

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA / ENGENHARIA ELÉTRICA
Trabalho Final de Curso II

Gustavo Henrique Antoneli dos Anjos
Yan Alves Cestari

CONTROLE DE IRRIGAÇÃO USANDO INVERSOR DE
FREQUÊNCIA EM REDE MODBUS

Trabalho Final de Curso como parte dos requisitos para
obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica
apresentado à Pontifícia Universidade Católica de Goiás.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Bruno Quirino – Orientador. PUC Goiás.

Prof. Dr. Antônio Marcos de Melo Medeiros – PUC Goiás.

Prof. Me. Luis Fernando Pagotti – PUC Goiás.

Goiânia, 25 de novembro de 2020

CONTROLE DE IRRIGAÇÃO USANDO INVERSOR DE FREQUÊNCIA EM REDE MODBUS

ANTONELI, Gustavo Henrique Dos A., ALVES, Yan C., OLIVEIRA, Bruno Q., MEDEIROS, Antônio M., FERNANDO, Luís P.

ghantoneli1206@gmail.com, yancestari10@gmail.com, brquirino@gmail.com
Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Escola de Engenharia Elétrica, Goiânia-Goiás.

Resumo – Visando uma melhor utilização da energia elétrica de uma residência rural, onde é necessário o uso da irrigação para molhar o plantio, com o objetivo de estudar e desenvolver um método que utilize o inversor de frequência em rede MODBUS para que essa irrigação seja controlada via supervisor, ou seja, de forma automatizada atendendo as necessidades do plantio e reduzindo energia consumida ao fazer este procedimento.

Abstract— *In order to make better use of the electricity of a rural residence, where irrigation is necessary to water or plant, we will study and develop a method of use or frequency inverter in the MODBUS network for this irrigation to be controlled via a supervisor, that is, in an automated way, meeting the needs of planting and use of energy consumed when performing this procedure.*

Palavras-chave— Irrigação, CLP, Inversor de frequência, MODBUS.

1. INTRODUÇÃO

Acompanhando a evolução de novas tecnologias oferecidas para aprimorar os processos de produção na agricultura e conseqüentemente o aumento da demanda por produtos advindo a agricultura, o Brasil vem sendo fortemente desafiado a empregar toda tecnologia afim de buscar o uso correto de água na agricultura, pois o seu crescimento está relacionado a esta condição.

A irrigação é considerada uma das principais técnicas aplicada ao plantio, entretanto esta técnica trabalha com energia elétrica ligada a geração, transmissão, pequenas gerações locais.

O uso da energia elétrica nesta técnica está relacionado principalmente no bombeamento da água, no qual, o bom desempenho reflete nas características hidráulicas e energéticas da irrigação. O projeto de um sistema de irrigação deve ser desenvolvido para atender às necessidades da situação mais crítica [1]. Esta situação crítica se refere ao volume de água necessário, a maior quantidade deve ser aplicada ao estágio de desenvolvimento, que corresponde à fase de florescimento e enchimento dos frutos, para a maioria das lavouras [2].

Conzett & Robecheck (1983) citam que uma das formas de se manejar de forma adequada um sistema de bombeamento visando reduzir vazão, é alterar a rotação da bomba até a obtenção da vazão necessária, de acordo com as leis de Rateaux [3]; isto não implica em introdução de perda de carga e o tempo de funcionamento não é alterado. Tiago Filho (1996) cita que um equipamento capaz de produzir este efeito com rapidez e eficiência é o inversor de frequência, que atua

alterando a frequência da tensão aplicada ao motor, possibilitando controlar a sua rotação; ainda segundo este mesmo autor, o uso do inversor de frequência na indústria em sistemas de bombeamento com este objetivo é uma prática bastante comum, pois sua aplicabilidade econômica é justificável pela redução do consumo energético, em comparação com outros procedimentos, especialmente de fechamento de válvula.

Tendo as informações expostas anteriormente, é de escopo deste trabalho desenvolver uma solução para irrigação do plantio utilizando o inversor de frequência, no qual este inversor de frequência será controlado pelo protocolo de comunicação MODBUS, neste protocolo através de uma tela supervisória vamos acompanhar o desempenho do inversor, e a forma como ele vai estar trabalhando para atender o plantio irrigado de forma correta e eficaz visando a redução de consumo de energia elétrica.

2. MOTORES ELÉTRICOS

Diariamente nos deparamos com diversos tipos de motores elétricos, nos momentos mais comuns fazemos o uso de motores elétricos de pequeno porte, como um motor elétrico de uma geladeira. Nos centros industriais os motores elétricos são de grandes portes, exercendo várias funções, algumas que exigem extrema força mecânica, e outras podendo exigir precisão. A principal função do motor elétrico é a conversão de energia elétrica em energia mecânica.

Existem três tipos de motores. O de corrente contínua é menos utilizado na indústria pois seu alto preço muita das vezes não é recompensado. Esses motores são utilizados em processos que exige ampla faixa de velocidades ou de controle preciso da saída do motor, visto que essas máquinas são caracterizadas pela sua versatilidade, no fato de poder fazer diversas combinações de enrolamentos de campo, seu método de acionamento é relativamente mais simples o que irá assegurar que mesmo as máquinas de corrente alternada dominando o mercado, o motor de corrente contínua possui uma ampla variedade de aplicações [4].

Os motores elétricos de corrente alternada podem ser divididos em duas categorias, os síncronos e os de indução. Os motores síncronos possuem a sua velocidade proporcionalmente a frequência da corrente de sua armadura. Esses motores estão sendo utilizados para efetuar a correção de um fator de potência onde a conta de energia elétrica está vindo alta, com o passar do tempo o valor investido no motor pode se pagar pelo valor economizado na conta. Também possuem velocidades constantes em variações de cargas, os motores síncronos mantem a velocidade constante até em situações de sobrecarga ou de oscilação na tensão.

Os motores de indução com rotor gaiola de esquilo são os mais utilizados na indústria podendo ocupar mais de 75% dos motores existentes no Brasil [5]. Este motor opera com uma velocidade constante podendo variar parcialmente dependendo da sua carga mecânica aplicada ao eixo. Pelo fato desse motor ser simples, robusto e com um custo menor ele acaba sendo recomendado para quase todos os tipos de máquinas encontradas na prática. O motor de indução gaiola de esquilo está apresentado na Figura 1.

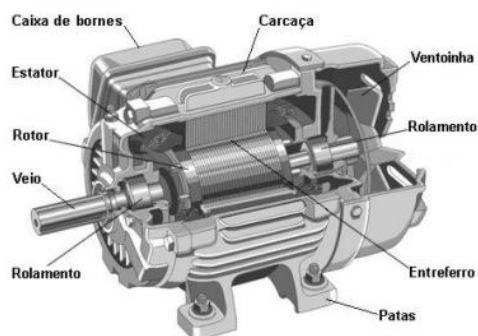


Fig.1 - Motor de indução.

Com o avanço das tecnologias envolvendo a eletrônica de potência os motores de indução acabaram superando a sua principal dificuldade, cujo era apresentar variação de velocidade. A utilização desse motor combinado com um conversor de frequência pode trazer diversos benefícios, podendo economizar energia elétrica, além de ter total controle sobre o processo industrial.

Para uma maior eficiência e melhor aproveitamento do motor, os dimensionamentos devem ser feitos corretamente por um profissional qualificado na área. Uma das principais falhas que ocorre constantemente é o superdimensionamento do motor, acarretando o consumo de energia elétrica maior que a necessária e atrapalhando a eficiência do motor, visto que um motor para ter melhor desempenho o certo de se operar é entre 75% e 100% de sua potência.

3. INVERSOR DE FREQUÊNCIA

A partir da necessidade de um controle mais eficaz e menos agressivo aliado ao desenvolvimento tecnológico, foi possível tornar o inversor fonte de tensão, ou simplesmente inversor de frequência, em uma excelente alternativa ao controle de rotação de motores elétricos, incidindo diretamente na conservação de energia [5].

Um inversor de frequência é um dispositivo capaz de gerar uma tensão e frequência trifásicas ajustáveis, com a finalidade de controlar a velocidade de um motor de indução trifásico. A função do inversor de frequência, entretanto, não é apenas controlar a velocidade de um motor AC. Ele precisa manter o torque (conjugado) constante para não provocar alterações na rotação quando o motor estiver com carga.

Os inversores de frequência são formados basicamente por uma ponte retificadora e dois capacitores de filtro, que alimentam um barramento DC, que por sua vez alimenta transistores IGBT's que são comandados através de uma lógica de controle, ligando e desligando-os de modo a alternarem o sentido da corrente que circula pelo motor.

4.1 ESTRUTURAS DO INVERSOR

1º Estrutura - CPU

A CPU (unidade central de processamento) de um inversor de frequência pode ser formada por um microprocessador ou por um microcontrolador (PLC). Isso depende apenas do fabricante. De qualquer forma, é nesse bloco que todas as informações (parâmetros e dados do sistema) estão armazenadas, visto que também uma memória está integrada a esse conjunto. A CPU não apenas armazena os dados e parâmetros relativos aos equipamentos, como também executa a função mais vital para o funcionamento do inversor, que é a geração dos pulsos de disparo, através de uma lógica de controle coerente, para os IGBT's.

2º Estrutura - IHM

A segunda estrutura é a IHM (Interface Homem Máquina). Através da IHM é possível inserir parâmetros no inversor de frequência possibilitando configurar de acordo com a necessidade do usuário.

3º Estrutura - Interfaces

A maioria dos inversores pode ser comandada através de dois tipos de sinais: Analógicos ou digitais. Normalmente, quando queremos controlar a velocidade de rotação de um motor AC no inversor, utilizamos uma tensão analógica de comando. Essa tensão se situa entre 0 a 10 Vcc. A velocidade de rotação (RPM) será proporcional ao seu valor. Além da interface analógica, o inversor possui entradas digitais. Através de um parâmetro de programação, podemos selecionar qual entrada é válida (Analógica ou digital).

4º Estrutura – Etapa de potência

A etapa de potência é constituída por um circuito retificador, que alimenta (através de um circuito intermediário chamado barramento DC), o circuito de saída inversor (módulo IGBT).

Analisando o inversor de frequência monofásico (Figura 2), quando em operação, o que se tem é o acionamento dos transistores dois a dois, por exemplo, ligando os transistores IGBT's T1 e T4, e desligando os demais T2 e T3, e vice-versa alternando assim o sentido da corrente [6].

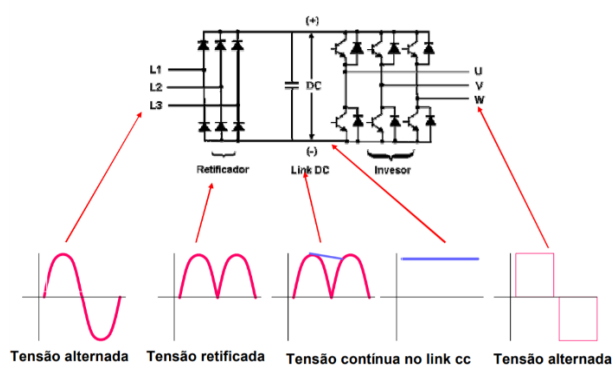


Fig. 2. Esboço de um inversor de frequência monofásico.

Ao inverter-se o sentido de corrente, a tensão na carga (motor) passa a ser alternada, mesmo estando conectada a uma fonte DC. Caso aumentemos a frequência de chaveamento desses transistores, também aumentaremos a velocidade de rotação do motor, e vice-versa. Como os transistores operam como chaves (corte ou saturação), a forma de onda de tensão de saída do inversor de frequência é sempre quadrada. Na prática, os transistores chaveiam modulando largura de pulso (PWM), a fim de se obter uma forma de onda de tensão mais próxima da senoidal.

Na operação com motores trifásicos a lógica é a mesma, a diferença agora é que os pulsos são distribuídos pelos 6 (seis) transistores IGBT's associados três a três, formando na saída uma tensão alternada defasada de 120° uma da outra.

4.2 CONVERSOR VETORIAL

Nos conversores escalares, a curva V/F é pré-determinada (parametrizada), tendo como base o tipo de método de trabalho que o inversor irá operar. É conhecido o ponto problemático de qualquer sistema de acionamento em corrente alternada, que são as baixas rotações. O sistema de corrente alternada não consegue um torque adequado na presença de velocidades baixas, por conta do seu próprio rendimento do motor de corrente alternada. Por conta do fato, desenvolveu-se o inversor de frequência vetorial. Muito mais caro e complexo que o escalar, ele não funciona com uma curva V/F pré-fixada (parametrizada). Abaixo serão destacados alguns benefícios do conversor vetorial:

- Desempenho dinâmico elevado.
- Operação suave no intervalo de velocidades especificadas para o conversor.
- Grande precisão de velocidade.

4. ACIONAMENTO ELETRÔNICO

A. Partida direta.

O motor é ligado diretamente à rede elétrica, ou seja, a partida se dá quando aplicamos a tensão nominal sobre os enrolamentos do estator do motor, de maneira direta. Esse método é o que desenvolve menos calor no motor, contudo, desenvolve potência extremamente elevada durante a partida.

B. Partida suave (*soft-starter*)

As chaves de partida *soft-starters* são voltadas ao comando de motores de corrente contínua e corrente alternada, assegurando a aceleração e desaceleração progressivas e permitindo uma adaptação da velocidade às condições de operação [7].

É obtida com um equipamento eletrônico que controla os ângulos de fase e, assim, reduz a tensão e, conseqüentemente, a corrente de partida para um valor duas a três vezes inferior ao valor de trabalho. A potência desenvolvida durante a partida é suavizada em função da rampa de aumento de tensão, que deve ser curta o suficiente para não ocasionar o superaquecimento do motor. O *soft-starter* (Figura 3) vem como equipamento de substituição aos métodos tradicionais de partida (chave estrela-triângulo e compensadora).



Fig. 3. Partida Suave (*Soft Starter*)

5. SISTEMA DE IRRIGAÇÃO COM CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

Com o constante aumento expressivo da população os setores industriais e agrícolas tiveram que se mobilizar e aumentar cada vez mais sua produção, acarretando progressivamente um maior consumo energético.

A aplicação de novas tecnologias no setor agrícola vem crescendo gradativamente, pois o desenvolvimento da plantação está relacionado diretamente ao seu ciclo, onde a parte hídrica é considerada uma importante fase, com isso devem ser feitos os dimensionamentos de vazão corretamente.

O sistema de irrigação está concentrado na instalação de bombeamento, cujo bom desempenho reflete nas características hidráulicas e energéticas da irrigação, proporcionando um consumo otimizado de energia.

Controlar a vazão será um meio eficiente para a redução do desperdício hídrico, com a alteração da rotação da bomba podemos ter a vazão necessária; visto isso sabemos que um meio que podemos e iremos utilizar será o inversor de frequência, onde o mesmo é capaz de mantendo a tensão de serviço é possível alterar a frequência aplicada no motor, logo, será capaz de controlar a velocidade do motobomba.

Foram aplicados inversores de frequência em alguns sistemas de irrigação nos EUA, com o objetivo de redução energética, obteve-se resultados satisfatórios, uma vez que a redução da potência consumida, provocada pelo uso do equipamento, gerou substancial economia de energia [8].

6. SISTEMAS DE BOMBEAMENTO COM INVERSOR DE FREQUENCIA PARA IRRIGAÇÃO

Com o objetivo de projetar um sistema automatizado para irrigação e assim otimizar o sistema buscando uma eficiência na parte de vazão para a irrigação com foco na redução de gasto da energia elétrica. Neste trabalho vamos simular uma bomba para a irrigação na qual sua potência é 0,5 CV, onde seu torque é controlado pelo um inversor de frequência.

Abaixo podemos acompanhar alguns dados referente ao motor que será utilizado e o cálculo que foi feito na equação 01 para encontrar sua corrente nominal.

Potência: 0,5cv / 368 W

Cos φ = 0.92

n= 80%

Tensão (V)= 380 V

$$I_n = \frac{P(w)}{V * \sqrt{3} * \cos\varphi * n} \quad eq. 01$$

$$I_n = \frac{0.5 * 736}{380 * \sqrt{3} * 0.92 * 0.8}$$

$$I_n = 0.7596A$$

Na Figura 4 é apresentado o esquema elétrico para o correto funcionamento do inversor utilizando um sensor de unidade:

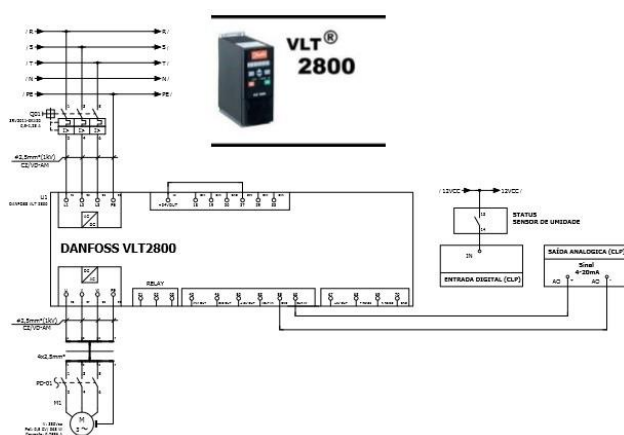


Fig. 4. Esquema de ligação no inversor

De acordo com o planejado foi especificado um disjuntor motor da marca Siemens, cuja sua corrente pode variar de 0,9-1,25 A para proteger o inversor de frequência Danfoss VLT 2800 na qual foi especificado para atender uma potência de 0,5 CV.

A proposta do projeto é controlar a vazão e pressão do sistema por meio de um sensor que utilizando um Controlador Logico Programável (CLP) possui seu protocolo de comunicação MODBUS RS485. Com o uso desse protocolo será possível receber informações em tempo real, sendo assim podendo enviar tais informações para o supervisor, com o auxílio de um *software* será feita a conversão da unidade em corrente (mA) na qual irá modular a velocidade de operação do motor, tendo a vazão necessária para tal momento.

7. REDES INDUSTRIAIS (MODBUS RS485)

A fim de automatizar o sistema de irrigação na finalidade de controlar a vazão de água despejada na plantação, contamos com o auxílio essencial da rede de comunicação MODBUS RS485.

O sistema de supervisão são sistemas digitais de monitoração e operação da planta que gerencia as variáveis do processo. Estas informações são atualizadas continuamente e

armazenadas em um banco de dados que pode ser local ou remoto.

É um software destinado a promover a interface homem/máquina, a fim de proporcionar uma supervisão plena do processo através de telas devidamente configuradas. [11] Através do sistema supervisor é possível definir/monitorar os diversos parâmetros necessários para o bom funcionamento da planta sem precisar acessar o CLP diretamente. A interligação entre o sistema supervisor é feita através de um cabeamento (par trançado, com dois cabos para comunicação) que utiliza a norma TIA/EIA 485 (conhecida como RS485) que define os esquemas de transmissão de dados balanceados em longas distâncias (1200 metros) e em ambientes ruidosos. A adoção de um condutor adicional para interligação do comum de todos os dispositivos da rede é altamente recomendada.

A norma RS485 é capaz de interligar até 32 unidades de carga (15k Ω). Normalmente, um dispositivo transmissor/receptor corresponde a uma unidade de carga. Com a utilização do RS485, em um determinado instante de tempo, somente um dispositivo pode transmitir o que caracteriza esta rede como *half-duplex* [9].

Um ponto importante para o correto funcionamento da rede de automação (bus de comunicação) é a topologia da rede. Enquanto a velocidade for relativamente baixa e as distâncias curtas, a influência da topologia da rede em seu desempenho não é significativa. Quando os efeitos de linhas de transmissão começam a aparecer, há apenas uma topologia simples que permite gerenciar estes efeitos (reflexões causadoras de erros de comunicação) a topologia *daisy chain*, apresentada na Figura 5.

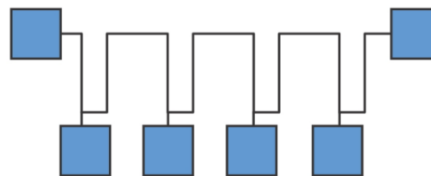


Fig. 5. Topologia de rede *Daisy Chain*

No *bus* de comunicação há a necessidade de se colocar resistores de terminação, previstos na teoria de comunicação. A correta terminação atenua reflexões que distorcem os dados transmitidos, aumentando os limites de velocidade e/ou comprimento da rede. Os resistores devem possuir um valor igual à impedância característica da linha, ou seja, em torno de 120 ohms (impedância característica de um par trançado).

A comunicação entre o sistema supervisor e todos os equipamentos da rede de automação só é possível devido à existência do protocolo de comunicação, que é um conjunto de regras pré-definidas com o intuito de garantir uma comunicação confiável e precisa entre os equipamentos envolvidos.

A norma RS485 (define a interface elétrica) não define qual o protocolo a ser utilizado para a comunicação dos dados, mas é adotada como especificação da camada física de diversos protocolos, como, por exemplo, Modbus, Profibus, DIN-Measurement-Bus, BACnet, etc. O protocolo BACnet (*Building Automation and Control NETWORKS*) é um protocolo de comunicação de dados voltado para automação predial. Este

protocolo foi definido pela associação americana ASHRAE [10].

8. ESTRUTURA DO PROJETO

No apêndice A pode-se verificar como será a estrutura do projeto, desde o supervisor até o pivô central. A ligação do supervisor ao controlador lógico programável (CLP) é feita através da rede industrial MODBUS RS485 que por sua vez interliga o CLP ao inversor de frequência para recolher os dados das TAG's que serão citadas na Seção 9. A partir dos dados coletados o inversor envia a frequência correta para a rotação do motor e funcionamento do sistema.

Para atender a demanda hídrica do pivô central foram instalados um sensor de vazão na tubulação próximo ao eixo do motor com o objetivo de controlar o fluxo, dosagem e monitoramento da passagem na tubulação. E para manter a pressão no decorrer de toda a tubulação foram instalados quatro sensores de pressão que estão distribuídos em diversos pontos, no qual fará este controle enviando sinais de corrente (4 a 20 mA) para o CLP. Essa ligação é feita através de cabos PP, entre os sensores até o CLP.

9. SUPERVISÓRIO E COMUNICAÇÃO

Para fazer a simulação de toda a estrutura do supervisor e da comunicação da rede industrial MODBUS RS485 foi utilizado o *software* Elipse E3 Studio versão *demo*. Foram criadas telas para retratar quais dados o operador do sistema encontrará no supervisor.

A Figura 6 apresenta a tela principal do supervisor, onde dá a opção para o operador escolher em visualizar os dados do Controlador Lógico Programável (CLP) ou os dados do Inversor de Frequência.



Fig. 6. Menu Principal do Supervisor.

Na tela do Controlador Programável Lógico (CLP), Figura 7, tem-se as principais informações sobre os diversos sensores instalados ao longo de todo o projeto. O operador tem a opção de ligar e desligar o motobomba e acompanhar em tempo real os dados de vazão e pressão dos sensores.

O sensor de vazão (SV) está localizado no início da tubulação, logo após o motobomba, como podemos ver na figura em apêndice. Os sensores de pressão (SP1, SP2, SP3 e SP4) estão espalhados na tubulação inicial até a tubulação fixa no pivô central.

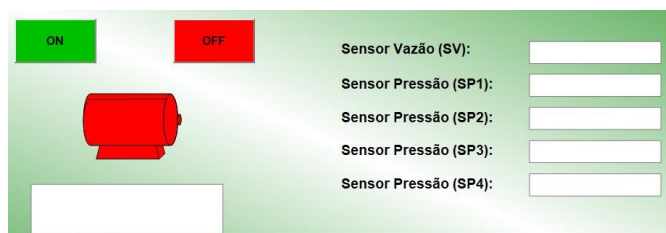


Fig. 7. Tela do CLP.

A Figura 8 apresenta a tela do inversor de frequência, o operador saberá o sentido de rotação do motor, podendo ser horário ou anti-horário, a velocidade do motor em rpm e as falhas do inversor. Através de códigos apresentados no campo de falhas do inversor o usuário consultará o manual do inversor para saber qual a falha correspondente ao código apresentado na tela.

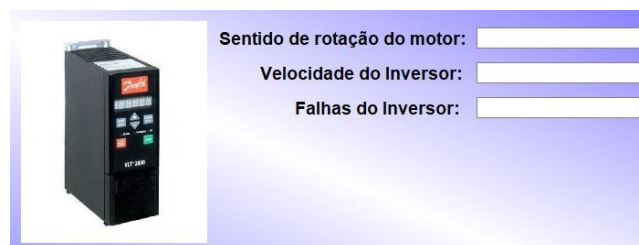


Fig. 8. Tela do Inversor de Frequência.

Ao finalizar a construção das telas para o supervisor, damos início à comunicação e criação de TAG's no qual queremos recolher os dados necessários. No projeto em específico criou-se nove TAG's de informações para o nosso sistema de controle de irrigação, são eles: SV (Sensor de vazão), SP1 (Sensor de pressão 1), SP2 (Sensor de pressão 2), SP3 (Sensor de pressão 3), SP4 (Sensor de pressão 4), *Status_Motor*, *Sentido_Motor*, *Velocidade_Motor* e *Falha_Motor*. A Figura 9 apresenta como foi criado as TAG's no *software* Elipse E3.

Nome	Dispo...	Item	P1/N1/B1	P2/N2/B2	P3/N3/B3	P4/N4/B4	Tamanho/Índice	Varredura
Driver1			0	0	0	0		
SV			1	1	0	1		1000
SP1			1	1	0	2		1000
SP2			1	1	0	3		1000
SP3			1	1	0	4		1000
SP4			1	1	0	5		1000
Status_Motor			1	6	0	6		1000
Sentido_Motor			1	6	0	7		1000
Velocidade_Motor			1	6	0	8		1000
Falha_Inversor			1	6	0	9		1000

Fig. 9. TAG's Criadas no Supervisor.

Para realizar a comunicação é necessário criar as TAG's de comunicação e configurá-las. Para isso é necessário preencher as propriedades *N1*, *N2*, *N3* e *N4*, conforme as instruções do manual do *Drive* MODBUS:

- **N1:** Endereço do equipamento escravo (CLP) na rede. Este endereço pode variar entre 1 e 255.
- **N2:** Código da operação. Referência uma operação de leitura ou escrita adicionada na janela de configurações do *Driver*.
- **N3:** Parâmetro adicional.
- **N4:** Endereço do registrador ou da variável no equipamento escravo (CLP) que se deseja ler ou escrever.

Para validar a comunicação MODBUS do projeto foi utilizado outro *software*, funcionando paralelamente com o Elipse E3, esse *software* é o Elipse MODBUS Simulator.

Esse *software* simula um CLP comunicando no protocolo MODBUS, gerando valores aleatórios para aplicações compatíveis com o protocolo MODBUS RTU e TCP/IP, e permite receber e mandar informações pela rede de

comunicação. A Figura 10 apresenta a tela inicial do programa.

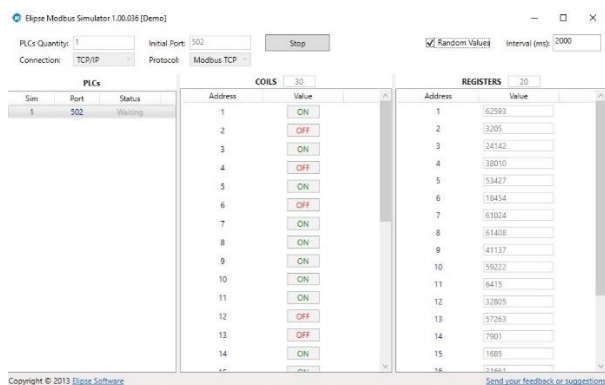


Fig. 10. Tela inicial Elipse MOSBUS Simulator.

Para o nosso projeto configurou-se a comunicação em MODBUS TCP/IP entre os dois softwares e para iniciar a comunicação clica-se em *START*, assim o software Elipse MODBUS Simulator começará a gerar os valores.

O Elipse MODBUS Simulator prevê 30 registros digitais (*Coils*) e 20 registros analógicos (*Registers*). É também permitida a escrita de valores diretamente no Simulador, através da coluna *Value* dos grids, quando a variação de valores para o PLC estiver desligada [12].

Coils são memórias digitais disponíveis para a leitura através da função MODBUS 01 e escrita através da função MODBUS 05. *Registers* são memórias analógicas que variam de 0 a 65535. Estão disponíveis para a leitura através da função MODBUS 03 e para escrita através da função MODBUS 06. Essas funções MODBUS são adicionadas no parâmetro N2 do *driver* de comunicação dentro do Elipse E3.

10. CONCLUSÃO

Tendo em vista a necessidade da constante evolução no setor agrícola para atender a demanda da população, um ponto fundamental dessa etapa deve ser a aplicação de novas tecnologias, visando o ponto de vista econômico relacionado ao consumo energético de todo o processo.

Com a implantação de um sistema de um motobomba utilizando um inversor de frequência, pode-se controlar a vazão atendendo a necessidade da plantação para seu desenvolvimento adequado. Assim, evitando perdas hídricas e diminuindo o desperdício de energia elétrica.

A ligação MODBUS RS485 foi validada através de simulações que integraram o Elipse Studio com o Elipse MODBUS Simulator no qual houve êxito na troca de dados, mostrando que é possível fazer o controle de um pivô central através da rede industrial MODBUS RS485.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] OLITTA, A.F.L. Os métodos de irrigação. 1.ed. São Paulo: Nobel, 1989. 267p.
- [2] DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p.
- [3] CONZETT, J.C.; ROBECHKEK, J.R. Acionamentos de velocidade variável aplicados a bombas centrífugas. São Paulo: Reliance Electric Co., p.1-8, julho 1983. (Tradução de RACCA, C., Reliance Elétrica Ltda)

[4] FITZGERALD, A. E., CHARLES KINGSLEY, Jr., STEPHEN UMANS, D., Máquinas Elétricas 6º Edição.

[5] SILVA, V. F.; CORTEZ, J. A.; *Inversores de Frequência – Conservação de Energia – Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos*, Escola Federal de Engenharia de Itajubá, p. 448– 467, 2ª Edição, Itajubá – MG, 2001.

[6] CAPELLI, A.; *Inversores de Frequência Vetorial – Revista Saber Eletrônica* nº 337, p. 33-36, Fevereiro de 2001.

[7] FRANCHI, C.M. Acionamentos Elétricos 3º Edição.

[8] MEDEIROS, A. M. M. Potencial de economia de energia elétrica em sistemas de irrigação a pivô central com uso de inversor de frequência no estado de Goiás. 2005.137. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e de Computação) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2005.

[9] PERRIM, B. The Art and Science of RS-485. – Circuit Cellar Magazine, Jul 1999.

[10] RUIZ, J. Communication protocol for a router-based building automation and control network. U.S. Patent n. 5,916,306, 29 jun. 1999

[11] MORAES, C. C. CASTRUCCI PL. Engenharia de Automação Industrial. – Rio de Janeiro: LTC, 2007.

[12] UNIVERSIDADE TECNOLÓGICAS FEDERAL DO PARANÁ, Supervisão e Redes Industriais.

APÊNDICE A – ESTUTURA DE AUTOMAÇÃO DO SUPERVISÓRIO AO PIVÔ CENTRAL

