



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UnICEUB
PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

Lucas Lins Vieira

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM
INSTALAÇÕES ELÉTRICAS RESIDENCIAIS.**

BRASÍLIA

2019



Lucas Lins Vieira

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM
INSTALAÇÕES ELÉTRICAS RESIDENCIAIS.**

Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica
apresentado à Assessoria de Pós-Graduação e
Pesquisa.

Orientação: Prof. Luciano Henrique Duque

BRASÍLIA

2019

AGRADECIMENTOS

A Deus por minha vida, família e amigos.

Aos meus pais e meu irmão pelo investimento em mim realizado e os anos de carinho e dedicação que foram fundamentais para que eu me tornasse quem sou hoje.

Agradeço ao professor Luciano pela indicação e incentivo ao desenvolvimento deste tema, e pela orientação dedicada durante toda a elaboração deste trabalho, e a todos os demais professores que de alguma forma contribuíram para que este trabalho fosse realizado.

Obrigado

CITAÇÃO

Falhar jamais me derrotará se a minha determinação para alcançar o sucesso for suficiente forte.

‘Og mandino’

RESUMO

Este protótipo apresenta o desenvolvimento de um sistema de monitoramento do consumo de energia elétrica para instalações elétricas residências, tendo como objetivo otimizar o consumo de energia elétrica. A proposta deste sistema é trazer meios alternativos de economia de energia elétrica para os consumidores residenciais. O protótipo é baseado em um sistema de eficiência energética, e será implementado através de um microcontrolador Arduino e um sensor de corrente não invasivo 100A SCT- 013 que interpreta os sinais analógicos obtidos. O modelo vai medir em tempo real a tensão, corrente, potência e o consumo de energia elétrica de cada equipamento e todos esses dados serão apresentados através de um display de LCD. A finalidade deste dispositivo é que o consumidor consiga monitorar seus gastos de forma instantânea e eficiente.

Palavras-Chave: Arduino. Consumo de energia elétrica. Eficiência energética.

ABSTRACT

This prototype presents the development of a power consumption monitoring system for residential electrical installations, aiming to optimize the electricity consumption. The purpose of this system is to bring alternative means of saving energy to residential consumers. The prototype is based on an energy efficiency system, and will be implemented through an Arduino microcontroller and a 100A SCT-013 noninvasive current sensor that interprets the obtained analog signals. The model will measure in real time the voltage, current, potency and electric power consumption of each equipment and all this data will be presented through an LCD display. The finality of this device is for consumers to be able to monitor their spending instantly and efficiently.

Keywords: Arduino. Electricity consumption and energy efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz Energética Brasileira - Geração	10
Figura 2 - Variação do Consumo.....	11
Figura 3 - Diversidade na matriz energética do Brasil.....	15
Figura 4 - Turbina Pelton.....	17
Figura 5 - Turbina Francis	18
Figura 6 - Turbina Kaplan.....	18
Figura 7 - Turbina bulbo	19
Figura 8 - Usina Termoelétrica	20
Figura 9 - Diagrama de um voltímetro construído com um galvanômetro	21
Figura 10 - fórmula para medir a sensibilidade do voltímetro analógico	22
Figura 11 - Diagrama de blocos de um voltímetro vetorial	22
Figura 12 - Diagrama do amperímetro com várias escalas de correntes	23
Figura 13 - Potência Ativa	25
Figura 14 - Potência reativa em uma impedância	26
Figura 15 - Potência aparente em uma impedância	27
Figura 16 - Placa Arduino MEGA 2560	30
Figura 17 - Esquema Elétrico do ARDUINO MEGA 2560	31
Figura 18 - Sensor de corrente não invasivo.....	34
Figura 19 - Sensor de corrente.....	35
Figura 20 - Fritzing	35
Figura 21 - Regulador de tensão do circuito integrado.....	37
Figura 22 - optoacoplador 4n25	38
Figura 23 - Diagrama Micro SD.....	38
Figura 24 - Transistores BC337 do tipo NPN	40
Figura 25 - Botão Push Botton	40
Figura 26 - Simulação de Circuito	41
Figura 17 - alicate amperímetro.....	42
Figura 27 – Medição de corrente.....	43
Figura 28 – Circuito finalizado na protoboard.....	44
Figura 29 – Medições com o protótipo.....	45

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.2. OBJETIVOS.....	12
2. JUSTIFICATIVA	12
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
3.1 GERAÇÃO HIDROELÉTRICA.....	16
3.2 GERAÇÃO TERMOELÉTRICA	19
3.3 GERAÇÃO EÓLICA.....	20
3.4 MEDIDORES DE TENSÃO	21
3.4.1 Voltímetro Vetorial.....	22
3.5 MEDIDORES DE CORRENTE	23
3.5.1 Amperímetro analógico	23
3.5.2 Amperímetro digital.....	23
3.5.3 Amperímetro do tipo alicate.....	24
3.6 ENERGIA ELÉTRICA	24
3.6.1 Análise da potência ativa P	24
3.6.2 Análise da potência reativa Q	25
3.6.3 Potência reativa indutiva.....	26
3.6.4 Potência reativa capacitiva.....	26
3.6.5 Análise da potência aparente S.....	27
3.6.6 Triângulo das potências	27
3.6.7 Fator de potência	28
3.7 WATTÍMETRO.....	29
3.8 ARDUINO	29
3.8.1 Arduino Mega 2560.....	30
3.8.2 Esquema Elétrico do ARDUINO MEGA 2560	30
3.8.3 Fonte de alimentação de ARDUINO MEGA 2560	31
3.8.4 Tensões e Alimentação.....	31
4. METODOLOGIA.....	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
5.1 OBTENÇÃO DO SINAL DE CORRENTE	34
5.2 DISPLAY DE LCD	35
5.3 TRANSISTOR LM7805	36

5.4 TRANSISTOR 4N25	37
5.5 CARTÃO DE MEMÓRIA	38
5.6 TRANSISTOR BC337	39
5.7 SIMULAÇÃO DO CIRCUITO IMPRESSO NO PROTEUS.....	41
5.8 Demonstração dos resultados.....	42
5.9 Custo para elaboração do projeto.....	47

1. INTRODUÇÃO

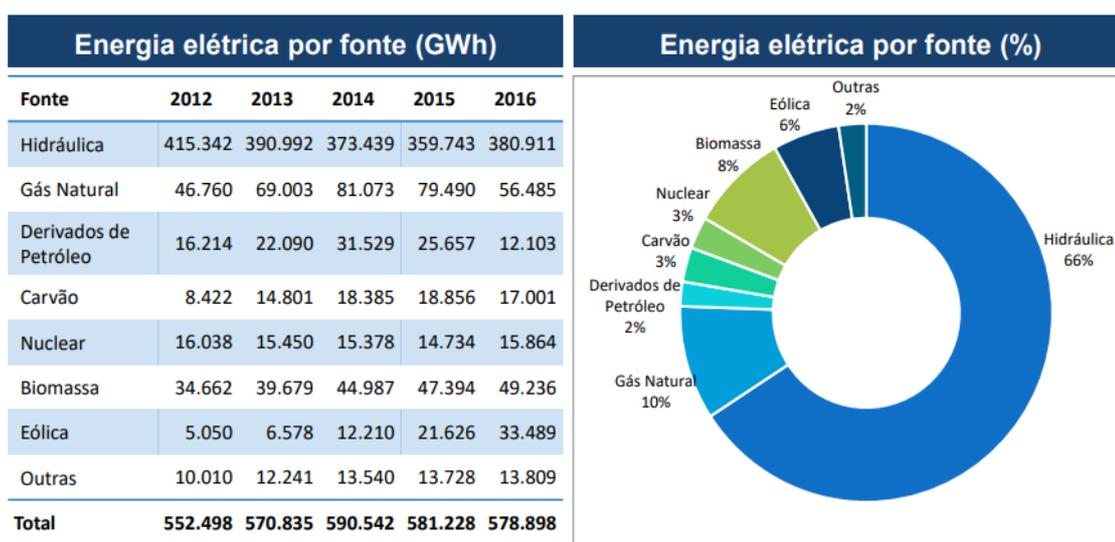
O sistema elétrico brasileiro iniciou sua estruturação no final do século XIX. As primeiras usinas e linhas de transmissão construídas tinham o propósito de alimentar cargas pontuais, porém, com o tempo, houve a disseminação do uso da eletricidade, tornando-se necessário transportar a energia elétrica até as residências. (GREDA, 2014)

Com o avanço da tecnologia, o consumo de energia elétrica no Brasil vem aumentando consideravelmente, com isso, o nível socioeconômico vem se expandindo juntamente com a qualidade de vida, todavia, esse consumo elevado de energia vem trazendo alguns riscos para o setor elétrico brasileiro, pois a alta demanda de energia pode não ser suprida e, assim, sendo capaz de gerar uma grande crise. Posteriormente, uma maneira de diminuir esse consumo elevado, seria utilizando o consumo racional e trabalhando em conjunto com a eficiência energética.

Atualmente, mais de 66% da energia elétrica brasileira é gerada por meio de hidroelétricas, o Brasil vem sofrendo uma das maiores crises hídricas dos últimos anos, de 2014 a 2016, conforme a (ANELL, 2016). A figura 1, mostra quais são as fontes geradoras de energia nos anos de 2012 a 2016.

Figura 2 - Matriz Energética Brasileira - Geração

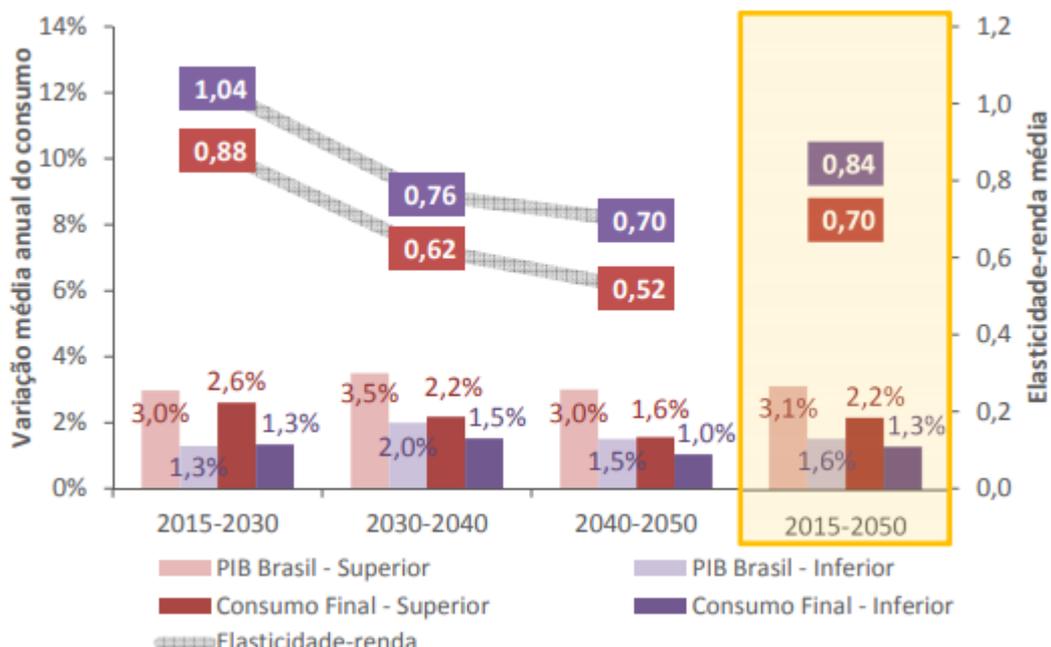
Fonte:



EPE 2017 – base 2016

O Brasil produziu 578.898 GW/h em 2016, o consumo no mesmo período foi de 460,3 GWh. O excedente gerado foi vendido para a Argentina e Uruguai, que enfrentam problemas de geração, principalmente, no período de baixas temperaturas.

Figura 3 - Variação do Consumo



Fonte: EPE

Os brasileiros irão observar seu consumo de energia aumentar em até 3 vezes no ano de 2050, de acordo com o Ministério do Planejamento (2014). Esse aumento significa que cada consumidor irá usar aproximadamente 7.000 KWh no decorrer do ano.

A projeção do consumo de energia elétrica na rede, para o período 2017-2050, levou em consideração as indicações do acompanhamento, da análise do mercado e da conjuntura econômica e energética de 2016 (Empresa de pesquisa Energética, 2017).

1.2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste projeto é desenvolver e avaliar o desempenho de um sistema de monitoramento do consumo de energia elétrica em instalações elétricas residenciais.

Este protótipo tem a finalidade de projetar e implementar um sistema de eficiência energética, que possibilite o consumidor identificar o consumo de energia elétrica aproximado de sua residência, objetivando um menor desperdício.

Os objetivos específicos:

- ✓ Projetar um protótipo que faça as leituras do consumo, tensão, corrente e potência;
- ✓ Gerar dados ao consumidor sobre o consumo de cada equipamento;
- ✓ Utilizações mais racionais, sem desperdícios desnecessários.

2. JUSTIFICATIVA

Diante do grande aumento de temperatura, o consumo de energia elétrica teve um crescimento de 6,5% em janeiro de 2019, apontaram dados preliminares da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), na quarta-feira (06/02/2019).

O Governo Federal, entre 2009 e 2011 (início), reduziu impostos para impulsionar a economia em função da crise mundial. Uma das medidas foi à redução dos preços dos eletrodomésticos e eletroeletrônicos, o IPI (Imposto sobre produtos industrializados). Essa redução provoca o aumento da procura pelos eletrodomésticos e eletroeletrônicos, aquecendo a economia e aumenta o consumo de energia elétrica. É importante também ressaltar que as estratégias de vendas promovem a compra de aparelhos eletrodomésticos em todas as classes sociais, tanto as mais abastadas quanto às de menor poder aquisitivo, as mais cultas e as menos cultas, aumentando o consumo de energia. Outro fator importante é o aumento do poder aquisitivo da população brasileira, que cresceu nos últimos oito anos, contribuindo para o aumento do consumo de eletrodomésticos e eletrônicos.

Na expectativa de chamar a atenção do cliente para os novos eletrodomésticos, as fábricas vêm produzindo equipamentos com inovações que permitem ligar e desligar através de controle remoto. Este dispositivo exige que o

equipamento fique em standby, o que significa que ele fica consumindo energia sem estar sendo usado. Os consumidores residenciais, por não terem conhecimento do valor que representa o consumo de energia elétrica do aparelho em standby, não se importam com este fator.

Ainda vale lembrar que o desperdício de energia elétrica no Brasil é grande. Para se ter uma ideia, um estudo do potencial de economia de energia elétrica realizado pela Coppe/UFRJ, a pedido da Eletrobrás e do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), identificou que na classe residencial de consumo, por exemplo, há um potencial de redução de aproximadamente 15%. Em números absolutos, a economia poderia chegar a US\$ 2,5 bilhões (cerca de R\$ 4 bilhões) por ano se o País usasse todo o seu potencial de utilização eficiente de energia, afirma estudo do Banco Mundial (BID). Segundo o BID, se a eficiência energética não melhorar no País, isso poderá acelerar as consequências para o meio ambiente, já que o consumo de energia está associado a uma alta emissão dos chamados gases geradores do efeito estufa (GEE), principalmente considerando a atual matriz energética nacional (IBGE,2010).

A medição da energia elétrica ativa (kWh) energia que realiza trabalho, por exemplo, energia térmica e luminosa, representa do ponto de vista econômico, uma das mais importantes medições elétricas realizadas nos sistemas de distribuição de energia, pois através de uma medição precisa é possível avaliar qual o impacto gerado pelo aumento da demanda e seu desperdício. Basicamente, os medidores de energia elétrica ativa podem ser classificados quanto ao número de elementos/fios, quanto ao tipo de ligação à carga (diretos e indiretos), e quanto a sua característica construtiva, podendo ser eletromecânicos, eletrônicos ou mistos.

Nesse contexto, entende-se que analisar o comportamento do consumo de energia elétrica através dos órgãos de pesquisas, especificamente o EPE (Empresa de Pesquisa Energética) é importante para o traçado do perfil. Esse perfil permitirá auxiliar no traçado das metas de energia consumida pelos usuários residenciais, gerando perfis de consumos no sistema de medição residencial, controlado pelo usuário. O Medidor residencial inteligente proposto nesse estudo é alimentado pelas informações de perfis de consumo e metas predefinidas ou definidas pelo usuário. Os medidores atuais visam apenas à medição e não incluem o controle remoto das cargas elétricas.

Portanto, o medidor proposto nesse projeto, visa medir: tensão, corrente, potência e energia, permitindo o controle do comportamento das cargas através de desligamento automático, redução de potência e luminosidade quando necessário, conforme limites estabelecidos pelos princípios de uma utilização racional e eficiente da energia elétrica, evitando desperdícios desnecessários.

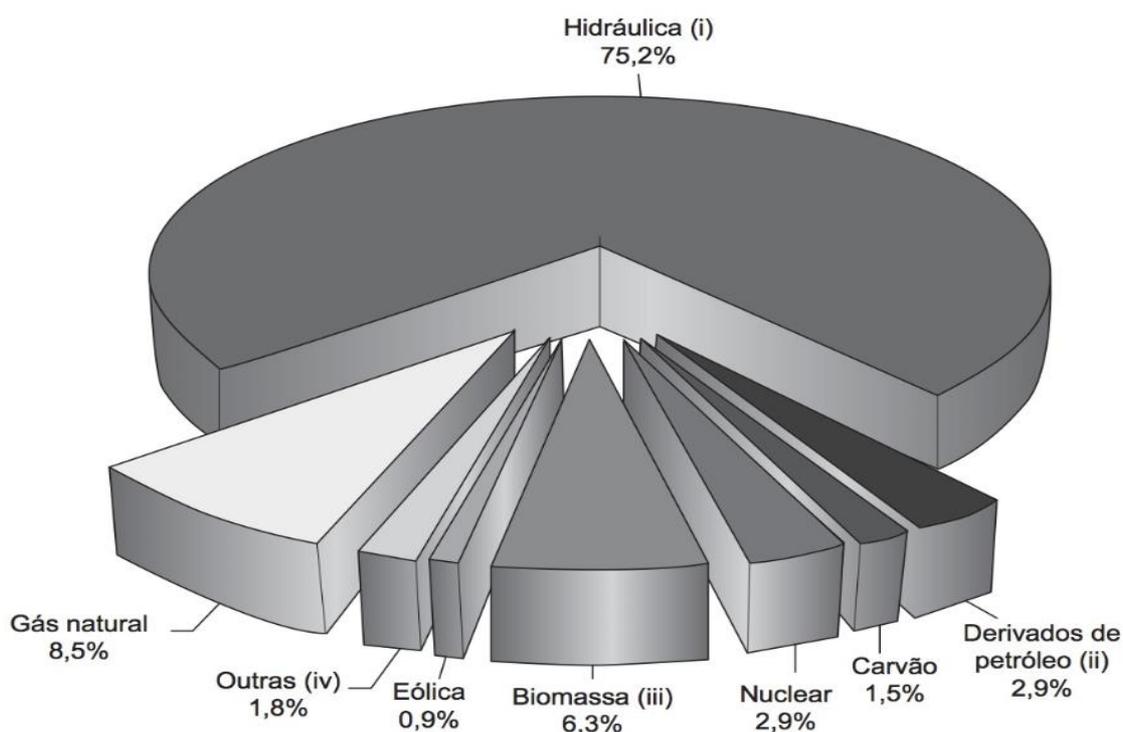
Não foi encontrado um projeto de medidor que englobe o princípio de funcionamento e o desenvolvimento com essas facilidades, no entanto, é notória a relevância do tema no meio acadêmico. Já podemos perceber a preocupação da mídia, dos consumidores e da indústria, pois novos produtos estão chegando ao mercado tendo a conservação e a otimização do consumo de energia elétrica como grande atrativo. O projeto ainda preza por uma preservação do meio ambiente através da conscientização da redução de consumo elétrico, auxiliando eletronicamente o controle do consumo.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, será abordado a fundamentação teórica do projeto de iniciação científica, apresentando temas relacionados ao presente trabalho. Tendo como objetivo mostrar as formas de obtenção e distribuição de energia elétrica.

A energia elétrica é produzida por meio da transformação de outra fonte de energia. Existem muitas fontes energéticas que podem ser utilizadas nessa produção, e o Brasil explora uma ampla diversidade em sua matriz energética, conforme é possível observar no Gráfico (GREDA, 2014).

Figura 4 - Diversidade na matriz energética do Brasil.



Fonte: Shutterstock.com

A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2018) afirma que a matriz energética brasileira é formada por.

“A energia elétrica é um insumo essencial à sociedade, indispensável ao desenvolvimento socioeconômico das nações. No Brasil, a principal fonte de geração é a hidrelétrica (água corrente dos

rios), que responde por 62% da capacidade instalada em operação no país, seguida das termelétricas (gás natural, carvão mineral, combustíveis fósseis, biomassa e nuclear), com 28%. O restante é proveniente de usinas eólicas (energia dos ventos) e importação da energia de outros países.”

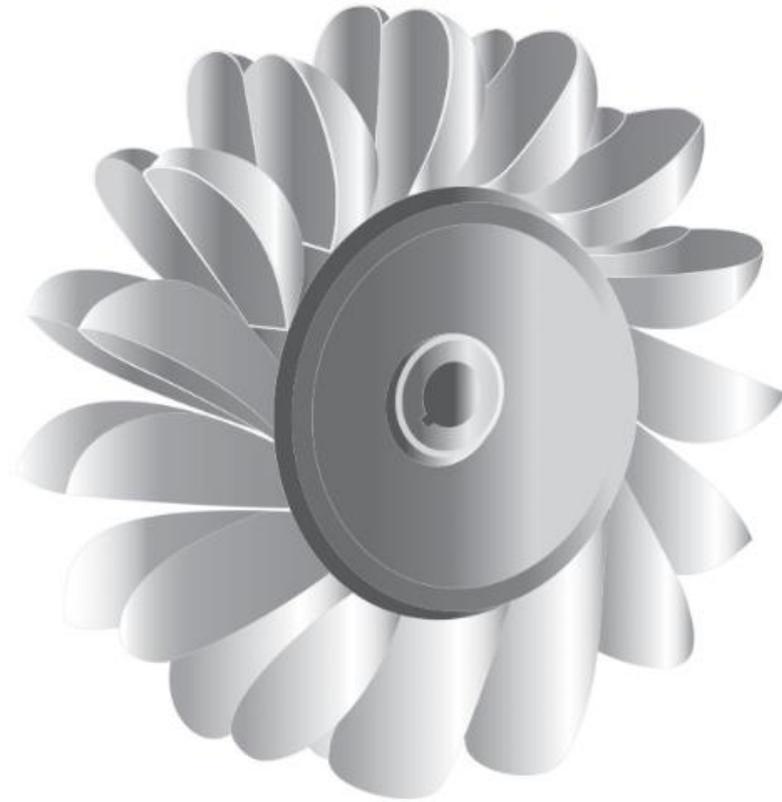
3.1 GERAÇÃO HIDROELÉTRICA

No Brasil, a geração hidroelétrica é predominante e apresenta como princípio de funcionamento o aproveitamento da energia potencial da água acumulada nos reservatórios para movimentar uma turbina. Esta, por sua vez, produz energia mecânica de rotação em um eixo no qual está ligado o gerador que origina a energia elétrica (GREDA, 2014).

Há quatro tipos principais de turbinas para serem utilizadas na geração de energia elétrica por meio do aproveitamento da água.

A turbina Pelton é mais apropriada para utilização em usinas de elevado desnível de queda d'água. Seu aspecto construtivo é constituído de conchas posicionadas ao redor de um rotor. Há uma válvula que controla a injeção de água para manter a rotação constante (GREDA, 2014).

Figura 5 - Turbina Pelton



Fonte: M.Fuksa/Shutterstock.com

A turbina Francis possui a característica de ser utilizada em grandes capacidades de geração e permite sua instalação tanto na posição vertical como horizontal. A água é conduzida até a turbina na direção radial e sua saída ocorre na direção axial (GREDA, 2014).

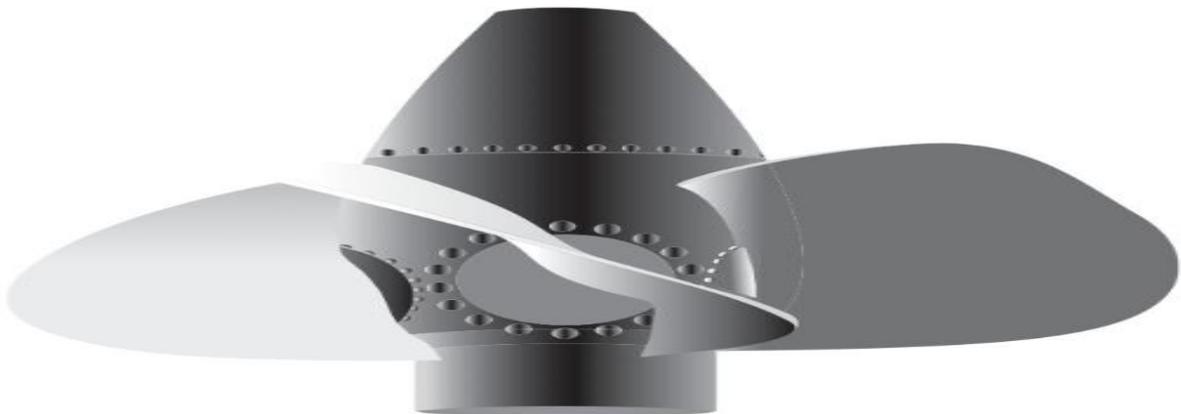
Figura 6 - Turbina Francis



Fonte: Flaviano fabrizi/Shutterstock.com

O emprego de turbinas Kaplan está limitado a usinas de menor queda-d'água. Esse tipo de turbina possui pás rotoras que são atingidas diretamente pela água, fazendo com que ocorra o movimento de rotação do eixo no qual está ligado o gerador (GREDA, 2014).

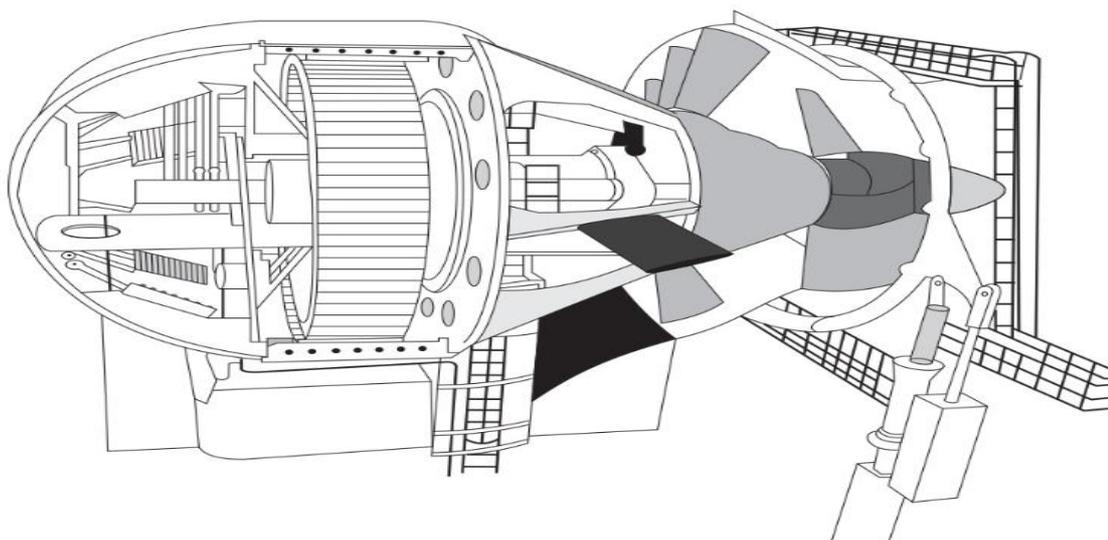
Figura 7 - Turbina Kaplan



Fonte: M.Fuksa/Shutterstock.com

A turbina bulbo é empregada em usinas de reduzida queda-d'água, podendo ser aplicada a situações em que a usina trabalha praticamente com um “fio d'água”. Sua concepção é compacta, fazendo com que seja necessário menos espaço para comportar a infraestrutura de turbina e gerador (GREDA, 2014).

Figura 8 - Turbina bulbo



Fonte: GREDA, 2014

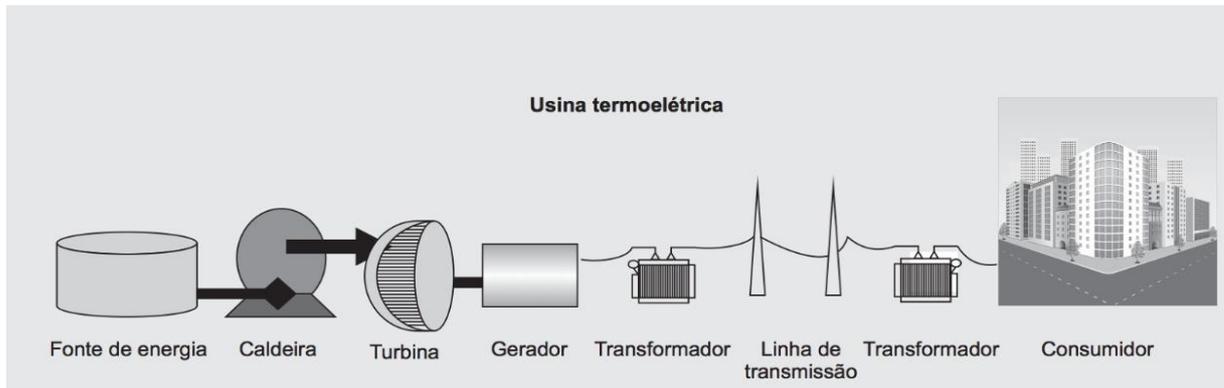
3.2 GERAÇÃO TERMOELÉTRICA

As usinas termoelétricas mais representativas na matriz energética nacional utilizam como combustível o gás natural, a biomassa, o carvão, derivados de petróleo e materiais fissionáveis, no caso das usinas termonucleares. (Greda, 2014)

Apesar de ter muitas diferenças entre esse modelo de usina, existe uma igualdade em seu princípio de funcionamento.

Essas usinas, geralmente, utilizam um combustível para gerar calor. Esse calor aquece a água que, por sua vez, produz vapor que é injetado em uma turbina que movimenta o gerador. (GREDA, 2014)

Figura 9 - Usina Termoelétrica



Fonte: M.Svetlana/Shutterstock.com

3.3 GERAÇÃO EÓLICA

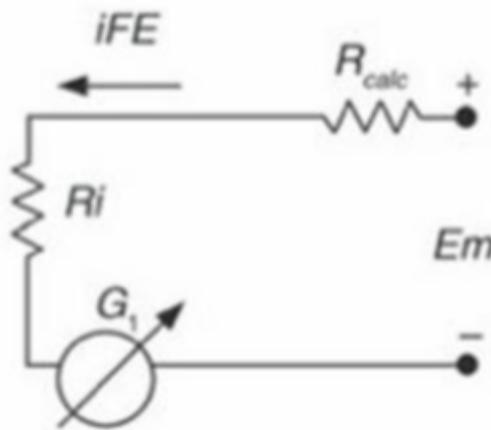
A geração de energia elétrica por meio dos ventos ainda representa um percentual muito pequeno na matriz energética brasileira. Essa fonte, porém, tem apresentado um crescimento muito elevado.

3.4 MEDIDORES DE TENSÃO

A construção do voltímetro analógico consiste em ligar uma resistência em série com o galvanômetro. “O galvanômetro é um instrumento eletromecânico que é, basicamente, um medidor de corrente elétrica de pequena intensidade. (BALBINOT,2010)

O valor dessa resistência, juntamente com as características elétricas do galvanômetro, tais como resistência interna e corrente máxima ou corrente de fundo de escala da deflexão do ponteiro, é que determinará a tensão máxima suportada pelo instrumento. (BALBINOT,2010)

Figura 10 - Diagrama de um voltímetro construído com um galvanômetro



Tendo conhecimento a respeito do Galvanômetro e, sabendo-se a tensão de fundo de escala a medir e utilizando a primeira Lei de Kirchhoff, dessa forma, é possível calcular a resistência R.

$$iFE = \frac{E_m}{R_{calc} + R_i} \Rightarrow R_{calc} = \frac{E_m}{iFE} - R_i \quad Eq.1$$

A Sensibilidade do voltímetro analógico é dada pelo inverso da corrente de fundo. Quanto mais elevado for a sua resistência mais próxima do ideal será a sua medição. É possível utilizar a sensibilidade para medir a resistência interna.

Figura 11 - fórmula para medir a sensibilidade do voltímetro analógico

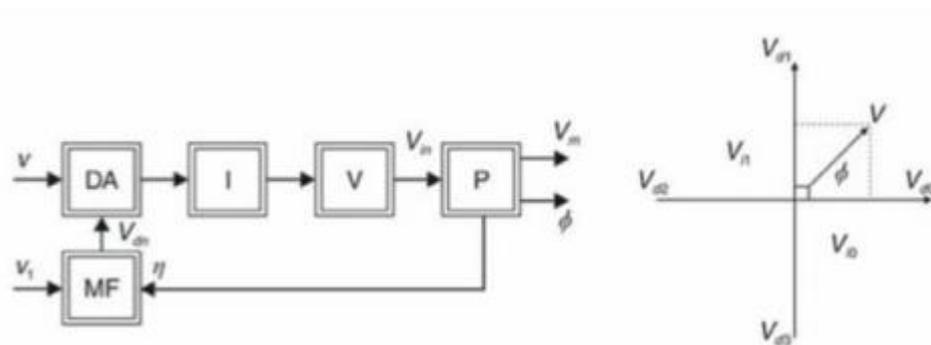
$$S = \frac{1}{iFE}$$

O princípio de funcionamento de um voltímetro, para se medir a tensão de um elemento em um circuito, o voltímetro deve estar conectado em paralelo com ele.

3.4.1 Voltímetro Vetorial

Esse tipo de voltímetro faz a medida da amplitude e da fase da tensão. Um diagrama de blocos de um voltímetro vetorial pode ser visto na Figura 4. (BALBINOT,2010)

Figura 12 - Diagrama de blocos de um voltímetro vetorial



O sistema consiste em um multiplicador ou um detector de fase síncrono (DA) da tensão medida em relação a uma tensão de referência v_{dn} , um integrador (I), um voltímetro digital (V) e um processador (P). (BALBINOT,2010)

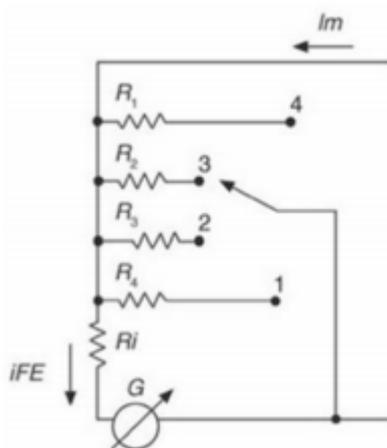
3.5 MEDIDORES DE CORRENTE

O amperímetro é um instrumento cuja função consiste em medir corrente elétrica. Esse instrumento tem como principal característica uma baixa impedância de entrada. De fato, um amperímetro ideal tem uma impedância de entrada nula. (BALBINOT,2010)

3.5.1 Amperímetro analógico

A construção do amperímetro analógico consiste em ligar uma resistência em paralelo com o galvanômetro. O valor dessa resistência, juntamente com as características elétricas do galvanômetro, tais como resistência interna e a corrente de fundo de escala da deflexão do ponteiro, é que determinará a corrente máxima suportada pelo instrumento. (BALBINOT,2010)

Figura 13 - Diagrama do amperímetro com várias escalas de correntes



3.5.2 Amperímetro digital

A construção de um amperímetro digital, a exemplo do voltímetro, depende apenas de um conversor analógico digital e de um display de visualização, que pode ser de cristal líquido (LCD) ou de leds. A principal diferença é que o sinal de corrente deve ser transformado em tensão por um circuito intermediário. Esse circuito pode ser simples como um resistor (fazendo a função denominada shunt — nesse caso, mede-se a queda de tensão sobre esse resistor), mas também pode ser implementado de

outras maneiras, como, por exemplo, um circuito com elementos passivos como um amplificador operacional. (BALBINOT,2010)

3.5.3 Amperímetro do tipo alicate

Esse tipo de instrumento caracteriza-se por proporcionar uma medida sem contato. Isso pode ser especialmente interessante em circuitos em que é necessário realizar uma medida com isolamento elétrico ou mesmo por questão de facilidade, uma vez que não é necessário interromper o circuito para executar a medição. (BALBINOT,2010)

Geralmente esse instrumento é constituído pelo secundário de um transformador de corrente (elemento sensor), encontrado no “gancho” do medidor. Esse gancho caracteriza-se por ser móvel, de modo que é possível envolver um condutor no qual se deseja executar a medida de corrente (seja o circuito trifásico ou monofásico). O condutor envolvido funciona como o enrolamento primário de um transformador de corrente que induz uma corrente no secundário (gancho), a qual é então processada (retificador), mostrada em um visor do tipo LCD (em um instrumento digital) ou enviada ao galvanômetro e mostrada em uma escala graduada (instrumento analógico). Uma prática comum nesse tipo de instrumento é utilizar mais de uma espira em volta do gancho do amperímetro. Isso é comum principalmente em instrumentos mais antigos, nos quais o início da escala não apresentava boa precisão. (BALBINOT,2010)

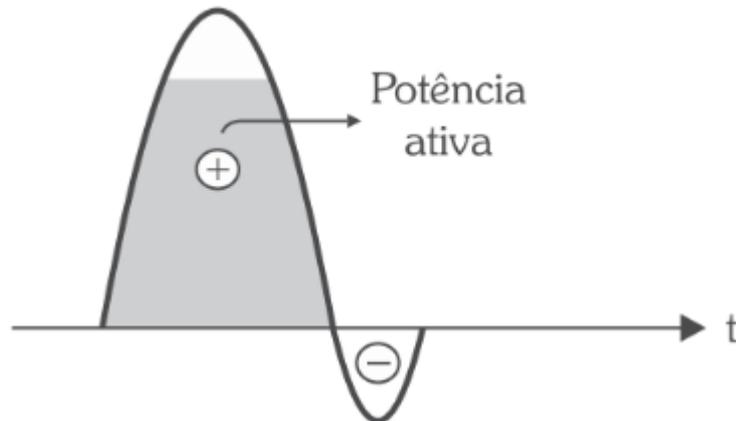
3.6 ENERGIA ELÉTRICA

3.6.1 Análise da potência ativa P

A potência ativa P, em watt [W], é aquela correspondente ao produto da corrente com a parcela da tensão que está em fase com ela. Portanto: (CRUZ, 2014)

$$P = V \cdot I \cdot \cos \phi$$

Figura 14 - Potência Ativa



A potência ativa é convertida em calor por efeito Joule. Na prática, essa energia térmica pode ser utilizada para realizar trabalho. É por isso que a potência ativa é denominada também de potência útil, potência de trabalho ou potência real. (CRUZ, 2014).

Pode-se determinar a potência ativa da seguinte forma:

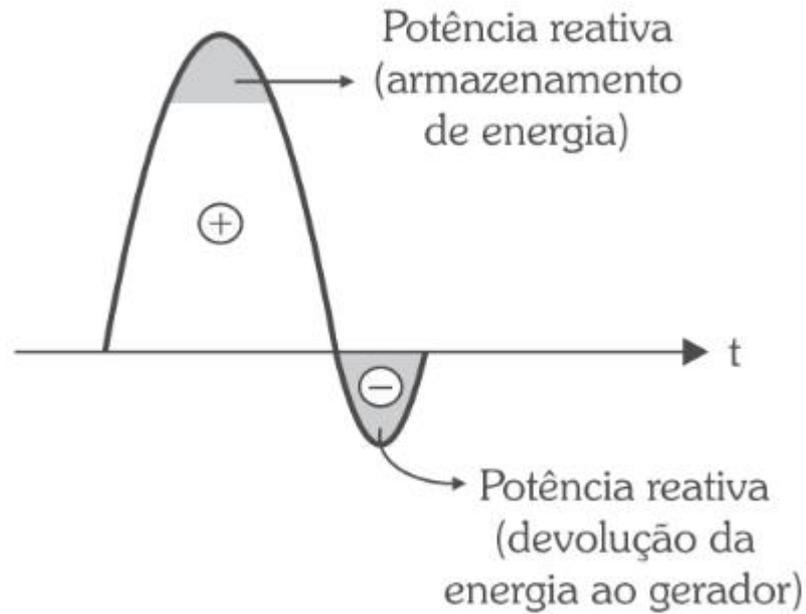
$$P = V_R \cdot I \quad \text{ou} \quad P = R \cdot I^2 \quad \text{ou} \quad P = \frac{V_R^2}{R}$$

3.6.2 Análise da potência reativa Q

A potência reativa Q, em volt.ampère reativo [VAR], surge por causa da energia armazenada no indutor e no capacitor, Figura 8.4(a). (CRUZ, 2014).

Foi visto que a parcela da região positiva do gráfico de $p(t)$ é a potência ativa P. Já, a outra parcela positiva é usada pela impedância para armazenar energia em sua reatância. Assim, a área negativa do gráfico de $p(t)$ corresponde à devolução dessa energia ao gerador, então concluímos que a potência reativa Q é totalmente perdida, pois não realiza trabalho útil. (CRUZ, 2014).

Figura 15 - Potência reativa em uma impedância



3.6.3 Potência reativa indutiva

Na reatância indutiva, a corrente armazena energia na forma de campo magnético. Só que a fase é positiva, provocando um atraso na corrente em relação à tensão e, portanto, no armazenamento de energia. Por isso, podemos considerar que a potência reativa indutiva é negativa. (CRUZ, 2014).

$$Q = -V_L \cdot I \quad \text{ou} \quad Q = -X_L \cdot I^2 \quad \text{ou} \quad Q = -\frac{V_L^2}{X_L}$$

3.6.4 Potência reativa capacitiva

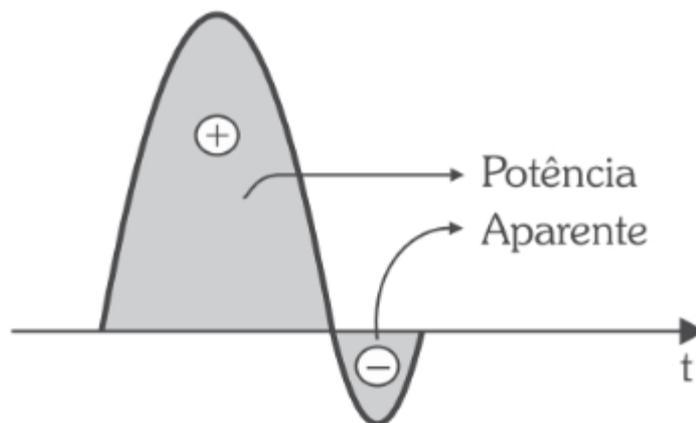
Na reatância capacitiva, a corrente armazena energia na forma de campo elétrico. Só que a fase j é negativa, de modo que a corrente encontra-se avançada em relação à tensão, provocando um avanço no armazenamento de energia. Por isso, podemos considerar que a potência reativa capacitiva é positiva. (CRUZ, 2014).

$$Q = V_C \cdot I \quad \text{ou} \quad Q = X_C \cdot I^2 \quad \text{ou} \quad Q = \frac{V_C^2}{X_C}$$

3.6.5 Análise da potência aparente S

A potência aparente S, em volt.ampère [VA], é a potência total fornecida pelo gerador à impedância. Matematicamente, ela corresponde ao produto da tensão do gerador pela corrente que ele fornece ao circuito, sem considerar a defasagem existente entre elas. (CRUZ, 2014).

Figura 16 - Potência aparente em uma impedância



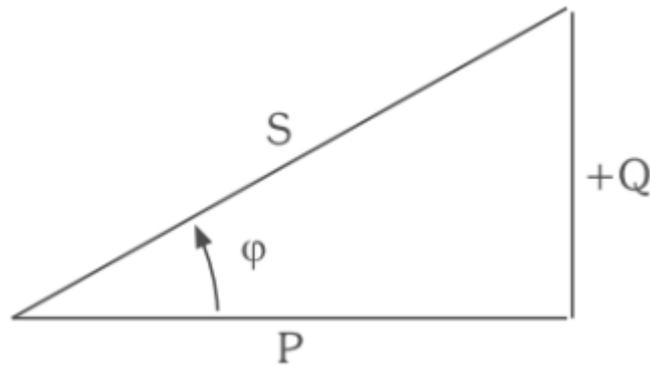
A potência aparente pode ser determinada, também, em função do valor da impedância Z.

$$S = Z \cdot I^2 \quad \text{ou} \quad S = \frac{V^2}{Z}$$

3.6.6 Triângulo das potências

Conforme foi visto, em uma impedância existe três potências, ativa, a reativa e a aparente.

Embora a potência aparente seja total, ela não corresponde à soma das potências ativa e reativa da impedância, pois as reatâncias provocam defasagem entre corrente e tensão, enquanto na resistência elas estão sempre em fase. (CRUZ, 2014).



Do triângulo, podemos então chegar a várias conclusões em relação às potências:

- A potência aparente S pode ser obtida aplicando o teorema de Pitágoras:

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

- A potência ativa P pode ser obtida aplicando o conceito do cosseno ao triângulo retângulo:

$$P = S \cdot \cos\phi \text{ ou } P = V \cdot I \cdot \cos\phi$$

- A potência reativa Q pode ser obtida aplicando o conceito do seno ao triângulo retângulo:

$$Q = S \cdot \sin\phi \text{ ou } Q = V \cdot I \cdot \sin\phi$$

3.6.7 Fator de potência

A relação entre a potência ativa (consumida) e a potência aparente (fornecida pelo gerador) é denominada fator de potência FP , que pode ser dado por: (CRUZ, 2014).

$$FP = \frac{P}{S} \text{ ou } FP = \cos \varphi$$

O fator de potência é um valor positivo entre 0 e 1 que reflete o quanto da potência aparente fornecida pelo gerador é efetivamente consumido pelo circuito ou pela impedância. (CRUZ, 2014).

3.7 WATTÍMETRO

O wattímetro é o instrumento de medida de potência. Ele pode ser utilizado tanto em circuitos de corrente contínua como de corrente alternada, sendo que nesse último caso, ele mede a potência ativa, isto é, considera o fator de potência do circuito. (CRUZ, 2014).

O wattímetro é composto por um medidor de corrente, cujas pontas de prova devem ser conectadas em série no circuito, e por um medidor de tensão cujas pontas de prova devem ser conectadas em paralelo. (CRUZ, 2014).

3.8 ARDUINO

Em poucas palavras, poderíamos definir o microcontrolador como um “pequeno” componente eletrônico, dotado de uma “inteligência” programável, utilizado no controle de processos lógicos. (SOUZA,2012).

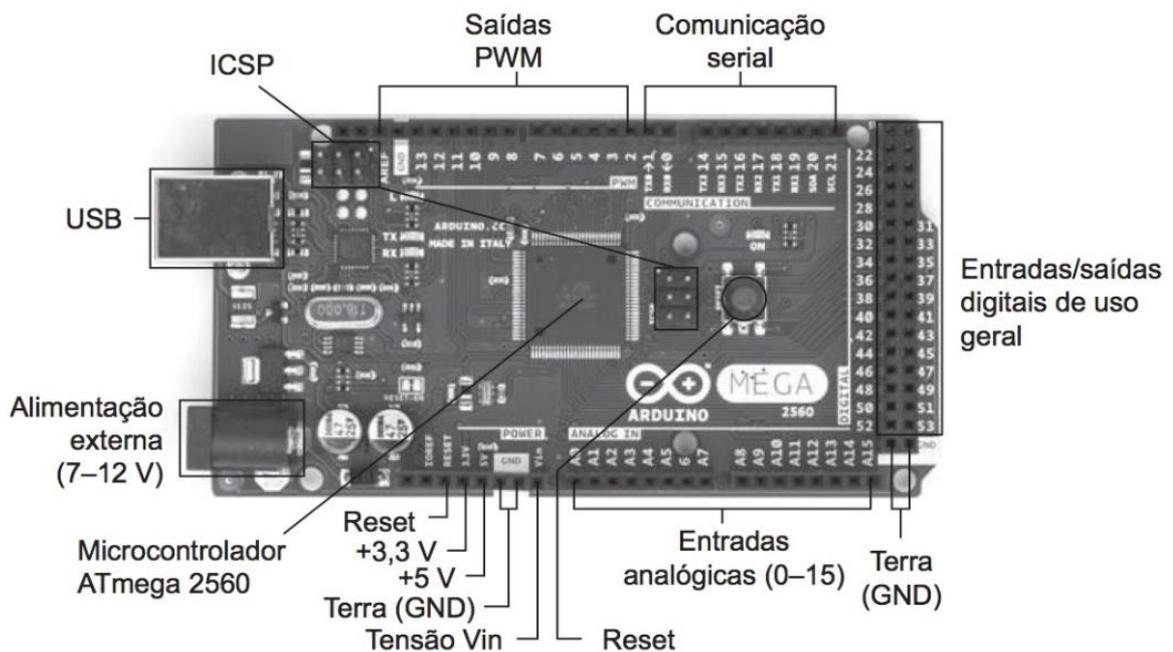
O Arduino é uma plataforma de hardware open source, projetada sobre o microcontrolador Atmel AVR, que pode ser programado através de uma linguagem de programação similar a C/C++, permitindo a elaboração de projetos com um conhecimento mínimo ou mesmo nenhum de eletrônica. Foi criado com o objetivo de fornecer uma plataforma de fácil prototipação de projetos interativos, unindo software e hardware, características da Computação Física. (Arduino,2017)

Há vários tipos de microcontroladores arduino disponíveis, porém, cada um tem suas características e funções diferentes: arduino uno, arduino mega, arduino nano, entre outros.

3.8.1 Arduino Mega 2560

A placa Arduino MEGA 2560 baseia-se no microcontrolador ATMEL ATMEGA2560, que é um microcontrolador de baixo custo de 8 bits baseado em arquitetura RISC de 100 pinos, sendo 86 pinos de propósito geral, dos quais 16 permitem ser utilizados como saídas PWM, possui 4 blocos de comunicação serial (USART), além de dispor de 16 canais analógico-digitais. Desses, estão organizados no Arduino MEGA 2560 54 pinos de entradas e saídas (I/O) digitais, 12 dos quais podem ser utilizados como saídas PWM, 16 entradas analógicas e ainda 4 portas de comunicação serial. (Rodrigo,2010)

Figura 17 - Placa Arduino MEGA 2560

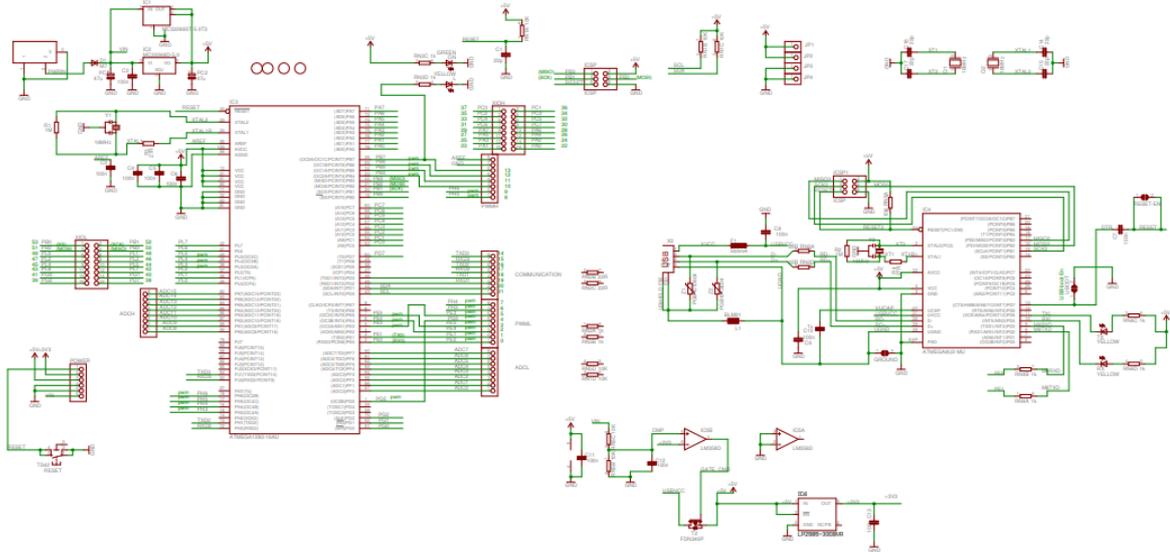


Fonte: Shutterstock.com

3.8.2 Esquema Elétrico do ARDUINO MEGA 2560

Como trata-se de plataforma open source, o esquema elétrico das placas Arduino são divulgadas em seu site, sendo permitida a sua reprodução. A seguir, segue a figura do esquema elétrico do Arduino MEGA 2560.

Figura 18 - Esquema Elétrico do ARDUINO MEGA 2560



Fonte: Shutterstock.com

Para melhor entendimento, o esquema elétrico será dividido em blocos, tendo em vista suas funcionalidades. O primeiro bloco a ser visto será responsável pela alimentação do Arduino, após o responsável pela comunicação via USB entre o Arduino e um computador, e por último, o bloco responsável pelo processamento de toda a lógica de programação implementada e gravada no Arduino.

3.8.3 Fonte de alimentação de ARDUINO MEGA 2560

A alimentação do Arduino MEGA opera a uma tensão de 5 V, sendo realizada pela conexão externa específica (de 7 a 12V) ou por meio da alimentação serial USB.

3.8.4 Tensões e Alimentação

IOREF: fornece uma tensão de referência para que shields possam seleccionar o tipo de interface apropriada. Dessa forma, shields que funcionam com a placas Arduino que são alimentadas com 3,3 V podem se adaptar para serem utilizadas em 5 V e vice-versa.

RESET: pino conectado a pino de RESET do microcontrolador. Pode ser utilizado para um reset externo da placa Arduino.

3,3 V: fornece tensão de 3,3 V para alimentação de shield e módulos externos. Corrente máxima de 50 mA.

5 V: fornece tensão de 5 V para alimentação de shields e circuitos externos.

GND: pinos de referência, ground, terra.

VIN: pino para alimentar a placa através de shield ou bateria externa. Quando a placa é alimentada através do conector Jack, a tensão da fonte estará nesse pino.

Comunicação Serial: Serial 0: 0 (RX) e 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) e 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) e 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) e 14 (TX). Os pinos 0 e 1 estão conectados aos pinos do ATMEGA16U2 responsáveis pela comunicação USB.

PWM: os pinos 2 a 13 e 44 a 46 podem ser utilizados como saídas PWM. O sinal PWM possui 8 bits de resolução

Comunicação SPI: pinos: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS). Esses pinos estão ligados ao conector ICSP.

Comunicação I2C: pinos 20 (SDA) e 21 (SCL).

4. METODOLOGIA

Uma das metodologias utilizadas no desenvolvimento do projeto é a realização de um levantamento do consumo médio energético de acordo com o número de moradores por residência através dos relatórios gerados pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Esse levantamento de consumo médio de energia pode ser classificado quanto a natureza de investigação como uma pesquisa descritiva assumindo a forma de estudo exploratória. Nesse contexto, os fatos são observados, classificados e interpretados, sem que o pesquisador interfira neles. Para o levantamento serão utilizados questionários técnicos onde os usuários residenciais vão informar seu consumo, quantidade de pessoas e renda mensal. Os resultados obtidos com valor médio de consumo serão comparados com a meta estabelecida pelo usuário e gerado um perfil individual. Não há nenhum risco para os usuários envolvidos na pesquisa.

O desenvolvimento das etapas do projeto deverá seguir uma ordem lógica, conforme abaixo:

- Levantamento estatístico do consumo de energia elétrica residencial;
- Desenvolvimento do circuito eletrônico;
- Desenvolvimento do software.

Inicialmente serão pesquisadas as formas de medição de tensão e corrente elétrica, o princípio de funcionamento dos possíveis sensores que serão usados nas medições e os circuitos necessários para o tratamento dos sinais, através de uma revisão bibliográfica nas áreas de elétrica e eletrônica. Após o processo de revisão bibliográfica e pesquisas de campo, inicia-se o desenvolvimento do circuito eletrônico e software que, para facilitar e agilizar o processo será dividido em fases, conforme abaixo:

1. Módulo analógico A1: módulo responsável pelas medidas de tensão, corrente, potências e fator de potência;
2. Módulo Digital D1: módulo responsável pela conversão e processamento das medidas de tensão, corrente, fator de potência e energia. Esse módulo contém o software que converte as medidas e processa, encaminhando-as para o software de monitoramento.
3. Módulo de Acionamento de Cargas AC1: módulo responsável por controlar as cargas em função dos limites preestabelecidos.

As ferramentas listadas abaixo auxiliam na metodologia para elaboração dos módulos citados acima que, são elas:

- Osciloscópio Digital;
- Fonte de Alimentação;
- Gerador de funções;
- Ferro de solda;
- Medidor de indutância;
- Multímetro digital;
- Simulador de circuito eletrônico Proteus.

Os testes de medição deverão ser comparados por meio de instrumentos comerciais aferidos, conforme mencionados anteriormente. Após o término do protótipo, testes de funcionamento serão realizados de acordo com a sequência indicada abaixo:

1. Medir o consumo diário e compará-las com os medidores convencionais;
2. Coletar dados das medidas e gerar relatórios e compará-los com valores aferidos pelas concessionárias de energia elétrica.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

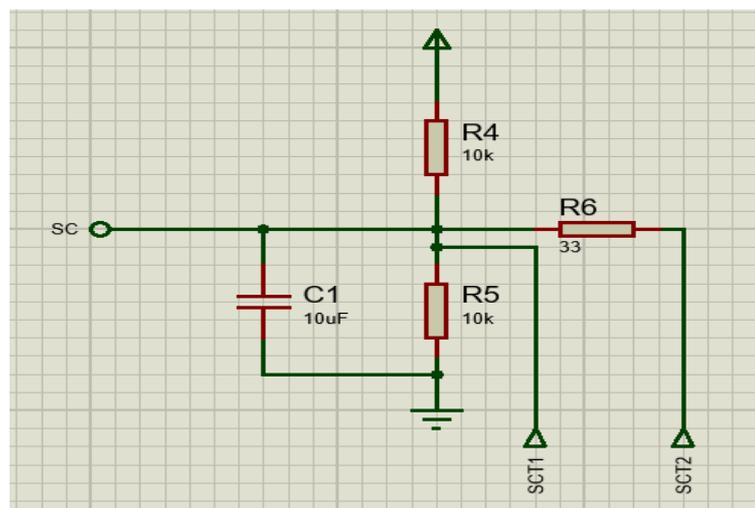
O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um protótipo de medição de energia para o monitoramento do consumo de energia em residências.

5.1 OBTENÇÃO DO SINAL DE CORRENTE

Para a obtenção dos sinais referentes a corrente, foi-se utilizado o modelo não invasivo, o SCT-013-000 - 100 A de leitura máxima.

A captação dos sinais elétricos, neste caso, a corrente, será por meio do sensor de corrente não invasivo 100A SCT- 013. Para realizar a medição de corrente, o sensor irá abraçar o cabo que se deseja medir, pois ele vai induzir uma corrente elétrica nas bobinas do pequeno transformador que há dentro do sensor. Dessa forma, será medido a corrente induzida, por meio do esquemático mostrado na figura 18, e, assim, vai ser possível calcular a corrente proporcional que passa pelo condutor, como também, possibilitar a medição da potência consumida no circuito multiplicando a corrente pela tensão.

Figura 19 - Sensor de corrente não invasivo



Onde: SC é a saída do sinal. SCT1 e SCT2 são as saídas do sensor sct-013.

A figura 19, é o sensor de corrente, tem a funcionalidade semelhante à de um alicate amperímetro, que utiliza a bobina do sensor de corrente não invasivo 100A

SCT- 013-000 que envolve o condutor a ser analisado. A corrente que passa por esse fio induz uma tensão na bobina, que percorre para o resistor de 33ohms. Por meio desse circuito simples, é utilizado dois resistores de 10k ohms, que são os resistores de pullup/down, e um capacitor eletrolítico de 10 uF que tem a funcionalidade de fazer a filtragem no sistema, e, caso ele seja removido, o circuito apresentará mais ruídos, consequentemente afetando a leitura.

Figura 20 - Sensor de corrente



5.2 DISPLAY DE LCD

Neste tópico, será apresentado exemplo de como controlar o display de LCD com o Arduino, fazer correr uma mensagem na tela de LCD. O display de LCD irá mostrar os dados de corrente, tensão e potência instantânea.

Para realizar este projeto é necessário fazer o download da biblioteca Liquid-Crystal. Será necessário o Display de LCD e um potenciômetro que terá como finalidade controlar a luminosidade da tela.

Todos os pinos serão conectados conforme a figura 20, essa configuração é baseada no datasheet do dispositivo eletrônico.

Figura 21 - Fritzing

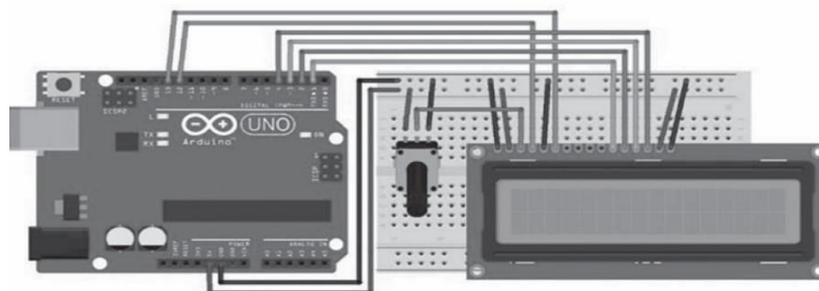


Tabela 1 - Tabela que mostra as ligações entre o display de LCD no Arduino

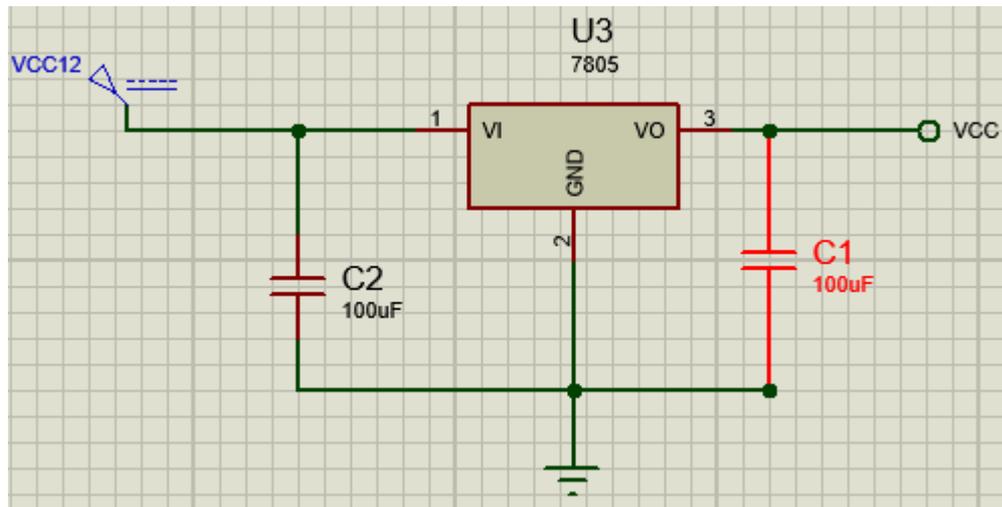
Pino LCD	Pino Arduino	Pino LCD	Pino Arduino
GND	GND	DB2	Não conectado
V _{CC}	5 V	DB3	Não conectado
VEE	Pino central do potenciômetro	DB4	D1
RS	D12	DB5	D2
R/W	GND	DB6	D3
EN	D13	DB7	D4
DB0	Não conectado	Led +	5V
DB1	Não conectado	Led -	GND

5.3 TRANSISTOR LM7805

Este é um regulador de tensão do circuito integrado e tem sua tensão fixa, foi projetado para uma ampla gama de aplicações de projetos que necessitam de mais precisão nas suas alimentações. As aplicações incluem regulamentação na saída, assim eliminando problemas de ruído e distribuição em um único ponto, podendo fornecer no máximo até 1,5 A de corrente em sua saída.

“[...] os recursos de limitação de corrente e desligamento térmico desses reguladores essencialmente os tornam imunes à sobrecarga. Além de usar como reguladores de tensão fixa, esses dispositivos podem ser usados com componentes externos para obter uma maior qualidade ao projeto [...]” (Texas Instruments, 2003)

Figura 22 - Regulador de tensão do circuito integrado



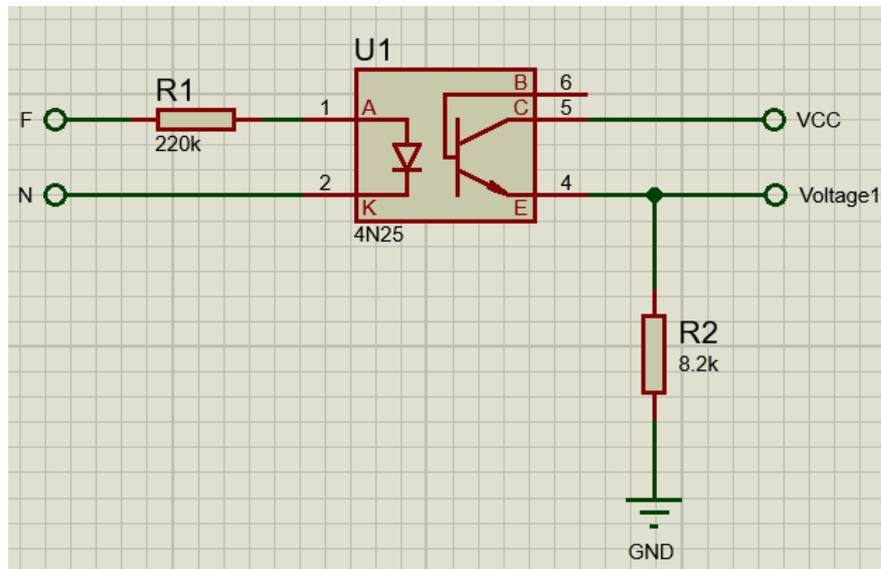
O princípio de funcionamento do regulador de tensão, será feito da seguinte forma, ele irá receber uma tensão de 12Vcc no INPUT, que passará por dois capacitores de 100uF, eles têm a função de filtragem de ruídos, sendo assim, deixará uma alimentação mais segura, e no Vcc ou output irá sair uma tensão de 5V.

5.4 TRANSISTOR 4N25

Os optoacopladores de uso geral consiste de um diodo emissor infravermelho de arsenieto de gálio, dirigido a um fototransistor de silício. O fototransistor 4n25 é um dispositivo eletrônico, sua principal característica é a detecção e emissão de radiação de ondas eletromagnéticas. Eles costumam ser empregados para proteger circuitos, que utilizam microcontroladores.

Sua grande vantagem é o seu isolamento elétrico, que pode ser estabelecido entre os circuitos de entrada e saída.

Figura 23 - Optoacoplador 4n25

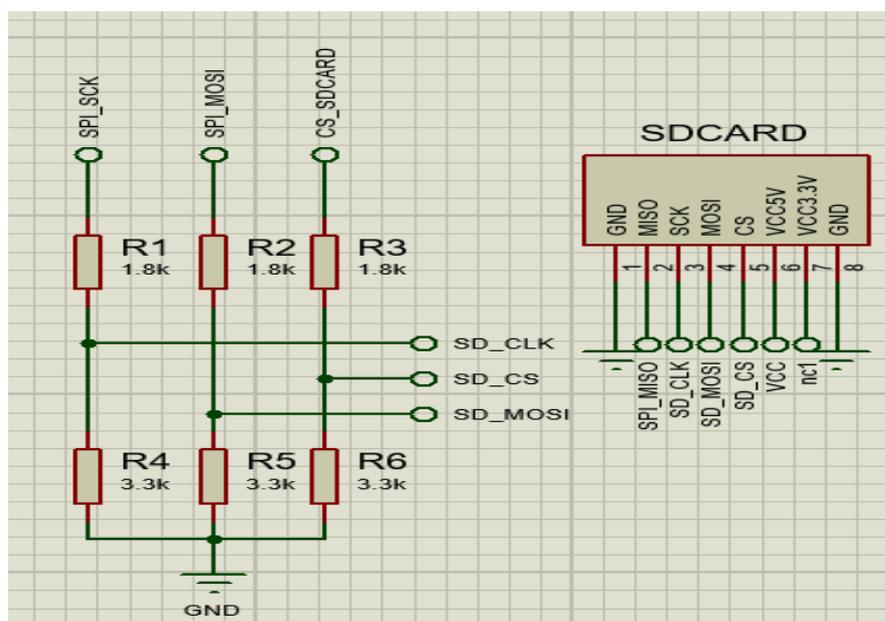


5.5 CARTÃO DE MEMÓRIA

O cartão Micro SD é um cartão de memória baseado em flash e projetado para atender à segurança, e fazer a coleta dos dados que serão monitorados, entre outras funcionalidades.

A comunicação será implementada por meio do cartão micro SD, é baseada em uma interface de 8 pinos, conforme a figura F.

Figura 24 - Diagrama Micro SD



“O módulo de usuário SDCard permite que você acesse arquivos compatíveis com o computador em seis diferentes formatos de cartão flash sem a necessidade de conhecer as "porcas e parafusos" do acesso a arquivos ou da interface do cartão flash”.

(<https://resi.store/datasheets/sdcard.pdf>)

O Cartão de Memória Micro SD irá salvar e gravar os dados coletados pelo protótipo. Posteriormente, após os dados serem coletados pelo cartão de memória, ele ficará disponível em uma versão no software Excel e mostrará a tensão, potência, e o consumo de energia que o equipamento consumiu durante o determinado período.

5.6 TRANSISTOR BC337

Os transistores BC337 do tipo NPN, para corrente de até um Amper, trata-se de um pequeno componente eletrônico utilizado frequentemente como amplificador e interruptor de sinais elétricos. No mais, o transistor BC337 aumenta um sinal elétrico fraco em um mais forte, com o intuito de viabilizar uma comunicação elétrica precisa entre os circuitos.

O transistor BC337 funciona de uma forma simples, a corrente elétrica que circula entre coletor e emissor vai se ajustando conforme os parâmetros, que são determinados pelo projetista. Para que ocorra uma variação de corrente, ela será feita por meio da modificação em um dos terminais, no qual é chamado de base, acarretando o processo de amplificação de sinal.

Figura 25 - Transistores BC337 do tipo NPN

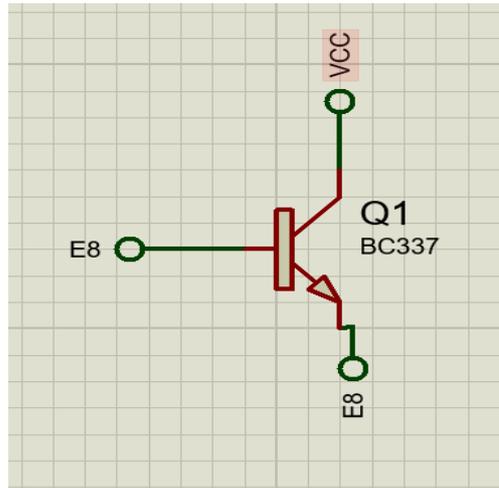
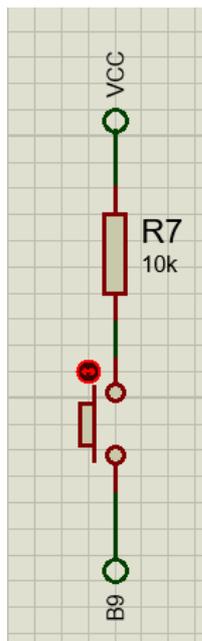


Figura 26 - Botão Push Botton

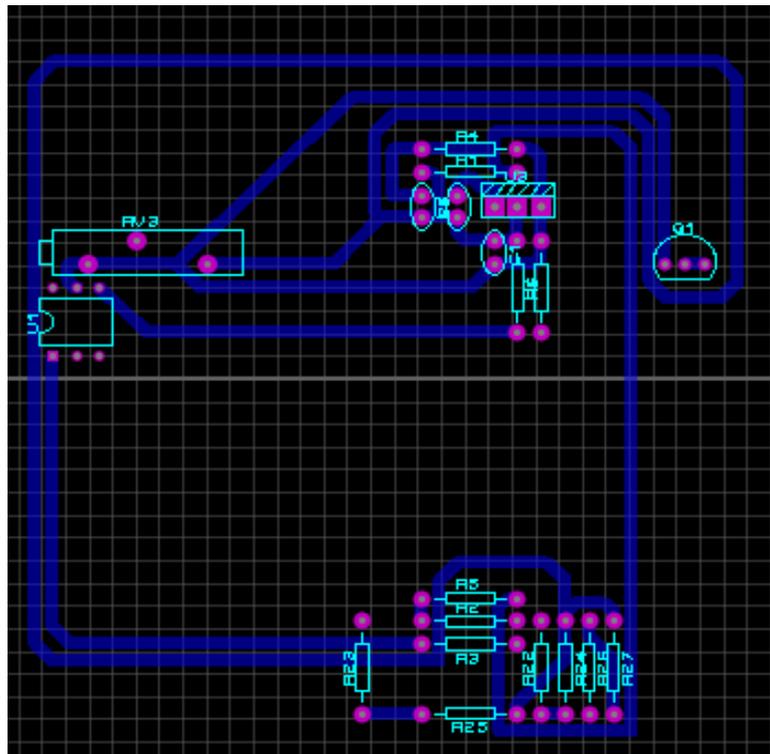


A figura 25 – Botão Push Botton, tem o princípio de eficiência energética, pois com o auxílio dele é capaz de ligar e desligar o display de LCD 16X2. De tal forma, trazendo mais um recurso de economia para o sistema de monitoramento.

5.7 SIMULAÇÃO DO CIRCUITO IMPRESSO NO PROTEUS.

A Figura 26 contém o layout desenvolvido para a placa de circuito impresso, sendo que as trilhas azuis são as que serão impressas na parte superior da PCB. Para realização do circuito impresso não foi possível colocar na pcb o arduino mega, posteriormente ele ficara ao lado do circuito.

Figura 27 - Simulação de Circuito



5.8 Demonstração dos resultados

Esta seção tem como objetivo apresentar os resultados obtidos a partir de testes para a validação do sistema de monitoramento.

Ressalta-se que este projeto tem mais de uma versão, sendo que a primeira foi feita em uma protoboard, depois de alguns testes, foi verificado que ele estava em conformidade e não sofreria perdas, caso fosse transferido para a placa de circuito impresso. A demonstração dos dados é umas das partes essenciais do projeto, visto

que é por meio deles que o usuário ficará tendo informações do consumo de cada equipamento.

Para fazer a análise e comparação dos resultados obtidos pelo protótipo e verificar se eles estão em conformidade, foi-se utilizado um alicate amperímetro.

Figura 28 - alicate amperímetro



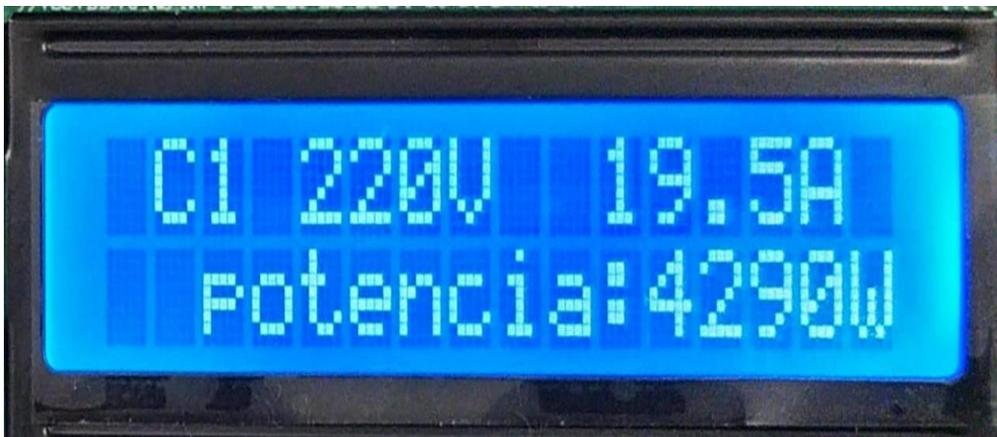
Inicialmente foi instalado apenas o alicate amperímetro no quadro de distribuição, com o intuito de medir a corrente elétrica do chuveiro que tem sua potência nominal de 4.500 watts.

Figura 27 – Medição de corrente



A figura 27, mostra a corrente que passa pelo condutor do chuveiro elétrico, o alicate amperímetro estava devidamente calibrado.

Figura 29 – Medições com o protótipo.



A figura 29, mostra as medições no display de LCD. O Sensor SCT 100 A, abraçou o mesmo condutor da figura 27, e conseguiu coletar os dados necessários para realizar as devidas medições, conforme mostra a figura 28, pode-se afirmar que os dados do protótipo estão precisos e seguros para serem utilizados.

Com o auxílio do protótipo, foi possível fazer a medição da tensão, corrente e da potência que passa pelo condutor, conforme mostra a figura 27.

Figura 28 – Dados coletados

	A	B	C
1	19	220	4180
2	19,4	220	4268
3	19,5	220	4290
4	19,3	220	4246
5	19,4	220	4268
6	19,2	220	4224
7	19,5	220	4290
8	19,5	220	4290
9	19,5	220	4290

Segue uma breve leitura dos dados coletados pelo microchip. Sendo que o primeiro é a corrente (localizado na coluna A), tensão (localizado na coluna B) e da potência (localizado na coluna C). A Figura 37, mostra os resultados coletados pelo sensor de corrente encarregado da leitura do chuveiro. Pode-se observar o principal objetivo do projeto foi atingido, que é a medição das grandezas elétricas.

5.9 Custo para elaboração do projeto.

O Quadro apresenta os valores para elaboração do projeto. Já estão inclusos nos preços unitários de cada componente, frete e os impostos.

Itens	Dispositivos	Preço
1	Display LCD 16X2	R\$ 13,90
2	Arduino Mega	R\$ 78,90
3	LM7805	R\$ 1,50
4	BC337	R\$ 0,25
5	Jumpers	R\$ 12,90
6	Módulo Cartão Micro-SD	R\$ 5,90
7	Cartão Micro Sd Sandisk Ultra 32gb	R\$ 37,90
8	4n25	R\$ 1,99
9	Push botton	R\$ 0,59
10	Resistores	R\$ 5,99
11	Sensor sct 100 A	R\$ 44,99
Total		R\$204,81

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho atingiu os resultados esperados, desenvolver um protótipo que seja capaz de monitorar o consumo de energia elétrica de uma residência. Sendo possível, por meio dos dados coletados, fazer a análise de equipamentos que têm um grande ou baixo consumo de energia.

O Projeto expõe um olhar voltado ao meio ambiente, proporcionando, que um morador comum tenha um controle mais precisos de seus gastos com energia. No contexto atual, o sistema de monitoramento do consumo energético colabora para usuários comuns terem uma melhor noção do consumo de seus equipamentos e combate ao desperdício de energia elétrica. Os resultados obtidos foram comparados com medidores portáteis de corrente, tensão, resistência e apresentaram resultados satisfatórios.

O custo para elaboração do dispositivo foi de R\$ 204.

A aplicação deste projeto pode viabilizar e conscientizar novos padrões de consumo energético, com isso, proporcionando uma redução no valor a ser pago na fatura do final do mês. Dispondo das informações de consumo de cada equipamento, o cliente consegue analisar se há benefício na utilização do dispositivo eletrônico.

REFERÊNCIAS

GEDRA, Ricardo Luis, BARROS, Benjamim de, BORELLI, Reinaldo. Geração, Transmissão, Distribuição e Consumo de Energia Elétrica.

OLIVEIRA, Cláudio Vieira, ZANETTI, Humberto Piovesana. Arduino Descomplicado - Como Elaborar Projetos de Eletrônica.

CRUZ, Eduardo Alves. Circuitos Elétricos - Análise em Corrente Contínua e Alternada.

GEDRA, Ricardo Luis, BARROS, Benjamim de, BORELLI, Reinaldo. Geração, Transmissão, Distribuição e Consumo de Energia Elétrica.

FILHO, MAMEDE, João, MAMEDE, Daniel Ribeiro. Proteção de Sistemas Elétricos de Potência.

http://www.aneel.gov.br/home?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=%2F&_101_assetEntryId=14476909&_101_type=content&_101_groupId=654800&_101_urlTitle=faq&inheritRedirect=true;

GEDRA, Ricardo Luis, BARROS, Benjamim de, BORELLI, Reinaldo. Geração, Transmissão, Distribuição e Consumo de Energia Elétrica.

SOUZA, David de, SOUSA, Daniel de. Desbravando o Microcontrolador PIC18 - Ensino Didático.

JR., STEVAN, Sergio Luiz, SILVA, Rodrigo Adamshuk. Automação e Instrumentação Industrial com Arduino - Teoria e Projetos.

ARDUINO. O que é arduino? 2017. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction#>>. Acesso em: 25 de junho de 2019

BRITISH GAS. What are smart meters? 2018, Windsor. Disponível em: . Acesso em: 25 de junho de 2019

MIZRAHI, Victorine Viviane. Treinamento em Linguagem C: módulo 1 e 2, São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007. Anhanguera Educacional, Programa do Livro Texto