

## **Sistema de monitoramento do consumo de energia elétrica utilizando a tecnologia Arduino**

### **Monitoring system of electric energy consumption using arduino technology**

DOI:10.34117/bjdv7n7-461

Recebimento dos originais: 09/06/2021

Aceitação para publicação: 21/07/2021

#### **Rildo Afonso Almeida**

Mestrando em Engenharia Elétrica  
Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)  
Rua Vereador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba – MG  
rildo.almeida@uemg.br

#### **Gesiel Almeida Oliveira Silva**

Bacharelado em Engenharia Elétrica-UEMG  
Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)  
Rua Vereador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba – MG  
gesielalmeidaoliveira@gmail.com

#### **João Paulo Santos Felix**

Bacharelado em Engenharia Elétrica-UEMG  
Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)  
Rua Vereador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba – MG  
joaopaulo.felix@outlook.com

#### **Emerson Carlos Guimarães**

Mestrando em Engenharia Mecânica-UFU  
Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)  
Rua Vereador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba – MG  
emerson.guimaraes@uemg.br

#### **RESUMO**

Este trabalho tem o intuito de desenvolver um sistema de fácil construção e de baixo valor que seja capaz de monitorar o consumo de energia elétrica em tempo real de forma segura e não invasiva. Esse dispositivo utiliza sensores de corrente e tensão para coletar os dados do circuito, e essas informações serão processadas em um Arduino Standalone, uma placa que foi construída utilizando o processador do Arduino UNO, ATmega328p e com um Ethernet Shield acoplado para permitir o acesso a Internet. Após esse processamento de informações os valores de tensão, corrente e potência são informados através de uma interface construída no aplicativo Blynk, que pode ser encontrado em qualquer loja de aplicativos gratuitamente. Esse projeto não tem apenas um intuito informativo ao usuário, mas principalmente instigar no consumidor a conscientização da necessidade e importância da economia e uso consciente de energia elétrica.

**Palavras-chave:** Arduino, Eficiência Energética, Monitoramento do consumo

## ABSTRACT

This work aims to develop a system of easy construction and low value that is able to monitor the consumption of electricity in real time in a safe and non-invasive way. This device uses current and voltage sensors to collect the circuit data, and this information will be processed on an Arduino Standalone, a board that was built using the Arduino UNO processor, ATmega328p and with an Ethernet Shield coupled to allow access to Internet. After this information processing, the voltage, current and power values are informed through an interface built in the Blynk application, which can be found in any application store for free. This project is not only intended for information to the user, but mainly to instill in the consumer awareness of the need and importance of saving and conscious use of electric energy.

**Keywords:** Arduino, Energy Efficiency, Monitoring consumption

## 1 INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos realizados desde o século XIX impelem uma grande necessidade do uso de energia elétrica para a execução e desenvolvimento dessas tecnologias, resultando que o crescente consumo de eletricidade pela sociedade tem alarmado a todos sobre como será possível suprir a toda essa demanda de uma forma sustentável e com menos impactos ambientais. Segundo a EPE (Empresa de Pesquisa Energética), mais de 90% da geração de energia elétrica no mundo é gerada através de fontes não renováveis, e apenas 14% de toda a energia consumida no planeta é proveniente de fontes renováveis, esse dado é muito importante e preocupante, pois as fontes de energia não renováveis são as maiores responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa (GEE). Essa preocupação em diminuir a emissão de gases, minimizar os impactos causados na flora e fauna e continuar atendendo a necessidade de energia, tem nos últimos anos incentivado o desenvolvimento de tecnologias que possam gerar eletricidade de forma limpa e sustentável, como a energia solar, eólica, geotérmica, entre outras.

No Brasil, a matriz energética é, em sua maioria, proveniente de recursos hídricos, o que causa uma grande diminuição da produção de energia elétrica na época da seca. Neste período a produção é complementada com o uso de usinas termoelétricas que além de serem extremamente prejudiciais ao meio ambiente ainda tem um alto custo de geração, aumentando assim o preço da energia elétrica. Portanto seria útil um dispositivo simples e eficiente que pudesse coletar em tempo real as informações de consumo de um determinado circuito, processar esses dados e transmitir para o usuário o seu histórico de consumo até aquele determinado momento, fazendo com que o consumidor esteja

consciente do seu uso durante todo o mês e possa ser motivado a ter um uso consciente de energia.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

O território brasileiro possui uma extensão continental, 8.515.767,049 km<sup>2</sup> (IBGE, 2013), e está entre os países com maior população em todo o planeta, aproximadamente 210.000.000 (IBGE, 2019). Portanto, com uma demanda tão imensa, é necessária uma produção massiva de energia elétrica para abastecer todas as necessidades do país, promovendo o desenvolvimento socioeconômico da nação. O Brasil, assim como outros países, possui uma matriz energética diversificada produzindo energia através de diversas formas, a principal fonte de geração é a hidrelétrica que representa aproximadamente 61% (ANEEL, 2016) da capacidade instalada no território brasileiro, em segundo lugar estão as termelétricas, equivalente a 28% (ANEEL, 2016). As demais gerações são provenientes de energia eólica, solar, termonuclear e importação da energia de outros países.

Tabela 1 – Empreendimentos em operação no Brasil (ANEEL, 2020)

Tipo	Quantidade	Pot. Outorgada (kW)	Pot. Fiscalizada	%
Central Geradora Hidrelétrica	731	795.700	795.514 kW	0,47
Central Geradora Undi-elétrica	1	50	50 kW	0
Central Geradora Eólica	635	15.499.119	15.469.828 kW	9,07
Pequena Central Hidrelétrica	422	5.355.080	5.307.563 kW	3,11
Central Geradora Solar Fotovoltaica	3.885	2.687.046	2.679.046 kW	1,57
Usina Hidrelétrica	217	102.964.008	102.998.876 kW	60,39
Usina Termelétrica	3.053	42.876.578	41.312.599 kW	24,22
Usina Termonuclear	2	1.990.000	1.990.000 kW	1,17
<b>Total</b>	<b>8.946</b>	<b>172.167.581</b>	<b>170.553.476 kW</b>	<b>100</b>

Fonte: Monitoramento em tempo real ANEEL 2020

Um dado confortante e de grande empolgação para o setor energético brasileiro é que segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) o seguimento de energia limpa e sustentável tem aumentado consideravelmente no Brasil, parte dessa modificação na matriz energética se deve à mudança no comportamento dos consumidores que cada vez mais estão a procura de economia no valor final da conta de energia elétrica, essa é um dos motivos por exemplo do grande aumento das instalações fotovoltaicas residenciais.

Tabela 2 – Empreendimentos em construção no Brasil (ANEEL, 2020)

Tipo	Quantidade	Pot. Outorgada (kW)	%
Central Geradora Hidrelétrica	4	6.512	0,07
Central Geradora Eólica	91	2.720.235	28,05
Pequena Central Hidrelétrica	26	345.949	3,57
Central Geradora Solar Fotovoltaica	19	682.578	7,04
Usina Hidrelétrica	1	141.900	1,46
Usina Termelétrica	70	4.449.931	45,89
Usina Termonuclear	1	1.350.000	13,92
<b>Total</b>	<b>212</b>	<b>9.697.105</b>	<b>100</b>

Fonte: ANEEL, 2020

Tabela 3 – Empreendimentos com construção não iniciada (ANEEL, 2020)

Tipo	Quantidade	Pot. Outorgada (kW)	%
Central Geradora Hidrelétrica	1	2.100	0,01
Central Geradora Eólica	150	5.024.380	27,21
Pequena Central Hidrelétrica	95	1.359.061	7,36
Central Geradora Solar Fotovoltaica	194	8.049.601	43,59
Usina Hidrelétrica	3	262.000	1,42
Usina Termelétrica	47	3.768.473	20,41
<b>Total</b>	<b>490</b>	<b>18.465.615</b>	<b>100</b>

Fonte: ANEEL, 2020

## 2.2 O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

O consumo de energia elétrica no Brasil tem aumentado a cada ano, nos últimos 35 anos o crescimento médio foi de 6,72% (BEN, 2005) e historicamente o consumo de energia elétrica tem se mantido a taxa superiores às do PIB de nosso país nesse mesmo período e a perspectiva é que a situação se mantenha durante alguns anos. Este cenário se torna uma preocupação para a população brasileiras pois nitidamente o setor elétrico no Brasil não tem crescido proporcionalmente conforme o consumo de energia elétrica. Um dos principais motivos da falta de desenvolvimento é a falta de investimentos do setor devido a quantidade de processos burocráticos para implantação de novas unidades geradoras. O alto crescimento da população brasileira no últimos anos juntamente com os avanços da tecnologias, aliados com a facilidade de acesso da mesma tendem a tornar o problema ainda mais crítico, tem-se que haver uma mudança na forma de manutenção e ampliação de toda a matriz geradora assim como uma conscientização maior sobre a forma como é gasta e consumida a energia elétrica, pois estima-se que o número de domicílios no Brasil vem se expandindo em uma grande escala, alcançando 62,8 milhões de habitações no ano de 2012 e a este estudo esperava que em neste ano de 2020 houvesse 75 milhões de habitações sendo que a rede elétrica alcança 99,7% dessas habitações e

como já dito, o número de equipamentos que consomem energia elétrica tende a crescer proporcionalmente a esses números. No Brasil o consumo residencial representa mais de 22% de todo o consumo de energia elétrica (BEN, 2008), porém segundo a ANATEL, esse número pode ser reduzido em 15% caso seja adotado as medidas necessárias. Visando a ajudar a essa redução se faz necessários que o consumidor tenha sempre um controle da quantidade de energia consumida em sua instalação, seja ela residencial ou industrial.

### 2.3 TARIFAÇÃO

A geração, transmissão e distribuição de energia elétrica para o todo o território brasileiro exigem recursos que viabilizem esses processos, tanto para o mantimento da tecnologia já existente como também para o desenvolvimento de novas pesquisas e incentivos para o aumento da eficiência energética. Seguindo tais preceitos, a ANEEL desenvolve métodos de cálculo tarifário para as etapas descritas acima, tal tarifação se dá através de um processo um tanto complexo que causa confusão e dificuldade de compreensão da conta de energia até mesmo àqueles que possuem conhecimento no setor elétrico, tal assunto será explanado durante esse tópico para um melhor esclarecimento do assunto a todos os interessados.

A tarifa considera três custos distintos:

- Energia gerada;
- Transmissão e distribuição;
- Encargos setoriais.

E além desses custos são cobrados pelo Governo Federal, Estadual e Municipal o PIS/COFINS, o ICMS e a Contribuição para Iluminação Pública. Esses encargos não são criados pela ANEEL, mas instituídos por leis. Portanto no final de todo o processo o cliente paga na sua conta de luz custos relacionados à geração, transmissão e distribuição, além de encargos setoriais e tributos. Em suma, para cálculos tarifários, os custos da distribuidora são classificados em dois tipos:

- Parcela A: Compra de energia, transmissão e Encargos Setoriais; e
- Parcela B: Distribuição de Energia

Em concordância com a figura abaixo (Figura 2), o preço da conta de energia é composto na maior parte pela parcela A (Compra de Energia, Transmissão de Energia e Encargos Setoriais) com 53,5%. A parcela B, responsável por toda a distribuição corresponde a apenas 17%, o restante do valor, 29,5%, é referente aos encargos

governamentais. A partir do ano de 2015 a ANEEL juntamente com Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) adicionou às contas de energia um recurso adicional: o Sistema de Bandeiras Tarifárias, esse método é uma forma de informar para o usuário se haverá ou não acréscimo no valor da energia durante determinado mês em função das condições de geração de eletricidade.

Como citado anteriormente a principal fonte geradora no Brasil são as hidrelétricas representando mais de 60% da matriz energética, porém quando há períodos de seca e estiagem é preciso acionar Usinas Térmicas, e esse processo de geração se torna mais caro acarretando um custo maior ao consumidor final. Existem três cores de bandeiras e cada modalidade representa uma determinada característica:

**Bandeira verde:** condições favoráveis de geração de energia, portanto não haverá acréscimo;

**Bandeira amarela:** condições de geração menos favoráveis. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,01343 para cada quilowatt-hora (kWh) consumido;

**Bandeira vermelha – Patamar 1:** condições mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,04169 para cada quilowatt-hora (kWh) consumido;

**Bandeira vermelha – Patamar 2:** condições ainda mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,06243 para cada quilowatt-hora (kWh) consumido;

Cada concessionária determina o valor a ser cobrado pelo quilowatt-hora (kWh), a Tabela 4 contém os valores de algumas concessionárias no Brasil.

Tabela 4 – Valor do quilowatt-hora de concessionárias brasileira

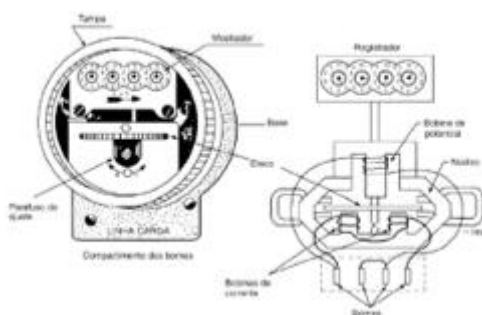
Distribuidora	UF	Tarifa Convencional (R\$)
Eletroacre	AC	0,570
Ceal	AL	0,535
AmE	AM	0,665
CEA	AP	0,537
Coelba	BA	0,552
Enel CE	CE	0,529
CEB-DIS	DF	0,518
Celg-D	GO	0,534
CEMIG	MG	0,644
SEM	MS	0,609
EMT	MT	0,627
Celpe	PE	0,549
Cepisa	PI	0,569
CASTRO – DIS	PR	0,351
CERAL ARARUAMA	RJ	0,950
Cosern	RN	0,506
Ceron	RO	0,577
Roraima Energia	RR	0,618
CEEE-D	RS	0,515
Cercos	SE	0,783
CPFL Paulista	SP	0,523

Fonte: ANEEL, 202

### 2.3.1 Medição de energia

A medição de energia consumida durante o mês é calculada através de medidores de energia elétrica que popularmente são também conhecidos como relógio de luz. Esses elementos se tornaram essenciais e obrigatórios, portanto, é quase impossível encontrar alguma residência sem a presença deles. Com o propósito de uma medição mais correta e precisa, durante os anos foram sendo elaborados medidores mais avançados, tanto é que, os modelos atuais de diferem bastante dos primeiros dispositivos projetados. Na época de hoje são utilizados medidores eletromecânicos ou digitais. O medidor eletromecânico funciona baseado no princípio da indução eletromagnética, é um motor elétrico cuja interação de fluxos magnéticos produz movimento no rotor com correntes elétricas. A velocidade de rotação do disco é diretamente proporcional com o campo magnético, então quanto maior o campo, maior a velocidade e maior será a energia consumida.

Figura 1 – Medidor de energia eletromecânico



Fonte: Dahle, 2010

Os medidores de energia digitais ou eletrônicos vêm gradativamente substituindo os modelos eletromecânicos pois possuem melhor exatidão, oferecem informações detalhadas sobre o consumo e pode inclusive ser monitorado à distância via modem ou até mesmo via Internet. Através disso, o sistema de distribuição de energia pode ser dimensionado com maior eficiência e conseqüentemente oferecer um sistema de melhor qualidade para os consumidores, com menos variação e interrupções no fornecimento de energia. O diagrama de funcionamento de um medidor eletrônico consiste na recepção dos sinais de entrada do medidor pelos transdutores de tensão e corrente e adequá-los de modo que possam ser multiplicados. O multiplicador obtém o valor de potência, a energia consumida é obtida pelo integrador e o valor é armazenado e registrado pelo registrador.

## 2.4 SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO

Não existe registro oficial de quando a automação surgiu na humanidade, entretanto, a mesma está presente desde os primórdios da humanidade como por exemplo a invenção da roda, o descobrimento do fogo que fez com o que o ser humano vivesse com uma melhor qualidade. Ao contrário do que muitos pensam a automação não se resume apenas a melhorias de processos industriais, considera-se automatização qualquer processo que auxilie o ser humano nas suas tarefas do dia a dia, sejam elas comerciais, industriais, domésticas ou no campo. Como exemplo, podemos citar o uso da roda d'água que é considerado uns dos primeiros dispositivos automáticos da humanidade tendo sido desenvolvido em meados do século II a.C. na automatização do processo de moagem, serrarias, ferrarias e trituração de grãos em geral. Desde então o homem nunca se deu por vencido e tem trabalhado cada vez mais em dispositivos e métodos que facilitem suas atividades.

Estes dispositivos e processos causam uma grande mudança na forma como o ser humano vive, trabalha e produz. Muitas vezes processos de automatização são considerados percussores do desemprego pois substituem a mão de obra, muitas vezes de muitos trabalhadores por uma única máquina ou dispositivo. Porém os processos de automatização trazem muito mais benefícios do que prejuízos para a população, como por exemplo, maior rapidez na produção, segurança dos trabalhadores envolvidos, rapidez, qualidade de produção, economia, dentre vários outros benefícios observados em sistemas automatizados.

### 2.4.1 Automação industrial

A automação industrial tem como objetivo criar mecanismos que sejam capazes de produzir o melhor produto com o menor custo, de forma a tornar os processos industriais mais seguros, rápidos, fáceis e baratos. Nos dias de hoje é praticamente impossível imaginar um cenário das indústrias longe dos processos de automatização (NUNES, 2012). Há registros que o conceito de automação industrial surgiu na década de 20 quando Henry Ford criou a linha de montagem de um carro chamado de modelo T, tendo como ideia inicial reduzir os custos de produção, aumentar a produtividade e elevar o nível de segurança de seus trabalhadores.



#### **2.4.2 Automação comercial**

É a área da automação que cuida do processos comerciais geralmente ligados a vendas do varejo, nesse ramo da automação é mais utilizado software do hardware como por exemplo: sistemas para controle de estoque, folhas de pagamento, controle de vendas, contas a pagar e a receber, identificação de mercadorias e de processos por códigos de barras, controle de emissão de documentos fiscais, entre outros processos essenciais para o funcionamento do estabelecimento.

#### **2.4.3 Automação residencial**

A automação residencial, também conhecida como domótica, residência inteligente ou casa do futuro, ainda dá seus primeiros passos no Brasil, porém a cada dia esses passos são mais largos e promissores, segundo uma pesquisa (AURESIDE, 2010) no período 2007 – 2009 houve um aumento aproximado de 40% dos projetos de automação residencial realizados no Brasil. Ela é a aplicação de técnicas para melhoria do conforto, praticidade e segurança de residências ou conjuntos habitacionais, algumas técnicas empregadas podem ser citadas como controle de acesso por biometria, porteiros e portões eletrônicos, circuitos fechados de televisão, controle de iluminação, controle de temperatura ambiente e de água, entre vários outros processos que tendem a melhorar o conforto e a segurança dos moradores. Esse tipo de automação pode ser desenvolvido tanto em processos simples controlando um único equipamento ou alguns equipamentos quando de modo sofisticado controlando casa inteiras ou até mesmo grande conjuntos habitacionais. Os acionamentos, acompanhamento e controle desses sistemas podem ser feito através de smartphones, computadores, tablets ou praticamente qualquer dispositivo que tenha acesso a internet.

### **2.5 MICROCONTROLADORES**

Um microcontrolador (Figura 5) é, em última análise, um computador em um único chip. Esse chip contém um processador (Unidade Lógica e Aritmética – ULA), memória, periféricos de entrada e de saída, temporizadores, dispositivos de comunicação serial, dentre outros. Os microcontroladores surgiram como uma evolução natural dos circuitos digitais devido ao aumento da complexidade dos mesmos (PAULINO, 2006). Chega um ponto em que é mais simples, mais barato e mais compacto, substituir a lógica das portas digitais por um conjunto de processador e software. O primeiro microcontrolador foi lançado pela empresa Intel em 1977 e recebeu a sigla “8048”. Com

a sua posterior evolução, deu origem à família “8051” (Figura 6). Esse chip é programado em linguagem Assembly e possui um poderoso conjunto de instruções. Por ser um dos precursores, é utilizado em muitas aplicações de automação em diversas áreas do mundo. É tido como o microcontrolador mais popular do mundo, pois existem milhares de aplicações para o mesmo, e existem pelo menos dois mil fabricantes produzindo variantes e clones do modelo. Por ser um microcontrolador CISC, oferece um conjunto de instruções muito vasto que permite executar desde um simples programa que faz piscar um LED até um programa de controle de acesso controlado por rede. O microcontrolador possui internamente os seguintes dispositivos:

- Uma CPU (Unidade de Processamento Central), cuja finalidade é interpretar as instruções de programa.
- Uma memória PROM (Memória Programável Somente de Leitura) na qual são gravadas as instruções do programa.
- Uma memória RAM (Memória de Acesso Aleatório) utilizada para memorizar as variáveis utilizadas pelo programa.
- Um conjunto de LINHAS de I/O para controlar dispositivos externos ou receber impulsos de sensores, interruptores, etc.
- Um conjunto de dispositivos auxiliares ao funcionamento, ou seja, gerador de clock, contadores, USART para comunicação, etc.

Figura 2- Microcontrolador PIC12F675/ Figura 3 - Microcontrolador Intel 8051



Fonte: Microchip Technology Inc., 2012

### 2.5.1 Arquiteturas Harvard e Von Neuman

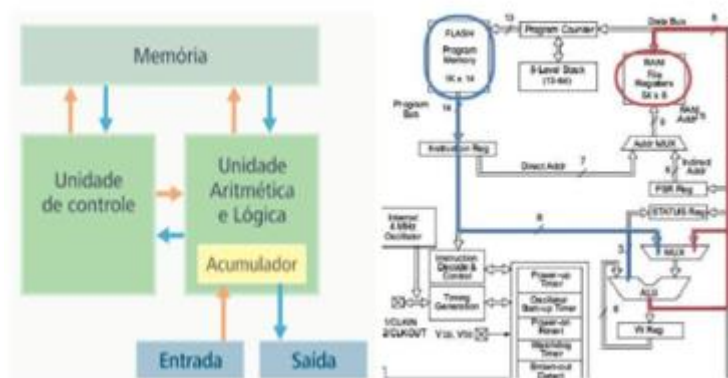
Quando um sistema de processamento de dados (processadores e microcontroladores) possui uma única área de memória na qual ficam armazenados os dados (variáveis) e o programa a ser executado (software), dizemos que esse sistema segue a arquitetura de Von Neuman. No caso em que os dados (variáveis) ficam armazenados em uma área de memória e o programa a ser executado (software) fica armazenado em outra área de memória, dizemos que esse sistema segue a arquitetura

Harvard. A máquina proposta por Von Neuman é composta pelos seguintes componentes: (Memória; Unidade de controle; Unidade Lógica e Aritmética (ULA); Registradores; Periféricos de entrada e saída).

Conforme pode ser observado na Figura 4, não existe separação entre dados e programa, uma vez que há uma única área de memória. Dessa forma, o processador deve executar uma única ação por vez: ou acessa os dados ou executa uma instrução. Na arquitetura Harvard observamos dois barramentos distintos: um para acessar a memória de dados e outro para acessar a memória de programas. Dessa forma, o processador pode buscar e executar uma instrução ao mesmo tempo em que acessa a memória de dados para ler ou para gravar algum valor. Na Figura 5 é possível observar o barramento de dados (Data Bus), em vermelho, partindo da memória RAM e seguindo até a Unidade Lógica e Aritmética (ALU, em inglês). Na mesma figura, observa-se o barramento de programa (Program Bus) em azul, que parte da memória de programa e chega na Unidade Lógica e Aritmética (ALU). Devido à separação entre dados e programa, um processador da arquitetura Harvard executará um programa em menor tempo do que um processador da arquitetura Von Neuman de mesmo clock. Os microcontroladores com arquitetura Harvard são também conhecidos como “microcontroladores RISC” (Computador com Conjunto Reduzido de Instruções), e os microcontroladores com uma arquitetura Von-Neumann, de “microcontroladores CISC” (Computador com um Conjunto Complexo de Instruções).

Os PIC são uma família de microcontroladores fabricados pela Microchip Technology, que processam dados de 8 bits e de 16 bits, mais recentemente 32, com extensa variedade de modelos e periféricos internos, com arquitetura Harvard e conjunto de instruções RISC (conjuntos de 35 instruções e de 76 instruções), com recursos de programação por Memória flash, EEPROM OTP. Atualmente no mercado existem várias fabricantes de microcontroladores, entre elas podemos destacar algumas como: Atmel, Holtek, Intel, Microchip e a Motorola. Em nosso trabalho usaremos um chip muito comum fabricado pela Atmel, o ATmega328p (Figura 10).

Figura 4 - Arquitetura Von Neuman/ Figura 5 - Arquitetura Harvard.



Fonte: Blog FilipeFlop, 2020

### 2.5.2 Microcontrolador ATmega 328P

O ATmega328 é um microcontrolador de 8 bits CMOS e baixo consumo de energia baseado na arquitetura RISC aprimorada do AVR (BORGES, 2013). Ele possui alta performance que o torna capaz de executar instruções com um ciclo de clock gerando um alcance de 1MIPS/MHZ (1 milhão de Instruções por Segundo por Mega Hertz) permitindo que o projetista do sistema otimize o consumo de energia versus velocidade. Esse microcontrolador é utilizado nas placas do Arduino UNO e oferece ao programador uma gama imensa de possibilidades, podendo executar desde um simples programa que faça piscar um LED até um projeto de controle de um robô, ou até mesmo o monitoramento do consumo de energia elétrica como está sendo explicado nesse projeto.

Principais características:

- Baixa potência, com arquitetura RISC avançada;
- 131 instruções, a maior parte executada em 1 ou 2 ciclos de clock (poucas em 3 ou 4 ciclos);
- 32 registradores de trabalho de propósito geral (8 bits cada). Alguns trabalham em par para endereçamento de 16 bits;
- Operação de até 20 MIPS a 20 MHz;
- Multiplicação por hardware em 2 ciclos de clock;
- 32 Kbytes de memória de programa flash de auto programação In-System;
- 1 kbytes de memória EEPROM;
- 2 kbytes de memória SRAM;
- Ciclos de escrita e apagamento: memória flash 10 mil vezes, EEPROM 100 mil vezes;
- Seção opcional para código de boot para programação In-System por boot

- loader;
- Bits de bloqueio para proteção contra cópia de firmware;
- Tensão de operação: 1,8 - 5,5 V;
- Consumo de corrente a 1 MHz (1,8 V, 25 °C): modo ativo = 0,2 mA e modo Power-down = 0,1 uA. (LIMA; VILLAÇA, 2012, p.17-18)

Figura 6 - Microcontrolador ATmega 328p/ Figura 7 - Configurações dos pinos



Fonte: Microchip Technology Inc., 2012

## 2.6 ARDUINO

O Arduino é um conjunto composto por uma placa e um software criada em 2005 pelo Italiano Massimo Banzi para contribuir no aprendizado para iniciantes em eletrônica, por ser uma plataforma totalmente de código aberto (Open-Source) qualquer pessoa pode usa-la para desenvolver seus projetos de forma totalmente gratuita, sendo alcançado seu objetivo de os estudantes cheguem ao menor custo possível ao desenvolver seus protótipos e projetos.

O Arduino é composto por dois componentes principais, o Hardware e o Software, sendo o hardware composto por uma placa onde são construídos os projetos. Já o Software é uma IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado), que é executado em um computador onde é feita a programação, que são basicamente os comandos que o processador que está acoplado a placa irá executar, essa programação é conhecida como sketch. O sketch é gravado no processador do Arduino através de uma comunicação serial. O Kit mais famoso da plataforma é o Arduino UNO que será o usado em nosso projeto, por possibilitar diversas aplicações por um preço reduzido. Os conectores da placa de dividem da seguinte forma:

- 14 pinos de entrada e saída digital (pinos 0-13): Esses pinos podem ser usados como entrada ou saída, dependendo da necessidade do projeto.

- 6 pinos de entradas analógicas (pinos A0 - A5): Esses pinos são dedicados a receber valores analógicos.

- 6 pinos de saídas analógicas (pinos 3, 5, 6, 9, 10 e 11): São pinos digitais que podem ser programados para serem utilizados como saída analógicas PWM.

A alimentação pode ser feita através da porta do comutador USB ou de uma fonte de alimentação externa AC (para a fonte se recomenda 12V). A programação do Arduino é feita através do compilador disponível gratuitamente para download no site da plataforma, sua IDE possui linguagem de programação própria baseada na linguagem C e C++.

### 2.6.1 Arduino Standalone

Um Arduino Standalone é a montagem que replica todo o funcionamento básico do Arduino, geralmente feita em uma prooboard, a montagem utiliza os mesmos componentes básicos presentes no Arduino original. No caso do Arduino Uno, ela é feita como microcontrolador ATmega328p, o mesmo utilizado na construção original.

A montagem pode conter ou não todos os blocos presentes no Arduino original, módulos como por exemplo o de alimentação (energia) e o de comunicação USB podem ser dispensados, o único bloco de processamentos, é extremamente necessário.

No caso deste projeto, a utilização do Arduino Standalone, se deu pelo fato de se conseguir uma melhor estética na construção do dispositivo, uma melhor organização nos posicionamentos dos sensores de tensão e de corrente e uma melhor visualização de todo o funcionamento do trabalho. Ele foi projetado e construído em uma placa PCB projetada com auxílio do Prof. Rildo Almeida e fabricada na China sob encomenda. O seu funcionamento foi totalmente conforme o esperado, se saindo exatamente da mesma forma do Arduino original, tendo assim melhorado o funcionamento do projeto e sua estética.

### 2.7 ETHERNET SHIELD W5100

O Ethernet Shield W5100 é um modelo que permite que o Arduino tenha uma conexão com a internet, ele é baseado no chip Wiznet W5100 fazendo uma ponte entre o Arduino e a rede (conhecido como stack). Existe um Slot para cartão micro-SD que pode ser usado para armazenar arquivos como banco de dados por exemplo. O Ethernet Shield contém um jack RJ45 e um botão RESET no shield que reinicia tanto ele quanto o próprio Arduino.

## 2.8 SENSOR DE CORRENTE SCT 013-000

O sensor de corrente SCT 013-000 é um transformador de corrente ideal para leituras não invasivas (BRITO, 2013), possui um funcionamento similar ao de um alicate amperímetro, possui especificação técnica de 100A no primário e de 50mA de saída no secundário possui um fator K de 2000 referente as espiras de seu Trafo e opera entre as temperaturas de  $-25^{\circ}\text{C}$  e  $70^{\circ}\text{C}$ . Sua faixa de operação é não linear em 3% e tem uma taxa de variação de seu valor nominal que vai de 10% a 120%, equivalente a 10A até 120A. Isso quer dizer que essa faixa são os melhores valores para se trabalhar.

## 2.9 SENSOR DE TENSÃO

Para obter-se um melhor e mais fiel resultado, assim como um sensor de corrente, também será utilizado um sensor de tensão, o sensor funcionará através de um circuito desenvolvido junto com a placa do projeto. O objetivo desse circuito é condicionar o sinal obtido através do transformador para que se atenda aos requisitos das entradas analógicas do Arduino, como por exemplo manter a tensão dentro dos 5V pico, para que não ocorra a possibilidade de uma sobre tensão e conseqüentemente a queima do dispositivo. No circuito utilizamos um transformador de 9V RMS com o seguinte valor de transformação:

$$V_p = V_{RMS} \times \sqrt{2} = 12,7V$$

Com isso haverá um pico positivo de 12,7V e um pico negativo de -12,7V, o que ainda pode ser pior caso o transformador não forneça os 9V. Nos teste os transformadores tiveram uma variação de 10V a 11V, o que pode resultar numa tensão de pico de até 31,1V. Eletronicamente o sinal condicionado precisa estar abaixo dos 5V em seu pico positivo e acima do 0V em seu pico negativo, ficando dentro da faixa de operação do Arduino. Para isso foi preciso reduzir a forma de onda através de um circuito divisor de tensão envolvendo resistores e deslocando para cima criando uma fonte de tensão por outro divisor de tensão a fim de não ter nenhum ciclo negativo. Os resistores R2 e R6 formam um divisor de tensão e são responsáveis por reduzir o nível de tensão AC do secundário transformador. Os resistores R1 e R5 fornecem a polarização de tensão e o capacitor C2 oferece um caminho para o terra de baixa impedância para o sinal AC tornando-se um filtro passa baixa. Calculando o divisor de tensão, temos que:

$$V_{picoOUT} = \frac{R6}{R6 + R5} \times V_{picoIN} = \frac{10K}{10K + 100K} \times 12,7V = 1,15V$$

## 2.10 TRANSFORMADORES

Os dispositivos transformadores são amplamente utilizados pelas suas propriedades de transformação de valores de tensão e corrente. São constituídos por um núcleo de ferro e enrolados com fios de cobre revestidos de esmaltes possuindo geralmente uma parte primaria e uma parte secundaria. A corrente elétrica que passa em um dos enrolamentos produz um campo magnético oscilante que induz o surgimento de uma corrente elétrica no segundo enrolamento, graças ao fenômeno da indução eletromagnética. Os transformadores podem ser usados tanto como elevadores como abaixadores de tensão. Existem diversos tipos de transformadores: os monofásicos, que operam no máximo em duas fases (127V-220V), os trifásicos (ou de potência) que operam em três fases (220V-380V-440V). Como consequência do aumento da tensão, os transformadores que elevam a tensão fazem com que a corrente elétrica seja reduzida na mesma proporção em que a tensão elétrica é aumentada diminuindo assim as perdas pelo efeito joule.

## 2.11 LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO

Os seres humanos precisam transformar as ideias concebidas em suas mentes em uma forma que os computadores possam compreender o que se serem hábeis em processar toda aquela ideia, ou seja, a linguagem da máquina. Os computadores de hoje (ainda) não conseguem entender a linguagem utilizada no dia a dia, então necessita-se de outra forma de se comunicar com ele, como se fosse outro “idioma”, esse idioma especial que instruir a máquina a realizar as tarefas requeridas pelo programador é chamada de linguagem de programação. Existem várias dessas linguagens. O Arduino possui uma própria chamada de Arduino, porem essa é muito parecida e possui poucas diferenças da linguagem C++ que é muito tradicional e bem conhecida. Para converter o programa construído utilizamos um programa chamado compilador, para compilar um programa geralmente se usa um ambiente de desenvolvimento, no caso da tecnologia que será usada nesse projeto (Arduino), esse ambiente é chamado de IDE, do inglês *Integrated Development Environment*. Nele o código será desenvolvido e compilado para o processamento do mesmo no dispositivo.

## 2.12 BLYNK

O Blynk consiste em uma plataforma desenvolvida para sistemas operacionais iOS e Android para controlar placas Arduino, Raspberry Pi entre outros dispositivos



através da Internet de forma prática e didática. No aplicativo disponível para download é possível que o usuário construa sua própria interface apenas arrastando e soltando widgets, ou seja, não é necessária nenhuma programação para o desenvolvimento da interface. A plataforma se conecta com o dispositivo através da Internet e informa ao projetista os dados coletados.

### 3 DESENVOLVIMENTO

#### 3.1 DISPOSITIVO PROPOSTO

O dispositivo que monitora o consumo de energia elétrica foi desenvolvido de forma não invasiva e deve ser acoplado na entrada de energia da caixa de distribuição dos circuitos de uma residência ou em um equipamento específico, de forma que a coleta de informações seja realizada por sensores de tensão e corrente. Não foi utilizado um Arduino convencional, mas houve a construção de uma placa baseada no conceito de Arduino Standalone, onde foi utilizado o mesmo processador do Arduino UNO, ATmega 328p, e construído um circuito de condicionamento possuindo os sensores de tensão e entradas para que fossem acoplados os sensores de corrente.

Figura 8 – Protótipo desenvolvido e identificação dos estágios do dispositivo (Itens I, II e III)/ Figura 9 – Placa desenvolvida



Fonte: Própria

Na figura 8 é possível observar um transformador 127/220V para 9V, ele é essencial para o projeto pois reduz o valor de tensão coletado da rede até níveis aceitáveis para não danificar o dispositivo, dessa forma é possível obter um valor real da tensão de forma segura. O primário do transformador pode ser conectado na saída do disjuntor do circuito no quadro de distribuição, para redes 127V os fios preto e azul, para 220V os fios preto e vermelho.

No lado direito da figura 19 há um sensor de corrente que será conectado de forma não invasiva no cabo de alimentação do circuito, ele utiliza a mesma técnica de um alicate

amperímetro, apenas abrindo o seu encaixe e colocar o cabo no meio do sensor, uma atividade simples e segura. Os dados coletados pelos sensores de corrente e de tensão são armazenados são condicionados no circuito construído na placa que está identificado como Item I e processados no processador ATmega328p (Item II) e após a leitura e processamento dessas informações é realizada a comunicação entre o Arduino e o Ethernet Shield (Item III) para que esses dados sejam enviados para o banco de dados do Blynk.

Após o envio dessas informações esses dados serão disponibilizados na interface construída no aplicativo Blynk (Figura 21). Na tela foram colocados cinco widgets, o primeiro é um LCD, sua função é informar que o circuito está ligado, caso a potência seja maior que 100W, quando menor, desligado. O segundo e terceiro widgets expressam os valores de tensão da rede e da corrente do circuito. O quarto é um gráfico onde é disponibilizado qual a potência que está sendo consumida naquele momento e um histórico de consumo de até 1 ano. Porém, ele não funciona como um medidor de energia, apenas um indicativo da potência que está ou estava sendo consumida em determinado período. O quinto e último representa a potência que está sendo utilizada em tempo real. Com o código utilizado é possível também incluir na interface leituras do fator de potência, potência aparente e custo, porém vale ressaltar que esses não eram os objetivos deste trabalho.

São necessários um cabo RJ45 para a conexão entre o Ethernet Shield e o modem para que o dispositivo tenha acesso à internet, foi escolhido essa forma de conexão através do cabo pois o garante uma conexão muito mais estável, além de uma facilidade maior na instalação, já que com uso de uma possível conexão wireless, deveria ter-se a preocupação em instalar o dispositivo ao alcance do sinal, o que não acontece com a conexão cabeada. E também é necessária uma fonte de alimentação de 5V para o Arduino podendo ser por pilhas, conexão USB ou algum carregador que possua essa tensão de saída. É possível observar na Figura 21 que quando o sistema está desligado mesmo assim é informado um valor de potência, isso deve-se ao fato dos sensores registrarem um pequeno valor de corrente devido ao processo de calibração dos sensores não serem totalmente eficazes. Entretanto esses valores não interferem na medição final feita pelo dispositivo, e pensando nessa potência residual foi estabelecido no software que o sistema apenas informará o status de ligado quando a potência for maior que 100W. O protótipo construído custou cerca de R\$320,00 pois foi fabricado para ser utilizado em circuitos de

até 3 fases, caso o usuário não necessite usá-lo em um sistema trifásico o valor pode ser reduzido.

Tabela 4 – Custos do protótipo construído

Quantidade	Dispositivo	Preço (R\$)
1	Microcontrolador	R\$ 35,00
1	Ethernet Shield	R\$ 85,00
3	Sensor de Corrente	R\$ 75,00
1	Placa	R\$ 55,00
40	Componentes Elétricos	R\$ 30,00
3	Transformadores	R\$ 40,00
	<b>Total</b>	<b>R\$ 320,00</b>

Fonte: Própria

## 3.2 SOFTWARE

Neste tópico será descrito o funcionamento do código desenvolvido, assim como sua base e o funcionamento de cada bloco de programação.

### 3.2.1 Bibliotecas

Como demonstrado no bloco abaixo, o programa principal precisa de 4 bibliotecas para funcionar.

```
#define BLYNK_PRINT Serial
#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>
#include <BlynkSimpleEthernet.h>
#include "EmonLib.h "
```

A primeira biblioteca (SPI.h) significa Serial Peripheral Interface, ou seja, é uma interface de periférico serial, é utilizado para comunicação entre o microcontrolador e os demais periféricos, também pode ser usada entre dois microcontroladores. A segunda, Ethernet.h possui como finalidade dar todos os protocolos de comunicação para o Ethernet Shield, e realizar a comunicação do Protocolo de Internet (IP) com o banco de dados. A biblioteca BlynkSimpleEthernet.h tem uma função simples que é a de comunicar todo o sistema com o APP Blynk e todo banco de dados. E a última biblioteca, EmonLib.h, tem a função de extrair do sistema os valores de Potência real, Potência aparente, tensão RMS e corrente RMS.

### 3.2.2 Comunicação com o Shield

Com a utilização do Blynk, necessita-se de apenas uma linha de programação para realizar a comunicação, a variável "auth" é a chave de pareamento do projeto com o banco

de dados do próprio aplicativo, simplificando todo o processo de comunicação de forma gratuita.

```
char auth[] = "_W2QhoEwiBkQmLdIYSHvTcnImbTGRMSn";
```

### 3.2.3 Calibração dos sensores

Esse bloco do código é responsável pela calibração dos sensores, em sua primeira linha é representada a função que informa que os cálculos com os dados obtidos pelos sensores serão realizados dentro da biblioteca EmonLib.h. Já nas últimas linhas há a calibração dos sensores.

```
EnergyMonitor emon1;  
  
WidgetLCD lcd (V5) ;  
  
void setup () {  
  pinMode(SDCARD_CS, OUTPUT);  
  digitalWrite (SDCARD_CS, HIGH) ;  
  Serial.begin (9600);  
  Blynk.begin (auth) ;  
  emon1.voltage (1 , 138.26 , 1.7) ;  
  emon1.current ( 0 , 60.6 ) ; }  

```

### 3.2.4 Leitura

Já neste bloco, o comando `emon1.calcVI` determina o cálculo de todas as variáveis em sua biblioteca, armazenando cada resultado em variáveis flutuantes, como demonstrado no código abaixo:

```
void loop () {  
  Blynk.run () ;  
  emon1.calcVI (20 , 2000) ;  
  float realPower = emon1.realPower ;  
  float apparentPower = emon1.apparentPower ;  
  float powerFactor = emon1.powerFactor ;  
  float supplyVoltage = emon1.Vrms ;  
  float Irms = emon1.Irms ;  

```

### 3.2.5 Alocação da variável para o Blynk

O aplicativo Blynk apresenta em sua interface as opções de pinos virtuais, analógicos e de PWM. Nesse caso os sensores foram conectados em pinos virtuais no Arduino, sendo necessário também fazer a alocação das variáveis nos pinos virtuais no Blynk.

```
Blynk.virtualWrite (V1, Irms ) ;  
Blynk.virtualWrite (V2, supplyVoltage ) ;  
Blynk.virtualWrite (V3, realPower ) ;  
delay (1000) ;  
lcd.clear ( ) ;  
if ( ( supplyVoltage > 100 ) && ( realPower > 100 ) ) {  
  lcd.print ( 5 , 1 , " Ligado " ) ;  
}  
else {  
  lcd.print ( 4 , 1 , " Desligado " ) ;  
}  
}
```

### 3.3 FUNCIONAMENTO DO DISPOSITIVO

Após toda a construção do projeto, escrita do código e os ajustes finais, foi realizado alguns testes utilizando como carga resistiva, um secador de cabelo de 2100W. Apesar do aparelho não atingir sua potência nominal foi possível constatar que o projeto funcionou corretamente, conseguindo ler as informações de tensão e corrente, calculando a potência e enviando essas informações para o Blynk e informando os dados registrados os valores de tensão (124,362V), corrente (8,016A) e a potência ativa (995,916W), por ser uma carga resistiva considera-se o fator de potência como 1, portanto observa-se que o projeto desenvolvido para esse trabalho foi capaz de alcançar o seu objetivo. Para uma confirmação dos cálculos pode-se calcular o produto da tensão pela corrente para encontrar a potência ativa, onde se obtém um valor muito próximo ao representado na interface.

$$124,362 V \times 8,016 A = 996,885 W$$

## 4 CONCLUSÃO

Durante todo este trabalho de conclusão de curso houve a preocupação em transmitir de forma didática, simples e direta a construção de um sistema que possibilite o monitoramento em tempo real do consumo de energia elétrica. Esse dispositivo pôde ser desenvolvido com um baixo investimento financeiro e possuir a mesma finalidade de muitos outros sistemas semelhantes que são vendidos por preços muito maiores. Todavia, o real propósito foi instigar no leitor e usuário uma atenção maior ao seu consumo de energia, pois em uma sociedade em tão rápido crescimento se faz necessária cada vez mais uma demanda maior de geração de eletricidade. A qual se tornou essencial na vida moderna, tanto que a sua ausência com certeza geraria um caos. E como visto nos primeiros tópicos a grande maioria dos processos de geração ainda são nocivos ao meio ambiente, causando grandes danos à fauna e flora do planeta, danos que se continuarem nas proporções atuais podem ser irreversíveis. Portanto é essencial que haja uma

conscientização do consumo de energia e dos recursos disponíveis para sua geração, e acredita-se que com soluções simples e tecnológicas como este projeto, seja possível atingir esse alvo tão importante para a humanidade.

## REFERÊNCIAS

A Tarifa de Energia Elétrica - AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELETRICA. Fevereiro de 2016. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/tarifas>>. Acesso em 20/05/2020.

A Automação Residencial alavanca a demanda por eficiencia - AURESIDE. Março de 2010. Disponível em: . Acesso em 22/03/2020

ANEEL aprova novas regras para leitura e medição de energia elétrica - AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELETRICA. Novembro de 2019. Disponível em <[https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset\\_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/aneel-aprova-novas-regras-para-leitura-e-medicao-de-energia-eletrica/656877](https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/aneel-aprova-novas-regras-para-leitura-e-medicao-de-energia-eletrica/656877)>. Acesso em: 20/05/2020.

ARDUINO, Ethernet Shield. Tutorial Arduino Ethernet Shield. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoEthernetShield>>. Acesso em: 01/05/2020.

BORGES, Diego Garcia/ SEMENSATO, Marcelo. MICROCONTROLADOR PARA CORREÇÃO AUTOMÁTICA DO FATOR DE POTÊNCIA E SELEÇÃO DE FILTRO PASSIVO, Goiás 2013. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia/Campus Jataí/Engenharia Elétrica/ PIBITI-CNPQ.

BRITO, João. 2013. Transformadores de tensão e corrente. Londrina, Paraná 2013. Relatório da matéria de eletrônicos 1 da Universidade Estadual de Londrina. Vieira, A. C. G. Correção do Fator de Potência. 2o Edição. Rio de Janeiro: Editora Manuais CNI, 1989, p. 155. Flarys, F. Eletrotécnica Geral (1a Edição ed.). São Paulo: Editora Manole, (2006).

DUAILIBE, Prof Paulo. Consultoria para uso Eficiente de Energia. Janeiro – 2000. Disponível em:<[www.uff.br/lev/downloads/apostilas/Capacitores.pdf](http://www.uff.br/lev/downloads/apostilas/Capacitores.pdf)>. Acesso em: 10/05/2020.

KINYA FUGIMOTO, Sérgio. Estrutura de tarifas de energia elétrica análise crítica e proposições metodológicas. São Paulo 2010. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

LAU, Lucas. Entenda as modalidades de tarifa de energia elétrica. Outubro de 2017. Disponível em: <<https://shareenergy.com.br/entenda-as-modalidades-de-tarifa-de-energia-eletrica/>>. Acesso em 15/05/2020.

LEMONS, Manoel. 2014. Campus Party – Arduino Day 2014. Construindo um medidor de consumo de energia elétrica com Arduino. Disponível em: < <http://blog.fazedores.com/construindo-um-medidor-de-consumo-de-energia-eletrica-com-arduino/>>. Acesso em: 14/05/2020.

MELO, H.P.de OLIVEIRA, A. ARAÚJO, J.L. (1994), O Sonho Nacional – eletricidade e petróleo:1954/1994, em GOMES, A. C. Vargas e a Crise dos Anos 50, Relume Dumará, Rio de Janeiro, 1994.

NITAHARA, Akemi. Número de domicílios no país cresce mais do que a população. Setembro de 2013. Disponível em: <<http://memoria.ebc.com.br/agenciabrasil/noticia/2013-09-27/numero-de-domicilios-no-pais-cresce-mais-do-que-populacao/>>. Acesso em 14/04/2020.

NUNES, Alexandre Corrêa. DESENVOLVIMENTO DE UM CONTROLADOR DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL. Florianópolis 2012. Tese (Graduação em Engenharia Elétrica). INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA.

PAULINO, Clóvis Aparecido. Estudo de tecnologias aplicáveis à automação da medição de energia elétrica residencial visando à minimização de perdas. São Paulo 2006. Tese (Mestrado em Engenharia Elétrica). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Sistema de Informações de Geração da ANEEL – AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELETRICA. Março de 2020. Disponível em <<https://www.aneel.gov.br/siga>>. Acesso em 18/06/2020.