



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

**Faculdade de Tecnologia de Garça "Deputado Júlio Julinho
Marcondes de Moura"**

CURSO DE TECNOLOGIA EM MANUFATURA AVANÇADA

DANIEL HERMOM DE OLIVEIRA LIMA

**Estudo comparado do Microcontrolador Atmega328p: Utilização com
cristal interno vs. cristal externo**

Resumo:

Conforme o avanço tecnológico houve um aumento exponencial na necessidade de melhoria nas placas eletrônicas e dispositivos, os microcontroladores e processadores tornaram-se componentes essenciais na grande maioria dos projetos eletrônicos. Houve a necessidade de aprimoramento dos cristais osciladores, melhores e mais robustos, estes dispositivos são essenciais para o perfeito funcionamento em aplicações complexas, onde há a necessidade de alta precisão e informações em tempo real. Após a necessidade de alteração no cerne de uma placa eletrônica, houve a descoberta da possibilidade de remoção do cristal oscilador em projetos menores e que não necessitam de um nível de precisão tão complexo, esta remoção melhora parcialmente o uso do microcontrolador atmega328p, pois, duas de suas portas que seriam alocadas para o cristal, podem ser utilizadas como pinos de programação.

Palavras-Chave: Microcontroladores; Cristais Osciladores; Atmega328p.

Abstract:

As technological advances there has been an exponential increase in the need for improvement in electronic boards and devices, microcontrollers and adapters become essential components in most electronic projects. There was a need to improve oscillator crystals, better and more robust, these devices are essential for the perfect functioning of complex applications, where there is a need for high precision and real-time information. After the need to change the core of an electronic board, it was discovered the possibility of removing the oscillator crystal in smaller projects that do not need such a complex level of precision, this removal partially improves the use of the atmega328p microcontroller, since two of its ports that would be allocated to the crystal, can be used as programming pins.

Keywords: Microcontrollers; Oscillator Crystals; Atmega328p.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

Em um mundo de tecnologia e com a necessidade de aprimoramento nos estudos e aperfeiçoamento dos microcontroladores e processadores, no ano de 2005, um grupo de pesquisadores desenvolveu um dispositivo de estudo, preparado, funcional e fácil para programação, desenvolvido com o objetivo de possibilitar que amadores e hobistas pudessem estar se integrando nos estudos de eletrônica.

Sendo um *hardware* livre, desenvolvido em placa única e projetada com a arquitetura Atmel, os microcontroladores na plataforma Arduino, possuem a arquitetura Wiring que é composta por um ambiente de programação e desenvolvimento integrado em uma única placa eletrônica, onde pode-se realizar todos os testes desejáveis em seu cerne antes de transpor para uma placa PCB (Placa de Circuito Impresso).

O interesse em pesquisar sobre o tema utilização do cristal interno versus cristal externo surgiu a partir da necessidade do desenvolvimento de uma placa de projeto eletrônico, onde foi encontrada a possibilidade de remoção do cristal externo, ligando diretamente o microcontrolador Atmega328p em seu cristal interno.

Esta pesquisa focaliza na possibilidade da utilização do cristal interno do microcontrolador, demonstrando as possibilidades de programações em circuitos de simples desenvolvendo que não haja a necessidade de estar-se utilizando o cristal oscilador externo na placa protótipo. Com o objetivo de demonstrar as capacidades do microcontrolador os estudos comparados foram iniciados, apresentando ambas as capacidades do microcontrolador em um estudo minucioso.

Os osciladores internos possuem uma frequência menor, porém, sua capacidade de clock é capaz de gerar estabilidade para projetos não tão complexos, demonstrando que o próprio microcontrolador possui capacidade para suportar as programações submetidas em seu cerne.

Esta pesquisa tem como meta contribuir para o conhecimento a respeito dos microcontroladores, demonstrando as características e funcionalidades que os chips possuem em seus processos de utilização, apresentando que não são apenas uma ferramenta para hobistas, mas, para estudiosos na área da programação e eletrônica.

Os microcontroladores possuem uma frequência de trabalho que variam de um baixo valor em hertz até altas frequências de trabalho, atingindo facilmente giga-hertz, onde para cada microcontrolador, processador, há uma frequência de trabalho específica.

1.2 Situação Problema

A placa de desenvolvimento Arduino possui em seu núcleo de funcionamento os principais componentes para execução de suas atividades programáticas. Entre os principais estão os cristais osciladores componentes pequenos, mas que possuem uma grande valia nos microcontroladores e processadores.

Funcionam através de sua vibração, onde por meio de seus sinais geram ondas de sinal conhecidas como “*clock*” em processadores, microcontroladores e circuitos integrados.

Em cada C.I. (Circuito Integrado), microcontrolador ou processador, existe um cristal interno, com o objetivo de auxiliar no funcionamento do componente principal, através de sua baixa oscilação é possível trabalhar com baixa frequência.

Com a necessidade do uso dos cristais osciladores, microcontroladores menores acabam tendo a necessidade de alocar duas portas de dados para os cristais osciladores, componentes como o PIC12F675 que possuem 6 portas GPIO (Portas programáveis de entrada e saída de dados), acabam tendo a necessidade de alocar duas de suas portas (GP5, GP4), para o uso exclusivo dos cristais osciladores, reduzindo a quantidade de GPIO para 4. Da mesma forma ocorre com os microcontroladores ATtiny85, que fazem parte da família Atmel, este microcontrolador, por sua vez, possui a mesma quantidade de

portas, sendo necessário o uso dos pinos GPIO3 e GPIO4, para uso exclusivo do cristal oscilador, reduzindo a quantidade de portas digitais para 4.

Tendo estes dados em vista, possuímos a possibilidade de remoção do cristal oscilador para com projetos menores e que não necessitem de uma frequência de clock alta, pois, internamente, cada microcontrolador, possui um oscilador interno, capaz de suprir grande parte das necessidades eletrônicas, o ATtiny85 por sua vez, possui um cristal interno de até 8 MHz, podendo trabalhar externamente com 20 MHz. Já o PIC12F675, está integrado com um cristal oscilador de valor igual à 4Mhz, podendo trabalhar externamente com até 20Mhz de frequência.

Delimitando o foco da pesquisa escolheu-se o microcontrolador da família ATmel, mais precisamente, o chip mais utilizado em projetos hobistas e que acompanha a placa *maker* Arduino, o microcontrolador, ATmega328p.

Este microcontrolador possui internamente 28 pinos, onde 4 destes são voltados para a alimentação, 2 estão alocados para o cristal oscilador externo, 14 são pinos de entrada e saída digital, enquanto 6 são pinos de entrada e saída analógica, 1 é a referência analógica e 1 último que é o pino de reset do microcontrolador.

1.3 Objetivos

O projeto tem como finalidade demonstrar as capacidades de programação e atuação do microcontrolador ATmega328p, que por meio de um estudo minucioso o dispositivo será observado as atividades que são operadas em seu núcleo de processamento.

Com objetivo de estudo e identificação das necessidades da placa microcontrolada, este trabalho visa compreender as principais características dos osciladores nos microcontroladores, verificando suas capacidades e atividades nos cerne das placas eletrônicas que possuem atividades em frequências de trabalho diferentes.

Por meio deste estudo detalhado, será possível constatar as principais diferenças entre o uso dos osciladores nos microcontroladores, visando

compreender especificamente a família Atmel com arquitetura AVR. Demonstrando as capacidades e possibilidades nas programações no ATmega328p.

1.4 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos para o desenvolvimento da pesquisa do trabalho são:

- (i) Elaborar um estudo entre as capacidades entre o cristal interno e o cristal externo na placa microcontrolada.
- (ii) Desenvolver um programa que apresente as capacidades de ambos, sem que haja desnorteamento.
- (iii) Estudar as características finais no teste e relatar quais foram as principais diferenças entre ambos os casos no microcontrolador.
- (iv) Desenvolver uma placa de projeto capaz de suprir as necessidades em ambos os casos do teste.

1.5 Justificativa

O intuito do trabalho é desenvolver um protótipo que possa demonstrar com qualidade e efetividade as principais diferenças entre os microcontroladores que utilizam o cristal externo em comparação com o cristal interno de seus núcleos de processamento.

Com um estudo minucioso será possível verificar e quantificar quais são as principais vantagens e desvantagens em ambos os casos, apresentando um trabalho claro e objetivo em cima dos microcontroladores da família ATmel, mais precisamente, os chips ATmega328p, que estão em crescente uso em projetos desenvolvidos por alunos, docentes e nos meios empresariais.

Através deste estudo haverá um acréscimo de conhecimento nacional referente aos microcontroladores, pois, grande parte do conteúdo para

desenvolvimento deste trabalho fora encontrado em sites, livros e blogs internacionais, apresentando uma baixa pesquisa ao tema no âmbito nacional.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Cristais Osciladores

Os cristais osciladores controlam a frequência dos microcontroladores e processadores, estes pequenos componentes funcionam através do princípio físico da elasticidade e ressonância. Os osciladores estão vinculados aos fenômenos da piezeletricidade inversa e é usado em associação com a deformação física da estrutura de seu encapsulamento.

Ao aplicarmos tensão contínua nos terminais dos cristais, em seu interior, haverá uma deformação, gerando pequenos campos elétricos, onde através da diferença de potencial em seus terminais ocorrerá um ponto de ressonância, resultando em uma onda periódica em frequência estável. (Márcio José Soares).

Os cristais oscilam com a diferença de potencial em seus terminais, onde vibram em uma frequência estável, são necessários outros componentes para formar por completo o circuito interno dos cristais osciladores.

Quando aplicados nos microcontroladores, os cristais osciladores são colocados em conjunto com dois capacitores de cerâmica do tipo NP0, capacitores que possuem o coeficiente de temperatura em zero (facilmente identificáveis com um pequeno círculo preto no topo), estes capacitores são calculados em base das propriedades do cristal. (Vicente Machado Neto).

Os capacitores sempre estarão em conjunto com os cristais osciladores, pois, através de suas capacitâncias, serão os responsáveis por dar sequência a alteração do clock, trabalhando em conjunto durante a mudança de ciclo.

Segue abaixo, a fórmula para cálculo dos capacitores:

A capacitância é derivada do cristal oscilador, C_{eu}

Fórmula 1 - Fórmula da capacitância

$$C_{eu} = \frac{C^2}{2C} + C_{shunt}$$
$$C_{eu} = C/2 + C_{shunt}$$

Fonte: USP

Devemos interpretar que há necessidade de cálculo e estudo da teoria entre os cristais osciladores, pois são fundamentais nos projetos eletrônicos, através da mudança de ciclo as atividades programadas serão realizadas em cada etapa do programa. A fórmula a seguir, nos mostra um pouco da forma como é realizado os cálculos para compreendermos a frequência de trabalho de nosso programa.

Fórmula 2 - Fórmula ciclo por instrução

$$\frac{\text{segundos}}{\text{programa}} = \frac{\text{ciclos}}{\text{programa}} \times \frac{\text{segundos}}{\text{ciclo}} =$$
$$= \frac{\text{instruções}}{\text{programa}} \times \frac{\text{ciclos}}{\text{instruções}} \times \frac{\text{segundos}}{\text{ciclo}}$$

Fonte: Universidade Federal Fluminense

Por meio destas informações teóricas, estabelecemos o conhecimento de que os circuitos processadores de dados, são síncronos, ou seja, realizam suas atividades seguindo um ritmo padrão de uso em seu cerne.

Ao estudarmos as estruturas de dados e transmissão de dados dos sistemas embarcados, podemos estabelecer projetos eletrônicos que atuem de forma ágil e que não consumam blocos de tarefas maiores que os necessários para o desenvolvimento do projeto eletrônico.

2.2 Frequência de Clock

Os microcontroladores possuem o “Clock”, que é o termo usado pelo número de sequência de trabalho interno dentro do cerne da placa. Essas sequências são medidas com a unidade de frequência do sistema internacional de unidades, que é o Hertz (Hz). Os processadores, trabalham em frequências mais altas que os microcontroladores, atingindo patamares altos como os Giga Hertz (GHz).

As frequências de trabalho dos microcontroladores variam desde um valor baixo, entre MHz à cristais com valores entre Giga Hertz. O clock do cristal é calculado através de sua frequência de trabalho, onde é utilizado a fórmula abaixo:

Figura 1 - Cálculo do clock

$$\begin{aligned} f_{xtal} &= \frac{f_{transmit}}{32} \\ &= \frac{318,000,000}{32} \\ &= 9,937,500 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Fonte: Universidade Federal Fluminense

Para cada cristal usa-se um valor específico de capacitor, não sendo necessariamente obrigatório calcularmos os valores a serem usados, pois o próprio fabricante disponibiliza as informações para o uso apropriado dos capacitores em conjunto com os cristais osciladores. (NETO, Vicente Machado).

Como podemos ver na tabela a seguir, vemos o exemplo de 5 cristais osciladores, juntamente com os valores a serem usados em ambos os terminais do cristal, vale-se lembrar, que, os capacitores devem possuir o mesmo valor capacitivo em ambos os terminais do oscilador.

Tabela 1 – Capacitores para cristais osciladores

FREQUÊNCIA	CAPACITOR 1	CAPACITOR 2
455 KHz	68-100 pF	68-100 pF
2,0 MHz	15-68 pF	15-68 pF
4,0 MHz	15-68 pF	15-68 pF
8,0 MHz	10-68 pF	10-68 pF
16,0 MHz	10-22 pF	10-22 pF

Fonte: Fabricante

Para cada projeto eletrônico deve-se estabelecer a frequência de trabalho a ser operada, os cálculos dos cristais osciladores auxiliam para compreendermos qual modelo deverá ser utilizado e sua eficácia durante as aplicações do projeto eletrônico.

2.3 Operações

Os cristais osciladores são componentes eletrônicos importantes para o processamento das informações e frequências em determinados circuitos, comparados como corações nas ligações em aparelhos que necessitam de precisão de cálculo para funcionamento em suas aplicações

Utilizados frequentemente em circuitos de rádio, os cristais de quartzo oscilam de forma que transmitem os sinais através de suas vibrações nos circuitos eletrônicos, em estações de televisões, rádio e telecomunicações, apesar de seu pequeno tamanho, o cristal é um componente vital para os circuitos eletrônicos, onde através de seu modo de operação e suas ondas de frequência o componente transmite uma comunicação a longa distância até um ponto receptor com a mesma frequência de saída.

Os cristais de quartzo são estruturalmente pequenos, dispostos de uma rede átomos que se repete em toda a sua extensão. Os cristais não necessitam serem construídos do mesmo elemento, podendo ser constituído de dois materiais diferentes (exemplo: silício e alumínio).

3. METODOLOGIA

3.1 Características dos Osciladores

Os osciladores possuem diversas aplicações, entre elas, estão usos em áudio e vídeo, instrumentação e principalmente em circuitos digitais, em cada aplicação, os osciladores possuem uma gama de utilização, variando seu uso conforme a necessidade do circuito.

Os osciladores dividem-se em duas categorias internas, estas são; os *osciladores lineares*, que empregam transistores e/ou amplificadores operacionais, gerando sinais senoidais puros. Já os osciladores não-lineares,

utilizam dispositivos como portas lógicas, interruptores, flip-flops, onde carregam capacitores que geram formas de ondas quadradas e irregulares.

Dentre as principais características dos osciladores estão as frequências estáveis de oscilação nos circuitos, além de estabilidade na frequência, há estabilidade na amplitude da tensão gerada nos circuitos eletrônicos. Caso houver variações na amplitude, elas serão facilmente captadas através de circuitos de áudio.

Os osciladores funcionam correspondendo aos critérios de estabilidade de Barkhausen, que é uma condição matemática que determina quando um circuito eletrônico linear irá oscilar. Este critério foi apresentado em 1921, pelo físico alemão Heinrich Georg Barkhausen(1881-1956). Os circuitos eletrônicos e projetos que possuam osciladores seguem os critérios de Barkhausen. (AUGUSTYN, Adam).

O critério é explicado a partir de uma fórmula matemática, onde, A , é o ganho do elemento de amplificação no circuito eletrônico, enquanto β é a função de transferência do caminho de feedback.

Sendo uma condição necessária para a oscilação, alguns circuitos tendem a satisfazerem o critério de Barkhausen, demonstrando uma instabilidade prática, pois, existem raridades no critério, aplicado aos circuitos osciladores.

3.2 Comunicação Hardware Serial

Para que seja possível monitorar as diferenças no estudo de caso entre os microcontroladores, eles serão expostos a uma comunicação hardware serial, que consistirá na ligação entre dois microcontroladores. Através da comunicação serial ou U.A.R.T. (*Universal Asynchronous Receiver/ Transmitter* em português, Comunicação Serial), a comunicação permite uma transferência simultânea de dados nos dois sentidos, tanto na recepção quanto na transmissão de dados.

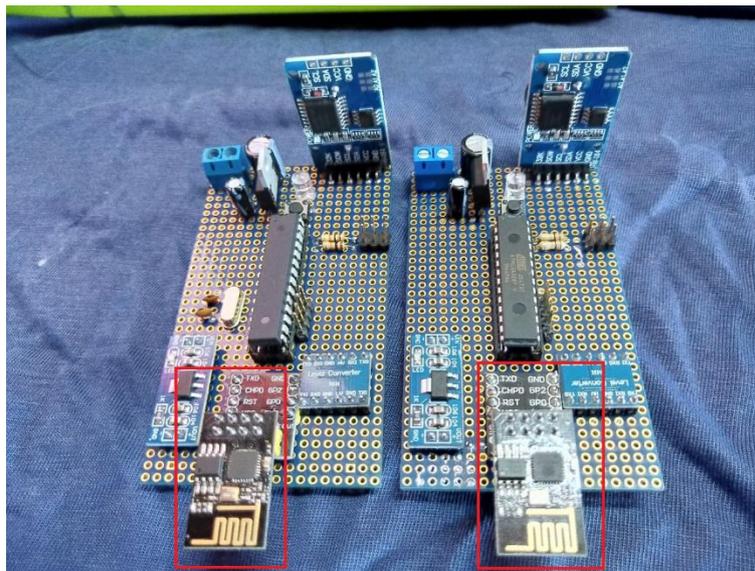
Exemplificando, a comunicação no envio de pacotes de informações é realizada através de bit a bit, estes barramentos, transmitem os dados um por vez, de forma sincronizada, não havendo um atraso que possa ser mensurado sem a necessidade de dispositivos de alta precisão.

Como descrito pelo professor Hélio Sousa Mendonça, a transmissão de dados com a comunicação serial ocorre quase que imediatamente, tendo apenas 48 mili segundos de delay da transmissão, apresentando um valor baixo e que não alterará o valor final dos testes entre os microcontroladores expostos.

A transmissão de dados entre os microcontroladores funcionará de forma serial, ou seja, o módulo ESP01, não trabalhará de forma stand alone (quando funciona separadamente do projeto) e sim, de forma escrava ao ATmega328p, onde fornecerá os dados de forma síncrona ao restante do projeto.

Esta transmissão ocorrerá em ambos os relógios, sendo um protocolo de comunicação padrão para o projeto funcionar de forma similar em ambos os casos de estudo. Na imagem a seguir, conseguimos verificar o projeto, com os ESP01 em evidência.

Figura 2 - Projeto Eletrônico

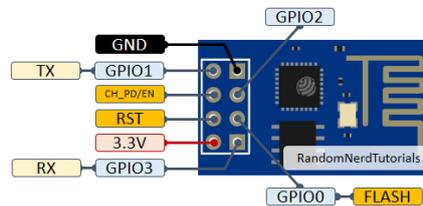


Fonte: O Autor

A comunicação serial é um protocolo que envia pacotes de bits que serão interpretados bit a bit, através do receptor do projeto. Deve-se ter em conhecimento, que existe diferença de alimentação, entre o ESP01 e o microcontrolador ATmega328p, ao transmitirmos um dado serial, pelo ATmega, devemos ter em conhecimento, que o terminal TX/RX, estarão em nível lógico de 5V, já o ESP01 estará em nível lógico de 3.3V. Se, houver ligação direta entre

ambos os dispositivos, haverá queima nos dispositivos, pois, há uma diferença de 1,7V em cada terminal.

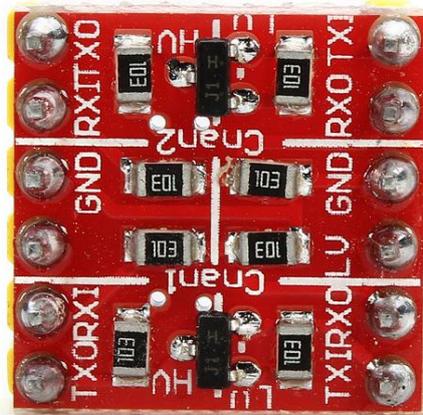
Figura 3- Pinagem ESP01



Fonte: Random Nerd Tutorials

Por este motivo, o projeto conta com um módulo conversor de nível lógico, que atua de forma estável e com eficácia para a transmissão de dados, assegurando que a taxa de dados transmitida, seja enviada no nível lógico adequado para leitura do ESP01.

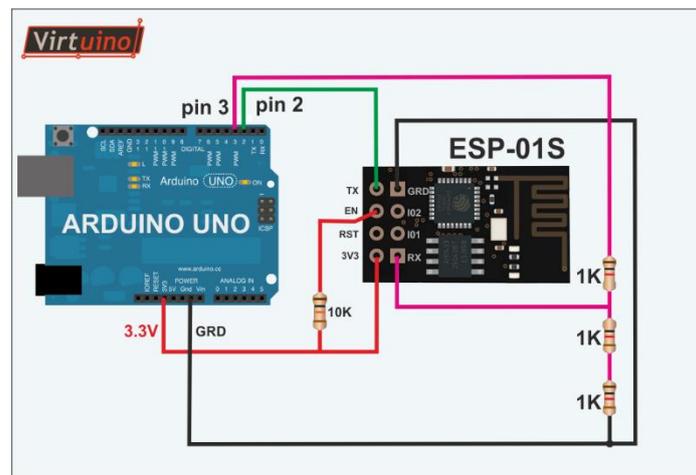
Figura 4: Conversor de nível lógico 3.3V/5V



Fonte: Fabricante

O conversor atua como um módulo de dois canais, ou seja, em seu canal de entrada há alimentação de 5V, já em seu canal de saída, haverá alimentação de 3.3V, ao ligarmos os terminais de comunicação dos microcontroladores, estaremos protegendo ambos os dispositivos. O módulo possui 2 canais de transmissão de dados, algo que facilita e estabiliza a comunicação entre os microcontroladores, pois, se não fosse pelo módulo, seria necessário a ligação de circuito rebaixador de tensão, como sugerido na imagem a seguir, pelo blog de tecnologia Virtuino.

Figura 5 - Circuito rebaixador de tensão



Fonte: Ilias Lamprou

O módulo possibilita estabilidade, praticidade e proteção para o circuito eletrônico, evitando que haja oscilações de tensão, durante a transmissão de pacotes de dados maiores ou menores.

3.3 Rede de Verificação

Com o objetivo de manter a segurança e a qualidade do projeto, há mais de um protocolo na comunicação de dados, transmitindo os dados para o microcontrolador ESP01, que possibilita o restante das transmissões de comunicação dos pacotes de informações.

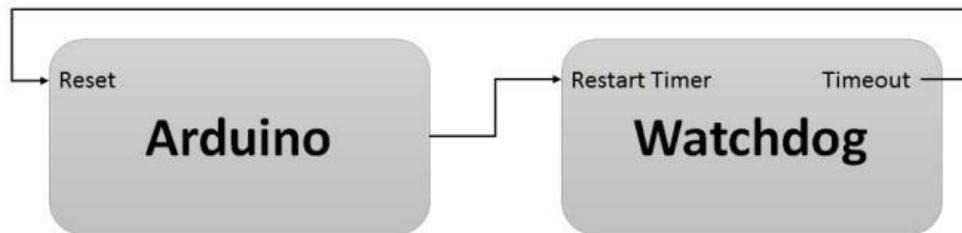
A rede de verificação da programação é responsável por manter todos os protocolos de comunicação funcionando, com isto, o programa fica mais estável e seguro para transmissão dos pacotes de dados, que serão enviados periodicamente para cada um dos meios transmitidos do projeto.

Conhecido no mundo da programação como watchdog, a rede de verificação é responsável por manter os dados do programa em funcionamento e em verificação, protegendo que os dados não sejam perdidos durante todo o processo que o circuito permaneça online.

O watchdog no arduino, é um recurso pouco utilizado, mas, um recurso simples e com objetivo vital para os sistemas embarcados, garantindo condições de estabilidade no projeto eletrônico.

Ao iniciarmos o código da programação, deve-se ser setado o watchdog, como função responsável pelo projeto. O código fonte (header) deve ser incluso, na programação, onde, uma vez ativo, será responsável por manter a programação em um bloco de visualização.

Figura 6 - Watchdog Arduino



Fonte: Fellipe Couto (2018)

O código passará pelo watchdog, onde será analisado e verificado, para que o próprio sistema interprete se o sinal está sendo enviado corretamente e transmitido de forma eficaz para o restante do projeto eletrônico.

3.4 Comunicação MQTT

A história da comunicação MQTT inicia-se na década de 90, o protocolo de transporte de telemetria de fila de mensagens (Message Queue Telemetry Transport). Inicialmente, o protocolo de comunicação possuía uma aplicação na necessidade de vincular sensores em pipelines de petróleo a satélites.

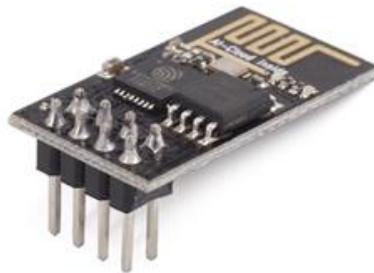
O MQTT é ideal para os dispositivos que se conectam a sistemas IOT (Internet das Coisas), onde a comunicação com a internet é um requisito obrigatório, o protocolo é baseado e fundamentado através da base de dados TCP/IP. Seu funcionamento é assíncrono, onde os pacotes de dados são transmitidos através de intervalos de fluxo estável.

Com a flexibilidade do protocolo MQTT, os dispositivos IOT comunicam-se através de comandos similares, bastando possuir uma assinatura broker protocol.

Para comunicação MQTT, foi implementado o microcontrolador ESP01, que possui 8 terminais, sendo eles:

- 2 Terminais GPIO;
- 2 Terminais de alimentação;
- 2 Terminais de programação;
- 2 Terminais de transmissão de dados;

Figura 7 - ESP01



Fonte: Espressif

Por meio deste pequeno microcontrolador, será transmitido todas as informações e pacotes de dados recebidos do módulo RTC DS 3231 e transmitido via WiFi, para um segundo módulo MQTT, o ESP12, que trabalhará como cerne da base de dados e verificação da coleta de dados, recebendo os dados de comunicação dos microcontroladores e estabelecendo estabilidade no projeto.

3.5 Análise e verificação de dados coletados

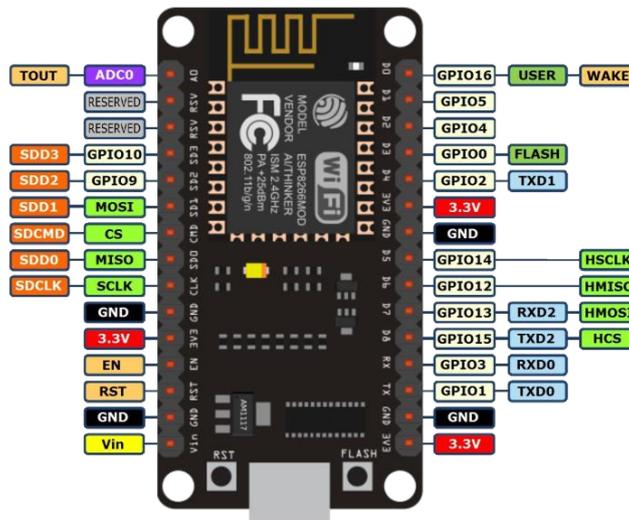
Através dos dados coletados será possível realizar uma análise na frequência de funcionamento de ambos os relógios, os cristais osciladores são componentes fundamentais para a precisão de projetos eletrônicos, e através de um estudo minucioso, podemos estabelecer métricas palpáveis, onde, será possível, criarmos projetos eletrônicos mais simples e sem a necessidade de acoplarmos cristais osciladores externos.

A análise de dados será realizada através do ESP12, que receberá os pacotes de dados enviados pelos dois microcontroladores ESP01, que estarão por sua vez, recebendo as informações dos ATmega328p, desta forma, estabeleceremos uma rede de verificação.

3.6 Envio de informações via software

O envio das informações do projeto é realizado através das comunicações MQTT, onde são transmitidas para o módulo WiFi, ESP12E. Conforme apresentado na figura 10, o módulo é equipado com até 16 GPIO, possuindo estrutura capaz de validar e verificar as informações do programa do protótipo.

Figura 8 - NodeMCU ESP12E



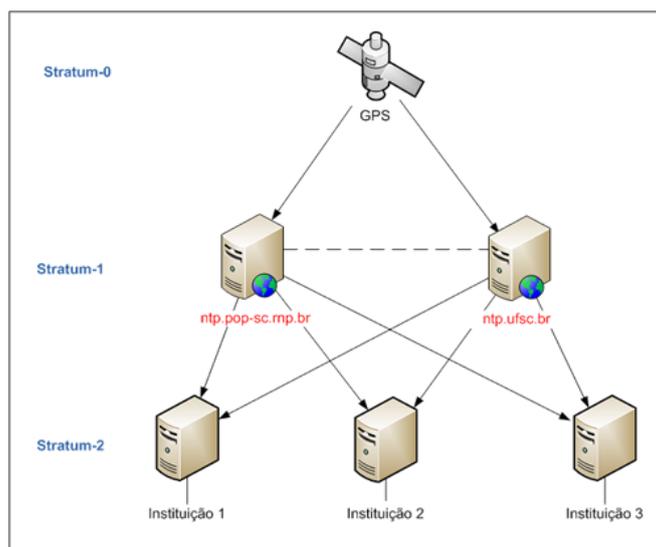
Fonte: Espressif

As informações serão enviadas para o módulo ESP12E e a partir deste momento, serão enviadas para o sistema nuvem, onde os dados coletados serão validados através do NTP (Network Time Protocol / Protocolo de Tempo para Redes).

Por meio deste sistema de validação de horário, será possível estabelecermos qual relógio estará trabalhando de forma eficaz durante todo o processo de testes do protótipo.

O dispositivo ESP12E será responsável por tratar as informações coletadas de ambos os protótipos e analisa-las nos servidores NTP. Com a coleta de dados e tratamento das informações coletadas, poderemos estabelecer uma métrica para verificarmos a diferença do uso entre os cristais osciladores internos e externos.

Figura 9 - Hierarquia NTP



Fonte: Manual NTP

A rede NTP pode ser facilmente configurada, pois é baseada sob o protocolo UDP, que está em operação na porta 123, desta forma, somos capazes de sincronizar o relógio dos computadores e adquirir o valor enviado desta rede de dados e verificar as tratativas programáveis.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Análises dos conteúdos

Através dos dados coletados e tratados, possuímos os recursos necessários para estabelecer que os cristais osciladores internos, possuem em seu ciclo de operação etapas que devem ser respeitadas, pois, cada ciclo de programação consome um ciclo de operação da frequência de trabalho do cristal oscilador.

Os cristais osciladores são fundamentais para os projetos, há alguns projetos onde pesquisadores acabam utilizando uma frequência maior que a

usual no microcontrolador, causando uma anomalia similar ao “overclock”, onde forçamos o sistema embarcado trabalhar em uma frequência maior que a pré-estabelecida pelo fabricante. Não aconselhável, mas que fornece um funcionamento rápido para os microcontroladores.

Com este estudo, temos a capacidade de verificar que os cristais osciladores abrangem o funcionamento do microcontrolador. As rotinas “delay” muito usadas na IDE Arduino, são responsáveis por conter o ciclo do microcontrolador até o findar de sua atividade, mas não afeta diretamente o clock do sistema embarcado.

Os sistemas embarcados funcionam por loops, que continuam rodando até que a programação seja interrompida. Há duas formas de trabalho nestes loops, com a utilização de Timer, com a função millis(), ou por meio da função delay(). Neste caso, conseguimos analisar que há duas formas de operação lógica das funções do ATmega. A função millis, é pouco utilizada pelos hobbystas, porém, seu funcionamento possibilita que o microcontrolador não siga travado nas etapas de ciclo de funcionamento, já a função delay, muito utilizada, acaba travando o microcontrolador em atividades, até que a sua função seja completamente executada.

Analisando os conteúdos, os microcontroladores com cristal oscilador externo, estão aptos ao desenvolvimento de projetos complexos e com a necessidade de funções como Timer/Delay, com estes dispositivos, podemos estabelecer novas regras de operações lógicas.

4.2 Microcontroladores sem osciladores externos

Os microcontroladores possuem uma gama de operações lógicas programáveis, estando em diversas áreas tecnológicas, dentre as aplicações, a mais conhecida é a automação residencial, onde, através de chips programáveis, podemos estabelecer rotinas e tarefas autônomas por meio de programações pré-estabelecidas nestes microcontroladores.

Dentre os microcontroladores, os mais utilizados atualmente, são os "Arduino" o nome, para muitos é assimilado diretamente ao microcontrolador

utilizado na placa, porém, o nome "Arduino", refere-se apenas a plataforma de desenvolvimento (a placa)

Figura 10 - Placa Arduino



Fonte: Arduino

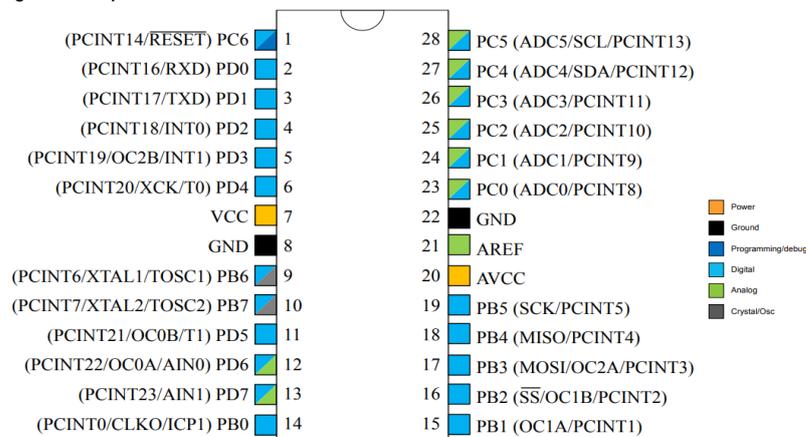
A placa Arduino, é constituída, por uma placa, um microcontrolador, um software de programação e uma linguagem de programação. Através desse entendimento, podemos considerar que, as placas de desenvolvimento podem ser construídas a base de estudos e conceitos avançados de eletrônica/programação.

Como apresentado na imagem a seguir, fornecida pelo datasheet do microcontrolador ATmega328p, possuímos terminais referentes a energia, programação, GPIO (Entrada/Saída) de programação e terminais exclusivos para os cristais osciladores externos.

Figura 11 - Pinagem ATmega328p

5.1. Pin-out

Figure 5-1. 28-pin PDIP

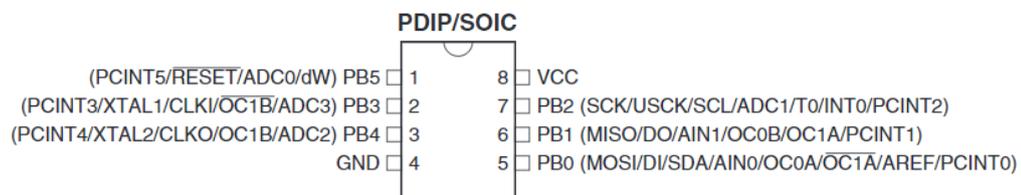


Fonte: Atmel

Através desse estudo no datasheet, podemos constatar, que os terminais OSC1 e OSC2, utilizados para o cristal oscilador externo, não são apenas terminais para frequência e sim, terminais GPIO (PCINT6 e PCINT7 respectivamente). Tendo essa informação, verificamos que, ao eliminarmos a necessidade do uso do cristal externo, possibilitamos o uso de mais 2 terminais GPIO em nosso microcontrolador.

Os microcontroladores da família ATmel, possuem em seu cerne frequências de trabalho similares, conforme podemos verificar, os microcontroladores ATmega328p possuem internamente, um cristal oscilador com 8Mhz, já os pequenos ATtiny85, são configurados com um cristal interno de 10 Mhz.

Figura 12 - Pinagem ATtiny85



Fonte: ATmel

Estes pequenos microcontroladores, são ótimos para usos em projetos que não há necessidade de algo robusto, versáteis e práticos, os ATtiny85 podem possuir uma frequência externa de até 20Mhz, apresentando uma ótima qualidade de trabalho e perfeitos para projetos específicos da eletrônica.

Sem o uso dos cristais osciladores externos, estes microcontroladores apresentados, são ótimos em tarefas que não necessitam especificamente de uma alta frequência de trabalho, embora, ao verificarmos, aparentam possuir um baixo clock interno, podemos estabelecer uma métrica, ao analisarmos com os microcontroladores da família PIC12F (PIC12F629/675).

Conforme vemos na imagem abaixo, o PIC12F629/675, possui 8 terminais, similar ao ATtiny85, porém, em seu cerne, possui um cristal oscilador interno de no máximo 4Mhz, demonstrando de forma clara, que houve uma evolução gradativa entre o desenvolvimento dos microcontroladores.

Figura 13 - PIC12F629/675

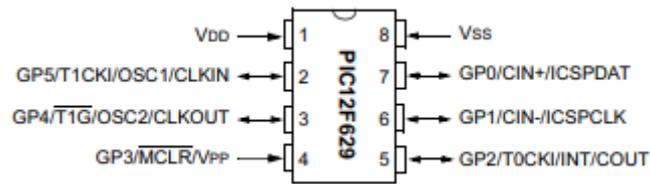


Figura: ATmel

Os cristais osciladores são fundamentais para os projetos eletrônicos, porém, ao removermos estes componentes, não ficaremos tão limitados ao desenvolvermos projetos, suas capacidades internas nos possibilitam trabalhar em frequências altas.

Para cada projeto eletrônico, deve-se ter em mente, que haverá limitações, tendo isso em questão, não podemos estabelecer projetos robustos e precisos acima de equipamentos que não possuam os cristais osciladores externos.

Antes de iniciar qualquer projeto, deve-se criar um escopo, estabelecendo cada etapa, para que não haja falta ou sobreposição durante o desenvolvimento e entrega do projeto.

Através desses estudos, conseguimos estabelecer projetos eletrônicos eficazes e sem a necessidade da implementação sistemas robustos, como os cristais osciladores.

4.3 Mudanças significativas do clock

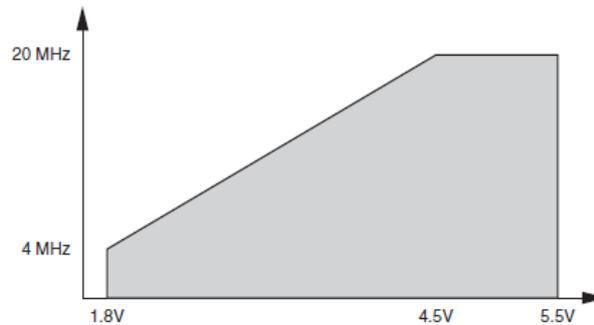
Com a utilização dos cristais osciladores internos, somos capazes de trabalhar com a capacidade total do microcontrolador, possuindo todas as funções ao dispor do programador. A parte física e lógica dos microcontroladores devem andar juntas, para que haja pleno funcionamento em todo o protótipo.

Os cristais osciladores externos atuam como componentes fundamentais da programação, pois suas características fornecem uma ampla possibilidade de funcionamento para o microcontrolador. Onde através de seu uso, é possível gerarmos lógicas de programações robustas e que exijam mais do ciclo de funcionamento dos sistemas embarcados.

Pequenos e fundamentais, estes componentes estarão sendo essencialmente necessários nos projetos eletrônicos que possuam

complexidades, na figura 16 podemos estabelecer uma métrica através do ATtiny85, onde o cristal oscilador de 16Mhz atende as necessidades de uso do projeto.

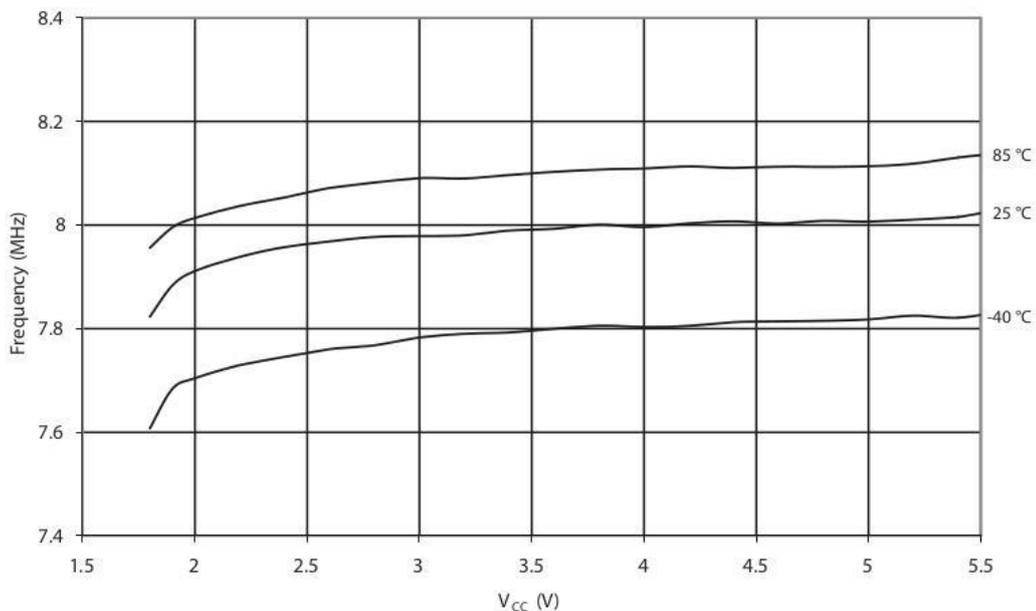
Figura 14 - Frequência máxima



Fonte: ATmel

Ainda acompanhando o datasheet do próprio fabricante, encontramos as frequências de trabalho dos microcontroladores ATtiny

Figura 15 - Calibração do cristal oscilador



Fonte: ATmel

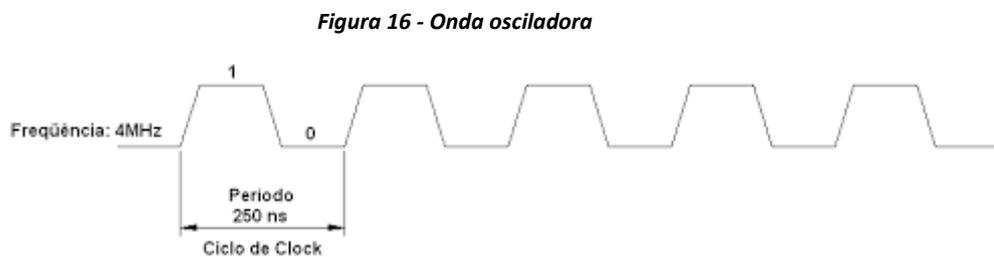
Ambos os gráficos apresentam informações fundamentais para compreendermos o quão importante são os cristais osciladores em nossos dispositivos, o gráfico inicial nos mostra que cada frequência de trabalho está exclusivamente vinculada não apenas aos ciclos de funcionamento do cristal

oscilador, mas, também a tensão utilizada no sistema embarcado. O gráfico subsequente nos apresenta um cristal oscilador calibrado em 8MHz, como já mencionado pela legenda fornecida pelo próprio datasheet do fabricante, através das leituras, verificamos que a partir do momento em que as frequências são modificadas, a temperatura em nosso microcontrolador estará em alteração, devido ao fato de que haverá trabalho de estabelecer uma frequência síncrona na parte física do protótipo.

4.4 Problemas sem o clock externo

Os microcontroladores necessitam grandemente do clock de funcionamento, pois é através dos cristais osciladores que as funções de velocidade atuam nos níveis lógicos dos microcontroladores.

Por meio dos cristais osciladores, as operações lógicas de cada microcontrolador funcionam como fórmulas matemáticas, com os cálculos de frequência e uso em cada microcontrolador, há variação no uso do sistema embarcado. Não sendo vantajoso a remoção destes componentes em projetos específicos e que necessitam de uma frequência



Fonte: Universidade Federal Fluminense

Como apresentado na imagem anterior, a frequência de 4MHz possui um ciclo de clock de 250ns (nano segundo), para o início e fim de uma tarefa, alterando seu nível lógico de LOW para HIGH.

Verificando o gráfico, podemos perceber que, ao usarmos o cristal interno do microcontrolador, ficaremos limitados a operações lógicas que não possuam complexidade em seu desenvolvimento, pois, a mudança de estado de cada atividade do microcontrolador estará fixada nos 4MHz internos, com 250ns de frequência.

Para programadores hobistas, não haverá problemas nem dificuldades ao manusear um sistema embarcado sem cristal externo, porém, para o desenvolvimento de projetos robustos, haverá falta e necessidade de um sistema de clock externo, para que as operações lógicas ocorram de forma estável durante todo o projeto.

4.5 A importância dos cristais osciladores

Os cristais osciladores são componentes extremamente importantes nos circuitos eletrônicos, conforme citado pelo professor Newton C. Braga, os cristais são como um "coração invisível", pois determinam o ritmo (frequência) de funcionamento dos circuitos eletrônicos.

Para cada circuito eletrônico é necessário dimensionar as necessidades de suas capacidades eletrônicas, os cristais osciladores também entram na fase de cálculos, tendo a necessidade de dimensionamento que melhor se aplique ao projeto eletrônico.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do desenvolvimento deste trabalho, podemos constatar que os cristais osciladores são componentes fundamentais nos projetos eletrônicos. Onde devemos estabelecer um escopo de projeto, para compreendermos quais serão as reais dimensões e necessidades do projeto eletrônico.

Os cristais osciladores possuem frequências de trabalho diferentes em cada dimensionamento, sendo necessário verificarmos as limitações de nossos microcontroladores, não sendo viável estar integrando um cristal oscilador de frequência superior a suportada pelo próprio chip. Deve-se respeitar as características fornecidas pelo fabricante de cada microcontrolador.

Ao desenvolvermos este projeto, foi possível aprimorar os conhecimentos eletrônicos e específicos acima dos microcontroladores utilizados para o protótipo, pois foi necessário um estudo minucioso entorno dos datasheet e informações de cada um deles, para que o projeto funcionasse de forma ideal para a demonstração de todo o equipamento lógico programável.

6. REFERÊNCIAS

JÚNIOR, Sergio Luiz Stevan. **Internet das Coisas** – Fundamentos e Aplicações em Arduino e NodeMCU. São Paulo: Saraiva, 2018.

KENSHIMA, Gedeane. **Nas linhas do Arduino**. São Paulo: NOVATEC, 2020.

OLIVEIRA, Claudio Luis Vieira. **Arduino Descomplicado**. São Paulo: Saraiva, 2017.

NUSSEY, John. **Arduino para Leigos**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2019.

OLIVEIRA, Cláudio; ZANETTI, Humberto. **Arduino Descomplicado: Como elaborar projetos de eletrônica**. São Paulo: Saraiva, 2015.

MONK, Simon. **Programação com Arduino II**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2015.

MONK, Simon. **Programação com Arduino**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2013.

MCROBERTS, Michael. **Arduino Básico**. São Paulo: NOVATEC, 2015.

DIAS, Matheus. **Como desenvolver um projeto final com Arduino**. 2020. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/developper-um-projeto-final-com-arduino/>>. Acesso em: 20 de jun. de 2020.

VIANA, Rui. **Oscilador do Arduino e Timer1**. 2016. Disponível em: <<https://labdegaragem.com/forum/topics/oscilador-do-arduino-e-timer1>>. Acesso em: 14 de ago. de 2020.

MICROCONTROLADOR: Saiba o que é e como usar este dispositivo. Mult Comercial. Disponível em: <<https://blog.multcomercial.com.br/microcontrolador-saiba-o-que-e-e-como-usar/>>. Acesso em: 22 de jul. de 2020.

QUARTZ CRTYSTAL: Resonator Timeline & History. Electronics. Disponível em :< <https://www.electronics-notes.com/articles/history/electronic-components/quartz-crystal-resonator-timeline-history.php>>. Acesso em: 23 de jul. de 2020.

MICROCONTROLADOR: Saiba o que é e como usar este dispositivo. Mult Comercial. Disponível em: <<https://blog.multcomercial.com.br/microcontrolador-saiba-o-que-e-e-como-usar/>>. Acesso em: 23 de jul. de 2020.

HARA, Elon. **Como funciona um oscilador de cristal? Quão preciso é.** 2020. Disponível em: <<https://pt.quora.com/Como-funciona-um-oscilador-de-cristal-Quão-preciso-é>>. Acesso em: 14 de jan. de 2021.

ESTERLINE, John. **Crystal Oscillators:** History, Parameters, and Types. Disponível em: <<https://www.rfglobalnet.com/doc/crystal-oscillators-history-parameters-and-ty-0001>>. Acesso em: 15 de jan. de 2021.

BOTTOM, Virgil E. **A History of the quartz Crystal industry in the USA.** Disponível em: <<https://ieee-uffc.org/about-us/history/uffc-s-history/a-history-of-the-quartz-crystal-industry-in-the-usa/>>. Acesso em: 18 de jan. de 2021.

RUTKOWSKI, Rob. **4 Hidden mysteries of quartz Crystal Oscillators.** 2019. Disponível em: <<https://blog.bliley.com/4-hidden-mysteries-of-quartz-crystal-oscillators-history>>. Acesso em: 20 de jan. de 2021.

ELECTRONIC NOTES. **Quartz Crystal Resonator Timeline & History.** Disponível em: <<https://www.electronics-notes.com/articles/history/electronic-components/quartz-crystal-resonator-timeline-history.php>>. Acesso em: 15 de mar. De 2021.

ALVES, Josemar. **PIC18 e seu sistema de clock.** Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/pic18-e-seu-sistema-de-clock/>>. Acesso em de 18 de mar. de 2021.

QASTACK. **Usando o ATmega328 com o oscilador interno.** Disponível em: <<https://qastack.com.br/electronics/27763/using-the-atmega328-with-the-internal-oscillator>>. Acesso em 20 de ago. 2020.

LUNDBERG, Kent H. **Barkhausen Stability Criterion.** Disponível em <<http://web.mit.edu/klund/www/weblatex/node4.html>>. Acesso em 18 de mar. de 2021.

SAINI, Ashok. **Barkhausen Stability Criterion for sustained oscillations**. Disponível em: <<https://eeebooks4u.com/2021/05/26/barkhausen-stability-criterion/>>. Acesso em 18 de mar. 2021.

SILVA, Bruno. **Arduino, ruído no cristal oscilador**. Disponível em: <<https://www.clubedohardware.com.br/topic/1182828-arduino-ru%C3%ADdo-no-cristal-oscilador-ao-encostar-o-dedo-no-mesmo-e-travamento-da/>>. Acesso em 20 de mar. de 2021.

NEWTON, Braga. **Como funciona o cristal na eletrônica**. 2011. Disponível em: <<https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/3081-art423.html>>. Acesso em 22 de mar. 2021.

MENDONÇA, Hélio Sousa. **UART: Comunicação série**. Disponível em: <<https://paginas.fe.up.pt/~hsm/docencia/comp/uart/>>. Acesso em 22 de mar. 2021.

ROBOCORE. Comunicação entre Arduinos: UART. Disponível em: <<https://www.robocore.net/tutoriais/comunicacao-entre-arduinios-uart>>. Acesso em 23 de mar. de 2021

SATO, Gilson Yukio. **Sistemas Microprocessados**. Disponível em: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/sato/material-didatico/sistemas-microcontrolados/material-de-sistemas-microcontrolados/gs_1212_intro_avr_v0.pdf>. Acesso em 25 de mar. de 2021.

PETRY, Clóvis Antônio. **Teoria Geral de osciladores**. 2012. Disponível em: <https://www.professorpetry.com.br/Ensino/Repositorio/Docencia_CEFET/Osciladores_Multivibradores/2012_1/Apresentacao_Aula_02.pdf>. Acesso em 1 abril de 2021.

YUAN, Michael. **Conhecendo o MQTT**. 2017. Disponível em: <<https://developer.ibm.com/br/articles/iot-mqtt-why-good-for-iot/>>. Acesso em 3 de abril de 2021.

NERI, Renan. **MQTT**. 2019. Disponível em: <<https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel878/redes1-2019-1/vf/mqtt/>>. Acesso em 3 de abril de 2021.