

DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE REMOTAS DE IO COM COMUNICAÇÃO MODBUS RTU PARA CONTROLE DE PLANTAS DIDÁTICAS

*DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE OF IO REMOTES WITH MODBUS RTU
COMMUNICATION TO CONTROL TEACHING PLANTS*

Raquel Ururahy Lopes

Graduando
Engenharia Controle e
Automação
ururahy@ucl.br

Saulo B. Gelinski

Graduando
Engenharia de Controle e
Automação
saulobgelinski@ucl.br

Anderson Sachetto Rosa

Orientador
Faculdade UCL
sachetto@ucl.br

RESUMO

Objetivo: Desenvolver uma interface de hardware que possibilite o controle de plantas didáticas através da comunicação Modbus. **Método:** A intenção desse trabalho contempla a construção de uma plataforma física microcontrolada, que será responsável por controlar algumas plantas didáticas do curso de Engenharia de Controle e Automação presentes nos laboratórios da Faculdade UCL Manguinhos. Será construído um protótipo utilizando a plataforma Arduino com um firmware para comunicação Modbus RTU, que permitirá o controle e sensoramento de seus pinos de I/Os analógicos e digitais por algumas aplicações no Windows, como o Supervisório Elipse E3 para centralizar toda a troca de informação entre as aplicações e a plataforma física. **Resultado:** O modo de operação foi o espelhamento dos pinos de I/O da plataforma física, ficando seus sinais (Tags) disponíveis via Modbus, e o Codesys será programado em linguagem Ladder e rodará em modo simulação, não exigindo um PLC físico para controlar as I/Os da placa física, e o supervisório Elipse também terá acesso a essas Tags via Modbus para visualização das variáveis de interesse e possível comando de algumas funções do sistema de controle. **Conclusões:** O objetivo geral é permitir um controle simplificado das plantas didáticas de controle existentes nas dependências da Faculdade UCL, utilizando estes dois softwares gratuitos para controle e supervisão do processo, e com fácil modularidade para substituição ou empregar em novas plantas.

Palavras-Chave: PLC, Elipse E3, Supervisório, Arduino. Modbus.

ABSTRACT

Objective: Develop a hardware interface that allows the control of teaching plants through modbus communication. **Methods:** The intention of this work includes the construction of a microcontrolled physical platform, which will be responsible for controlling some didactic plants for the Control and Automation Engineering course present in the laboratories of the Faculty UCL Manguinhos. A prototype will be built using the Arduino platform with firmware for serial Modbus RTU communication, which will allow the control and sensing of its analog and digital I/O pins by some Windows applications, such as Elipse E3 Supervisory to centralize all information exchange between applications and the physical platform. **Results:** The operating mode will be the mirroring of the I/O pins of the physical platform, with its signals (Tags) available via modbus, and Codesys will be programmed in Ladder language and will run in simulation mode, not requiring a physical PLC to control the I/O. /Os on the physical board, and the Elipse supervisor will also have access to these Tags via modbus to view the variables of interest and possible command of some functions of the control system. **Conclusions:** The general objective is to allow simplified control of existing control didactic plants on the UCL Faculty's premises, using these two free software for process control and supervision, and with easy modularity for replacement or use in new plants.

Keywords: PLC, Elipse E3, Supervisory, Arduino. Modbus.

1 INTRODUÇÃO

Visando aprimorar sua competitividade, a automação industrial surge como um investimento lucrativo. Isso se deve ao fato de que a automação é comumente reconhecida como uma abordagem eficaz para diminuir custos e dependência de mão de obra, além de reduzir os tempos de ciclo de produção e elevar a qualidade (SJØBAKK, B.; THOMASSEN, M. K.; ALFNES, 2014).

A arquitetura centrada em entradas e saídas (I/O), distribuídas por unidades remotas, é fundamental para os sistemas modernos de automação. Dentro dessas estruturas, é crucial garantir a troca confiável de informações. Qualquer esforço para controlar processos sem a constante interação humana exige, de maneira geral, a rápida transferência de dados entre diversos tipos de sensores, controladores e atuadores (WOLLSCHLAEGGER, M.; SAUTER, T.; JASPERNEITE, 2017).

Mediante o apresentado o intuito desta pesquisa é analisar a concepção de uma plataforma microcontrolada física, destinando-a ao controle das plantas didáticas empregadas em um curso de Engenharia de Controle e Automação. O microcontrolador utilizado para esse projeto será o Arduino Mega, cuja abrangência de um firmware permitirá a comunicação via protocolo Modbus RTU.

Assim, definiu-se como objetivo do estudo, desenvolver uma interface de hardware que possibilite o controle de plantas didáticas através da comunicação Modbus. A construção da placa não se destaca apenas pela funcionalidade, mas entregará também confiabilidade, segurança, robustez e produtividade no auxílio à capacitação dos estudantes da área de controle e automação da faculdade UCL, ampliando os conhecimentos na configuração e programação de PLCs e no entendimento de suas especificidades. O protótipo é uma representação didática de custo acessível que permite simular e extrair conclusões confiáveis sobre o funcionamento de um PLC convencional aplicado a algum sistema real, comumente encontrado na indústria. Desenvolver uma interface de hardware que possibilite o controle de plantas didáticas através da comunicação Modbus.

Observa-se que através das motivações e concepções mencionadas, que este artigo propõe o desenvolvimento de um dispositivo para automação industrial capaz de conectar máquinas por meio de redes industriais. Nesse sentido, será elaborado um módulo I/O remoto utilizando o protocolo de comunicação Modbus, fazendo uso do Arduino e do software SCADABR (Supervisory Control And Data Acquisition BR). A intenção é criar uma arquitetura de baixo custo, mais acessível para as Micro e Pequenas Empresas (MPes). Para alcançar esse propósito, foi necessário conduzir um estudo sobre as funções a serem desempenhadas pelo protótipo. Foram investigados métodos para realizar esse trabalho, com base no uso de I/Os remotas com comunicação Modbus, escolhida devido à sua universalidade (TAYLOR et al., 2012).

O estudo torna-se relevante por mostrar que a implementação de um sistema de I/O remota pode resultar em uma redução de custos, uma vez que reduz significativamente a quantidade de cabos necessários para conectar os dispositivos de campo. As configurações de Input e Output são elementos fundamentais em um sistema de controle. Por diversas razões específicas, como em aplicações subaquáticas ou em conformidade com normas de segurança na indústria petrolífera, pode ser necessário utilizar um bloco de I/O remota, separado do controlador principal (NAZEM et al, 2013).

2. MATERIAS E MÉTODO

A intenção deste estudo é desenvolver uma interface de hardware que possibilite o controle de plantas didáticas através da comunicação Modbus. Para tanto, foi utilizada como metodologia a pesquisa bibliográfica, através de uma revisão de literatura, e a pesquisa de campo, através da criação de um protótipo de interface de hardware que possibilite o controle de plantas didáticas através da comunicação Modbus.

Quanto à pesquisa bibliográfica, segundo Lakatos e Marconi (2001, p. 23), “a pesquisa bibliográfica, ou de fontes secundárias, abrange toda bibliografia já tornada pública em relação ao tema de estudo desde publicações avulsas, boletins, jornais, revistas, livros, pesquisas, monografias, teses, material cartográfico, dentre outros”. Já na visão de Oliveira (2007, p. 69) “A pesquisa bibliográfica é uma modalidade de estudo e análise de documentos de domínio científico tais como livros, enciclopédias, periódicos, ensaios críticos, dicionários e artigos científicos”.

Quanto à pesquisa de campo, foi realizada no laboratório da universidade UCL. O público alvo a ser alcançado são os alunos do curso de Engenharia de Controle, Elétrica e de Computação da UCL. Como sujeitos serão selecionados aproximadamente 80 alunos matriculados nos 3 cursos durante o ano de 2023. A Coleta de dados ocorreu através de pesquisa junto a sites de artigos científicos, como Scielo e Google Acadêmico, e ainda através da utilização do laboratório da Universidade para criação de hardware que possibilite o controle de plantas didáticas através da comunicação Modbus.

Nesta seção serão descritos como foi obtido os materiais e os dados, incluindo a apresentação dos softwares utilizados.

2.1. Controlador Lógico Programável

O CLP (Controlador Lógico Programável) é o primeiro dispositivo lembrado quando o assunto é Automação Industrial. Criados ao final da década de 1970 foram construídos com a finalidade de substituir os relés, temporizadores e sequenciadores mecânicos, sendo utilizados inicialmente em indústrias automotivas, com uma linguagem de programação desenvolvida de forma isolada por cada fabricante, não permitindo a interação entre dispositivos de outros. (ROSÁRIO, 2009, p. 47-48).

Automação quase sempre é confundida com automatização. Automatização significa movimentos repetitivos e mecânicos, sem nenhuma correção, enquanto automação é fundamentada em um sistema de ativos que são usados para atingir o ótimo, ou seja, o sistema recebe informação, as analisa e executa a operação mais apropriada para atingir o que lhe é exigido. (ROSÁRIO, 2012).

A partir disso, pode-se dizer que as ideias de automação começaram a ganhar força com o uso do Controlador lógico Programável, exemplo o que é exibido na Figura 1. Essa ferramenta surgiu com a intenção de substituir componentes como relés, contadores e máquinas controladas numericamente (CNC) os quais compunham os antigos sistemas de controle. Esse dispositivo foi feito para suportar as condições de chão de fábrica como ruídos, trepidações, temperaturas, entre outros, contendo elementos com características apropriadas e

uma interface imune a ruídos (ROSÁRIO, 2012).



Figura 1: Controlador Lógico Programável (CLP) (ROSÁRIO, 2012).

Entretanto, os CLPs começaram a operar em rede como qualquer computador. Alteraram suas CPUs buscando maior capacidade de memória, redes de campo com alta descentralização e linguagens padrões. Quando os relés pararam de ser usados, o CLP obteve destaque no tratamento de variáveis analógicas e malhas de controle, tendo cinco linguagens padrões definidas em 1993, a partir da norma IEC 1131. (FILHO, sem data). Os CLPs operam ao receber dados de entradas, processando essas informações e gerenciando os dados na saída conforme programados. As entradas de controlador lógico programado são por onde os dados de um equipamento, como por exemplo um sensor, são lidos e processados de acordo com a programação pré-estabelecida e as saídas são os dados já tratados enviados para os pontos de conexão no qual os atuadores estão conectados (CALDIERI, R.M.; BIGHETI, J.A; GODOY, E.P., 2016).

2.2. Arduino Mega

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica que tem como objetivo permitir que pessoas acessem, de maneira descomplicada, tecnologias avançadas que permitam o desenvolvimento de controles de sistema (ARDUINO, 2023).

Neste projeto foi escolhido a placa Arduino Mega 2560 por possui 54 pinos de entrada/saída digital (dos quais 15 podem ser usados como saídas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (portas seriais de hardware), um oscilador de cristal de 16 MHz, uma conexão USB, um conector de alimentação, um conector ICSP, e um botão de reinicialização. Contém tudo o que é necessário para suportar o microcontrolador; basta conectá-lo a um computador com um cabo USB ou alimentá-lo com um adaptador CA para CC ou bateria para começar. A placa Mega 2560 (Figura 2) é compatível com a maioria dos escudos projetados para o Uno e as antigas placas Duemilanove ou Diecimila (ARDUINO, 2023).

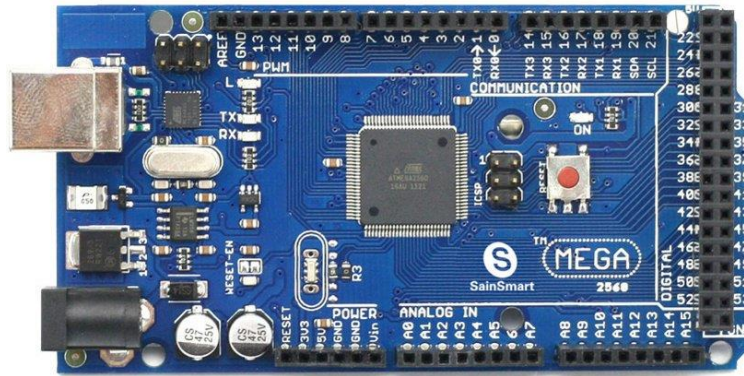


Figura 2: Arduino MEGA (ARDUINO, 2023)

2.3. Elipse E3

O sistema SCADA vem se tornando cada vez mais utilizado no meio industrial por sua conectividade, flexibilidade e confiabilidade. O Elipse E3 é um sistema supervisório desenvolvido por uma empresa brasileira para monitoramento e controle de processos em tempo real que possui uma plataforma intuitiva e flexível podendo se comunicar em diversos protocolos e integra-se em variados equipamentos (V.-C. GEORGESCU., 2013). Pela facilidade e possibilidade de integração de vários equipamentos e diversos protocolos de comunicação, foi utilizado a elipse E3 para monitoramento em tempo real deste projeto. E para isso foi estabelecido que o protocolo de comunicação adotado neste TCC seria o modbus RTU (V.-C. GEORGESCU., 2013).

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

3.1. Eletrônica

Condicionamento de sinais de entrada e saída de Controladores Lógicos Programáveis. Para que os sinais de campo de sensores e atuadores sejam compatíveis com as faixas esperadas por um sistema microcontrolado em seus pinos de I/Os¹, faz-se necessário a aplicação de circuitos externos para a compatibilização apropriada dos níveis de sinal, faixa de operação e até proteção contra sobretensão e descargas atmosféricas. Aqui descrevemos o funcionamento dos circuitos de condicionamento de entradas digitais e analógicas, bem como as saídas (TAYLOR, C.; PASQUALE, J., 2012).

¹ O iOS é o sistema operacional móvel da Apple. O software é utilizado no iPhone e no iPod Touch, com o variante iPadOS no iPad, além de fazer integração com outros sistemas da marca, como o macOS, do.

3.2. Entradas Digitais

Nessa seção, o sinal externo que pode ser de 5 a 24VDC possui proteção contra inversão de polaridade através do diodo 1N4148 e isolamento galvânico através do acoplador óptico PC817.

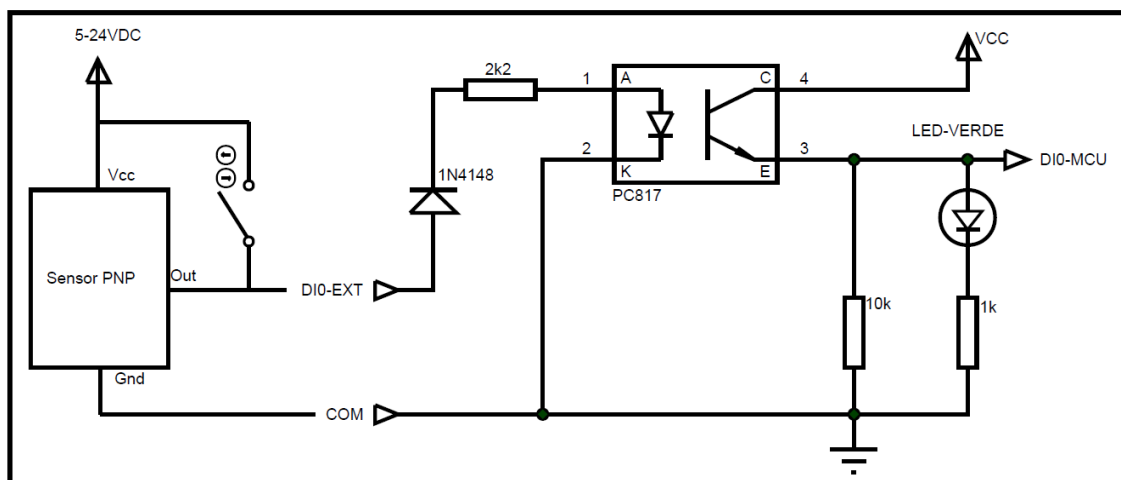


Figura 3 - Interface de entrada digital opto-isolada (Dos Autores).

Do lado conectado à parte lógica, temos o foto-transistor do opto-acoplador chaveando o pino de entrada do microcontrolador ao +Vcc da placa Arduino que no protótipo é 5V, e para evitar que o pino de entrada do MCU fique em flutuação, foi adicionado um resistor de $10K\Omega$ para garantir o nível baixo quando o sinal externo estiver ausente ou forçado em 0V (resistor de pull-down) (SJØBAKK, B.; THOMASSEN, M. K.; ALFNES, E., 2014).

3.3. Entradas analógicas (corrente e tensão)

O bloco de condicionamento de entrada analógica consiste de uma etapa de amplificação de corrente com ganho unitário de tensão, utilizando um amplificador operacional com característica de entrada e saída Rail-to-Rail², que possibilita excursionar o sinal de entrada e saída muito próximo aos extremos de 0V e +Vcc³, desta forma o AmpOp⁴ pode ser alimentado pela mesma fonte de tensão da placa Arduino e as leituras analógicas do campo são reforçadas mantendo a linearidade mesmo nos extremos. Neste contexto, todo o range com resolução de 10 bits (0 a 1023) da entrada analógica da DevBoard⁵ se torna

² Basicamente é um Amplificador Operacional cuja tensão na saída alcança o mesmo nível que as tensões de alimentação.

³ Vo é a tensão de saída do AmpOp, também medida em relação ao terminal de referência 0; • +Vcc e -Vcc são as tensões de alimentação em CC (simétricas). Note que não se liga o terminal de referência 0 ao AmpOp.

⁴ O "amplificador operacional" tem duas entradas diferentes e ganho muito alto. Willy descreve o símbolo e as propriedades de um amp-op. Amp-ops são a espinha dorsal de projetos de circuitos analógicos.

⁵ A Verdin Development Board é uma placa base completa que dá acesso fácil a todas as funcionalidades da família Verdin. É uma plataforma ideal para desenvolvimento e integração de hardware. A placa é compatível com todos os módulos Verdin atuais e futuros.

utilizável ao dispositivo de entrada, garantindo o máximo de precisão disponível pela placa de desenvolvimento (Arduino Mega) (CAVALCANTE, M. A., TAVOLARO, C. R. C & ELIO MOLISANI, E., 2010).

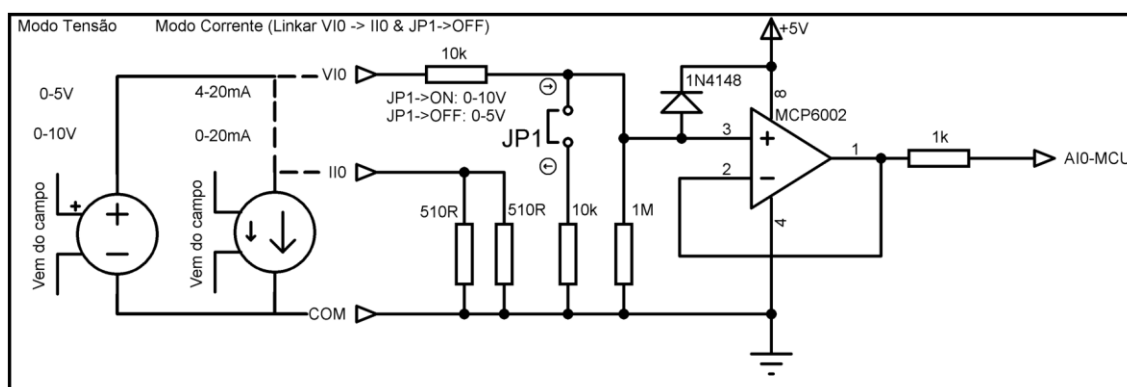


Figura 4 - Interface de entrada analógica (Dos Autores).

O circuito de condicionamento empregado conta também com proteção de sobretensão na entrada de sinal, com a adição de um diodo clamp⁶, conectado entre a entrada IN+ do AmpOp e +5V, assim quando a tensão subir cerca de 0,7V além de +5V, o diodo conduz e mantém a tensão em 5,7V, e a dissipação de potência da tensão excedente fica à cargo do resistor de 10KΩ conectado à entrada “VIO” e IN+. (TARIQ, A. K.; ZIYAD A.T.; ABDULLAH, A.O., 2013).

Cada entrada analógica disponível na placa de protótipo tem capacidade de ler diferentes tipos de sinal, onde os mais utilizados na instrumentação industrial são nas grandezas de tensão e corrente. Pode-se configurar fisicamente as conexões de entrada para funcionar em modo tensão ou corrente. Para leitura de tensão, utiliza-se a entrada “VIO” e o terminal “COM”, que pode medir os ranges de 0 – 5V ou 0 – 10V, e para esse último deve-se manter o jumper “JPx” conectado. Para medição de corrente, é necessário inserir uma conexão externa entre “VIO” e “IIO”, e efetuar a medição entre essa conexão e o terminal “COM”, nessa configuração, os ranges medidos podem ser de 0 – 20mA e 4 – 20mA. (TARIQ, A. K.; ZIYAD A.T.; ABDULLAH, A.O., 2013).

3.4. Saída Digital (Relé e Transistor Coletor aberto PNP)

3.4.1 Saída a relé

Esta é a etapa de saída mais usual para controle de cargas com consumo de corrente considerável, pois garante isolamento galvânico entre os níveis de tensão e corrente da carga em relação ao circuito lógico, que funciona em níveis de tensão muito baixos, da ordem de 3.3V a 5V. A saída desta etapa consiste de um “contato seco” do tipo normalmente aberto que pode chavear uma carga AC ou DC com tensão máxima de 250V x 10A. (METALTEX, 2008).

⁶ Um díodo é um dispositivo semicondutor que basicamente atua como um interruptor de um sentido para a corrente. Permite que a corrente passe facilmente numa direção, mas impede consideravelmente a corrente de passar na direção oposta.

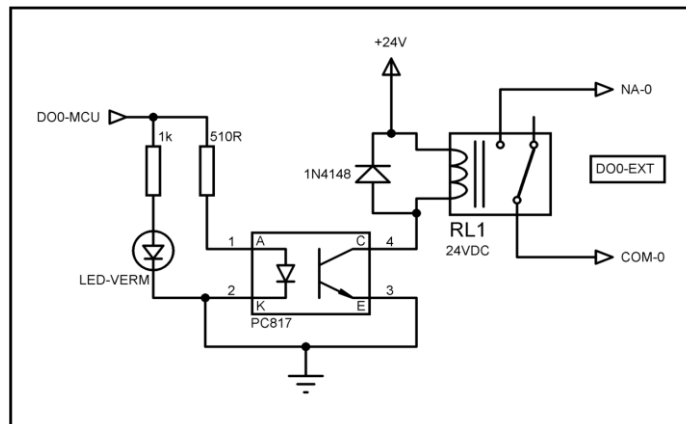


Figura 5 – Interface de saída digital a Relé opto-isolada (Dos Autores).

Este circuito possui um grau maior de isolamento que os demais, pois além do isolamento obtido pelo uso do relé, ainda conta com seu acionamento através de opto-isolador, e muito frequentemente para proteção adicional, utiliza-se externamente fusível em série com os contatos de saída que seja compatível com a carga utilizada. (METALTEX, 2008).

3.4.2 Saída a transistor coletor aberto PNP

A saída digital a transistor se encontra presente em muitos modelos de PLCs, e possui algumas vantagens em relação a saída a relé. Por utilizar um semicondutor como elemento de chaveamento, pode chavear cargas DC com maior velocidade, possui maior vida útil e quando na configuração de coletor aberto, pode trabalhar com níveis de tensão configurável.

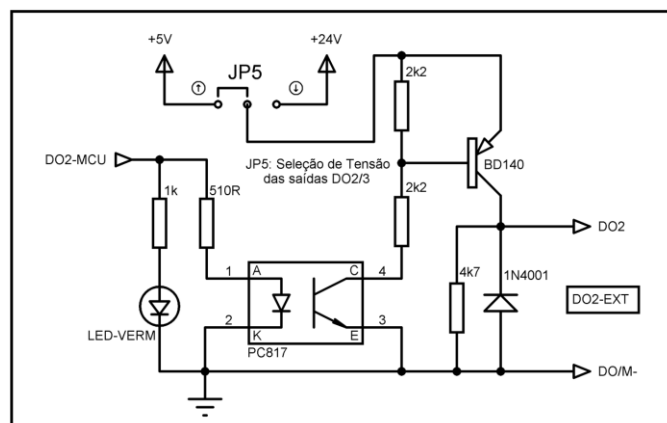


Figura 6 - Interface de saída digital a Transistor PNP opto-isolado (Coletor aberto) (Dos Autores).

O circuito utilizado neste projeto pode chavear no máximo, tensão de 30VDC x 0.5A, tem opto-isolamento do circuito lógico e consegue alcançar teoricamente, algumas dezenas de Khz, limitado pela frequência limite do transistor empregado (BD 140) e a frequência de saída do microcontrolador.

O uso da configuração com transistor PNP coletor aberto permite empregar tensão de saída com nível compatível com a carga que será controlada, por isso, o circuito possui jumper de configuração para 5V e 24V, que são as mais usuais para uso industrial, e respeitando o limite de corrente fornecido, pode chavear periféricos que a saída a relé costuma ser também empregada, como em pequenos contactores e válvulas solenóide de 24V de pequeno porte. Outro uso possível para esse tipo de saída, é o controle de motores de passo ou outros tipos de motores que possuem drives compatíveis com saídas rápidas para controle de posição ou velocidade através de pulsos (BOYLESTAD, NASHELSKY, 2013).

3.5. Saídas Analógicas (corrente, tensão e PWM)

Saídas analógicas em PLCs são muito utilizadas quando precisamos de um controle mais preciso de alguma variável manipulada, e onde o controle simples ON-OFF não é capaz de controlar satisfatoriamente algum processo. Algumas características deste tipo de sinal são importantes a considerar quanto ao seu emprego num sistema de controle, como resolução do sinal, tipo de modulação e range de operação. No protótipo construído, foi empregado os 3 tipos mais comuns de sinal analógico, o de corrente, tensão e modulação de largura de pulso (PWM) (FILHO, J.R.M.; ARAÚJO JUNIOR, L.O., 2014).

3.5.1 Saída em corrente

A saída analógica em corrente é ainda o tipo de sinal mais utilizado na indústria para comunicar sensores e atuadores a controladores em campo, pois sua empregabilidade é simples, pode ser aferido com medidores elétricos de baixo custo (mili-amperímetro), possui integridade do sinal em toda a extensão do cabeamento, pode ser empregado em médias distâncias (1000m) a depender de fatores como seção transversal dos condutores, tipo de blindagem, nível de ruído eletromagnético, qualidade das conexões, entre outros. (FILHO, J.R.M.; ARAÚJO JUNIOR, L.O., 2014).

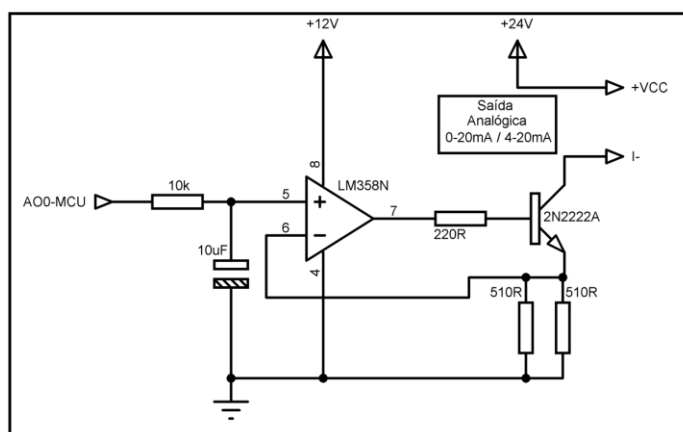


Figura 7 - Interface de saída analógica (Corrente) (Dos Autores).

Para o protótipo, foi utilizada a saída direta do microcontrolador (Arduino Mega) em modo PWM, pois essa placa de desenvolvimento não possui nativamente saída analógica real (DAC – Digital to Analog Converter). Para emular uma saída analógica real utilizando PWM, foi necessário recorrer a uma técnica utilizando um filtro passivo RC passa-baixa que transforma a sequência de pulsos em um sinal com nível DC que varia proporcionalmente com a largura de pulso (BANZI. M., 2011).

O Microcontrolador presente na placa de desenvolvimento Arduino Mega possui 12 saídas com característica PWM, e o nível DC de cada saída é o mesmo da alimentação do circuito lógico, no caso, 5V. A resolução padrão para o sinal PWM é da grandeza de 8 bits ($2^8 = 256$), onde o sinal pode ser excursionado em 255 valores discretos, assim a resolução é dada por $\left(\frac{5V}{255}\right) = 19,6mV$ ou 0.392%, que representa a menor variação possível no sinal de saída do filtro RC (CAVALCANTE, M.A.; TAVOLARO, C.R.C.; MOLISANI, E., 2011).

A etapa seguinte de condicionamento desse sinal em tensão, é responsável por reforçar e converter em sinal de corrente no range de 0 a 20mA, e isso é possível utilizando um CI amplificador operacional no modo seguidor de tensão com transistor de booster, desta forma ,utilizando um resistor de 250Ω no emissor do transistor ao terra para gerar queda de tensão proporcional a corrente na saída do circuito, pode-se converter a saída DC do filtro RC em corrente proporcional, onde 1V na entrada, corresponde a 4mA e 5V corresponde a 20mA. Com esse circuito, podemos controlar a saída nos 2 ranges em corrente mais utilizados ,4-20mA e 0-20mA, sendo o primeiro exemplo mais utilizado, pois quando receber valores abaixo de 4mA, representa rompimento do condutor ou problema nas conexões, atuando como detecção de falha, característica ausente no range de 0-20mA, onde o valor 0V pode ser mal interpretado como nível mínimo quando houver rompimento de condutores do loop de corrente (BASCOPÉ; GOMES; FONTENELE, 2013).

3.5.2. Saída em tensão

A saída analógica com saída em tensão é muito utilizada para conectar controladores a drives ou outros dispositivos a pequenas distâncias e em ambientes com pouca interferência eletromagnética, pois esse tipo de sinal sofre perdas por queda de tensão nos condutores e é muito suscetível a desvio de offset e perda de linearidade quando seu cabeamento passa por trechos longos em paralelo com cabos de alimentação e principalmente de saída para motores de potência (LIMA, 2023).

Parte do circuito de condicionamento do sinal de tensão do protótipo, permanece idêntico a primeira metade do circuito de saída analógica em corrente, pois utiliza o mesmo padrão de sinal PWM do microcontrolador, o restante da etapa com amplificador operacional tem a função de reforçar e duplicar o nível de tensão de sua entrada, assim é possível excursionar um range de entrada de 0 a 5V para outro range de 0 a 10V, já que o amplificador operacional foi configurado no modo amplificador não-inversor (LIMA, 2023).

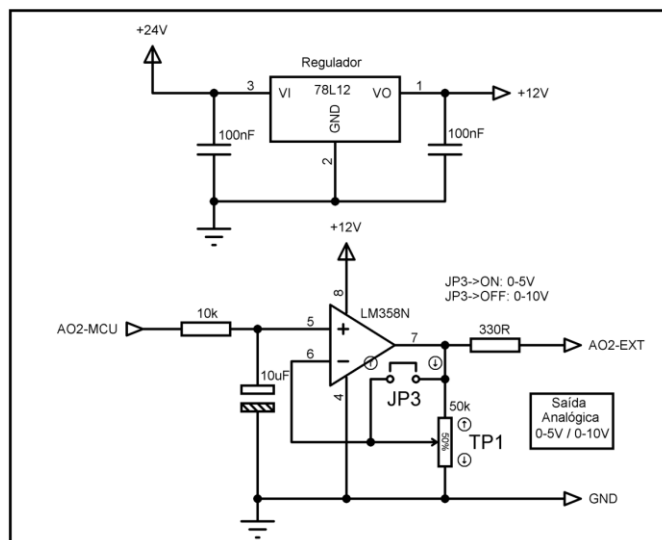


Figura 8 - Interface de saída analógica (Tensão) (Dos Autores).

Uma característica importante nesse circuito foi criada, para possibilitar aplicar a saída analógica em tensão em ranges diferentes, dependendo da entrada do sistema a ser controlado ou que utiliza esse sinal para monitoramento de alguma variável proveniente da saída do protótipo. Para alterar entre os ranges de 1 a 5V ou 0 a 10V, foi adicionado ao circuito um jumper, que seleciona entre as duas faixas de tensão, simplesmente atuando entre os modos de funcionamento do amplificador operacional (LIMA, 2023).

3.5.3. Saída PWM de potência

A saída PWM dos microcontroladores é muito versátil e tem aplicações distintas, onde são mais eficientes em relação às saídas analógicas em nível DC. Nesse modo de modulação de sinal, o nível DC aplicado à carga é sempre o mesmo da alimentação, e o controle é puramente o sinal gerado no pino de saída do microcontrolador, amplificado em corrente e nível DC compatível com a carga (DANCY, CHANDRAKASAN, 1998).

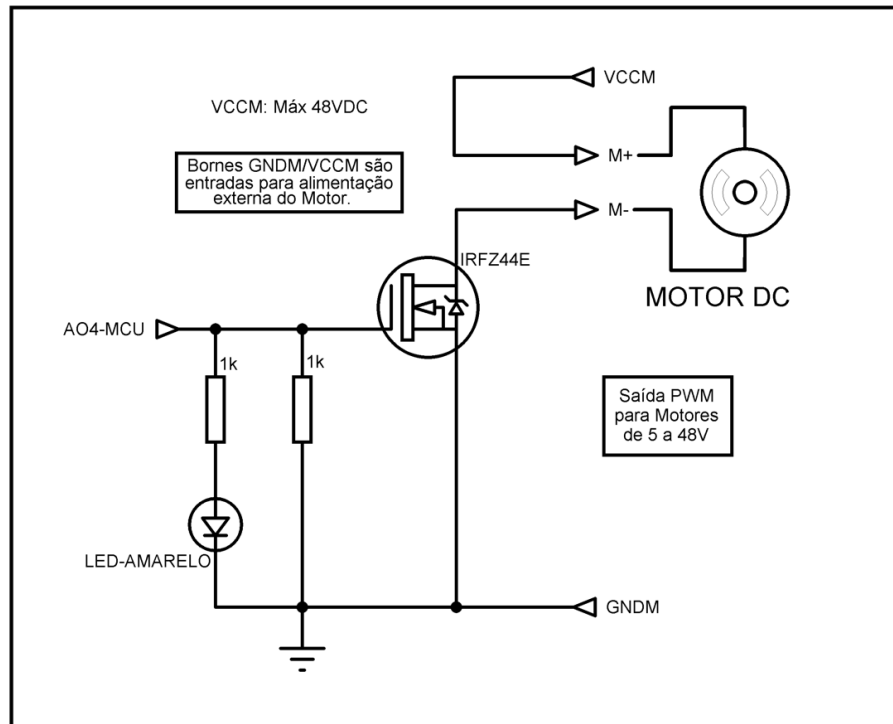


Figura 9 - Interface de saída PWM (Motor DC direto) (Dos Autores).

A aplicação mais comum é no controle de velocidade de motores DC, mas pode ser utilizado para controle de brilho de lâmpadas de LED, gerar tons em Buzzers, controle de servomotor, aquecimento de resistências AC ou DC, entre outros. No protótipo foi empregado um transistor do tipo MOSFET sem etapa opto-isolada, pois esse tipo de transistor possui acionamento por efeito de campo e assim alto isolamento da porta de controle com a carga acionada. Para utilizar essa saída, é necessário alimentar os bornes de alimentação com fonte de alimentação externa com tensão e corrente compatível com a carga, respeitando o limite de tensão que o MOSFET suporta, que para o modelo IRFZ44 é de 48V e 10A na configuração aplicada ao protótipo (sem dissipador de calor) (MACAMBIRA, 2017).

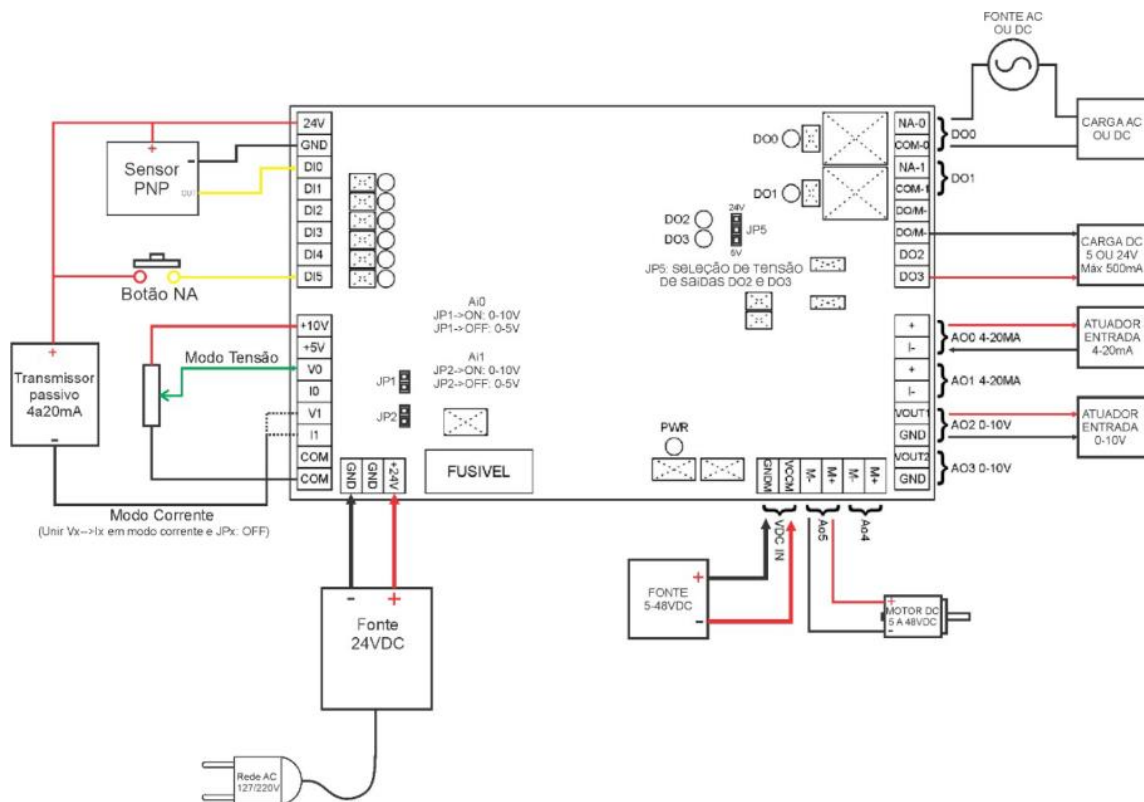


Figura 10 - Representação de pinagem da placa PLC (Dos Autores).

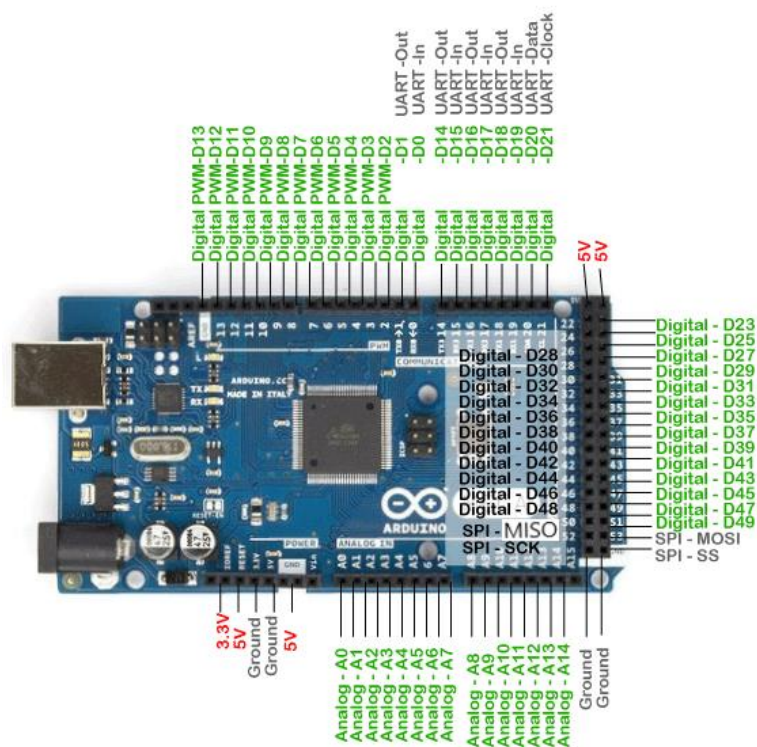


Figura 11 - Pinagem do Arduino Mega (ARDUINO, 2023)

3.6. COMUNICANDO O ARDUINO COM ELIPSE E3

Nesta parte do relatório será descrito como foi realizada a comunicação entre o Arduino, o Codesys e o Elipse possibilitando a resposta do processo em tempo real. O protocolo escolhido para realizar a transferência de dados foi o modbus por sua alta gama de possibilidades de comunicação de instrumentos e CLPs, independente do fabricante, no entanto o projeto também pode ser implantado em outros tipos de protocolos de comunicação se desejado, pois o hardware e seu mapeamento de I/Os não depende da etapa de comunicação. (SIMPLY MODBUS, 2020).

Essa parte do projeto foi dividida em duas, onde a primeira se trata da comunicação do Arduino com o Codesys e a segunda do Codesys com o Elipse. Cada uma delas, utilizando um tipo diferente de transmissão de dados pelo modbus. Primeiramente foi desenvolvido um programa na IDE Arduino especificando o endereço de cada entrada e saída analógica e digital e realizado testes como demonstrados na Figura 12.

```
//Set Slave ID
regBank.setId(1); //Set Slave ID

//Add Digital Output registers
regBank.add(28);
regBank.add(26);
regBank.add(24);
regBank.add(22);

//Add Digital Input registers
regBank.add(10002);
regBank.add(10003);
regBank.add(10004);
regBank.add(10005);
regBank.add(10006);
regBank.add(10007);

//Analog Input registers
regBank.add(30001);
regBank.add(30002);
regBank.add(30003);
regBank.add(30004);

//Analog Output registers
regBank.add(40002);
regBank.add(40003);
regBank.add(40004);
regBank.add(40005);
regBank.add(40006);
regBank.add(40007);
```

Figura 12 -RegBank.add

No codesys foi construída uma estrutura de rede modbus, com dois tipos de transmissão de dados, uma modbus RTU para comunicação serial e outra modbus TCP/IP para comunicação via Ethernet demonstrado na Figura 13.

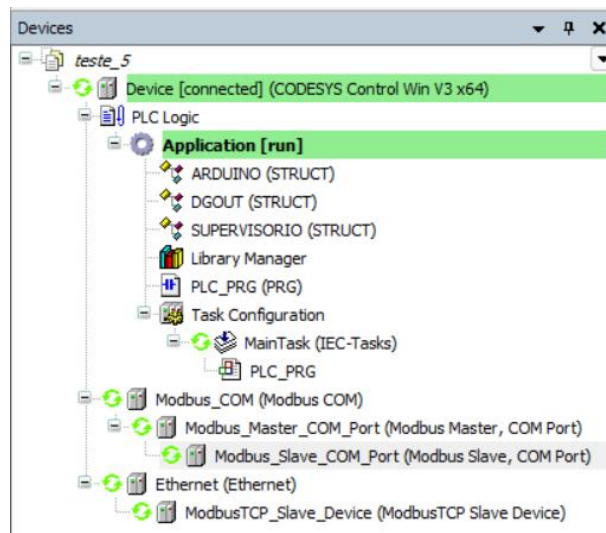


Figura 13 - Estrutura modbus em modo simulação

No modbus RTU é realizada a comunicação entre o Arduino e o Codesys, onde o Codesys atua como mestre e o Elipse como escravo. Os endereços declarados no Arduino se comunicam com o protocolo, numa via física, com as Tags do Codesys, para serem monitorados e controlados. Para realizar a comunicação do Arduino com o Codesys, necessita-se que o hardware possua um protocolo de comunicação que o permita transitar informações dos dispositivos de campo para o programa. No modbus TCP é realizada uma comunicação entre o Codesys que atua como mestre e o Elipse como escravo, as Tags declaradas no Codesys se comunicam com o Elipse neste protocolo (FILHO, J.R.M.; ARAÚJO JUNIOR, L.O., 2014).

3.7. SUPERVISÓRIO

Foi elaborada uma interface no software Elipse E3 para realizar a simulação e acompanhamento das entradas e saídas digitais e analógicas, num ambiente virtual, como exemplificado na Figura 13. A operação da tela do supervisório destina-se à validação das I/Os e foi organizada da seguinte maneira.

Saídas digitais: O acionamento da saída física é feito ao pressionar o botão verde e seu led vermelho correspondente acende, ambos na tela do supervisório. E o oposto ocorre ao pressionar o botão vermelho também no supervisório, desativando a saída física na placa Arduino.

Entradas digitais: Ao ativar uma das entradas digitais físicas, o estado na tela do supervisório será alterado de “desligado” para “ligado”, e ao desativar a entrada física, o oposto também ocorre.

Saídas analógicas: Ao mover o cursor do “Slider” virtual no supervisório, pode-se excursionar um valor inteiro de 8 bits (0 a 255) que se reflete em variação proporcional na

largura de pulso do sinal PWM, para controlar cargas nos níveis de potência, velocidade ou brilho desejados.

Entradas analógicas: Visualiza um valor inteiro com range de 10 bits (0 a 1023) que varia proporcionalmente com a tensão aplicada à sua entrada, compreendida entre 0 e 5V ou 0 a 10V, dependendo da posição do jumper de seleção na placa.

Link para acessar códigos: https://github.com/857456/Remota_TCC_UCL/tree/main

4. CONCLUSÃO

Finalizado o estudo, constatou-se que o projeto estudado e executado para este artigo, traz resultados consistentes com o propósito do curso de Engenharia de Controle e Automação, onde foi possível extrair muita informação útil e experiência sobre equipamentos de controle industrial e métodos de configuração para contextos de aplicação variados.

A proposta do trabalho foi atingida ao se construir de um hardware com características similares a equipamentos industriais que executam tarefas de controle e monitoramento de equipamentos de campo. Assim foi feita uma busca incessante a fim de implementar funções de robustez, proteção e linearidade no projeto de circuitos de interface entre os dispositivos de campo e a plataforma de desenvolvimento de programação escolhida (Arduino). Para tal, cada etapa de interface foi simulada por software gratuito e seu funcionamento atestado por protótipos físicos experimentados em bancada, para após validação bem sucedida, ser integrado ao projeto físico, que contempla uma placa de circuito completa, com todas as interfaces de entradas e saídas disponíveis através de bornes de conexão.

A etapa de comunicação entre o supervisor Elipse E3 com a placa protótipo utilizando o protocolo Modbus RTU foi uma tarefa complexa e por vezes tediosa, pois muitos testes foram mal sucedidos até obtermos uma comunicação eficiente entre os sistemas. Da mesma forma que nos testes com o hardware, foi testado na codificação da placa de desenvolvimento, para que todas as variáveis medidas ou controladas pelo hardware estivessem devidamente disponíveis para comunicação com o servidor de Tags no supervisor Elipse E3. Assim foi possível trabalhar em uma interface gráfica que representasse essas entradas e saídas, onde ao final foi executado o vínculo dos símbolos gráficos a sua respectiva variável física disponível pela placa.

Todas as Tags que transitam entre supervisor e placa do projeto ficam disponíveis como escrita e leitura no servidor do Elipse E3, com isso podemos fazer integração com outros sistemas utilizando o protocolo Modbus. O intuito dessa plataforma aberta, tem principalmente fins didáticos, onde podemos realizar comunicação no protocolo abordado com PLCs de várias marcas, IHMs ou mesmo softwares de simulação de PLCs, onde a configuração do meio de comunicação se torna mais simples, apenas utilizando a lista de endereços que a placa do projeto fornece, já que ela é fixa na placa Arduino embarcada.

REFERÊNCIAS

ANALOG. **Output module AQ 8xU/I HS (6ES7532-5HF00-0AB0)**. [s.l: s.n.] Edition: novembro 2016. Disponível em: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/551/59193551/att_896025/v1/s71500_aq_8xu_i_hf_manual_en-US_en-US.pdf . Acesso em: 20 setembro 2023.

ANALOG. **Input Module AI 8xU/I HF (6ES7531-7NF00-0AB0)**. [s.l: s.n.] Edition: novembro 2016. Disponível em: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/587/109483587/att_896036/v1/s71500_ai_8xu_i_hf_manual_en-US_en-US.pdf . Acesso em: 20 setembro 2023.

BANZI. M. **Getting Started with Arduino**. Sebastopol: O'Reilly, 2011.

BASCOPE, René Pastor T.; GOMES, Ícaro S. Freitas; FONTENELE, Nestor Rocha Monte. **Circuitos de Comando para MOSFETs e IGBTs de Potência**. Abr. de 2013. 24p. Notas de aula. Slides.

BOYLESTAD, Robert L., LOUIS Nashelsky. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**. 11ª Ed: Pearson, 2013.

CALDIERI, R.M.; BIGHETI, J.A; GODOY, E.P. **Automação e controle de processos na nuvem**: proposta e estudo de caso. CBA, 2016. ISSN 2525-8311.

CAVALCANTE, M.A.; TAVOLARO, C.R.C.; MOLISANI, E. **Física com Arduino para iniciantes**. Revista Brasileira de Ensino Física. v.33, n.4, 4503, 2011.

CAVALCANTE, M. A., TAVOLARO, C. R. C & ELIO MOLISANI, E. **Física com Arduino para iniciantes**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, n. 4. 2010.

DANCY, Abram; CHANDRAKASAN, Anantha. **A Reconfigurable Dual Output Low Power Digital PWM Power Converter**. Department of EECS, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Low Power Electronics and Design, 1998. Proceedings. 1998 International Symposium on.

DIGITAL INPUT MODULE. **DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0)**. [s.l: s.n.] Edition: dezembro 2016. Disponível em: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/190/83501190/att_905051/v1/s71500_di_16x24vdc_ba_manual_en-US_en-US.pdf . Acesso em: 20 setembro 2023.

E3. Edição de 2015. Disponível em: <https://www.elipse.com.br/produto/elipse-e3/> . Acessado em: 07 outubro 2023.

FILHO, J.R.M.; ARAÚJO JUNIOR, L.O. **Desenvolvimento de uma unidade terminal remota para aplicações em sistemas de controle distribuídos utilizando o protocolo Modbus**. Cobenge, 2014.

GERARD, GUILLERMO. **Convertidor de Voltaje a Corriente y de Corriente a Voltaje - Lazo**

de corrente de 4 a 20Ma, 2020. 1 vídeo (17 min). Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=rhQQYDuYiEs>. Acesso em: 15 setembro 2023.

LAKATOS, Eva Maria, MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

LIMA, Manoel Eusebio de. **Conversão Digital Analógico e Analógico**. Digital Disciplina: Eletrônica Básica. 2023. Disponível em https://www.cin.ufpe.br/~es238/arquivos/aulas/aula17_conversores_adda.pdf. Acesso em 3 Dez. 2023.

MACAMBIRA, C. N. **Estudo do ponto invariante com a temperatura (ZTC) em UTBB SOI nMOSFETs**. 2017. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2017.

METALTEX, Relé Miniatura. Disponível em: <https://www.metaltex.com.br/downloads/AT.pdf>. 2008. Acesso em: 1 Out.. 2023

MICROCHIP. **MCP6001/1R/1U/2/4 Features**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/MSLD/ProductDocuments/DataSheets/MCP6001-1R-1U-2-4-1-MHz-Low-Power-Op-Amp-DS20001733L.pdf> . Acesso em: 20 setembro 2023.

MOODLE. Moodle USP: e-Disciplinas. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3377035/mod_resource/content/1/Notas%20de%20Aula_SEL406_Parte4_Controladores%20Program%C3%A1veis.pdf. Acesso em: 16 setembro 2023.

NS LAB TUTORIAIS. Arduino Elipse E3 RTU, 2020. 11 vídeos (de 5 a 8min). Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=B6REDR3kzdw&list=PLfn2nBdM7Qf2zB74IlvX79MMwnt03E4-D&index=1>. 07 outubro 2023.

OLIVEIRA, Maria Marly de. **Como fazer pesquisa qualitativa**. Petrópolis-RJ: Vozes, 2007.

TAYLOR, C.; PASQUALE, J. **A remote I/O solution for the Cloud**. IEEE, 2012. ISSN 2159-6182.

TARIQ, A. K.; ZIYAD A.T.; ABDULLAH, A.O. **Arduino wi-fi network analyzer**. Procedia Computer Science. Elsevier, 2013. ISSN 1877-0509.

SJØBAKK, B.; THOMASSEN, M. K.; ALFNES, E. **Implications of automation in engineer-to-order production: a case study**. Springer, 2014. ISSN 2095-3127.

SIMPLY MODBUS. edição de 2020. disponível em: <https://simplymodbus.ca/faq.htm>. acessado em: 07 outubro 2023.

V.-C. GEORGESCU. **“Optimized SCADA systems for electrical substations,”** em 2013 8th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), 2013.

WOLLSCHLAEGER, M.; SAUTER, T.; JASPERNEITE, J. The Future of Industrial Communication: Automation Networks in the Era of the Internet of Things and Industry 4.0. IEEE, 2017. ISSN 1932-4529.

NOTAS

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar a minha gratidão a minha família, aos meus colegas, aos professores e em especial ao meu orientador pela orientação, cobrança e apoio durante todo o TCC.

CONTRIBUIÇÃO E AUTORIA

Raquel Ururahy Lopes e Saulo Bonadiman Gelinski

FINANCIAMENTO

Não se aplica.

CONSENTIMENTO DE USO DE IMAGEM

Não se aplica.

CURSO

Engenharia Controle e Automação

COORDENADOR DO CURSO

Fabiano Correa da Silva

DATA DE ENTREGA

19/11/2023

BANCA AVALIADORA

Vitor Jurtlero de Freitas e Hugo Freitas

DECLARAÇÃO DE INEXISTÊNCIA DE PLÁGIO

Declaro que o trabalho não contém plágio ou autoplágio total ou parcial. Todo o conteúdo utilizado como citação direta ou indireta foi indicado e referenciado.

LICENÇA DE USO

Os autores do artigo cedem o direito à divulgação e publicação do material para comunidade acadêmica através de portal da Biblioteca e repositório institucional. Esta autorização permite sua utilização como base para novas pesquisas, caso haja adaptação do conteúdo é necessário atribuir o devido crédito de autoria.