

ESTAÇÃO REMOTA MICROCONTROLADA PARA SISTEMAS DE SUPERVISÓRIO E CONTROLE

Uglefson Pagung¹
Otavio Gonçalves Adam²

Resumo

Atualmente a automação no setor industrial tem ganhado força por se provar eficiente no desempenho de suas funções em contraste com o trabalho humano em diversas ocasiões. Uma das principais vertentes da automação industrial é o sistema supervisório, por meio do qual os sistemas são controlados automaticamente ou manualmente e supervisionados afim de que se obtenha uma maior qualidade no produto final e com menor custo, sendo este um dos objetivos principais da indústria. Esta pesquisa tem por objetivo verificar a viabilidade da utilização do microcontrolador PIC18F4550 para o desenvolvimento de uma unidade remota para um sistema de supervisório e controle implementando suas principais funcionalidades, sendo elas, leitura de sensores, controle de atuadores e comunicação remota. Para isto serão utilizados um sensor transdutor de temperatura LM35A, um atuador relé e um módulo transceptor HC-12, além do próprio microcontrolador em questão. O resultado da pesquisa poderá sinalizar uma alternativa a mais para o desenvolvimento de estações remotas modulares para o sistema supervisório, já que o microcontrolador permite a reprogramação conforme as necessidades de cada projeto, e a inclusão de diferentes sensores, atuadores, protocolos e meios de comunicação podem ser implementadas.

Palavras-chave: controle, supervisório, microcontrolador.

Introdução

Atualmente, é possível ver com uma certa frequência exemplos de sistemas que foram automatizados ou até mesmo que necessitam de algum tipo de automatização

¹ Graduando em engenharia elétrica pela Faculdade Novo Milênio, Vila Velha – ES (uglefson.pagung@sounovomilenio.com.br)

² Mestre em Administração (stricto sensu - 2020); Pós-graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho (lato sensu - 2016); Engenharia de Avaliações e Perícias (lato sensu - 2016); MBA em Orçamento, Planejamento e Controle na Construção Civil (lato sensu - 2017); Desenvolvimento e Gerenciamento de Projetos em BIM (lato sensu - 2018); EAD e suas tecnologias no ensino superior (lato sensu - 2019); Docência do ensino superior (lato sensu - 2019); Administração escolar (lato sensu - 2021); Graduado em Engenharia Civil (2020); Graduado em Engenharia de Produção (2016); Graduando em Administração (2021). (otavio.adami@novomilenio.br)

com o propósito de obter um melhor desempenho de suas funções (STEVAN; SILVA, 2020, p. 12).

Dentre as principais bases da automação industrial, está o sistema de supervisão e controle de processos. Tal sistema, de forma generalizada, é responsável por intermediar a atuação humana em um processo por meio de dispositivos confiáveis, os quais garantem maior segurança, minimização de falhas e o bom desempenho das ações, influenciando positivamente na otimização do processo (GARCIA JÚNIOR, 2019, p.3).

Na década de 1940, os sistemas supervisórios consistiam em enviar sinais analógicos para instrumentos de medição em painéis pneumáticos localizados em uma sala de controle, fazendo o uso de linhas de pressão de 20 a 100kPa, proporcionais às grandezas quantificadas (GARCIA JÚNIOR, 2019, p.4).

No fim da década de 1960, surgiram os primeiros minicomputadores e a palavra *automation* que tinha por objetivo enfatizar a utilização de tais computadores no controle automático industrial. Tais computadores foram implementados já em 1969 pela General Motors na otimização de seus processos realizando a substituição de tecnologias analógicas, e a partir daí, uma série de evoluções se sucederam. Em 1970 os microcontroladores passaram a ter microprocessadores, dando origem aos CLPs (Controladores Lógicos Programáveis) os quais permitiam tanto o controle lógico quanto o controle dinâmico dos processos, permitindo ainda ajustes com uma simples reprogramação em loco, facilitando ainda mais o controle e a modularização do processo (MORAES; CASTRUCCI, 2001, p. 29 e p. 15).

No fim dos anos de 1970 as interfaces homem-máquina (IHMs) passaram a fazer uso dos monitores de vídeo mais desenvolvidos e já na década de 1980, com a grande evolução obtida nos meios de comunicação a rádio e a evolução na capacidade de armazenamento de dados, foi possível desenvolver uma instrumentação mais confiável e “inteligente”, e com isso surgiram inúmeras ferramentas de software, as quais moldaram os conceitos atuais de controle e supervisório exibindo dados e gráficos aos usuários (GARCIA JÚNIOR, 2019, p.8 e p. 9)

Para Kerschbaumer (2018), os microcontroladores atualmente são amplamente utilizados na indústria, como controladores de processo, sensores inteligentes,

inversores, *soft starters*, interfaces homem-máquina, controladores lógicos programáveis, balanças, indicadores digitais, etc.

Ferreira e Silva (2021) se propuseram a desenvolver e verificar o funcionamento de um sistema de controle e supervisor microcontrolado de baixo custo com o objetivo de controlar via software supervisor a velocidade de rotação de um motor de indução trifásico por meio de um inversor de frequência. Utilizando o microcontrolador do Arduino UNO, concluiu-se não só o pleno funcionamento e precisão do sistema, mas também sua fácil implementação e utilização. Devido ao sucesso da pesquisa, os autores citaram o uso do microcontrolador como sendo uma ótima alternativa de implementação tendo em vista o seu custo/benefício.

Segundo Souza (2005), o hardware de controle de um sistema supervisor é um conjunto de dispositivos responsáveis pelo controle e obtenção de dados, comumente são utilizados atuadores e sensores para estas tarefas respectivamente. O software de monitoramento acessa os dados do processo através do hardware de controle e os disponibiliza ao usuário por meio dos monitores de vídeo.

Para Andrade (2018), a principal finalidade deste sistema é monitorar e controlar dados importantes durante a produção em uma fábrica de forma autônoma. Para isso, um controlador lógico programável ou outro tipo de unidade terminal remota são utilizadas, tal como a que será desenvolvida durante este estudo e será referenciada apenas como “unidade remota”. Estes dispositivos eletrônicos permitem a comunicação entre a central de monitoramento e os processos monitorados. Por meio desses dispositivos, os dados reportados pelos sensores podem ser obtidos, seus cálculos realizados e a saída apresentada para a visualização e tomada de decisão de forma automática ou manual o que geralmente implica no emprego de atuadores para modificar o processo de alguma forma, logo, as principais funcionalidades de um uma estação remota é a leitura de sensores, comando de atuadores e comunicação com o software supervisor. Neste artigo, vamos nos ater às três funcionalidades principais apresentadas: Leitura de sensores, Controle de atuadores e comunicação com o software supervisor.

Segundo Kuo (2012), são obtidos ganhos consideráveis aplicando estas tecnologias ao controle de processos industriais, tais como: Aumento do nível da qualidade dos produtos; Diminuição de retrabalho; Aumento na confiabilidade e segurança poupando a atividade humana em controles manuais e repetitivos.

Os sistemas supervisórios aplicados em processos contínuos que envolvam variáveis analógicas, comumente encontradas em meio a indústria elétrica, química e petroquímica, os quais necessitam de comunicação a longas distâncias são chamados SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) ou no português, Supervisório Controle e Aquisição de Dados (GARCIA JÚNIOR, 2019, p.14 e p19).

A eficiência dos processos envolvidos na indústria depende da qualidade dos instrumentos, tais como sensores, atuadores e controladores utilizados na automação de seus processos. Quando utilizada de forma inteligente e planejada, a instrumentação industrial pode reduzir custos, aumentar a produtividade e ajudar a melhorar a qualidade da produção e a segurança do processo. (ROURE, 2018).

Segundo Roure (2018), um dos principais objetivos da instrumentação industrial é manter o controle sobre o processo produtivo, seja em termos de volume, peso, densidade, vazão, etc. Se suas medições forem válidas, automações podem ser desenvolvidas para que se tenha maiores rendimentos, pois esses processos serão realizados sem a intervenção humana. De forma geral, a instrumentação precisa aumentar significativamente a eficiência da planta.

Este estudo se justifica no crescimento do emprego de microcontroladores na indústria, e a importância da automação e a utilização em larga escala de uma de suas principais vertentes, os sistemas supervisórios, com o objetivo principal de verificar a viabilidade de se utilizar o microcontrolador PIC18F4550 juntamente com os componentes e tecnologias apresentadas acima para desenvolver uma estação remota para um sistema de controle e supervisório, a qual poderá ser útil no controle de pequenos sistemas com base nos autores Stevan e Silva (2020) os quais alegam que tais microcontroladores de baixo custo são uma alternativa ao desenvolvimento de controles simples em processos de pequenas indústrias. A cada etapa do projeto, será incrementada uma das três principais funcionalidades deste sistema, sendo elas: Leitura de sensores; Controle de atuadores e comunicação com o software supervisório, sendo estas, as três principais funcionalidades de um sistema de controle e supervisório.

Materiais e métodos

Sendo um estudo experimental, observará a capacidade do microcontrolador ao desempenhar as funções básicas de um sistema de supervisório e controle, onde

será levado em consideração apenas as três principais funcionalidades já citadas acima dentre as diversas encontradas em uma estação remota de um sistema supervisão comercial atualmente. Não foram levados em consideração o encapsulamento a aplicação real e o custo do projeto, pois todos os testes e desenvolvimentos foram feitos em laboratório.

A pesquisa se constitui em três etapas: desenvolver o protótipo de uma estação remota de um sistema de supervisão e controle usando o microcontrolador PIC18F4550; verificar a efetividade do protótipo ao realizar as tarefas básicas de uma unidade remota em um sistema de supervisão e controle sendo elas, leitura de sensores, controle de atuadores e comunicação remota, e por fim, concluir com base nos dados obtidos nos testes, a viabilidade da utilização do referido microcontrolador neste sistema.

Durante a primeira etapa, um protótipo será desenvolvido em laboratório reunindo os equipamentos e tecnologias abordadas na introdução deste trabalho, tais como o microcontrolador PIC, sensores, atuadores e antenas. Durante esta etapa da pesquisa, uma revisão bibliográfica será necessária ao longo de todo o processo de desenvolvimento, pois farão parte do projeto diferentes equipamentos, dispositivos e tecnologias, as quais tem sua documentação fornecida por seu próprio fabricante onde os detalhes e particularidades de cada equipamento são descritos, esses documentos são os chamados datasheets (folha de dados), neles, dentre outros detalhes técnicos, estão o modo de uso, especificações e diferentes maneiras de implementação. Pretende-se implementar cada parte do sistema de forma escalonada com o intuito de realizar testes para verificar o funcionamento e estabilidade de cada parte do projeto, como a comunicação serial (HC-12), leitura do sensor (LM35A), e por fim, o controle do atuador relé (AX1RC-5v).

Começando por uma das bases do sistema de supervisão e controle, a comunicação remota, que será feita utilizando o protocolo serial RS-232 entre o microcontrolador PIC18F4550 e um computador utilizando um par de antenas (HC-12). Afim de garantir tal comunicação, uma das antenas será conectada ao computador por meio de um cabo conversor serial-usb e a outra antena será conectada diretamente ao microcontrolador. Após o hardware devidamente implementado, uma programação será desenvolvida utilizando o software de desenvolvimento MPLAB-X, compilado com o compilador XC8 e gravado no

PIC18F4550 através do gravador PICkit 3, todos os equipamentos e softwares são da Microchip®, mesma fabricante do microcontrolador.

Após a implementação, serão realizados testes de comunicação entre o computador e o microcontrolador, onde será verificado a capacidade do microcontrolador de cumprir uma das três tarefas básicas de um sistema de supervisor e controle, a comunicação remota.

Com a comunicação remota entre o microcontrolador e o computador possivelmente estabelecida, será realizada a implementação da leitura do sensor de temperatura (LM35A). Para isso, primeiramente será conectado ao microcontrolador PIC18F4550 o sensor de temperatura LM35A conforme o fabricante indica em seu datasheet. Para realizar a leitura do sensor uma modificação na programação do microcontrolador será realizada, afim de incrementar o código necessário para enviar os dados obtidos do sensor de temperatura ao computador por meio da comunicação serial remota.

Após a implementação do sensor ao sistema, serão realizados testes com o objetivo de verificar a segunda das três tarefas básicas de um sistema de supervisor e controle, a leitura de sensores. Para tal, serão verificados a perfeita transmissão e precisão de dados de temperatura obtidos do sensor.

Implementados os recursos de comunicação remota e leitura de sensores, a terceira e última funcionalidade básica do sistema de supervisor e controle será implementada, o controle de um atuador relé situado na estação remota por meio de um computador, que será a estação base. Para tanto, um atuador relé irá ser conectado ao microcontrolador, e uma programação será implementada no mesmo a fim de que, caso seja recebido um comando do computador, tal comando se traduza na comutação do atuador relé. Tal informação será transmitida automaticamente pelo computador, com base nos dados obtidos do sensor de temperatura, relacionado com um set-point definido pelo usuário. Caso a temperatura lida pelo sensor for maior que a temperatura do set-point, o computador irá enviar um comando ao microcontrolador, o qual se encarregará de acionar o atuador relé. O atuador relé por sua vez, a partir de um comando de baixa potência advindo do microcontrolador, irá comutar e permitir o fluxo de corrente elétrica entre seus terminais de alta potência, onde um dos terminais de um motor de indução monofásico estará conectado. Tal fluxo de corrente permitirá que o motor ligue e

inicie o movimento em um pistão compressor de ar ao qual estará conectado em seu eixo. De forma análoga, caso a temperatura lida do sensor de temperatura seja menor do que a temperatura do set-point, o computador irá enviar um comando para o microcontrolador a fim de interromper a comutação do relé, desligando assim o motor a ele conectado.

A estação base (computador), também poderá enviar os comandos de acionamento e desligamento ao microcontrolador de forma manual, ignorando a temperatura do sensor.

Para os testes, várias variações de temperatura serão artificialmente provocadas nas proximidades do sensor a fim de verificar a execução da ação esperada, o acionamento do motor a partir da relação entre temperatura lida e o set-point definido. Da mesma forma, o acionamento manual será testado enviando comandos em diferentes intervalos de tempo para o microcontrolador realizar o acionamento e desligamento do atuador relé, a fim de analisar o perfeito funcionamento da última das três funcionalidades básicas de uma estação remota no sistema de supervisão e controle desempenhadas pelo microcontrolador PIC18F4550.

Após a etapa de desenvolvimento do protótipo, onde cada funcionalidade foi implementada e testada de forma individual, serão realizados os testes de desempenho e estresse a fim de verificar a efetividade do microcontrolador ao desempenhar suas funções. Tais testes incluem o acionamento intermitente do relé de forma manual através da estação base, ao mesmo tempo em que variações de temperatura artificiais serão aplicadas ao sensor de temperatura, para verificar a precisão da variável analisada, o tempo de reação entre o comando e o acionamento de fato do motor por meio da comutação do atuador relé, e a comunicação serial remota no sentido de envio e recebimento de informações.

Nos quesitos avaliados nos testes anteriores, será apresentada a afirmação positiva ou negativa a fim de qualificar o microcontrolador PIC18F4550 como um possível microcontrolador utilizável em uma estação remota de um sistema de supervisão e controle, o qual deverá cumprir as seguintes funções em situações de operação normais e de estresse: leitura de sensores, acionamento de atuadores e comunicação remota com o dispositivo base.

Resultados e análises

A base de qualquer sistema que tenha um processador eletrônico programável é sem dúvida a programação de seu firmware. Portanto, nesta primeira etapa do estudo, será realizado um detalhamento técnico do microcontrolador escolhido explicando os recursos que serão utilizados bem como o desenvolvimento do código fonte inicial, que será incrementado a cada nova funcionalidade.

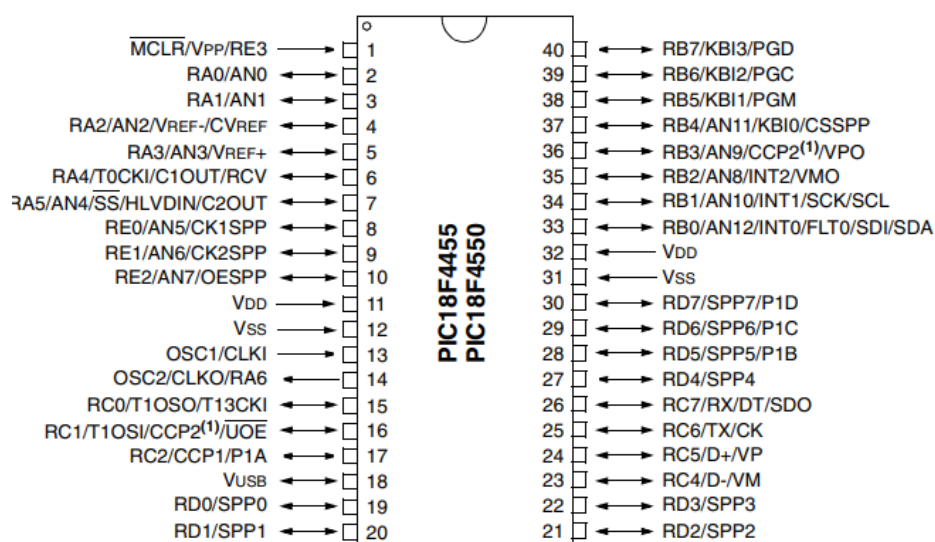
Neste estudo, será utilizado o microcontrolador PIC18F4550, o qual segundo Miyadaira (2009), o PIC18F4550 ilustrado nas figuras 1 e 2, é um microcontrolador de 8 bits com arquitetura Harvard e conjunto de instruções do tipo RISC (computador com conjunto de instruções reduzido), possui 32 KB de memória ROM (memória somente leitura) e 2048 *bytes* de memória RAM (memória de acesso randômico). Sua tensão de alimentação pode ser da ordem de 4 a 5,5 volts, e opera em frequências de até 48MHz, nas quais pode executar até 12 milhões de instruções por segundo. Possui 40 pinos, sendo 35 configuráveis como portas de entrada e saída e diversos periféricos dentre eles: 256 *bytes* de memória EEPROM (memória somente leitura programável apagável eletricamente), um módulo CCP (captura, comparação e PWM) e ECCP (captura, comparação e PWM melhorada), um módulo SPI (interface periférica serial) e um módulo I2C (circuito inter-integrado). Possui 13 conversores analógico-digitais (ADs) com resolução de 10 *bits* cada com tempo de amostragem programável e 2 comparadores analógicos, recursos estes que serão fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho, pois possibilitam discretizar variáveis analógicas utilizando sensores e outros dispositivos. O microcontrolador também conta com uma comunicação EUSART (transmissor receptor síncrono assíncrono universal aprimorado) a qual será utilizada para realizar a comunicação entre o microcontrolador e o software supervisor, um temporizador de 8 *bits* e três temporizadores de 16 *bits*, um módulo de detecção de nível de alta/baixa tensão (HLVD). Um módulo USB 2.0 que pode operar em modo de baixa velocidade (1,5 Mbps) ou velocidade total (12 Mbps).

Figura 1 - PIC18F4550 no encapsulamento 40-pin PDIP



Fonte: Loja online Microchip Technology (2022)

Figura 2 – Pinagem do PIC18F4550



Fonte: Loja online Microchip Technology (2022)

Como indicado na apresentação do microcontrolador, três dos seus diversos recursos serão de grande utilidade nesta pesquisa, as portas configuráveis como entrada/saída, o módulo EUSART, e o módulo ADC, por meio dos quais serão implementadas as três principais funcionalidades de uma unidade remota sendo elas, o controle de atuadores a comunicação com o software supervisor e a leitura de sensores por meio da conversão de variáveis analógicas para digitais.

As portas de entrada/saída segundo Luz (2019), são pinos no microcontrolador, que podem ser usados tanto para receber tensões (entrada), quanto para emitir tensões (saída), os quais devem ser previamente configurados conforme as necessidades do projeto. Segundo o autor, um pino configurado como saída, pode emitir tensões

entre 0V (nível lógico baixo) e a tensão de alimentação do microcontrolador, que para este artigo, será 5V (nível lógico alto). Com estas tensões disponíveis para serem utilizadas, é possível realizar o acionamento de dispositivos como LEDs, *relays*, ou outros dispositivos que trabalham nesta faixa de tensão. Neste artigo, estas portas serão responsáveis pelo controle do atuador *relay* utilizado, sendo esta a primeira das três funções principais de uma unidade remota.

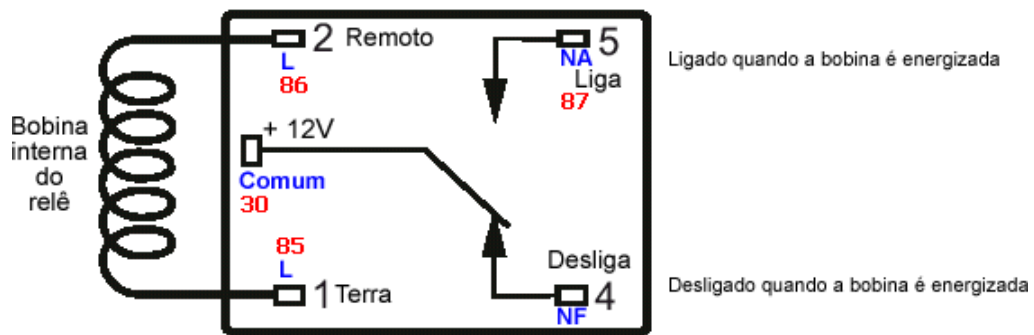
O módulo EUSART segundo Luz (2019), permite a comunicação serial de dados entre dispositivos externos, como outros microcontroladores, modems, e no caso deste artigo, entre o microcontrolador e um computador. Segundo autor, a comunicação se dá por pulsos elétricos em série, pois isso o nome comunicação serial, onde basicamente um pulso positivo representa o valor binário 0 e um pulso negativo, representa o valor binário 1 e assim, com uma série de pulsos elétricos, os dados poderão ser transmitidos e recebidos pelo microcontrolador, e desta forma, este módulo será utilizado para a segunda função da unidade remota, a comunicação de dados.

Já o módulo ADC segundo Luz (2019), é capaz de realizar a conversão de uma grandeza analógica, tais como temperatura, umidade etc. em valores digitais. Sendo assim, podemos por meio deste módulo mensurar os valores de temperatura por meio de sensores, transformando-os em valores digitais, e assim tendo uma variável discretizada, a qual poderá ser enviada ao software supervisor por meio do módulo de comunicação e assim analisada com os fins desejados. Por meio deste recurso, a terceira e função de uma unidade remota será desenvolvida, a leitura de sensores.

O primeiro recurso que será implementado e testado será o uso das portas de entrada/saída para o acionamento do atuador *relay*. Para Castro (2020), os relés são amplamente utilizados devido à sua versatilidade, pois permitem a comutação de cargas de corrente contínua e corrente alternada. Eles são projetados para permitir ou impedir o fluxo de corrente elétrica através de contatos mecânicos. O conjunto relé consiste basicamente em uma chave de três contatos: um contato comum (C), um contato normalmente aberto (NA ou NO) e um contato normalmente fechado (NF ou NC). Os contatos normalmente fechados são puxados por uma mola, mantendo-os fechados em condições normais. Para abrir os contatos NF e fechar os contatos NA, as bobinas internas do componente devem estar devidamente alimentadas. Esta bobina funciona como um eletroímã, criando um campo magnético

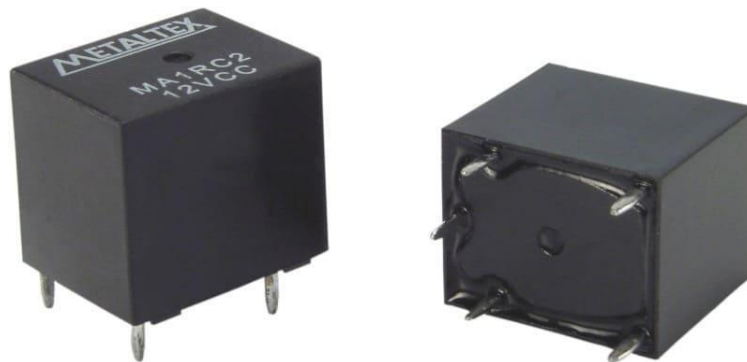
quando alimentado pela tensão correta. Este campo magnético cria uma força atrativa na armação, que é responsável por movimentar os contatos, abrir o NF e fechar o NA. A figura 3 apresenta o esquema interno de um atuador relé, e a figura 4 um dos seus encapsulamentos comerciais.

Figura 3 - Esquemático de um atuador relé



Fonte: Fórum autosom.net (2022)

Figura 4 – Encapsulamento comercial de um atuador relé

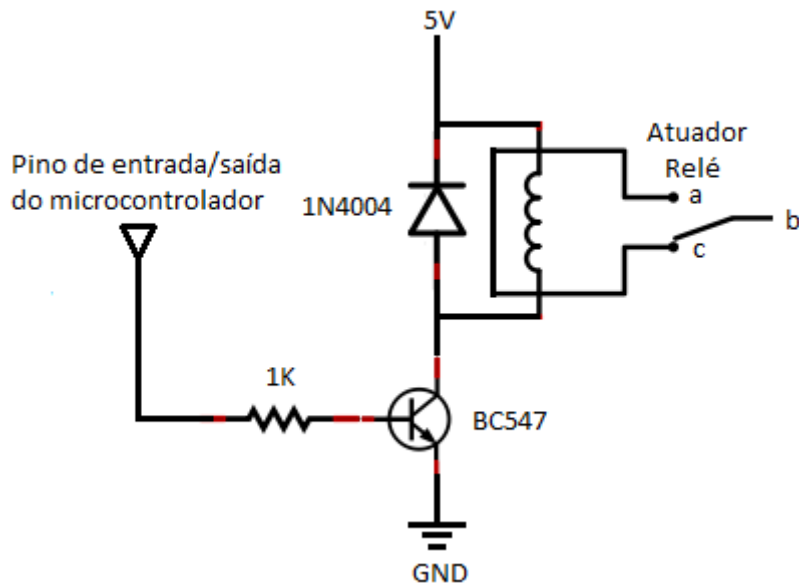


Fonte: Catálogo online Metaltex (2022)

Para o acionamento do atuador relay, foi desenvolvido um firmware para o microcontrolador que acionasse o relay por meio de um pino do microcontrolador configurado como saída, o qual emite uma tensão de 5V quando ligado, alimentado a bobina do relay e assim realizando seu acionamento, mantendo o mesmo ligado por 1 segundo, e desligado por 1 segundo em um loop. O esquemático elétrico utilizado neste estudo pode ser encontrado na figura 5. Após os realizados os testes, foi verificado o seu perfeito funcionamento como esperado, podendo serem

acionadas cargas de maior potência, como no caso em questão fora utilizado um motor monofásico 127v.

Figura 5 – Esquemático elétrico usado para controle do atuador relé



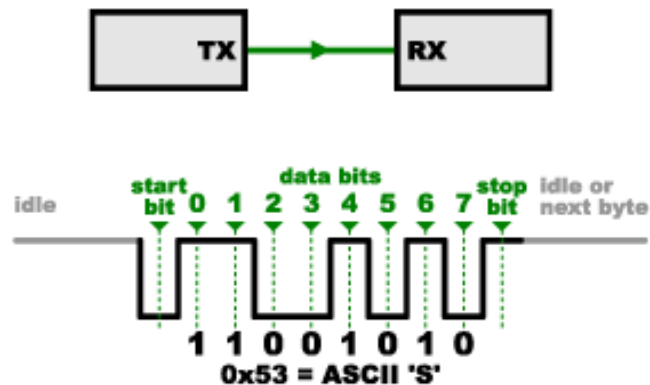
Fonte: Fórum Laboratório de Garagem (2022)

A comunicação com o software supervisor será desenvolvida com base no módulo EUSART do microcontrolador. Segundo Braga (2003), um dos métodos mais comuns de envio de dados entre dispositivos é através de linhas de comunicação serial, principalmente RS-232, o qual será utilizado nos testes realizados durante este estudo. No protocolo RS-232, tensões na faixa de +3 a +15 volts são reconhecidos como níveis baixos e tensões na faixa de -3 a -15 volts são reconhecidas como níveis altos e em muitos computadores modernos tensões de 0 V são utilizadas como um nível alto. Desta forma, um circuito alimentado por 5 V pode se comunicar diretamente aos dispositivos RS-232 sem que seja necessário tensões negativas.

Para Braga (2003), o modo de transmissão mais comum é o assíncrono, onde o transmissor não precisa estar sincronizado com o receptor, pois é informado do início e do final de cada “pacote” de dados com bits de start e stop. Assim, um sinal é formado a partir de bits individuais enviados um a um em “pacotes” de tamanho definido em formato ASCII (código padrão americano para intercâmbio de informações). O número de bits em cada pacote pode variar de 5 a 8 e é enviado após o sinal de início identificado quando a linha, que normalmente está no nível 1

(negativo) passa para o nível 0 (positivo). Na borda de descida do sinal, ou seja, a mudança de 1 para 0, inicia-se a transmissão da mensagem e no final do pacote de bits de dados, um bit de parada é enviado. Na figura 6, é apresentado um exemplo de comunicação serial, o qual representa o envio de uma letra 'S'.

Figura 6 - Exemplo de envio da letra 'S' por meio da comunicação serial RS-232



Fonte: Portal de aprendizagem SparkFun (2022)

Para que a comunicação com o software supervisor seja estabelecida, o firmware do microcontrolador foi incrementado com o código necessário para a configuração e teste do módulo EUSART.

O meio de comunicação entre o microcontrolador e o computador foi o módulo de rádio frequência HC-12. Segundo Hughes (2016), o HC-12 mostrado na figura 7, é um transmissor half-duplex de 20 dBm (100 mW (milliwatt)) emparelhado com um receptor com sensibilidade de -117 dBm (decibel milliwatt) (2×10^{-15} W (Watt)) a 5000 bps. Quando conectados a uma antena externa, esses transceptores são capazes de se comunicar ao ar livre em um alcance de cerca de 1 quilômetro. A placa de circuito HC-12 é construída em torno do microcontrolador STM8S003F3 e do transceptor Si4463 os quais se combinam com outros componentes para formar um transceptor HC-12, que fornece uma interface serial de nível TTL (lógica transistor-transistor) de 4 pinos (Vcc(tensão em corrente contínua), Gnd (filtro de densidade neutra graduado), Tx (terminal transmissor), Rx (terminal receptor)), e o 5º pino é usado para inserir "comandos" para alterar a configuração do módulo, a pinagem do módulo pode ser verificada na figura 8. O HC-12 suporta 100 canais

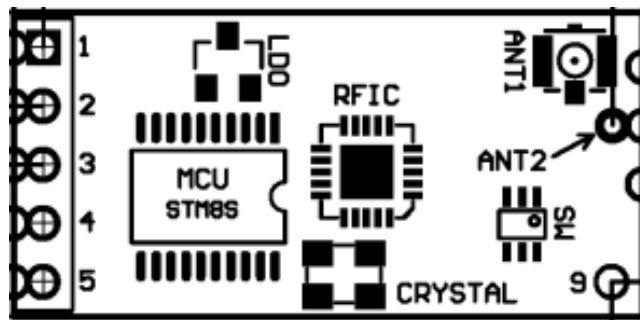
espaçados em 400 kHz (quilohertz), oito níveis de transferência e três modos de operação diferentes.

Figura 7 - Módulo HC-12



Fonte: Blog AVR Project (2022)

Figura 8 - Pinagem módulo HC-12



Fonte: Blog AVR Project (2022)

Usando este módulo, os dados puderam ser enviados e recebidos à distância entre o computador e o microcontrolador sem a necessidade de cabeamento, onde um módulo foi conectado ao microcontrolador e outro módulo foi conectado a um conversor serial x USB e conectado a uma porta USB do computador.

Para o teste do módulo de comunicação foi realizado a montagem do esquemático elétrico e atualizado o firmware no microcontrolador, o qual enviou uma série de caracteres para o computador como programado e a visualização dos dados pôde ser feita por um terminal serial no computador confirmando o envio de informações por parte do microcontrolador. Para testar o recebimento de informações por parte do microcontrolador, uma funcionalidade de recepção de dados foi desenvolvida no firmware do microcontrolador, onde a cada dado recebido o mesmo é comparado

com uma lista de caracteres pré-definidos, e caso o dado recebido seja igual a um desses caracteres, uma rotina específica e designada para tal dado recebido é executada. Para isso, um atuador relé foi adicionado ao microcontrolador, para que seja ligado e desligado de acordo com o dado recebido. Dessa forma, quando enviado ao microcontrolador o caractere “L”, inicial de liga, o relé foi ligado conforme esperado, e de igual forma, quando o caractere “D”, inicial de desliga foi enviado, o relé foi desligado, confirmando o correto funcionamento do módulo no envio e recebimento de informações juntamente com o acionamento do atuador relé, que já havia sido implementado anteriormente.

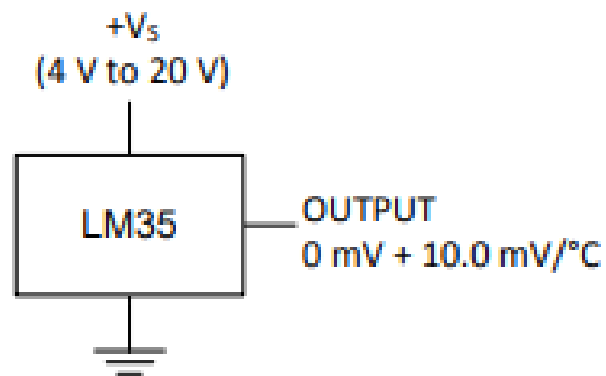
Para a leitura de sensores, foi implementado ao código o uso do módulo ADC, o qual segundo Luz (2019), é capaz de converter uma variação de tensão em valores digitais, onde é possível o emprego de diversos sensores que se encarregam de variar uma tensão de entrada de acordo com o fenômeno físico que está sendo mensurado. Segundo Wendling (2010), o termo sensor é utilizado para designar equipamentos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente, que pode ser luminosa, térmica, cinética ou informações relacionadas à grandeza física que precisa ser medida, tais como: temperatura, pressão, velocidade, corrente elétrica, aceleração, posição, etc. Os sensores nem sempre possuem as características elétricas necessárias para uso em sistemas de controle. Frequentemente, um sinal de saída deve ser manipulado antes que possa ser lido em um sistema de controle. Isso geralmente é feito através de um circuito de interface para gerar um sinal que pode ser lido pelo controlador.

O transdutor LM35 segundo Stevan e Silva é um sensor mais utilizado para leitura de temperatura. O LM35 em sua variação LM35A tem tensão de saída proporcional a grandeza de leitura, no caso temperatura, usando a unidade °C (graus Celsius), e uma sensibilidade de 10mV/°C (milivolt por grau centígrado) e trabalha em uma faixa de temperatura de -55 °C e +150 °C.

Para este estudo foi utilizado um artifício matemático para incrementar a precisão dos dados de temperatura recebidos pelo sensor, onde uma média aritmética é calculada com base na leitura de 1000 valores de temperatura lidos em um intervalo total de aproximadamente 1 segundo, assim pequenas oscilações foram removidas e os dados de temperatura se tornaram muito mais concisos e confiáveis.

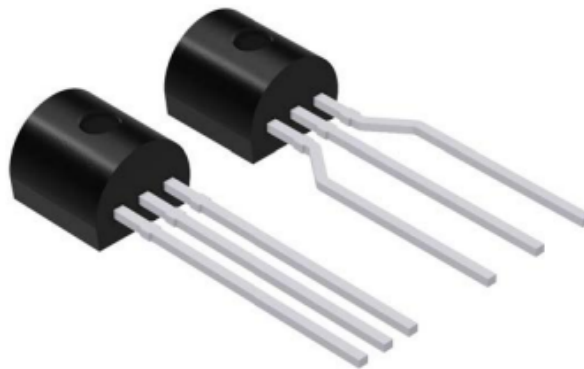
A figura 7 indica o modo de ligação do módulo LM35 usado nesta pesquisa para que o mesmo atue como um sensor de temperatura centígrado e em seguida, a figura 8 mostra o encapsulamento TO92 do mesmo.

Figura 7 - LM35 como sensor de temperatura centígrado



Fonte: Catálogo online Texas Instruments (2022)

Figura 8 - LM35 Encapsulamento TO92



Fonte: Catálogo online Texas Instruments (2022)

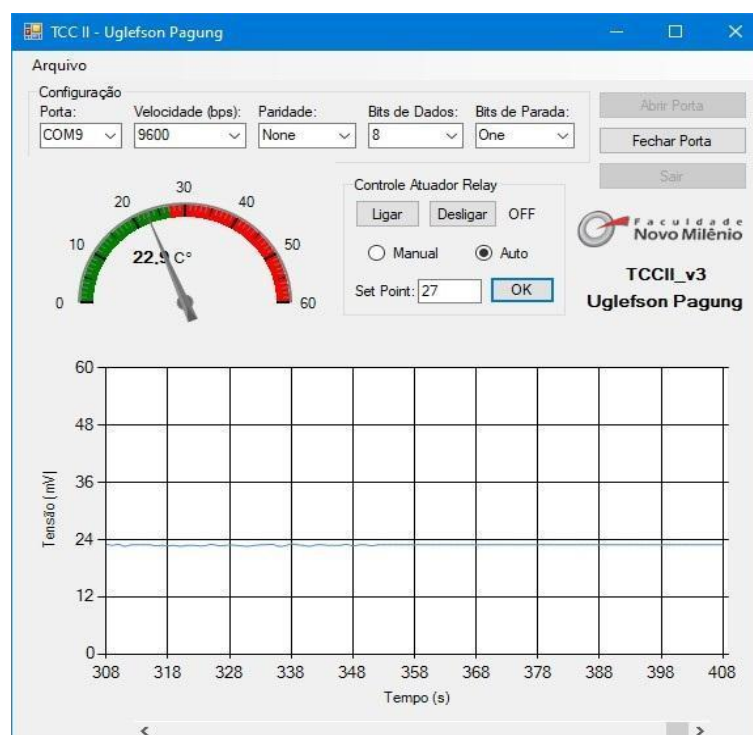
Após realizar as devidas conexões elétricas entre o microcontrolador e o sensor de temperatura LM35 e atualizar o firmware do microcontrolador, foi utilizado do módulo de comunicação para enviar o resultado da conversão analógica para digital, onde foi verificado que a temperatura ambiente lida pelo sensor, era compatível com a mensurada por instrumentos de medida comerciais e ainda respondia e quaisquer

variações de temperatura causadas artificialmente como aproximando-o de uma superfície com temperaturas mais elevadas como um ferro de solda ligado, e de igual forma, reagia a temperaturas mais baixas estando em um quarto climatizado com ar-condicionado por exemplo.

Após cada uma das três funcionalidades implementadas, as mesmas foram submetidas a testes em conjunto, a fim de verificar seu perfeito funcionamento mesmo sendo executadas simultaneamente. Para isso, foi utilizado um software supervisor para receber e exibir os valores de temperatura lidos pelo sensor, e também enviar comandos ao microcontrolador a fim de controlar o atuador relé.

O sistema supervisor apresentado na figura 9, estabelece uma comunicação serial com o microcontrolador, definindo todas as variáveis desta, tais como velocidade de comunicação, número da porta, paridade e etc. Caso as configurações sejam compatíveis com as configuradas no firmware do microcontrolador, a comunicação para envio e recebimento de informações é estabelecida.

Figura 9 – Interface do sistema de controle e supervisor



Fonte: Acervo do autor (2022)

Neste sistema supervisor, foi exibido em um *gauge* os valores recebidos do sensor de temperatura através do microcontrolador, e ainda foram plotados em um gráfico.

Já para o controle do atuador relé foi usado um botão de acionamento manual no software, os botões ligar e desligar os quais envia para o microcontrolador os caracteres “L” para ligar e “D” para desligar o atuador relé. E para um acionamento automático um modo totalmente autônomo foi implementado, comparando os dados de temperatura recebidos do sensor com uma variável de *set point*, onde caso os valores recebidos do sensor fossem maiores do que os valor da variável de *set point*, automaticamente o software envia um comando para o acionamento do atuador relé (“L”), sem nenhuma intervenção humana. De igual forma quando o valor de temperatura lido pelo sensor fora menor do que o da variável de *set point* definida, o comando de desligar (“D”) é enviado do software supervisor para o microcontrolador, fechando assim um ciclo de controle automático. Tal variável de *set point* pode ser alterada sempre que necessário, assim como os modos de operação manual e automático podem ser escolhidos de acordo com a necessidade do usuário.

Conclusão

Adotando a metodologia de implementação por partes, cada nova funcionalidade adicionada ao projeto pôde ser desenvolvida e testada exaustivamente separadamente, a fim de garantir o melhor resultado possível na precisão dos dados enviados e recebidos pela comunicação serial remota, e na leitura da temperatura a partir do sensor utilizado.

O acionamento de cargas pôde ser feito com a utilização do atuador relé, que ao ser acionado, pode acionar cargas diversas testadas em laboratório como lâmpadas e motores de pequeno porte monofásicos, assim suprimindo a primeira das três necessidades básicas de uma unidade remota. A velocidade e precisão encontrada no envio e no recebimento de dados foi satisfatória e atendeu perfeitamente os requisitos necessários para o correto funcionamento do projeto desenvolvido. A utilização do módulo de rádio frequência HC-12 deu mobilidade ao projeto, pois permitiu esta comunicação sem a necessidade de fio entre o microcontrolador e o computador, assim suprimindo a segunda das três funcionalidades básicas de uma unidade remota. Utilizando o artifício matemático citado no estudo, uma precisão considerável também foi obtida na leitura do sensor de temperatura utilizando o

módulo conversor analógico x digital do microcontrolador o qual reagiu bem às variações de temperatura as quais o mesmo foi submetido durante os testes, desta forma suprindo a última das três funcionalidades básicas de uma unidade remota.

Com a implementação prática do projeto descrito acima foi possível obter o resultado desejado confirmando a possibilidade do uso do microcontrolador PIC18F4550 em uma unidade remota de um sistema de controle e supervisor, visto que cada uma das três funcionalidades principais de um sistema de controle e supervisor foram implementadas com sucesso e seu correto funcionamento foi verificado individualmente em cada etapa implementada e também em conjunto, nos testes de atuação automática e manual, testes de estresse e simultaneidade de funções, validando de forma prática o estudo apresentado.

O projeto pode vir a ser aplicado na prática, para realizar o controle de uma ou mais variáveis em um processo, por ser utilizado um microcontrolador que pode ser reprogramado, se trata de um sistema modular que pode ser adequado a cada necessidade, incluindo-se mais atuadores, sensores e comando específicos. Pode ser implementado também módulos de comunicação mais potentes que garantam um alcance maior de suas antenas, um módulo ADC externo para uma precisão maior que 10 bits na conversão analógica x digital entre outras modificações e implementações.

Referências

KUO, Benjamin. Controle automático. *In*: KUO, Benjamin. **Sistemas de controle automático**. 9 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018. cap. 1. p. 11-25.

MORARES, Cícero Couto de; CASTRUCCI, Plínio de Lauro. A engenharia de automação. *In*: MORARES, Cícero Couto de; CASTRUCCI, Plínio de Lauro. **Engenharia de automação industrial**. 1 ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2001. cap. 1. P 13-23.

STEVAN JÚNIOR, Sergio Luiz; SILVA, Rodrigo Adamshuk. Introdução. *In*: STEVAN JÚNIOR, Sergio Luiz; SILVA, Rodrigo Adamshuk. **Automação e instrumentação com Arduino: Teoria e projetos**. 1 ed. São Paulo: Editora Érica, 2020. cap. 1. p. 11-22.

STEVAN JÚNIOR, Sergio Luiz; SILVA, Rodrigo Adamshuk. Sensores e atuadores. *In*: STEVAN JÚNIOR, Sergio Luiz; SILVA, Rodrigo Adamshuk. **Automação e**

instrumentação com Arduino: Teoria e projetos. 1 ed. São Paulo: Editora Érica, 2020. cap. 2. p. 23-91.

STEVAN JÚNIOR, Sergio Luiz; SILVA, Rodrigo Adamshuk. Projetos. *In:* STEVAN JÚNIOR, Sergio Luiz; SILVA, Rodrigo Adamshuk. **Automação e instrumentação com Arduino: Teoria e projetos.** 1 ed. São Paulo: Editora Érica, 2020. cap. 5. p. 169-289.

GARCIA JÚNIOR, Ervaldo. Introdução. *In:* GARCIA JÚNIOR, Ervaldo. **Introdução a sistemas de supervisão, controle e aquisição de dados: SCADA.** 1 ed. Rio de Janeiro: Alta Books Editora, 2019. cap. 1. p. 1-15.

GARCIA JÚNIOR, Ervaldo. Arquitetura de um SCADA. *In:* GARCIA JÚNIOR, Ervaldo. **Introdução a sistemas de supervisão, controle e aquisição de dados: SCADA.** 1 ed. Rio de Janeiro: Alta Books Editora, 2019. cap. 2. p. 17-21.

GARCIA JÚNIOR, Ervaldo. Sistemas de comunicação. *In:* GARCIA JÚNIOR, Ervaldo. **Introdução a sistemas de supervisão, controle e aquisição de dados: SCADA.** 1 ed. Rio de Janeiro: Alta Books Editora, 2019. cap. 3. p. 23-92.

GARCIA JÚNIOR, Ervaldo. Estações remotas. *In:* GARCIA JÚNIOR, Ervaldo. **Introdução a sistemas de supervisão, controle e aquisição de dados: SCADA.** 1 ed. Rio de Janeiro: Alta Books Editora, 2019. cap. 4. p. 97-115.

SOUZA, Rodrigo Barbosa de. **Uma arquitetura para sistemas supervisórios industriais e sua aplicação em processos de elevação artificial de petróleo.** 2005. 71 f. Dissertação (Mestrado em Automação e Sistemas; Engenharia de Computação; Telecomunicações) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005. Disponível em <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/15444/1/RodrigoBS.pdf>> Acesso em: 20 de maio de 2022.

CARVALHO, Bruno. O que são supervisórios e quais as vantagens em sistemas de automação. **Blog Mercado Automação.** 2020. Disponível em: <<https://www.mercadoautomacao.com.br/blogs/novidades/supervisorios>>. Acesso em: 19 de maio de 2022.

ROGGIA, Leandro. **Automação industrial.** Santa Maria. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/18451/material/arte_automacao_industrial.pdf>. Acesso em: 18 de maio de 2022.

OTTONI, Bruno. Automation and job loss: the brazilian case. **Nova Economia.** Belo Horizonte, v. 32, n. 1 2022, p. 157-180, fev. 2021. ISSN: 1980-5381. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/neco/a/tHDrWS8KqNWZHJJq9LMPKyN/?format=pdf&lang=en>> Acesso em: 18 de maio de 2022.

ANDRADE, Ana Paula. Sistemas supervisórios: saiba tudo sobre o seu funcionamento e os benefícios gerados para indústria. **Blog de Automação Industrial da Logique.** 2018. Disponível em: <<https://www.logiquesistemas.com.br/blog/sistemas-supervisorios/>> Acessado em: 10 de maio de 2022.

ROURE, Marcel de. Instrumentação Industrial – Entenda de uma vez por todas. **Blog Instrumentação e Controle**. 2018. Disponível em: <<https://instrumentacaoecontrole.com.br/instrumentacao-industrial-guia-completo/>> Acesso em: 9 de maio de 2022.

WENDLING, Marcelo. Sensores. **Página do professor UNESP**. 2010. Disponível em <<https://www.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/4---sensores-v2.0.pdf>>. Acesso em 9 de abril de 2022.

PINHO, André Gurgel. Desenvolvimento de bancada didática contendo múltiplos sensores e atuadores. **Research, Society and Development**. Vargem Grande Paulista, v. 10, n. 13, p 1 – 13, out. 2021. ISSN: 2525-3409. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/download/21165/18854/255754>>. Acesso em: 9 de abril de 2022.

CASTRO, Giovanni de. Introdução ao Relé. **Robocore Tutoriais**. 2020. Disponível em: <<https://www.robocore.net/tutoriais/introducao-ao-rele>>. Acesso em: 10 de abril de 2022.

KERSCHBAUMER, Ricardo. Microcontroladores. **Página do professor IFC**. 2018. Disponível em: <<https://professor.luzerna.ifc.edu.br/ricardo-kerschbaumer/wp-content/uploads/sites/43/2018/02/Apostila-Microcontroladores.pdf>>. Acesso em 08 de abril de 2022.

NETO, Benjamin Batista de Oliveira. Aplicabilidade dos Microcontroladores em Inovações Tecnológicas. **CONNAPI**. Palmas, out. 2012. ISBN: 978-85-62830-10-5. Disponível em: <<https://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connapi/vii/paper/viewFile/2433/2526>>. Acesso em 08 de abril de 2022.

MIYADAIRA, Alberto Noboru. **Microcontroladores PIC18: Aprenda e Programe em linguagem C**. 1. ed. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2009. 401 p.

SOUZA, Fábio. Microchip – Microcontroladores PIC de 8 bits. **Blog Embarcados**. 2014. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/pic/>>. Acesso em: 5 de maio de 2022.

DINIZ, B. R. A.; EVANGELISTA, A. A.; ALEXANDRIA, A. R. **Revista eletrônica HOLOS**. Palmas, v. 7, n. 7, p. 55 – 68, out. 2017. ISSN:1518-1634. Disponível em <<https://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connapi/vii/paper/viewFile/2433/2526>>. Acesso em: 3 de maio de 2022.

BRAGA, Newton de Carvalho. Comunicação serial usando o protocolo RS232. **Instituto Nilton C. Braga**. 2003. Disponível em: <<https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/eletronica/52-artigos-diversos/12095-comunicacao-serial-usando-o-protocolo-rs232-tel213>>. Acesso em 15 de abril de 2022.

HUGHES, Mark. Compreendendo e Implementando o Módulo Transceptor Sem Fio HC-12. **Blog All About Circuits**. 2016. Disponível em <<https://www.allaboutcircuits.com/projects/understanding-and-implementing-the-hc-12-wireless-transceiver-module/>>. Acesso em: 15 de abril de 2022.

SILVA, Wallace Soares da. Automação de baixo custo, um estudo de caso: inversor de frequência controlado por supervisor e Arduino. **Revista Eletrônica TECCEN**. Rio de Janeiro, dez. 2021. ISSN: 1984-0993. Disponível em: <<http://editora.universidadevassouras.edu.br/index.php/TECCEN/article/view/3076/1787>>. Acesso em: 16 de abril de 2022.