso para fins de inspeção e substituição.

Para geradores, deverá ser dada preferência para o sistema de resfriamento por circuito fechado de ar resfriado por água salgada, através de trocador de calor, montado no topo da máquina. Esse trocador deverá fazer parte do escopo de fornecimento do gerador.

1.4 Vibração

Os motores e geradores deverão ser capazes de operarem continuamente suportando as vibrações que lhes serão impostas sem que isso afete seu desempenho. Os níveis de vibração a serem impostos deverão estar de acordo com a Tabela 2:

Tabela 2 – “Níveis de vibração mínimos”

Equipamento	Faixa de frequência (Hz)	Amplitude de deslocamento (mm)	Aceleração (g)
Diesel Geradores e Compressores	2,0 a 25,0	1,6	–
	25,0 a 100	–	4,0
Demais máquinas	2,0 a 13,2	1,0	–
	13,2 a 100	–	0,7

Fonte: “ENGENALMARINSTN 30-11”.

1.5 Inclinação

Os motores e geradores deverão ser capazes de operar satisfatoriamente e manter sua lubrificação quando submetidos às seguintes condições de inclinação descritas no Quadro 1:

Quadro 1 – “Limites da inclinação”

Direção do movimento	Limites da inclinação
Jogo	±22,5 graus de amplitude, para ambos os bordos, para um ciclo de 10 segundos;
Caturro	±10 graus com amplitude para um ciclo de 5 segundos; -
Banda	±20 graus (para qualquer dos bordos);
Trim	±5 graus (pela popa ou pela proa)

Fonte: “ENGENALMARINSTN 30-11”.

1.6 Material Isolante

O material isolante de todos os enrolamentos dos motores e geradores deverá ser tratado a fim de resistir à umidade, vapor de óleo e ambientes com alta concentração de sal. Os motores e geradores deverão ser construídos, no mínimo, com isolamento da classe F e elevação de temperatura classe B, seguindo a Tabela 3:

Tabela 3 – “Classes de isolamento e temperatura”

Classe de isolamento	Máxima temperatura em operação contínua (°C)
A	90
E	105
B	120
F	130
H	155
N	180

Fonte: “ENGENALMARINSTN 30-11”.

1.7 Resistências Desumificadoras

Os motores e geradores deverão ser providos de resistências desumificadoras (resistores de aquecimento) a fim de impedir o acúmulo de umidade no interior da máquina pela condensação do ar. Esses desumificadores deverão ser alimentados em 115V e 60Hz. Além disso, deverão ser automaticamente ligados quando o motor ou gerador não estiver em funcionamento e desligados, quando o motor ou gerador estiver operando.

1.8 Pintura

Os motores e geradores deverão ter as suas superfícies externas adequadamente tratadas contra a corrosão inerente ao ambiente marinho e receber um esquema de pintura como indicado na Tabela 4.

Tabela 4 – “Esquema de pintura”

Etapa	Tinta Empregada	Demãos	Espessura (Microns)
1	Epóxi poliamida bicomponente rica em zinco	1	90
2	Epóxi poliamida de alta espessura e elevado teor de sólidos	1	110
3	Poliuretano acrílico de alta espessura	2	50

Fonte: “ENGENALMARINSTN 30-11”.

1.9 Mancais

O eixo de motores e geradores deverá ser montado sobre mancais de rolamento ou de deslizamento (bucha). A blindagem dos mancais deverá ser tal que evite o ingresso de sujeira quando da sua localização em áreas expostas. Além disso, os alojamentos dos

mancais deverão ser projetados de forma que permita uma pronta remoção da tampa do motor ou gerador sem a necessidade de retirar os mancais.

1.10 Lubrificação

Os geradores e motores deverão possuir lubrificação eficiente e contínua em todas as rotações de operação e em todas as temperaturas normais de trabalho dos mancais, com qualquer variação da inclinação da unidade em relação à normal.

Recomenda-se que os motores que acionam os compressores de gás não compartilhem um sistema de lubrificação comum com o compressor.

Para motores que operarem em áreas expostas, a atenção deverá ser dada à temperatura mínima especificada para o motor, a fim de que nessas condições a lubrificação seja satisfatória.

Deverão ser fornecidos meios para evitar que o lubrificante escorra pelo eixo, ou de outro modo, alcance o isolamento ou qualquer parte energizada da máquina.

Nos locais onde a lubrificação por anel pescador é empregada, os anéis deverão ser tão apertados que não possam se deslocar pelo eixo.

Cada mancal de bucha autolubrificado deverá estar equipado com uma tampa de inspeção e meios para a indicação visual do nível de óleo ou a utilização de um indicador de nível de óleo.

1.11 Resistência de Isolamento

Os motores e geradores deverão possuir resistência de isolamento mínima de 10 Megohms referida a uma temperatura de 40°C.

1.12 Proteção Térmica

Os motores e geradores deverão ser protegidos contra elevação de temperaturas por um dispositivo integrante à máquina (motor ou gerador) ou de proteção independente, localizado no Painel de Controle Local (PCL) do motor ou gerador, que garanta uma atuação que corresponda a uma temperatura igual à temperatura máxima da classe de isolamento do motor ou gerador.

Quando se utilizar termorresistores ou termistores em motores elétricos, deverão ser instalados três sensores de temperatura, sendo um por fase. Os sensores de temperatura deverão ser instalados junto aos pontos onde se espera maior aquecimento dos enrolamentos.

Todos os geradores deverão ser providos de sensores de temperaturas embutidos nos enrolamentos da máquina. Quando se utilizar termorresistores, deverão ser instalados três sensores de temperatura, sendo um por fase, onde cada sensor deverá fornecer um sinal elétrico que servirá tanto para alarme quanto para abertura do disjuntor. Quando se utilizar termistores em geradores, deverão ser instalados seis sensores, sendo dois por fase, embutidos nos enrolamentos, onde um será para alarme e o outro para a abertura do disjuntor. Os sensores de temperatura deverão ser instalados junto aos pontos onde se espera maior aquecimento dos enrolamentos.

Os terminais de cada sensor de temperatura deverão ser ligados ao isolamento e instalados nas caixas de terminais dos motores ou geradores, onde deverão ser efetuadas as ligações dos sensores.

1.13 Caixa de terminais

Qualquer ligação dos enrolamentos ou dispositivos internos do gerador com os consumidores externos, dispositivos de proteção, alarme, monitoração ou controles externos deverá ser feita por intermédio da caixa de terminais, sem o uso de soldas, por meio de conexão entre terminais dos cabos elétricos ligados aos isolamentos fixos no interior da caixa. Destaca-se que os bornes (dispositivo de isolamento) de ligação não deverão ser utilizados como terminais.

A caixa de terminais deverá ser fixada firmemente à metade superior da carcaça do motor, de forma a ser projetar o mínimo possível além do contorno desta, devendo permitir um giro de 90° em qualquer direção sobre o seu local de fixação.

A caixa de terminais deverá ser provida de prensa-cabos de latão, e os terminais empregados deverão ser do tipo prensado, feitos de cobre estanhado.

A fixação dos terminais aos bornes deverá ser a prova de giro lateral e mau contato provocado por vibrações. Além disso, deverá ser previsto na caixa de terminais um terminal para o aterramento da carcaça do equipamento.