

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA – CIAGA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MÁQUINAS - APMA

LEANDRO RODRIGUES PEDRO

CONTROLE AUTOMÁTICO DAS BOMBAS DE RESFRIAMENTO

RIO DE JANEIRO
2020/1

LEANDRO RODRIGUES PEDRO

CONTROLE AUTOMÁTICO DAS BOMBAS DE RESFRIAMENTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 emendada.

Orientador: **Elizabeth Fátima Lourenço Borges.**

RIO DE JANEIRO
2020

LEANDRO RODRIGUES PEDRO

CONTROLE AUTOMÁTICO DAS BOMBAS DE RESFRIAMENTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 emendada.

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador: **Elizabeth Fátima Lourenço Borges**

Assinatura do Orientador

Assinatura do Aluno

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me conceder mais esta vitória em minha vida.

Aos meus familiares, mestres e amigos que fizeram parte dessa jornada pelo conhecimento.

Aos meus professores que me concederam seus conhecimentos, em especial a professora, **Elizabeth Fátima Lourenço Borges.**

Dedico esta conquista à minha esposa
que esteve ao meu lado durante essa
longa jornada e aos meus filhos que são
a minha força e motivação.

CONTROLE AUTOMÁTICO DAS BOMBAS DE RESFRIAMENTO

Leandro Rpdrigues Pedro

RESUMO

Problemas recorrentes nos sistemas de resfriamento de motores das embarcações mercantes e offshore são uma realidade no universo marítimo contemporâneo e um grande desafio para a tripulação de máquinas, responsável pela conservação e manutenção das máquinas da embarcação.

Neste contexto, seria possível monitorar a pressão e a temperatura de um sistema de monitoramento mantendo o controle de frequência dos motores elétricos garantindo a eficiência do sistema?

Este trabalho foi idealizado a partir de problemas no sistema de resfriamento de motores marítimos *Danko Tide*, onde de acordo com a carga apresentada e o tipo de operação, torna-se necessária a maior vazão de água para que haja maior resfriamento no trocador de calor dos mesmos. Foi constatado que o sistema multi bombas, neste caso, pode responder com mais proficiência sem que haja preocupações em relação ao resfriamento, visto ser possível verificar tanto a pressão como a temperatura deste sistema de monitoramento, como manter o controle de frequência dos motores elétricos.

Palavras-chave: *Danko Tide*. Embarcação. Motores Marítimos. Resfriamento.

ABSTRACT

Recurring problems in the engine cooling systems of merchant and offshore vessels are a reality in the contemporary maritime universe and a major challenge for the machine crew, responsible for the conservation and maintenance of the vessel's machines.

In this context, would it be possible to monitor the pressure and temperature of a monitoring system while maintaining the frequency control of the electric motors, guaranteeing the efficiency of the system?

This work was conceived based on problems in the cooling system of marine engines Danko Tide, where according to the load presented and the type of operation, a greater flow of water is necessary for greater cooling in the heat exchanger. It was found that the multi-pump system, in this case, can respond with more proficiency without worrying about cooling, since it is possible to check both the pressure and the temperature of this monitoring system, as well as maintaining the frequency control. frequency of electric motors.

Keywords: *Danko Tide. Vessel. Marine Engines. Cooling.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES/FIGURAS

- Figura 1:** ORSV *Danko Tide*.
- Figura 2:** Motor Elétrico WEG.
- Figura 3:** Princípio de funcionamento da bomba centrífuga.
- Figura 4:** Inversor de frequência CFW 11.
- Figura 5:** Diagrama Multifilar.
- Figura 6:** Diagrama de Potência.
- Figura 7:** Conexões CFW 11.
- Figura 8:** Conexões Inversor de Frequência.
- Figura 9:** Maquete do Sistema Multibombas.
- Figura 10:** Ajuste de Pressão e *Set-Point*.
- Figura 11:** Estados das Bombas.
- Figura 12:** Estado das Entradas e Saídas.
- Figura 13:** Estado Multibombas.
- Figura 14:** Parametros CFW11.
- Figura 15:** Parâmetros modo Dormir.
- Figura 16:** Enchimento da Tubulação.
- Figura 17:** Parâmetros de Entradas Analógicas.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CIAGA	Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.
ORSV	<i>Oil Rig Supply Vessel.</i>
CLP	Controlador Lógico Programável.

SUMÁRIO

1. OBJETIVO GERAL.....	9.
2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9.
3. METODOLOGIA.....	10.
4. INTRODUÇÃO.....	10.
5. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS.....	11.
6. RESULTADOS.....	23.
7. CONCLUSÃO.....	23.
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24.

1. OBJETIVO GERAL:

Definir os principais problemas do sistema de resfriamento de motores marítimos das embarcações.

Desenvolver um sistema multi bombas, para controlar a pressão de acordo com o conjunto motor-bomba de resfriamento do motor de combustão principal do navio.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Analisar os problemas potenciais nos sistemas de resfriamento dos motores marítimos da embarcação ORSV *Danko Tide* de acordo com a carga apresentada e o tipo de operação.

Ressaltar a vazão de água necessária para que haja maior resfriamento no trocador de calor.

Propor a implementação de um sistema multi bombas para controlar tanto a pressão como a temperatura de um sistema de monitoramento. Como também manter o controle de frequência dos motores elétricos.

Figura 1: ORSV *Danko Tide*



Fonte: Internet.¹

¹ Disponível em: www.marineinsight.com. Acesso em: 10/10/2020.

3. METODOLOGIA:

A idéia básica que orientará o presente trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema multi bombas para controlar a pressão de acordo com o conjunto motor-bomba de resfriamento do motor de combustão principal do navio.

Para o desenvolvimento deste trabalho foram necessários foram necessários três motores de indução trifásica WEG, um inversor de frequência CFW11, um software TPW 03 e um computador.

4. INTRODUÇÃO:

No sistema de resfriamento de água dos motores principais da embarcação ORSV Danko Tide, muitas vezes se faz necessária à utilização de mais de uma bomba de água salgada para um melhor arrefecimento dos motores de combustão principal. Comumente são utilizadas bombas centrífugas, para fornecer energia à água na forma de pressão, para que esta chegue aos motores que estão localizados em pontos próximo as bombas.

Para o acionamento das bombas, normalmente são utilizados motores de indução trifásicos, onde durante muito tempo os métodos de partida mais utilizados eram: partida direta, partida estrela-triângulo e partida com chave compensadora. Porém, esses métodos de partida e o automatismo utilizado para a operação do sistema apresentam alguns pontos a serem melhorados, que vão desde o golpe de aríete, até o excesso de pressão na rede, provocando desperdício de energia elétrica e possíveis danos na tubulação, podendo gerar perdas por vazamentos. Porém com o avanço da eletrônica de potência surgiram às chaves Soft-Starter que permitem ao motor partida e parada suave, evitando o golpe de aríete.

Posteriormente surgiram os conversores de frequências popularmente conhecidos como inversores de frequência, que além de permitirem uma partida suave, permite que os motores de corrente alternada operem em diferentes velocidades proporcionando uma melhor operação do sistema, aumento da vida útil dos equipamentos e economia de energia.

5. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS:

5.1. Para desenvolver este trabalho foi necessário utilizar alguns equipamentos:

- ✓ Três Motores de indução trifásica WEG.
- ✓ Inversor de frequência CFW11.
- ✓ Software TPW 03.
- ✓ Computador

5.2. Motor de indução trifásica acoplado a uma bomba centrífuga.

Figura 2: Motor Elétrico WEG



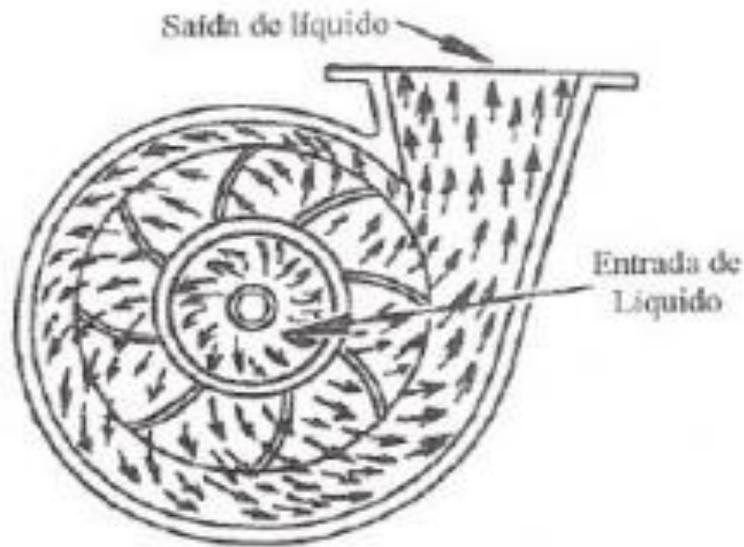
Motor de indução trifásica máquinas que fornecem trabalho ao líquido por meio da ação da força centrífuga a fim de promover seu escoamento, transformando o trabalho mecânico proveniente de fontes externas em energia cinética e de pressão, que são cedidas ao líquido, figura 2.

Fonte: Manual Weg- Motores Trifásicos²

O líquido é encaminhado para a parte central do rotor, entra em movimento de rotação e é impelido para a periferia do rotor pela ação da força centrífuga, adquirindo grande velocidade; depois percorre o contorno da carcaça onde parte dessa energia de velocidade é transformada em energia de pressão e é lançado para fora da bomba pelo local de descarga, figura 3.

² Disponível em: <https://esrmotors.com/Literature/WEG>. Acesso em 23/10/2020.

Figura 3. Princípio de funcionamento da bomba centrífuga.



Fonte: Controles Típicos.³

5.3. Inversor de frequência CFW 11.

Figura 4. Inversor de frequência CFW 11.



Fonte: Manual do usuário CFW11.⁴

O inversor de frequência tem como principal característica conseguir alimentar o motor com tensão e frequência variáveis, ou seja, diferentes dos valores nominais da rede, proporcionando ao motor a possibilidade de operar com velocidade diferente da nominal.

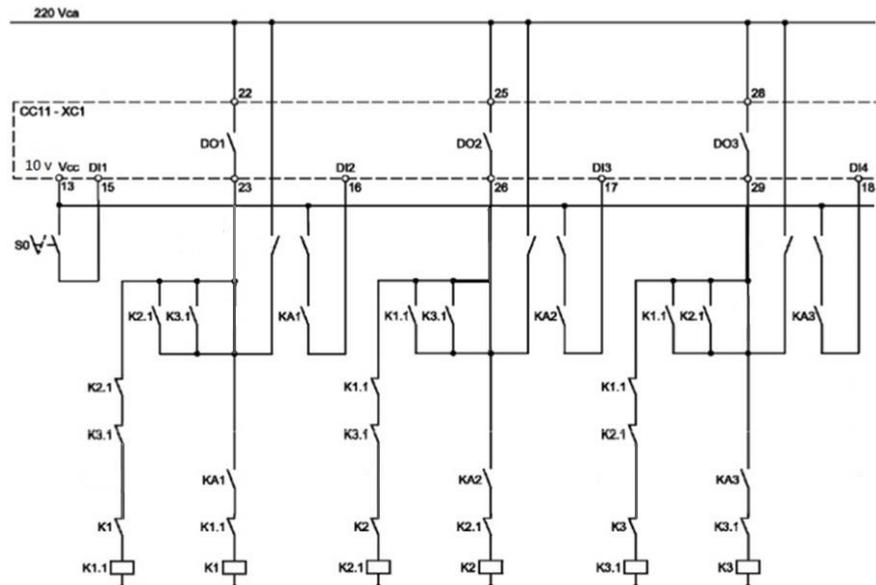
Consegue-se, portanto, não só partir, mas também operar o motor por tempo indeterminado com corrente, tensão e frequência reduzidas proporcionando-se um melhor desempenho à máquina elétrica. Figura 4.

³ Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/bomba-centrifuga-o-que-e-como-funciona/>. Acesso em 20/10/2020.

⁴ Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/bomba-centrifuga-o-que-e-como-funciona/>. Acesso em 20/10/2020.

5.4 Diagrama Multifilar do Sistema Multibombas.

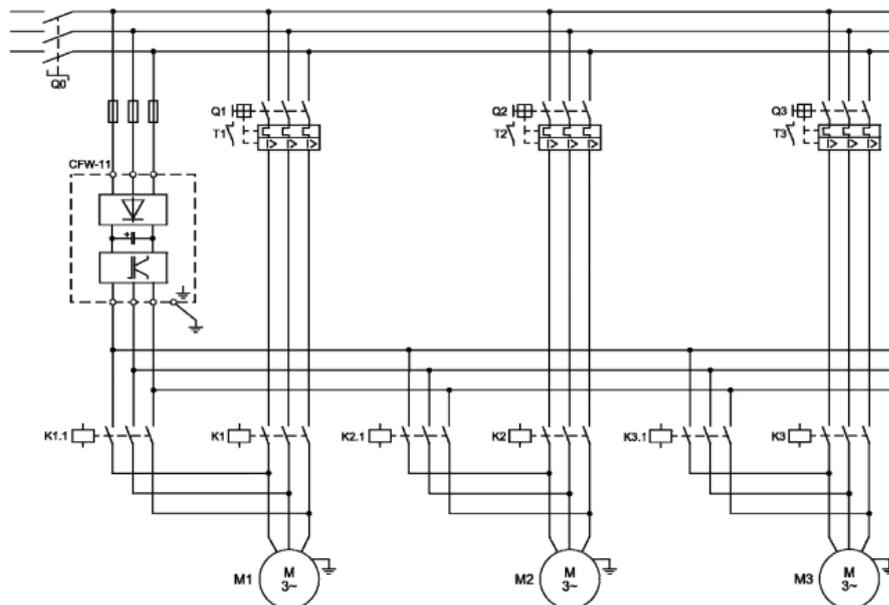
Figura 5. Diagrama Multifilar



Fonte: Manual CFW11-Multibombas⁵

5.5 Diagrama de Potência do Sistema Multibombas.

Figura 6: Diagrama de Potência.



Fonte: Manual Multibombas.⁶

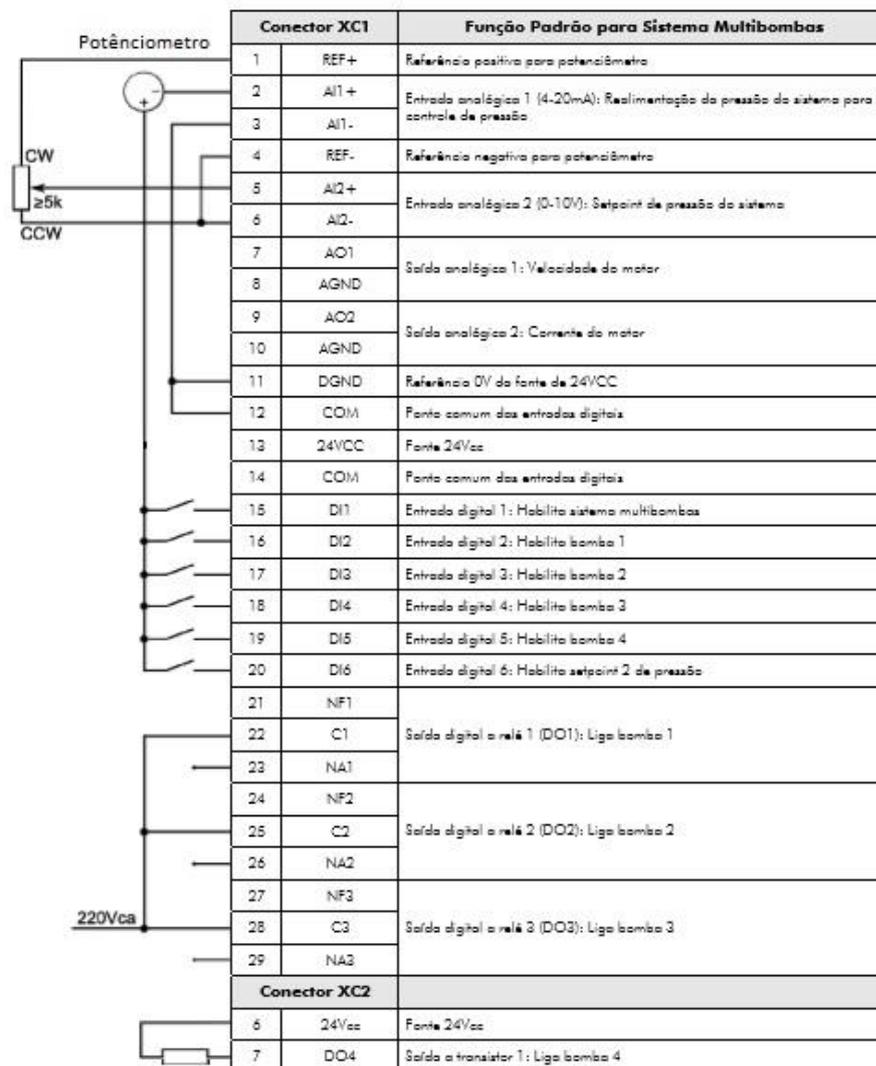
⁵ Disponível em: <https://esrmotors.com/Literature/WEG>. Acesso em 23/10/2020.

⁶ Disponível em: <https://esrmotors.com/Literature/WEG>. Acesso em 23/10/2020.

5.6 Descrição dos contatos Elétricos.

- ✓ **S0:** Chave Liga / Desliga. A posição “Liga” efetua o comando para habilitar ao funcionamento o sistema multibombas. A posição “Desliga” desabilita o funcionamento do sistema multibombas, ou seja, desliga todas as bombas do sistema multibombas.
- ✓ **K1, K2, K3:** Contatores para acionar as bombas de maneira direta quando estão com a função de bomba auxiliar;
- ✓ **K1.1, K2.1, K3.1:** Contatores para acionamento da bomba pelo inversor;
- ✓ **KA1, KA2, KA3:** Contatores auxiliares para lógicas de proteção das bombas;

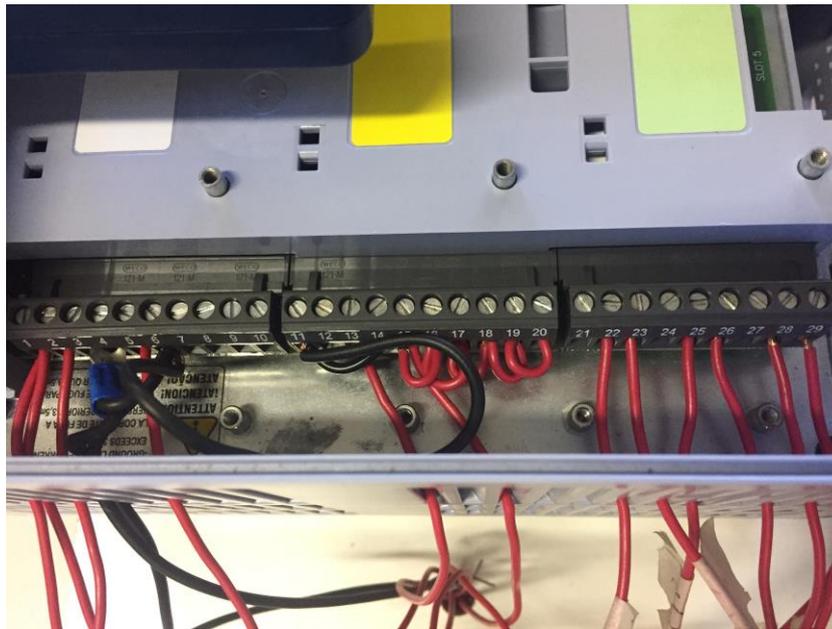
Figura 7: Conexões CFW 11.⁷



Fonte: Manual CFW 11.

⁷ Disponível em: <https://esrmotors.com/Literature/WEG>. Acesso em 23/10/2020.

Figura 8: Conexões Inversor de Frequência.



Fonte: Arquivo Pessoal.

A entrada digital DI1 é acionada para habilitação do sistema. É verificado se o sistema ficará em modo dormir ou modo despertar. O modo despertar é ativado quando a pressão medida está abaixo do valor de Set-Point. É verificada qual a bomba que deverá entrar no sistema e ser acionada pelo inversor. Neste caso, como o modo de acionamento é “Em Sequência”, e a bomba 1 (M1) está habilitada ao funcionamento, é efetuado o comando para ligar a bomba 1 (M1) via saída digital DO1, que conforme esquema elétrico comanda o contator K1.1 para que a mesma seja acionada pelo inversor. Então, é aguardado um tempo de 500ms (valor de tempo fixo para esta aplicação) para que se inicie a aceleração da bomba 1 (M1) até a velocidade mínima programada.

De acordo com o *set point* de pressão ajustado e a pressão de saída, o controlador PID responde e acelera a bomba 1 (M1) que está sendo acionada pelo inversor. Com o processo de enchimento da tubulação habilitado, é aguardado um tempo (P1047) para habilitar o controlador PID.

Ao chegar à frequência programada para ligar uma bomba (P1034) e houver certa diferença de pressão entre o setpoint e a pressão do sistema (P1035), é aguardado um tempo (P1036) e efetuado o comando para ligar uma bomba. É verifi-

cada qual a bomba que deverá entrar no sistema. Neste caso, como a bomba 1 (M1) já está ligada e sendo acionada pelo inversor, em sequência a bomba 2 (M2) deveria ser ligada; mas com ela está desabilitada via entrada digital DI3 e a bomba 3 (M3) está habilitada ao funcionamento, é efetuado o comando para ligar a bomba 3 (M3) via saída digital DO3, que conforme esquema elétrico comanda o contator K3.

Após a bomba 3 (M3) ser ligada, a velocidade da bomba 1 (M1) é diminuída para o valor programado como a frequência para desligar uma bomba (P1038). Isto é feito para amenizar oscilações no sistema de controle da pressão. Após isto, o controlador PID volta a assumir o controle de velocidade da bomba 1 (M1) e a mesma acelera novamente. efetuando o comando para ligar uma bomba e verificado qual a bomba que deverá entrar no sistema. Neste caso, como a bomba 1 (M1) já está ligada e sendo acionada pelo inversor e a bomba 3 (M3) já está ligada, em sequência a bomba 2 (M2) deveria ser ligada; mas com ela está desabilitada via entrada digital DI3 e a bomba 4 (M4) está habilitada ao funcionamento, é efetuado o comando para ligar a bomba 4 (M3) via saída digital DO4, que conforme esquema elétrico comanda o contator K4. Após a bomba auxiliar 4 (M4) ser ligada, é efetuado o comando para ligar uma bomba e verificado qual a bomba que deverá entrar no sistema. Neste caso, como a bomba 1 (M1) já está ligada e sendo acionada pelo inversor, e a bomba 3 (M3) e bomba 4 (M4) já estão ligadas, a bomba 2 (M2) deveria ser ligada; mas com ela está desabilitada via entrada digital DI3, o sistema permanece como está e a bomba 1 (M1), que está sendo acionada pelo inversor, chega à velocidade máxima programada.

Como o sistema está necessitando de mais uma bomba, ao ser efetuada a habilitação da bomba 2 (M2) entrada digital DI3, é efetuado imediatamente o comando para ligar a bomba 2 (M2) via saída digital DO2, que conforme esquema elétrico comanda o contator K2.

Após ligar a bomba 2, com todas as bombas do sistema ligadas, a bomba 1 (M1) é acelerada até a velocidade máxima programada e continua a controlar a pressão do sistema.

O sistema começa a sentir uma diminuição de vazão para manter a pressão do sistema constante e começa a diminuir a velocidade da bomba 1 (M1) que está sendo acionada pelo inversor. Ao chegar à frequência programada para desligar uma bomba (P1038) e houver certa diferença de pressão entre o *set point* e a pres-

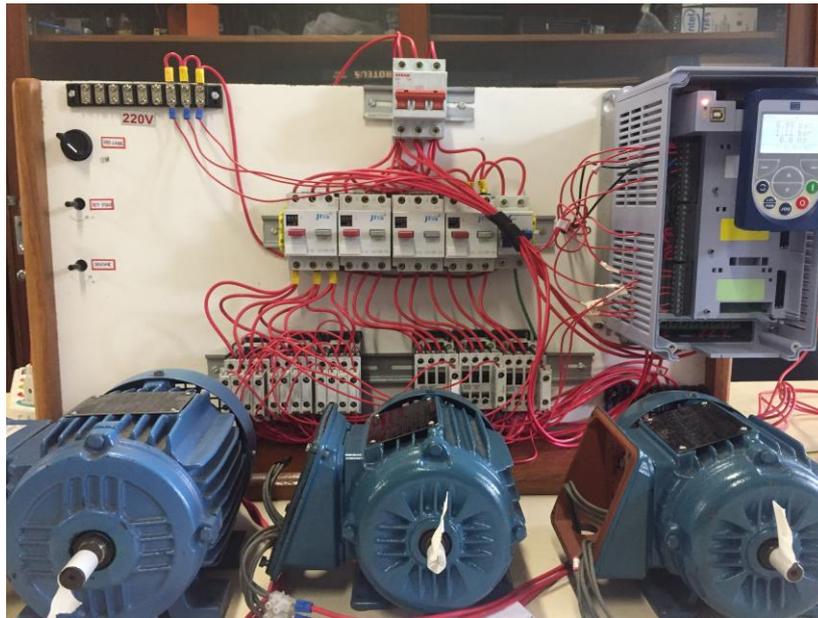
são do sistema (P1039), é aguardado um tempo (P1040) e efetuado o comando para desligar uma bomba. É verificada qual a bomba que deverá ser retirada do sistema. Neste caso, como o modo de acionamento é “Em Sequência”, a bomba 4 (M4) deverá ser desligada; é efetuado o comando para desligar a bomba 4 (M4) via saída digital DO4, que conforme esquema elétrico comanda o contator K4.

Após desligar a bomba 4 (M4), a velocidade da bomba 1 (M1) é aumentada para o valor programado como a frequência para ligar uma bomba (P1036). Isto é feito para amenizar oscilações no sistema de controle da Sistema Multibombas Controle Móvel pressão. Após isto, o controlador PID volta a assumir o controle de velocidade da bomba 1 (M1) e a mesma desacelera novamente efetuado o comando para desligar uma bomba e verificado qual a bomba que deverá ser retirada do sistema. Neste caso, como a bomba 4 (M4) já está desligada, a próxima bomba a ser desligada será a bomba 3 (M3); é efetuado o comando para desligar a bomba 3 (M3) via saída digital DO3, que conforme esquema elétrico comanda o contator K3.

Após desligar a bomba 3 (M3), é efetuado o comando para desligar uma bomba e verificado qual a bomba que deverá ser retirada do sistema. Neste caso, como a bomba 4 (M4) e a bomba 3 (M3) já estão desligadas, a próxima bomba a ser desligada será a bomba 2 (M2); é efetuado o comando para desligar a bomba 2 (M2) via saída digital DO2, que conforme esquema elétrico comanda o contator K2. Após desligar a bomba 2 (M2), Ao chegar à frequência programada para modo dormir (P1030), é aguardado um tempo (P1031) e como a bomba 1 (M1) que está sendo acionada pelo inversor permanece com velocidade abaixo da frequência para ativar o modo dormir, o mesmo (modo dormir) é ativado. Com o modo dormir ativo, a bomba 1 (M1), que está sendo acionada pelo inversor, é desligada; após 500ms (valor de tempo fixo para esta aplicação) é efetuado o comando para desligar a saída digital DO1, que conforme esquema elétrico comanda o contato K1. Mas o sistema permanece habilitado, sendo feito então uma supervisão da pressão do sistema.

Caso a pressão fique abaixo do desvio de pressão (P1032) e durante um tempo (P1033), o modo despertar é ativo e o sistema volta a ligar e desligar as bombas conforme a necessidade da pressão do sistema. A figura a seguir é a figura da maquete montada no laboratório de automação do centro de instrução, Figura 8.

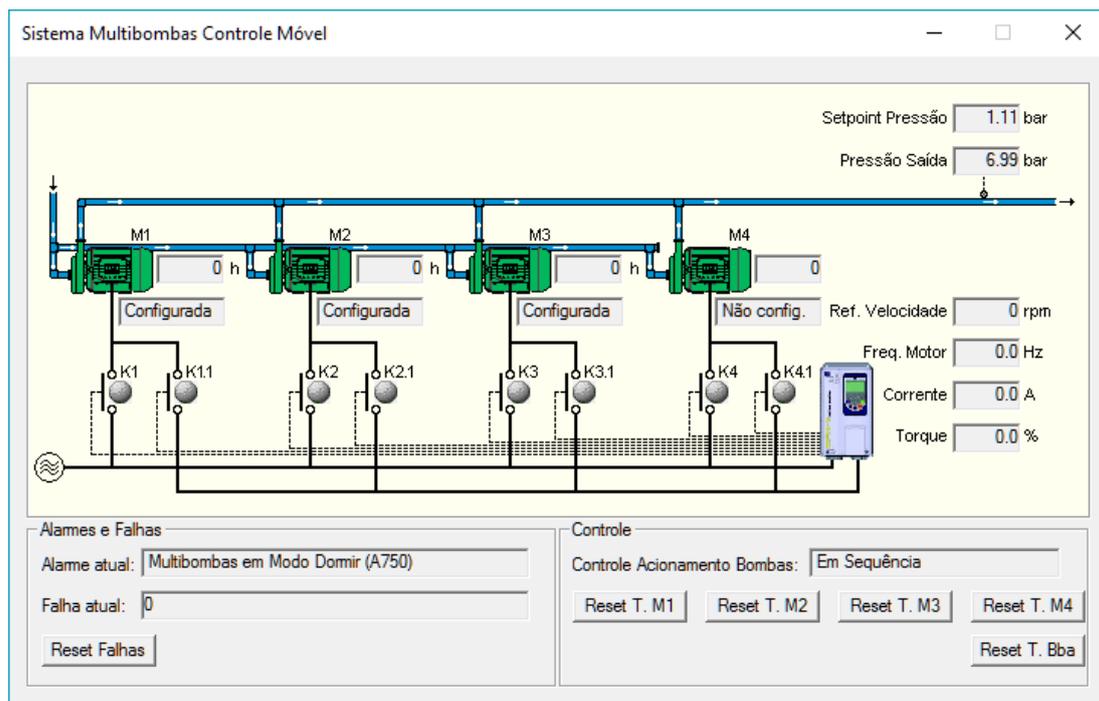
Figura 9: Maquete do Sistema Multibombas.



Fonte: Arquivo Pessoal .

5.7 Programação CFW 11

Figura 10: Ajuste de Pressão e Set-Point.



Fonte: Tela do Programa WLP.⁸

⁸ Disponível em: <https://esrmotors.com/Literature/WEG>. Acesso em 28/10/2020.

A programação feita no CLP é realizada em diagrama de blocos e posteriormente alguns parâmetros podem ser ajustados pelo computador como set-point, pressão de saída como mostra a Figura 10.

Na configuração de estado das bombas é mostrado se as mesmas estão habilitadas e se há algum alarme no sistema. O alarme mostrado na figura na página seguinte refere-se ao modo dormir que é ativado quando o valor medido está acima do set-point, figura 11.

Figura 11: Estados das Bombas.



Fonte: Tela do Programa WLP.⁹

⁹ Disponível em: <https://esrmotors.com/Literature/WEG>. Acesso em 28/10/2020.

Na página estado de comando no computador é possível definir quais são as entradas e saídas que estão sendo utilizadas no inversor, e se as mesmas estão habilitadas, e qual a utilização de cada uma, Figura 12.

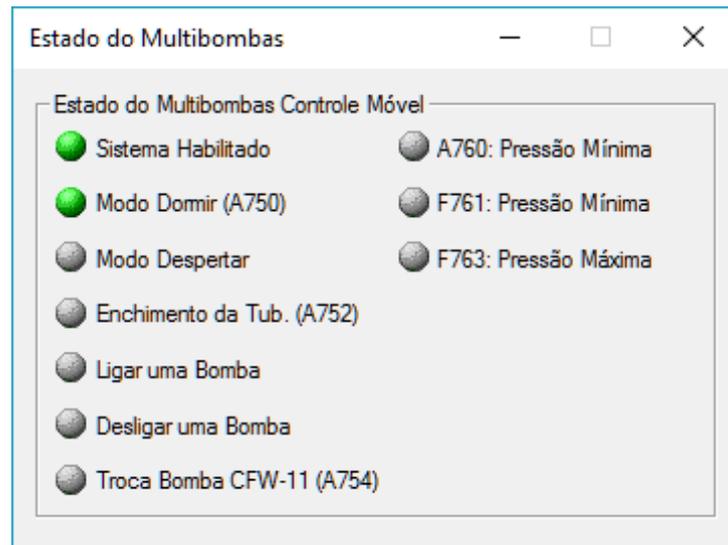
Figura 12: Estado das Entradas e Saídas.



Fonte: Tela do Programa WLP.¹⁰

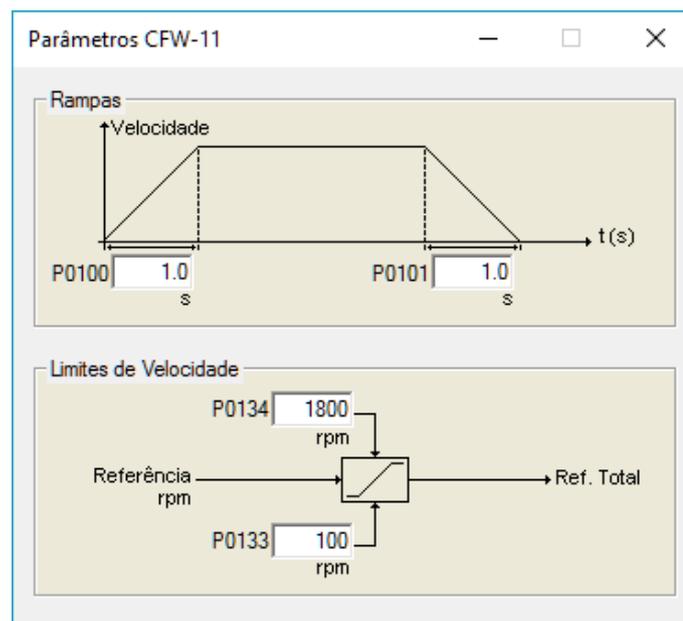
Na página de configuração de estado da Multibombas é possível definir se o sistema está habilitado para funcionamento, se esta no modo dormir que é quando o sensor esta medindo acima do set-point ou se o mesmo esta em pressão máxima ou minima. Figura 13.

¹⁰ Disponível em: <https://esrmotors.com/Literature/WEG>. Acesso em 28/10/2020.

Figura 13: Estado Multibombas.

Fonte: Tela do Programa WLP.¹¹

Na página de parametrização é possível definir através do parametro P0100 qual o tempo de aceleração do motor que é controlada pelo inversor e o tempo de desaceleração do mesmo no parametro P101, como também definir o limite máximo e o mínimo de velocidade do motor elétrico, Figura 14.

Figura 14: Parametros CFW11.

Fonte: Tela do Programa WLP.¹²

O modo dormir é utilizado quando o valor medido esta maior que o set point que ele possui no parametro P0005, A frequência do Motor para ativar o modo

¹¹ Disponível em: <https://esrmotors.com/Literature/WEG>. Acesso em 28/10/2020.

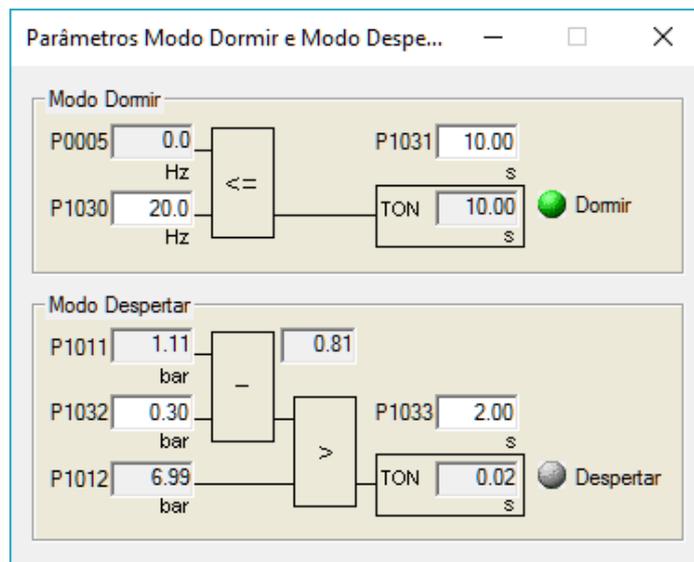
¹² Disponível em: <https://esrmotors.com/Literature/WEG>. Acesso em 28/10/2020.

dormir(p1030), o tempo para ativar o modo dormir(P1031), e defini o desvio de pressão para o sistema despertar (P1032), e o parâmetro P(1033) é o tempo para o sistema despertar.

O parâmetro P1011 é o ajuste de pressão mínima pra despertar.

O parâmetro P1011 funciona da seguinte forma, ele compara o parâmetro P1011 com P1032 e se for maior que 1012 liga o despertar que é o 1033, Figura 15.

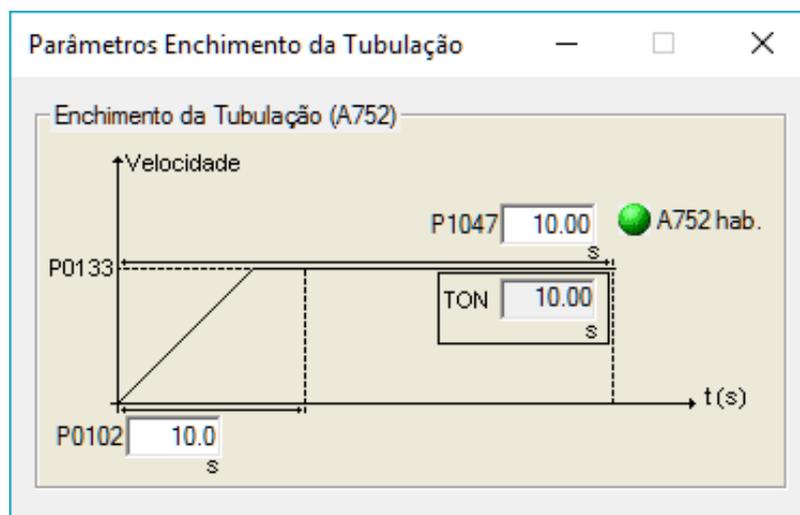
Figura 15: Parâmetros modo Dormir.



Fonte: Tela do Programa WLP.¹³

Nos página de parâmentros de enchimento da tubulação é possível definir o limite mínimo de referência de velocidade(P0133) e o tempo que ele fica nessa frequência, para evitar que a bomba parta a vazio, Figura 16.

Figura 16: Enchimento da Tubulação.

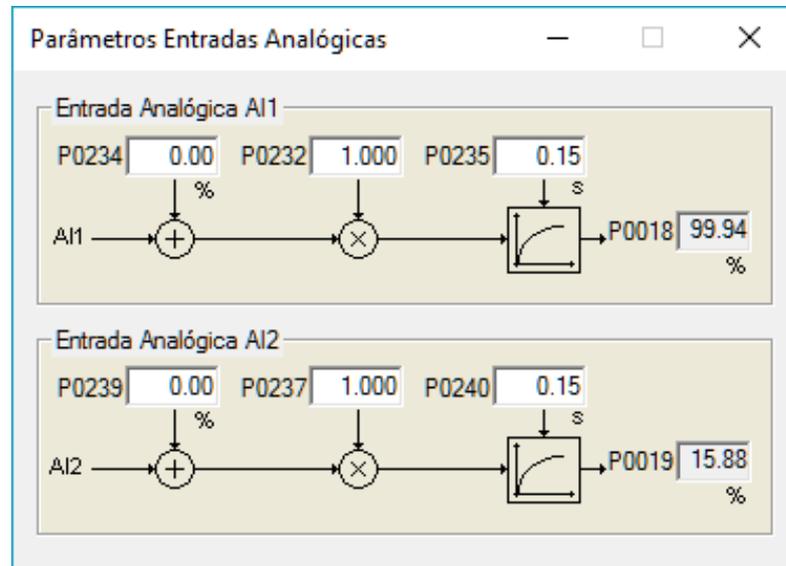


Fonte:Tela do Programa WLP.¹⁴

¹³ Disponível em: <https://esrmotors.com/Literature/WEG>. Acesso em 01/11/2020.

No parâmetro de entradas Analógicas é possível definir o Off-set de entrada (P0234, P0239), o ganho dessa entrada (P0232, P0237), o filtro da entrada (P0235, P0240) e monitorar o parâmetro na opção (P0018 e P0019), Figura 17.

Figura 17: Parâmetros de Entradas Analógicas.



Fonte: Tela do Programa WLP.¹⁵

6. RESULTADOS:

Os resultados obtidos nesse projeto trazem mais economia aos componentes elétricos e eletrônicos além do melhor funcionamento do sistema.

O sistema com multibombas funcionando em automático é menos turbulento e mais robusto a interpeles marítimas.

7. CONCLUSÃO:

Esse trabalho mostrou maior confiabilidade, economia de energia, redução de oscilações na rede devido a utilização do inversor de frequência, que minimizar oscilações tanto na rede elétrica quanto na hidráulica, reduz desgastes mecânicos pois, a bomba não fica ligado o tempo toda na sua frequência máxima.

¹⁴ Disponível em: <https://esrmotors.com/Literature/WEG>. Acesso em 01/11/2020.

¹⁵ Disponível em: <https://esrmotors.com/Literature/WEG>. Acesso em 01/11/2020.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ✓ Informações sobre transmissores de pressão. Disponível em:
<http://www.smar.com/brasil2/products/ld301.asp>. Acesso em: 20/10/2020.
- ✓ Informações sobre inversores de frequência. Disponível em:
<http://catalogo.weg.com.br/files/wegnet/WEG-cfw-11-inversor-de-frequencia-0899.5180-3.3x-manual-portugues-br.pdf>. Acesso em: 25/10/2020.
- ✓ Informações sobre motores trifásicos. Disponível em:
<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-guia-de-especificacao-de-motores-eletricos-50032749-manual-portugues-br.pdf>. Acesso em 25/10/2020
- ✓ CAMPOS, Mario Cesar M. Massa; TEIXEIRA, Herbert Campos Goncalves. **Controles Típicos de Equipamentos e Processos Industriais**, 1ª ed.
- ✓ THOMAZINI, Daniel e Albuquerque, Pedro Urbano Braga. **Sensores Industriais**: Fundamentos. 8ª ed.