

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO

Curso de Engenharia Elétrica

**FÁBIO CASTELLETTO DELFORNO**

**TRANSFERÊNCIA SÍNCRONA DE BOMBAS SEM  
CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL**

Itatiba  
2012

**FÁBIO CASTELLETTO DELFORNO – R.A. 002200800534**

**TRANSFERÊNCIA SÍNCRONA DE BOMBAS SEM  
CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL**

Monografia apresentada à Banca Examinadora do Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Elétrica para análise e aprovação. Orientador: Paulo Eduardo Silveira, Mestre.

Itatiba  
2012

**FÁBIO CASTELLETTO DELFORNO**

**TRANSFERÊNCIA SÍNCRONA DE BOMBAS SEM CONTROLADOR  
LÓGICO PROGRAMÁVEL**

Monografia aprovada no Programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade São Francisco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

**Data da aprovação:** \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**Banca Examinadora:**

---

Profº Paulo Eduardo Silveira (Orientador)

Universidade São Francisco

---

Profº Maurício Fabbri (Examinador)

Universidade São Francisco

---

Cristiano Alexandre A. Antonio da Silva (Examinador)

Convidado Externo

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, Norberto e Adriana, por sempre me dar suporte e acreditar em meu potencial, motivando e ajudando a superar desafios.

Ao meu orientador, Paulo Silveira a quem contribui de forma efetiva em meu trabalho, passando sugestões e ajudando em dificuldades encontradas no decorrer da pesquisa e elaboração.

Ao colega de trabalho Cristiano Silva, agradeço por ter disponibilizado seu tempo em me ajudar com seu conhecimento e experiência no desenvolvimento e montagem deste trabalho.

Aos meus amigos Rafael Peres, Pedro Fazio, que desde o início do curso, me apoiaram e ajudaram a passar por testes e dificuldades na vida acadêmica.

Principalmente agradeço a Deus por me dar a chance de superar esta empreitada e junto com todos citados acima conquistar esta importante fase em minha vida.

DELFORNO, Fábio Castelletto. Transferência Síncrona de Bombas sem Controlador Lógico Programável. Itatiba, 2012. no f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade São Francisco, Itatiba, 2012.

## RESUMO

O avanço na extração de petróleo e a demanda por mais usinas no Brasil e demais países necessita da utilização de um equipamento chamado Inversor de Frequência, para a operação de motores e equipamentos de forma mais eficiente. Com a utilização de um sistema chamado Transferência Síncrona este problema é resolvido de forma eficiente e econômica em relação ao sistema comum. Na Transferência Síncrona é possível controlar vários motores conforme a demanda utilizando apenas um Inversor de Média Tensão e um sistema de CLP, que é responsável por controlar a entrada e saída dos motores do sistema. Neste trabalho foi desenvolvida uma opção tão viável quanto a aplicação comum de Transferência Síncrona, onde foi eliminado o uso do CLP, reduzindo custos e ocupação física do equipamento. A operação que o CLP executava na aplicação das Bombas passou a ser feita pelo próprio Drive, por meio de uma lógica interna chamada SOP, já utilizada para executar determinados comandos e leitura de falhas do *drive*. Neste trabalho foi proposta a montagem de , uma bancada de teste onde foi possível simular uma Transferência Síncrona através da programação interna do Inversor de Média Tensão que realiza a leitura de pressão de uma aplicação e a título de teste utiliza contadores no lugar das Bombas usadas em aplicações reais. Para realizar a lógica foi necessário mudar toda a programação para adaptar o sistema aos materiais utilizados para o teste. Algumas variáveis utilizadas na programação da Transferência Síncrona não foram aplicadas pois seria necessário o sistema completo. O desenvolvimento da pesquisa, elaboração da lógica, montagem e resultados serão apresentados ao longo deste trabalho.

**Palavras-chave:** Transferência Síncrona, Inversor de Média Tensão, bancada de teste.

## **ABSTRACT**

The increase of the oil extraction and the demand for more power plants in Brazil and other countries require the use of a device called Frequency Inverter for the operation of engines and equipment more efficiently. With the use of a system called Synchronous Transfer this problem is solved efficiently and economically in relation to the common system. In Synchronous Transfer you can trigger multiple engines in accordance with demand using only a Medium Voltage Inverter System and a PLC, which is responsible for controlling the input and output of the engine system. In this work a more viable option than the common application of Synchronous Transfer has been developed, by which the use of the CLP was eliminated, reducing costs and physical space occupied by the equipment. The operation performed in the CLP application of the pumps has to be made by the drive by means of an internal logic called SOP, already used to execute certain commands and the reading of drive failure. This work has been proposed to mount a test bench where it was possible to simulate a synchronous transfer through the internal programming of the medium voltage drive that performs the reading of an application pressure and utilizes a test contactor rather than pumps used in actual applications. To perform the logic in SOP, all programming was changed according to the availability of tests performed and materials. We have not applied all the variables that make up the logic of the Synchronous Transfer, since it would be necessary to use a complete system. The development of research, elaboration of logic, assembly and results will be presented throughout this work.

**Keywords:** Synchronous Transfer, Medium Voltage Drive, test bench.

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

CLP	Controlador de Lógica Programável
SOP	Linguagem de Programação do Inversor
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
THD	Total Harmonic Distortion
NXG	Next Generation
VFD	Variable Frequency Drive
RPM	Rotações por minuto
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de acionamento do Inversor.....	14
Figura 2.1 - Célula de potencia – Retificador, Elo CC e Inversor.....	16
Figura 2.2 - Inversor de Média Tensão – Siemens.....	17
Figura 2.3 - Formas de ondas de saída do Inversor.....	18
Figura 3.1 - Representação Gráfica de uma “Transferência para cima” com demanda contínua.....	19
Figura 3.2 - Representação gráfica de uma amostra de “Transferência para baixo” sem demanda.....	20
Figura 4.1 - Sistema WAGO de E/S.....	22
Figura 4.2 - Contator Siemens 24Vcc.....	23
Figura 4.3 - Chassi de controle mestre.....	24
Figura 4.4 - A interface de teclado e visor da série Perfect Harmony.....	25
Figura 4.5 - Software ASIRobicon - Tool Suite.....	26
Figura 4.6 - Linguagem SOP.....	28
Figura 4.7 - Diagrama de Potência.....	29
Figura 4.8 - Representação Gráfica Teste de “Transferência para cima”.....	30
Figura 4.9 - Representação Gráfica Teste de “Transferência para baixo”.....	31
Figura 4.10 - Montagem Final da Bancada.....	32

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Estados de controle dos motores em um exemplo de "Transferência para cima" ...	19
Tabela 2: Estados de controle dos motores em um exemplo de "Transferência para baixo" ...	21
Tabela 3: Código de cores do Módulo Wago de E/S.....	23

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 .....	14
Equação 2 .....	14
Equação 3 .....	15
Equação 4 .....	15
Equação 5 .....	15

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>13</b>
2.1 Inversor de Frequência de Média Tensão.....	13
2.2 Inversores Multiníveis.....	13
2.3 Características do Inversor de Frequência Perfect Harmony – Siemens .....	16
2.4 Transferência Síncrona.....	18
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>22</b>
3.1 Software de Controle (SOP).....	27
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>30</b>
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>33</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>34</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>35</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O projeto é baseado em uma aplicação de Inversores de Média Tensão chamada Transferência Síncrona com bombas hidráulicas. O projeto consiste em um sistema onde são utilizados vários motores para retirar petróleo ou controlar níveis de água em um reservatório.

Atualmente é utilizado um CLP para fazer o sistema de entrada e saída das bombas, enquanto o Inversor de Média Tensão realiza o sincronismo de fase e frequência com a rede, porem é proposto neste trabalho a eliminação do CLP do sistema e assim a lógica que havia no Controlador será atribuída junto a programação interna do Inversor chamada SOP.

O inversor possui uma programação interna que realiza varias operações no *drive*, a partir das operações lógicas deste programa será possível realizar um projeto semelhante ao utilizado no projeto com CLP, porem será necessário refazer toda a lógica para adaptação. Todos os comandos efetuados pelo SOP tem comunicação com um módulo WAGO, via cabo serial. Este módulo possui entradas e saídas digitais e analógicas, que serão responsáveis pela leitura das pressões das bombas e acionamento destas por relés que são acionados conforme a demanda.

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema de Transferência Síncrona de duas ou mais bombas hidráulicas, utilizando apenas um Inversor de Média Tensão.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Inversor de Frequência de Média Tensão**

O termo Inversor de Frequência, também chamado Acionador (ou *drive* termo utilizado no exterior). Os acionadores possuem como característica fundamental o acionamento de máquinas, divididos em estáticos ou de partida. Na categoria estáticos encontramos os conversores de frequência (acionamento de frequência ajustável), que utiliza o método de variar a frequência da tensão elétrica para se dar a partida e variar a velocidade de motores. Normalmente um conversor de Frequência é composto por três estruturas: um retificador, um elemento armazenador de energia e um inversor. No caso da aplicação deste trabalho a estrutura será de um conversor CA-CC-CA, o qual normalmente é utilizado em sistemas para comercialização da energia elétrica, é possível a inserção de filtros CC entre a retificação e a Inversão. Devido ao fato de uma parte do acionamento ser inversor, com o passar das aplicações deste equipamento, ficou popularizado como Inversor de frequência.

### **2.2 Inversores Multiníveis**

Segundo GRIPP Jr, 2005 vêm crescendo a demanda de acionamento em plataformas de petróleo e a necessidade do aumento de eficiência na geração de energia, as aplicações de inversores para alta potencia estão cada vez mais presentes.

Porem os conversores que possuem chaves com altas frequências, não trabalham com altas tensões (acima de 1kV), apenas com aplicações de baixa tensão. Entretanto para eliminar este problema há a opção de se usar um Conversor de Multiníveis.

O Inversor Multinível tem a capacidade de sintetizar uma forma de onda com vários níveis de tensão e/ou corrente. Nessas situações a THD diminui a medida que o numero de níveis aumenta, resultando em uma forma de onda de saída muito próxima a senoidal, entretanto esses dispositivos aumentam a complexidade do sistema.

Em muitos processos industriais há a necessidade se ter o controle de velocidade de um determinado equipamento, para que se tenha no final um produto com maior qualidade, tendo alguma economia de energia, pois as maquinas trabalhariam conforme a demanda requerida pelo sistema. Os conversores podem ter a função de suavizar a partida de motores, dispensando a utilização de soft-startes, chaves estrela triângulo, compensadoras e tem o controle de corrente durante a partida e por todo funcionamento do motor.

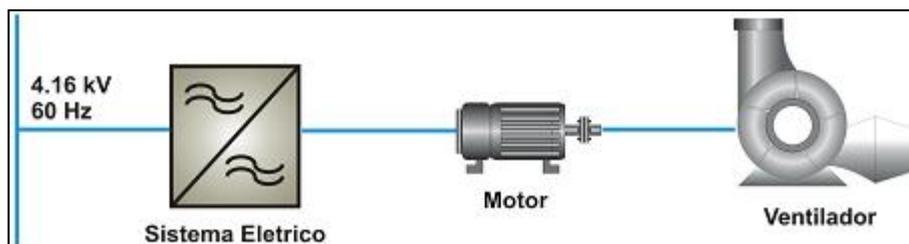


Figura 1: Exemplo de acionamento do Inversor. Fonte: ESTUDO DAS TECNOLOGIAS E APLICAÇÕES DOS INVERSORES DE FREQUÊNCIA DE MÉDIA TENSÃO (2005)

A figura demonstra um exemplo de aplicação de conversor de frequência, onde a tensão e frequência da rede são fixas, e o motor aciona o equipamento, recebendo uma tensão ou frequência ajustável, resultando em um controle da velocidade. A partir de uma visão geral o funcionamento pode ser simples porem é necessários vários cálculos para ter o melhor controle de velocidade.

$$N_s = \frac{120 f}{p} \quad \text{Equação 1}$$

$$s = \frac{N_s - N_m}{N_s} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$N_m$  = velocidade de rotação do motor em r.p.m. (rotações por minuto).

$N_s$  = velocidade de rotação síncrona em r.p.m. (rotações por minuto).

$s$  = fator de escorregamento.

$f$  = frequência da rede elétrica em Hertz (geralmente 60 Hz).

$p$  = número de polos do motor (2, 4, 6, e assim por diante).

Conforme GRIPP Jr, 2005, Toda máquina de indução, para seu funcionamento, deve possuir uma diferença entre as velocidades do campo magnético do estator e do seu rotor, ou seja, um 1/4 escorregamento. Caso não haja esse escorregamento não haverá nenhuma força eletromotriz induzida no rotor, pois o fluxo de corrente neste seria zero.

Através da Equação 1 pode-se calcular a velocidade síncrona de um motor de corrente alternada. No caso do motor de indução, essa velocidade significa a velocidade do campo magnético do estator. Então se passa à Equação 2, que com o valor do escorregamento (que vem nos dados do motor) calcula a velocidade do eixo.

Como a velocidade do motor está diretamente relacionada com a velocidade síncrona ( $N_s$ ), é preciso variar a frequência, que é diretamente proporcional à  $N_s$ . E é exatamente a frequência  $f$  que o inversor mudará, fazendo com que a velocidade do motor varie.

Já a variação da tensão na saída do inversor está relacionada com o fluxo magnético do motor. De acordo com as equações seguintes pode-se notar que a frequência é diretamente proporcional à potência, que por sua vez é diretamente proporcional à corrente do motor. Como, na maioria das vezes, o objetivo é manter o torque constante, é preciso que a tensão também seja ajustada para se conseguir tais resultados:

$$P = V \times I \times \cos\phi \quad \text{Equação 3}$$

$$P = T \times \omega \rightarrow (\omega = 2\pi \cdot f) \quad \text{Equação 4}$$

$$T = k \times \phi \times I_r \times \cos\phi \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

$P$  = Potência.

$V$  = Tensão.

$I_r$  = Corrente do rotor.

$T$  = Torque no eixo.

$\Phi$  = Fluxo magnético.

$\phi$  = Ângulo de defasamento.

$K_T$  = Constante de torque.

$w$  = Velocidade angular.

Tendo em vista funcionamento como um todo de um inversor de frequência, é mostrado a seguir (Figura 2), sua estrutura física e tecnológica. Basicamente os inversores consistem de três estágios: um retificador de entrada para converter a tensão de corrente alternada (CA) em corrente contínua (CC), um Elo CC para armazenar e filtrar o nível de tensão ou corrente contínua retificada, e um inversor na saída para converter a forma de onda contínua em alternada novamente, porém com níveis de tensão e frequência ajustáveis.

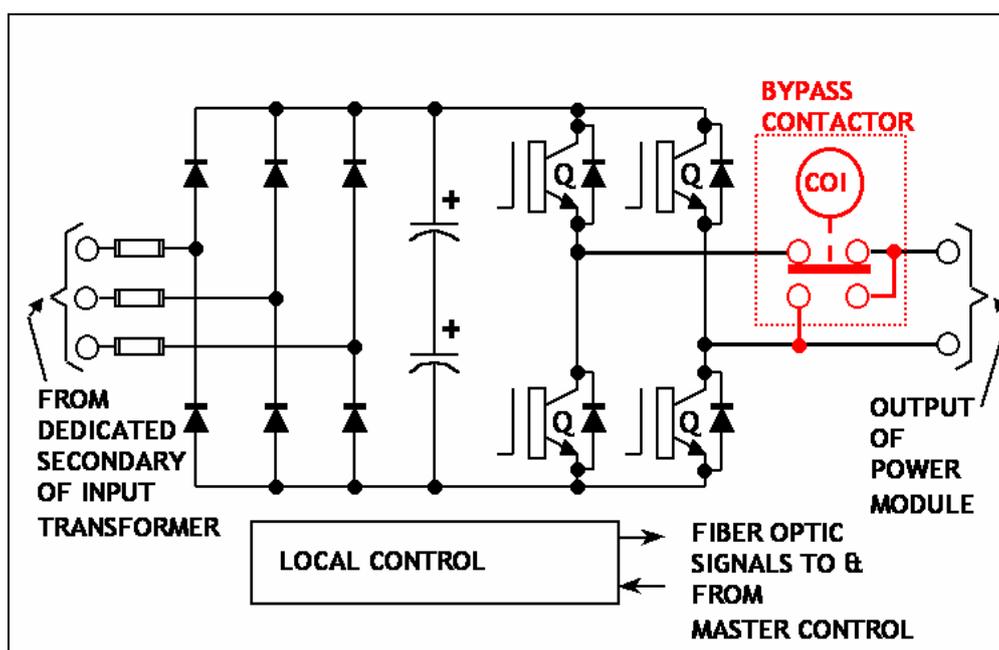


Figura 2.1: Célula de potência – Retificador, Elo CC e Inversor. Fonte: Perfect Harmony Medium-Voltage Variable Frequency Drives - Engineering Manual Version 3.1 (2011)

### 2.3 Características do Inversor de Frequência Perfect Harmony – Siemens

Perfect Harmony é uma série de acionamentos de motores CA de frequência variável por modulação da largura de pulso projetada e fabricada pela ROBICON. O acionamento Perfect Harmony atende às seguintes requisições de qualidade de energia: Fornece uma entrada de alimentação limpa, proporciona um alto fator de potência e uma saída senoidal quase perfeita.



Figura 2.2: Inversor de Média Tensão – Siemens. Fonte: Perfect Harmony Medium-Voltage Variable Frequency *Drives* - Engineering Manual Version 3.1 (2011)

A série de acionamentos Perfect Harmony atende às exigências mais rigorosas da IEEE 519-1992 para distorção harmônica de tensão e corrente, mesmo que a capacidade da fonte não seja maior que a potência nominal do acionamento. Esta série de acionamentos protege outros equipamentos conectados na mesma linha (tais como computadores, telefones, e reatores de iluminação) contra perturbações de harmônicas. O Perfect Harmony também previne contra a “linha cruzada” com outros acionamentos de velocidade variável. A entrada de alimentação limpa elimina a necessidade de demoradas análises de harmônicas/ressonância e custosos filtros de harmônicas. A Figura 2.3 ilustra formas de onda de entrada típicas para as unidades de 6 pulsos, 12 pulsos e da série Perfect Harmony.

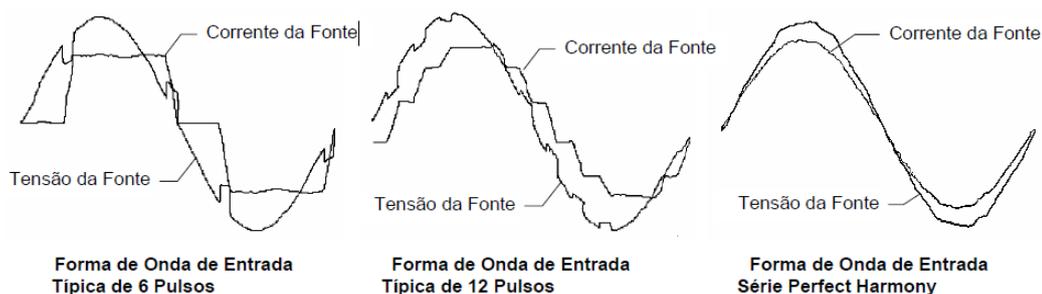


Figura 2.3: Formas de ondas de saída do Inversor. Fonte:Série Perfect Harmony – Manual de Instalação (2004).

## 2.4 Transferência Síncrona

Os acionamentos Perfect Harmony podem ser usados para acionar diversos motores por meio da tecnologia de transferência síncrona. Tais aplicações são usadas para partir proporcionalmente uma série de motores, sendo um motor de cada vez.

Estes acionamentos possuem duas operações, a “transferência para cima” e “transferência para baixo”.

O termo transferência para cima é usado para transferir a alimentação de um motor do acionamento para a rede elétrica e depois desacoplar o motor do acionamento. Esta operação é realizada fazendo-se que o motor acelere até a frequência nominal de maneira a igualar a frequência de linha. Isto é conseguido usando-se a frequência da linha da entrada como referência de velocidade. Quando a frequência é igualada, deve se fazer o mesmo procedimento com a fase, com um adiantamento pré-determinado, para assegurar que a potência seja fornecida pelo acionamento enquanto o contator de linha esta fechado. Quando a sincronização estiver completa, o contator do acionamento é aberto e o acionamento para por inércia para finalizar a transição.

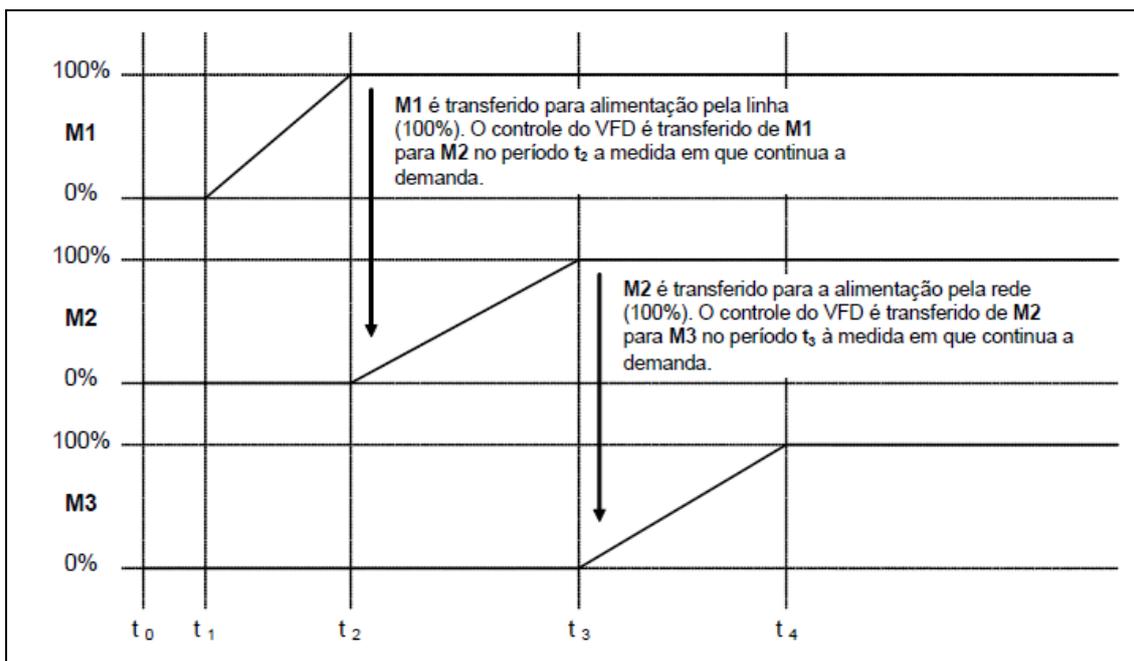


Figura 3.1: Representação Gráfica de uma Transferência para Cima com demanda contínua.  
 Fonte: Manual de Inicialização de Tópicos Avançados para série Perfect Harmony (2004).

Tabela 1: Estados de controle dos motores em um exemplo de "Transferência para cima"

Tempo	M1	M2	M3
$t_0$	VFD Desligado (0%)	Desligado (0%)	Desligado (0%)
$t_1$	VFD (0-100%)	Desligado (0%)	Desligado (0%)
$t_2$	Linha (100%)	VFD (0-100%)	Desligado (0%)
$t_3$	Linha (100%)	Linha (100%)	VFD (0-100%)
$t_4$	Linha (100%)	Linha (100%)	VFD (100%)

Fonte: Manual de Inicialização de Tópicos Avançados para série Perfect Harmony (2004).

Estados de uma "transferência para cima": Início da transferência, Esperando pelo bloqueio da frequência, esperando pelo bloqueio de fase, esperando pelo fechamento do contator e transferência completa.

O termo “transferência para baixo” é utilizado para sincronizar o acionamento a um motor alimentado pela linha, desacoplar o motor da linha e transferi-lo da linha para o acionamento. Com o Controle NXG, o acionamento controla a tensão de saída antes de travar a frequência do motor via algoritmo de partida com motor girando (*Spinning Load*). Para que o acionamento efetue tal sincronismo, requer-se que o contator esteja fechado no início da sequência de transferência para baixo. O acionamento é capaz de sincronizar a frequência em alguns milissegundos. O acionamento então aumenta a corrente de torque antes de indicar que esta pronto para aceitar o motor (e abrir o contator de linha).

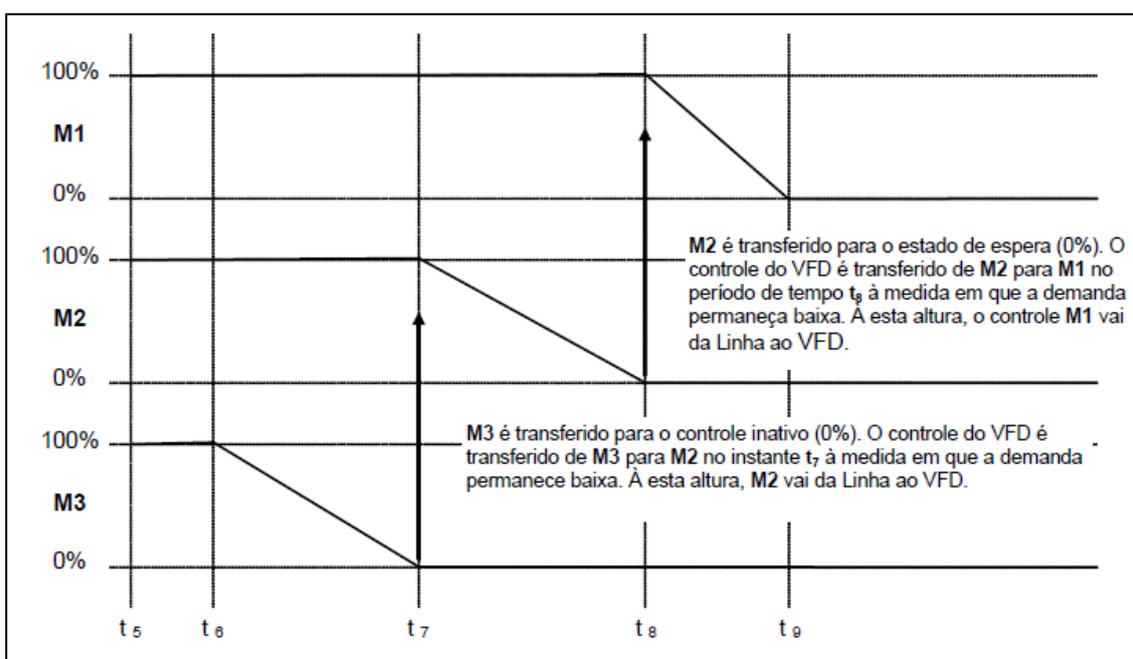


Figura 3.2: Representação gráfica de uma amostra de “Transferência para baixo” sem demanda. Fonte: Manual de Inicialização de Tópicos Avançados para série Perfect Harmony

Tabela 2: Estados de controle dos motores em um exemplo de “Transferência para baixo”

<b>Tempo</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
$t_5$	Linha (100%)	Linha (100%)	VFD (100%)
$t_6$	Linha (100%)	Linha (100%)	VFD (100-0%)
$t_7$	Linha (100%)	VFD (100-0%)	Desligado (0%)
$t_8$	VFD (100-0%)	Desligado (0%)	Desligado (0%)
$t_9$	VFD desligado (0%)	Desligado (0%)	Desligado (0%)

Fonte: Manual de Inicialização de Tópicos Avançados para série Perfect Harmony (2004).

Estados de uma “transferência para baixo”: Início da transferência, Esperando pelo bloqueio da frequência, esperando pelo fluxo nominal no motor, esperando pelo fechamento do contator e transferência completa.

### 3. METODOLOGIA

Para a simulação de uma Transferência Síncrona foi proposto à montagem de uma bancada onde à título de teste foram montados contatores para substituir as bombas hidráulicas no sistema de Transferência.

Para o controle e programação dos acionamentos foram utilizados equipamentos que já integram na lista de materiais em uma montagem do Inversor de Média Tensão – Perfect Harmony, exceto para a simulação das bombas, o qual será utilizado contatores, pois será inviável fazer esta demonstração acionando uma bomba hidráulica, a fim de cumprir o propósito deste trabalho, que é a redução de custo do sistema final.

Segue abaixo a lista dos materiais necessários para a realização do Projeto:

- 1 Módulo WAGO – 24Vcc (4 entradas analógicas, 2 saídas analógicas, 7 entradas digitais e 7 saídas digitais), comunicação via cabo serial. Equipamento responsável por fazer os acionamentos que eram feitos por um CLP em um sistema convencional.

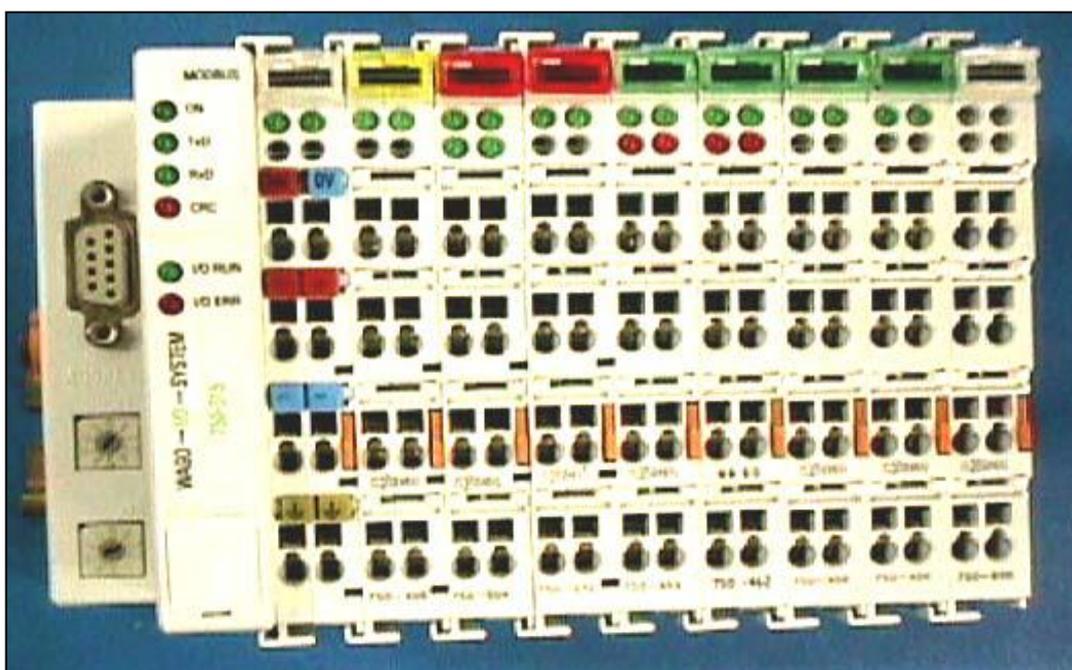


Figura 4.1: Sistema WAGO de E/S. Fonte: Série Perfect Harmony-Manual de Inicialização de Tópicos Avançados (2004).

Tabela 3: Código de cores do Módulo WAGO de E/S.

Função do Módulo	Cor
Saída Digital	Vermelho
Entrada Digital	Amarelo
Entrada Analógica	Verde
Saída Analógica	Azul
Módulos Especiais	Sem cor

Fonte: Manual de Inicialização de Tópicos Avançados para série Perfect Harmony (2004).

A comunicação entre o Módulo WAGO e o DCR é feito através de uma rede Modbus.

- 6 Contatores Siemens – Tensão da bobina 24Vcc, 12A. Será responsável por simular as Bombas Hidráulicas e também para fazer a Transferência para “baixo” e Transferência para “cima” do sistema. Os contatores serão acionados a partir do acionamento das saídas digitais do WAGO.



Figura 4.3: Contator Siemens 24Vcc

- 1 DCR/Fonte – Entrada de 110 Vca e saída (5Vcc / 15Vcc / 24Vcc). O DCR é Controle Principal no Inversor de Média Tensão, e recebe energia de uma fonte de energia individual. Possui uma placa microprocessadora responsável pela operação de todas outras placas da programação em SOP do *drive*.

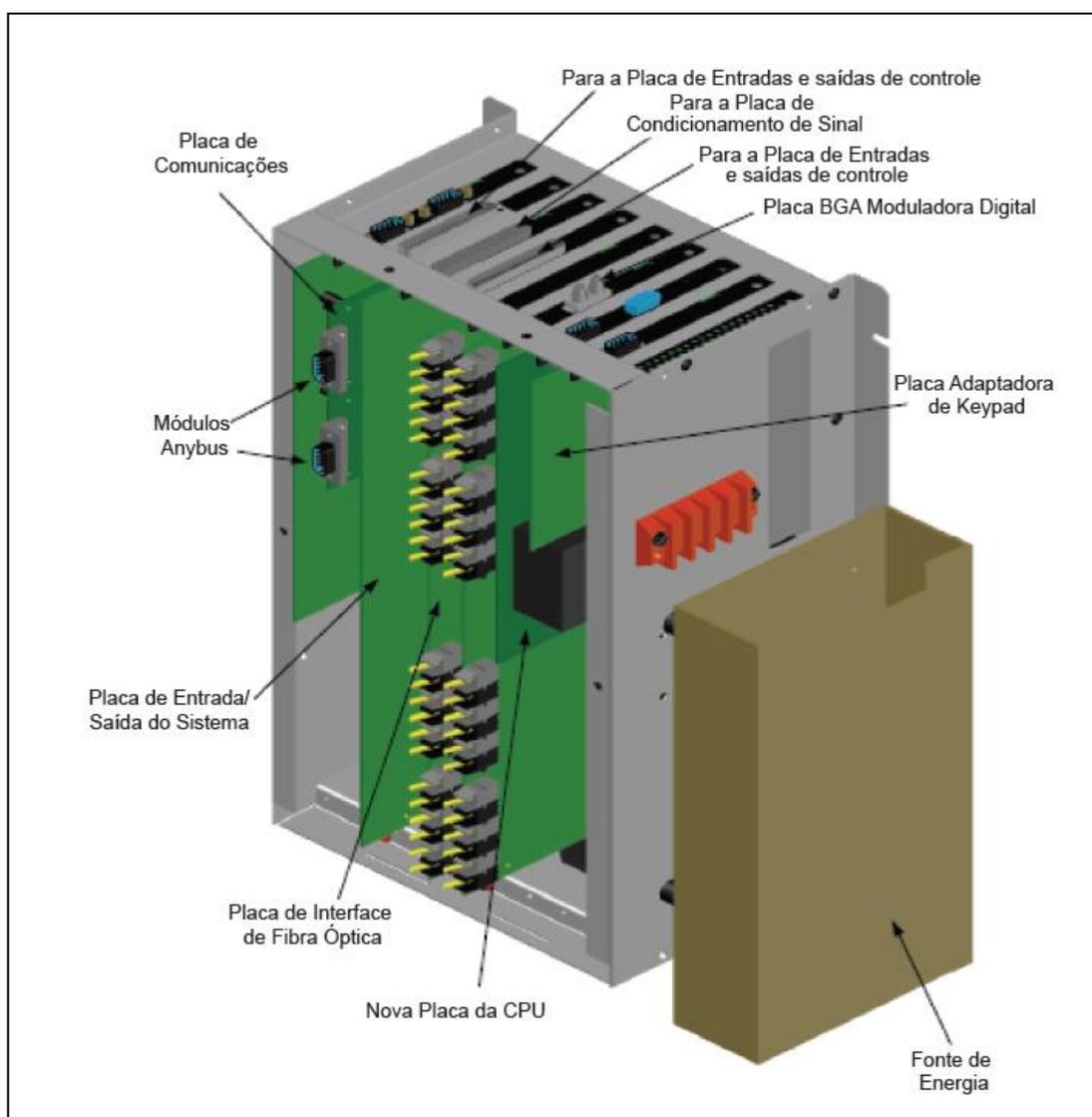


Figura 4.2: Chassi de controle mestre. Fonte: Manual de Controle NXG (2007).

Para a montagem da bancada de teste só foi utilizada a Placa da CPU, que contem o cartão de memória com a lógica SOP, a Placa Adaptadora de Keypad que enviará e receberá as informações do Keypad como falhas ocorridas e leitura de parâmetros. A fonte de

Alimentação possui saídas de 5Vdc/15Vdc/24Vdc que alimentará tanto o circuito do DCR quanto o módulo WAGO.

- 1 Keypad Robicon – Teclado usado para fazer o controle dos parâmetros do Inversor Perfect Harmony. No projeto poderá iniciar ou desligar o sistema, podendo exibir na tela mensagens caso haja falha nos equipamentos.

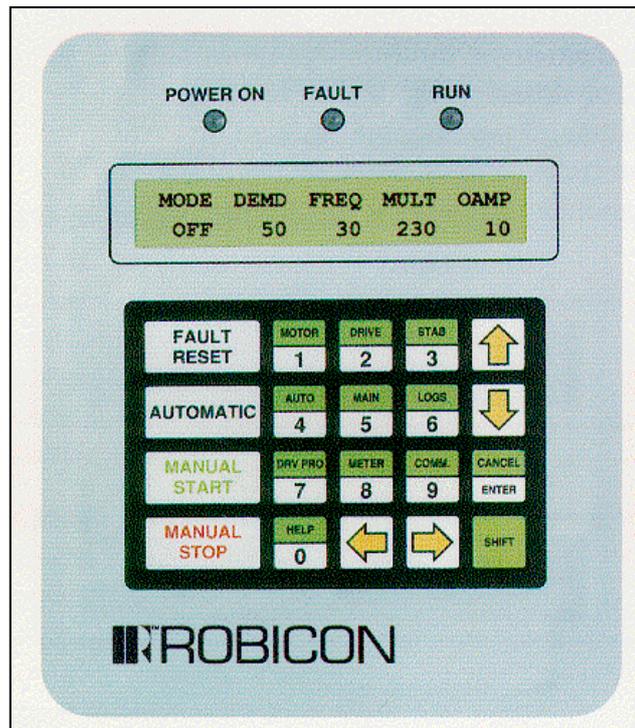


Figura 4.4: A interface de teclado e visor da série Perfect Harmony. Fonte: Manual de Inicialização de Tópicos Avançados para série Perfect Harmony (2004).

- 1 Potenciômetro de 10kΩ. Usado para fazer a simulação de elevação e diminuição da pressão do sistema.
- 1 Cabo com conexão serial
- 1 cabo de rede

Além destes componentes será utilizada a programação SOP, dedicada para o controle e monitoramento dos Inversores Perfect Harmony. Como o projeto consiste na eliminação do CLP do sistema, o SOP será encarregado de exercer tanto a função

programada para um acionamento normal do inversor quanto para os comandos de transferência síncrona.

O programa será carregado no cartão flash do DCR e através da placa de comunicação deste poderá mandar os comandos para o módulo WAGO de E/S. A programação SOP consiste em operações lógicas semelhantes as usadas em eletrônica digital.

Para o acompanhamento do sistema será usado o software ASIRobicon - Tool Suite, software já utilizado para a configuração do Inversor. Nele será possível acompanhar o status de cada entrada e saída do módulo WAGO de E/S, acompanhar as operações feitas no SOP, além de poder ter a leitura do nível de pressão em cada Bomba Hidráulica através das entradas analógicas. Segue abaixo um exemplo da tela de monitoramento das operações do SOP e dos acionamentos do módulo WAGO.

The screenshot displays two windows from the ASI Robicon Tool Suite software. The left window, titled 'Wago Status', shows the following data:

Analog Inputs Detected: 2						
AI01-8	100.0	59.9	0.0	0.0	0.0	0.0
AI9-16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AI17-24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Analog Outputs Detected: 2						
A001-8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A09-16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Digital Inputs Detected: 14					
01a-01h	02a-02h	03a-03h	04a-04h	05a-05h	06a-06h
00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000
07a-07h	08a-08h	09a-09h	10a-10h	11a-11h	12a-12h
00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000

Digital Outputs Detected: 14					
01a-01h	02a-02h	03a-03h	04a-04h	05a-05h	06a-06h
00000001	00100000	00000000	00000000	00000000	00000000
07a-07h	08a-08h	08a-08h	08a-08h	08a-08h	08a-08h
00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000

Internal Error: None  
Communication Alarm: No    Communication Fault: No

The right window, titled 'Comparator Status', shows a list of comparators:

Comparator Status	
Comparator1_I	1
Comparator2_I	0
Comparator3_I	0
Comparator4_I	0
Comparator5_I	0
Comparator6_I	0
Comparator7_I	0
Comparator8_I	0
Comparator9_I	0
Comparator10_I	0
Comparator11_I	0
Comparator12_I	0
Comparator13_I	0
Comparator14_I	0
Comparator15_I	0
Comparator16_I	0
Comparator17_I	0
Comparator18_I	0
Comparator19_I	0
Comparator20_I	0
Comparator21_I	0
Comparator22_I	0
Comparator23_I	0
Comparator24_I	0
Comparator25_I	0
Comparator26_I	0
Comparator27_I	0
Comparator28_I	0
Comparator29_I	0
Comparator30_I	0
Comparator31_I	0
Comparator32_I	0

At the bottom of the interface, there is a control panel with a 'FAULT' indicator (red), several numerical readouts (0.0), and buttons for 'DEMD', 'KWO', 'ITOT', 'VLTS', 'Show', 'Reset', 'Auto', 'Manual', and 'Stop'.

Figura 4.5: Software ASI Robicon - Tool Suite.

### 3.1 Software de Controle (SOP)

A lógica da programação SOP é responsável por receber os dados de entrada e resultar em uma determinada saída. Através de uma entrada analógica, o *drive* monitora o percentual de pressão no fluxo total do sistema e de acordo com o valor lido, opera determinado comando. Para iniciar o circuito é necessário pressionar o botão Manual Start encontrado no KeyPad Robicon, este comando por sua vez acionará uma saída digital que fechará o contator do circuito do primeiro motor, partindo com o Inversor.

O Inversor estará controlando o motor a 100% de velocidade, mas caso a vazão do sistema caia para 80%, a segunda bomba é acionada através de uma saída digital que fechará o contator do circuito do segundo motor e a primeira bomba passa a ser controlada pela rede (transferência para baixo), estabilizando o sistema a 100% de vazão. Caso a entrada da segunda bomba não consiga manter estabilizada a vazão e chegue a 60%, a terceira bomba é acionada através de outra saída digital que fechará o contator do circuito do terceiro motor e a segunda bomba passa ser controlada junto a primeira pela rede (transferência para baixo). Após determinado tempo que o sistema se manter estabilizado, as bombas são retiradas da rede uma de cada vez conforme a demanda (transferência para cima), porém se ocorrer diminuição da vazão a transferência para baixo é acionada automaticamente, conforme citado acima.

Toda a lógica é baseada em operações matemáticas como soma e multiplicação, semelhante às portas lógicas OR e AND, além de temporizadores e comparadores de sinais. A leitura de porcentagem da pressão do sistema é realizada através de uma entrada analógica no módulo vago, que lê um valor entre 4 a 20 mA e exibe no software Tool Suite a porcentagem correspondente. Foi ligado um potenciômetro nesta porta analógica e conforme varia a resistência, tem-se um valor de corrente. Para teste foi utilizado um multímetro com fonte de corrente de 4 a 20 mA realizando a mesma função do potenciômetro.

Segue abaixo uma parte da lógica utilizada para controle do sistema de Transferência Síncrona, onde são mencionados os parâmetros para leitura da porta analógica e que seja feita a comparação do valor em porcentagem. Caso o valor chegue ao primeiro limite, a programação inicia a transferência para cima, e caso o sistema se estabilize é iniciada a transferência para baixo.

```

;Inicio
AnalogSpeedMode           = TRUE;
Analog1_o                 = AnalogSpeedMode;
TempFlag15_o              = Comparator1_I;
TempFlag16_o              = Comparator2_I;
TempFlag20_o              = Comparator3_I
;-----
;Acionar Bomba 1

Counter05(1)              = KeypadManualStart_I;
CounterReset05            = KeypadManualStop_I;
ExternalDigitaloutput01a_o = Counter05;

ExternalDigitaloutput01g_o = Counter05;

Counter08(1)              = ExternalDigitalInput01a_I;
CounterReset08            = KeypadManualStop_I;
ExternalDigitaloutput02a_o = Counter08;
;-----
;Acionar Bomba 2
;-----Manual
Counter06(1)              = ExternalDigitalInput02a_I;
CounterReset06            = ExternalDigitalInput02c_I + KeypadManualStop_I;

;-----Automatico
Counter09(1)              = TempFlag15_o;

```

Figura 4.6: Linguagem SOP.

A lógica opera o sistema conforme a Figura 4.7, onde os contatos D1, D2 e D3 são as saídas digitais do módulo WAGO correspondentes ao controle do *drive*, enquanto L1 e L2 são as saídas digitais correspondentes ao controle das bombas pela rede. O sistema possui intertravamentos tanto elétricos como por lógica, onde uma bomba nunca poderá ser acionada pelo contato da rede e do *drive* ao mesmo tempo, pois fecharia um curto-circuito entre a alimentação da rede com a saída do *drive*. A programação foi desenvolvida para que sempre o *drive* controle pelo menos um motor da rede, sendo assim pode-se ter 2 bombas sincronizados com a rede e 1 bomba sendo modulada pelo Inversor.

Segue abaixo o diagrama de interligação de potência, com os contatos do *drive*, o Inversor de Média Tensão (VFD), os contatos de Rede e as Bombas Hidráulicas.

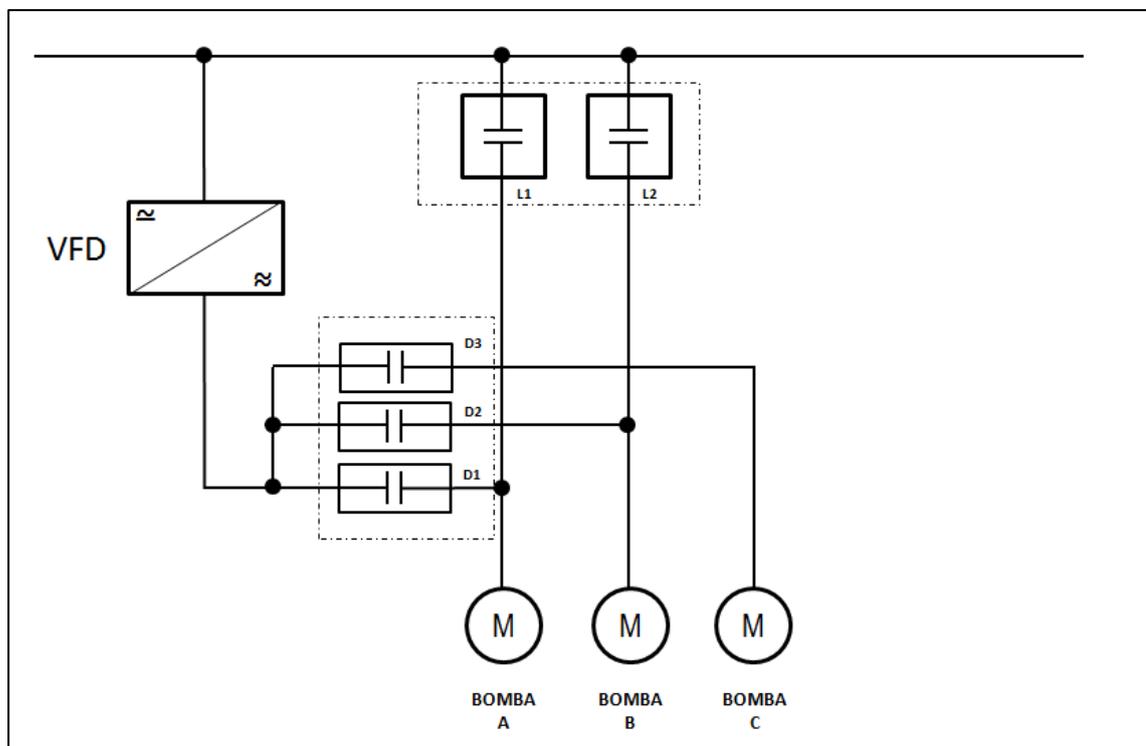


Figura 4.7: Diagrama de Potência.

Com o intuito de simular o período de sincronismo de fase e frequência, foi incorporado a lógica Timers, que serão acionados quando houver a necessidade de realizar a Transferência de Bombas. Como não é possível realizar o sistema real, pois seria necessário utilizar as Bombas e o Inversor completo, foi atribuída uma contagem de 10 segundos para realizar a Transferência para Cima e 10 segundos para realizar a Transferência para Baixo.

Para visualização de quando cada Bomba está acionada, foram utilizados sinalizadores luminosos. Se determinada Bomba estiver sendo modulada pelo *drive* ou em controle da Linha, o sinalizador desta estará ligado.

## 4. RESULTADOS

Após a realização da montagem e testes da bancada, foi possível comprovar o funcionamento deste simulador de Transferência Síncrona, conforme acontece em uma situação real de aplicação.

Foram montados os gráficos da simulação da Transferência para Cima e Transferência para Baixo. Segue abaixo os resultados obtidos após os testes:

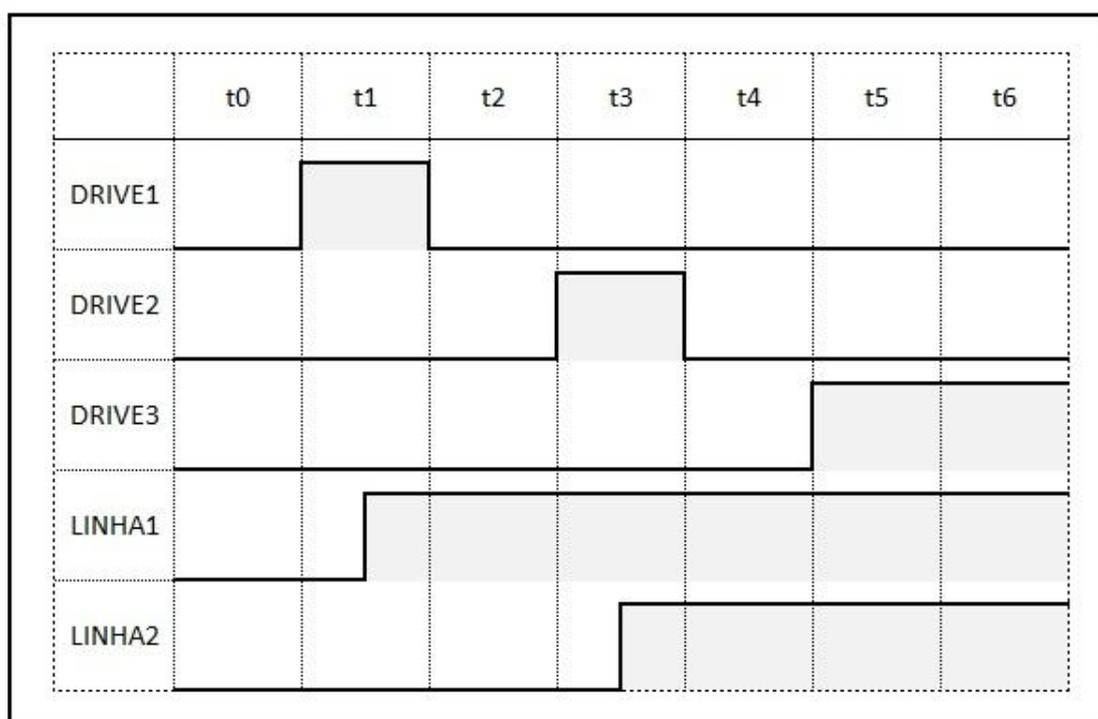


Figura 4.8: Representação Gráfica Teste de Transferência para Cima

A tabela acima mostra o funcionamento quando o sistema informa a necessidade da utilização de mais bombas para suprir o nível de pressão necessária. Em “t1” temos o momento em que é partida a primeira Bomba sendo modulada pelo *drive*. Após meio período de “t1” o sistema informa que a pressão diminuiu e a lógica inicia a transferência para segunda Bomba. Este Timer foi utilizado na lógica para simular o tempo que o *drive* necessita para sincronizar a Frequência e a Corrente da Bomba com a linha. Foi utilizado um Timer na lógica que desliga o Contato do *drive* na Bomba 1 e depois aciona o contato de Linha da Bomba 1. Com o a Bomba 1 em controle da linha, é contato um tempo para que a Bomba 2

entre no sistema sendo modulada pelo *drive*. A Bomba 1 só é transferida para o controle da rede se durante a sincronização ela atinge os 60 Hz e o faseamento da rede. O mesmo processo se aplica quando é necessário incluir mais Bombas no sistema para manter a pressão.

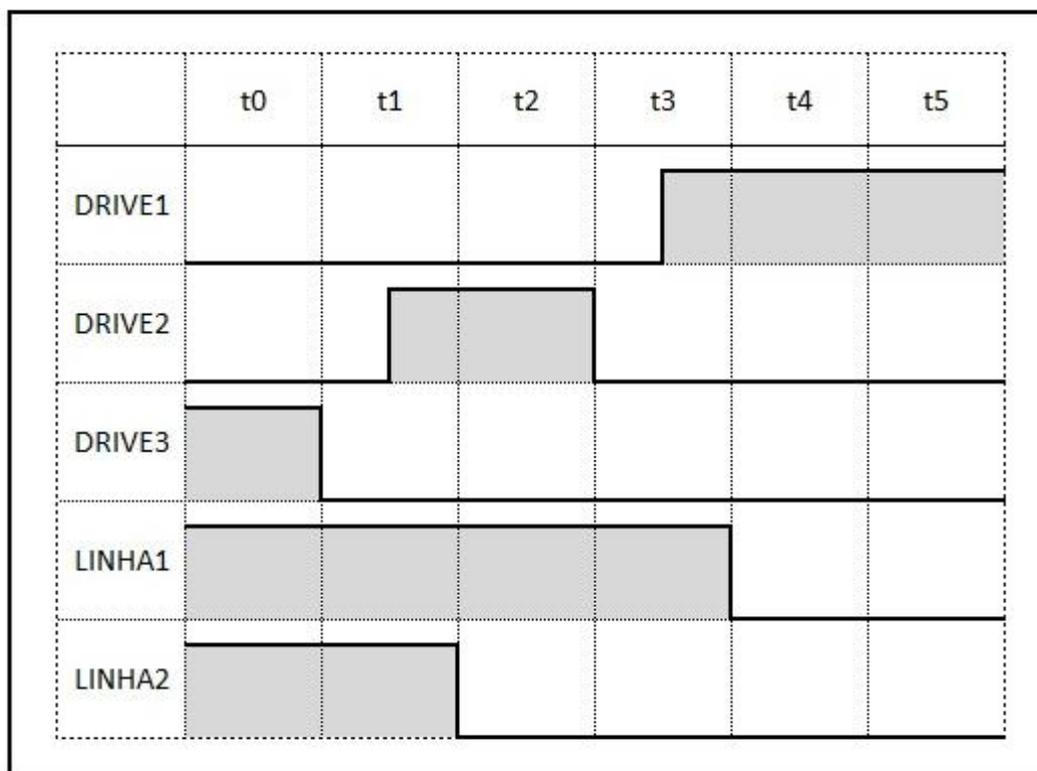


Figura 4.9: Representação Gráfica Teste de Transferência para Baixo

Caso a pressão se estabilize e não seja necessário usar a terceira ou segunda Bomba, é utilizada a Transferência para baixo.

Na situação inicial da tabela o *drive* está modulando a terceira Bomba e as Bombas 1 e 2 estão sendo controladas pela linha. A partir da metade do ponto “t1” o sistema informa que a pressão está estabilizada e não é mais necessária a utilização da terceira Bomba, então inicia a Transferência para Baixo, passando o controle do *drive* para a segunda Bomba e a Linha controla somente a primeira Bomba. Caso a pressão continue subindo será realizada a Transferência mais uma vez e o *drive* passa a acionar a primeira Bomba.

Segue abaixo a montagem da bancada para a simulação de uma Transferência Síncrona sem CLP, utilizando os materiais mencionados na Metodologia.

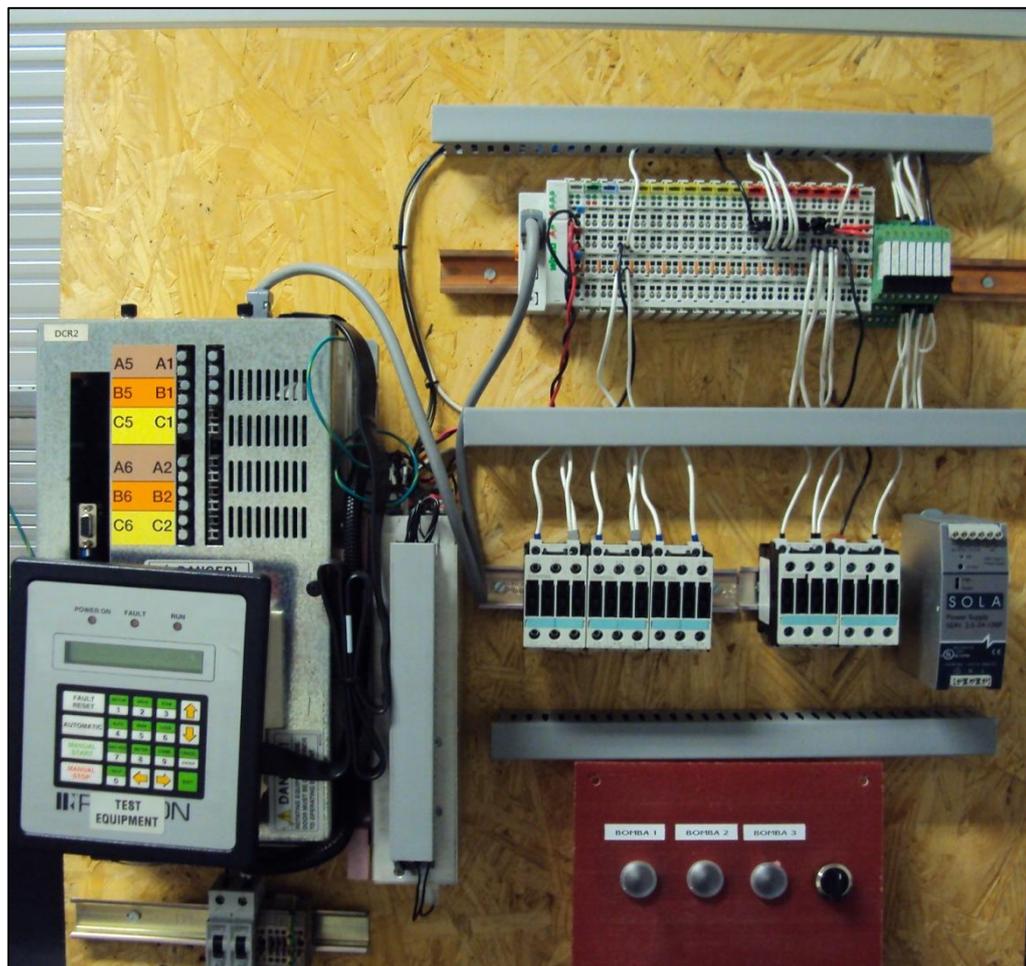


Figura 4.10: Montagem Final da Bancada

## 5. CONCLUSÃO

Após a elaboração deste trabalho e realização da montagem do simulador, pode-se concluir que para o efeito de teste e estudo do sistema de Transferência Síncrona sem CLP, este mostrou tão viável quanto a aplicação realizada atualmente. Com um custo reduzido de materiais necessários e facilidade para montagem e comissionamento a utilização deste sistema sem CLP pode ser realizado, porém deve se fazer algumas mudanças quanto as variáveis que fazem parte do Inversor de Média Tensão, como feedbacks que são necessários para que não ocorra falha durante a transferência. Estas variáveis não foram utilizadas na montagem do simulador, pois são inviáveis a título de teste, devido ao tamanho físico da aplicação, uma vez que seria necessário um sistema completo.

Para utilizar de fato esta forma de controle será necessário fazer um estudo mais abrangente de como estas variáveis podem ser incorporadas na lógica SOP e adaptar o *drive* para estas condições de controle e acionamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GRIPP Jr, P. E. Estudo das Tecnologias e Aplicações dos Inversores de Frequência de Média Tensão. Tese (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Espírito Santo. 2005.

CAMARGO, R. F. Método de Sincronização Aplicado a Conversores PWM Trifásicos. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria. 2006.

TOSSI, L. BRAGA, H. Chaves-estáticas de transferência. Condicionamento de Energia, Capítulo VI, O Setor Elétrico.

TOMER, R. Manual de Inicialização e Tópicos Avançados para a Série Perfect Harmony Resfriado a Ar. Siemens Energy & Automation. 2004.

TOMER, R. Manual de Inicialização de Controle do NXG. Siemens Energy & Automation. 2007.

**APÊNDICE – Diagrama elétrico da bancada de teste**

Diagrama elétrico da bancada de teste.

