



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS

CAMPUS ARAGUATINS
LICENCIATURA EM COMPUTAÇÃO

LUAN PEDRO RAMOS COIMBRA

SMACE: Sistema de monitoramento de corrente elétrica através de sensores não
invasivos.

ARAGUATINS
2019

LUAN PEDRO RAMOS COIMBRA

SMACE: sistema de monitoramento de corrente elétrica através de sensores não invasivos.

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso de
Licenciatura em Computação do Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
do Tocantins – *Campus* Araguatins, como
exigência à obtenção do grau de
Licenciatura em Computação.

Orientador: Prof. Me. Ramasio Ferreira de
Melo

ARAGUATINS

2019

Coimbra, Luan Pedro Ramos.

SMACE: sistema de monitoramento de corrente elétrica através de sensores não invasivos. – Araguatins, 2019. 31 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura em Computação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – *Campus Araguatins*, 2019.

Orientador: Prof. Me. Ramasio Ferreira de Melo

1. Arduino. 2. Monitoramento de Energia. 3. Sensor não Invasivo.

LUAN PEDRO RAMOS COIMBRA

SMACE: Sistema de monitoramento de corrente elétrica através de sensores não invasivos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Licenciatura em Computação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – *Campus Araguatins*, como exigência à obtenção do grau em Licenciatura em Computação.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA AVALIADORA

Prof. Me. Ramasio Ferreira de Melo (Orientador)
IFTO – Campus Araguatins

Prof. Me. Ennio Willian Lima Silva
IFTO – Campus Araguatins

Prof. Me. Rogério Pereira de Sousa
IFTO – Campus Araguatins

Dedico este trabalho a minha família, por todo esforço e
empenho a mim dedicado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço meus pais, por tudo que fizeram por mim e por sempre acreditarem no meu potencial.

A todos os professores que encontramos no decorrer do curso por nos passarem um pouco de seu conhecimento. Em especial os professores Ennio e Rogério que além de excelentes profissionais se tornaram grandes amigos no decorrer desta jornada.

As Computer Girls, sem o apoio delas no momento em que mais encontrei dificuldade eu não teria conseguido chegar onde cheguei hoje. Não tenho palavras para descrever e demonstrar meu orgulho, admiração e gratidão a vocês, espero que saibam que todas têm um lugar especial no meu coração.

“Toda força será fraca, se não estiver unida. ”

Jean de La Fontaine

RESUMO

Com o passar dos anos o consumo de energia elétrica desenfreado vem causando sérios danos ao meio ambiente. Grande parte deste gasto ocorre devido à falta de consciência do consumidor acerca do desperdício de energia nas residências, comércios e indústrias. Nesta perspectiva, muitas empresas passaram a produzir meios de medir o consumo de forma mais precisa e dinâmica, entretanto muitos destes produtos possuem um preço elevado. Partindo deste ponto buscou-se desenvolver um protótipo para o monitoramento do consumo dos aparelhos elétricos de baixo custo baseado em arduino. Logo, o protótipo desenvolvido é denominado de SMACE e apresenta fundamentos a respeito do monitoramento de corrente elétrica não invasivo. A partir dos dados obtidos nos testes realizados é possível afirmar que o SMACE possui uma alta precisão, calculada em 94%, possuindo ainda um diferencial, que consiste na capacidade de informar em tempo real quantos *Watts* e quantos reais um aparelho consome por hora. Conclusivamente, considera-se que o SMACE tem potencial para realizar o monitoramento do consumo de energia elétrica das residências e auxiliar os consumidores no controle de seus gastos e na tomada de decisões sobre o uso de aparelhos e a troca ou compra de eletrodoméstico.

Palavras-chave: Arduino. Monitoramento de Energia. Sensor não invasivo.

ABSTRACT

Over the years the consumption of unrestrained electric energy has caused serious damage to the environment. Much of this spending occurs due to the lack of consumer awareness about the waste of energy in homes, businesses and industries. In this perspective, many companies started producing means to measure consumption in a more precise and dynamic way, however many of these products have a high price. Starting from this point we tried to develop a prototype to monitor the consumption of low-cost electrical appliances based on arduino. Therefore, the prototype developed is called SMACE and presents fundamentals regarding non-invasive electric current monitoring. From the data obtained in the tests performed it is possible to affirm that the SMACE has a high precision, calculated at 94%, and also has a differential, which consists of the ability to inform in real time how many Watts and how many reals a device consumes per hour. Conclusively, it is considered that SMACE has the potential to carry out the monitoring of household electric energy consumption and help consumers to control their spending and to make decisions about the use of appliances and the exchange or purchase of household appliances.

Keywords: Arduino, Power Monitoring. Non-Invasive Sensor

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Problematização.....	12
1.2	Justificativa.....	12
1.3	Objetivos.....	13
1.3.1	Objetivo Geral.....	13
1.3.2	Objetivos Específicos.....	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1	Sistemas de monitoramento de energia.....	16
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	19
3.1	Metodologia Científica.....	19
3.2	Materiais e Métodos.....	19
3.3	Modelo Conceitual.....	21
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4.1	Código.....	25
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	28
	REFERÊNCIAS.....	29

1. INTRODUÇÃO

A energia é um dos principais recursos para a sobrevivência humana em uma sociedade moderna, e sua demanda cresce a cada dia em circunstância do aumento populacional e desenvolvimento das indústrias.

Logo, o aumento do consumo elétrico doméstico e industrial tem demandado maior produção elétrica, o que consequentemente traz consigo uma série de problemas climáticos e ambientais, especialmente no Brasil onde a principal fonte de energia provém das hidrelétricas, que provocam grandes impactos ambientais ao serem construídas.

Segundo Paquete (2018) o local que recebe a hidrelétrica se torna um grande lago, e com isto todo o ecossistema do local se altera, fazendo com que a vida selvagem local tenha que deixar seus lares. Este último ponto de impacto interfere até mesmo na vida dos moradores locais, os quais são obrigados a abandonar suas casas e terem que recomeçar do zero em outro local.

Assim, com o objetivo de reduzir o consumo elétrico algumas medidas foram adotadas, como o Programa de Eficiência Energética (PEE) que visa:

promover o uso eficiente da energia elétrica em todos os setores da economia por meio de projetos que demonstrem a importância e a viabilidade econômica de melhoria da eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais de energia (BRASIL, 2018. p. 1).

Nesta perspectiva, as empresas buscam desenvolver novos dispositivos para o monitoramento do consumo elétrico doméstico (Tariq, 2014). Assim, desenvolveu-se o SMACE, que consiste em um protótipo de sistema de monitoramento de corrente elétrica através de sensores não invasivos, pois basta conectá-lo aos fios elétricos que automaticamente interceptam a rede e monitoram a corrente, sem obrigatoriamente lidar com os circuitos elétricos na residência.

O protótipo foi desenvolvido por meio de controladores de Arduino, por se tratar de uma plataforma de prototipagem eletrônica de baixo custo e que ao ser comparada com outros controladores realiza todas as funções necessárias de forma eficiente e econômica.

Dessa forma, um dos principais objetivos do sistema, é tornar o consumidor ciente do consumo diário ou semanal de energia, para que o mesmo possa ter maior controle sobre os seus gastos. No decorrer do trabalho serão apresentados os resultados obtidos no desenvolvimento do protótipo.

Na seção 2 será abordado acerca dos trabalhos relacionados, logo após na seção 3 serão mostrados e descritos todos os equipamentos utilizados para o desenvolvimento do protótipo, seguidos do modelo conceitual de comunicação do Arduino com os sensores. Por fim nas seções 4 e 5, os resultados obtidos bem como as considerações finais, respectivamente.

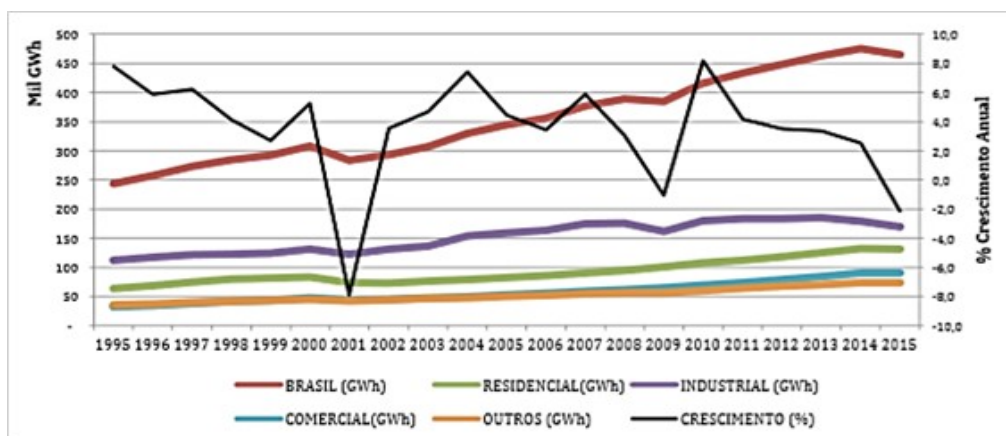
1.1 Problematização

Um sistema baseado na plataforma Arduino atuando como medidor de energia visando prover informações aos usuários sobre o consumo elétrico de forma mais dinâmica, não limitados a conta de energia, poderá auxiliar clientes no monitoramento do consumo elétrico, bem como possibilitaria ao consumidor realizar uma gestão eficiente do uso doméstico de energia?

1.2 Justificativa

A sociedade atual caracteriza-se pelo exacerbado consumo, quer seja de bens materiais e não materiais, de fontes renováveis ou não, dentre eles a energia elétrica, de fundamental importância para a humanidade, uma vez que baseia a execução de boa parte das atividades cotidianas, como a geração de iluminação, e a alimentação de máquinas e equipamentos eletrônicos e domésticos. A figura 1 ilustra dados acerca do consumo nacional de energia elétrica.

Figura 1- Consumo de nacional de energia elétrica por classes 1995-2005



Fonte: AMARAL (2017) com dados da EPE/MME^[1]

Sob essa ótica, segundo Araújo (2018) faz-se necessário,

o consumo racional da energia elétrica, realizada por meio de economia por parte dos consumidores finais ou por programas de eficiência energética, é uma das melhores formas de combater a ação desses efeitos no nosso planeta. (p. 11).

Nesse sentido, através da utilização de novas tecnologias, voltadas ao controle de consumo da energia, empresas, projetos e políticas têm proposto diversas mudanças nos parâmetros de geração e fiscalização de energia elétrica, tais como a substituição das fontes de geração não renováveis para renováveis e a construção de usinas de geração sustentáveis. (Grupo de Eficiência Energética (GEE), 2010).

Sistemas de baixo custo, caracterizam-se por utilizarem medidores, dispositivos ou equipamentos eletrônicos e eletromecânicos, que são considerados não invasivos na rede, ou seja, consegue-se medir o consumo de um aparelho apenas por seu cabo de energia. Com este pensamento surgem dispositivos domésticos como o SMACE, um protótipo de monitoramento, utilizando o sensor não invasivo SCT-013-100 com Arduino.

Assim, este trabalho justifica-se pelo monitoramento do consumo elétrico doméstico, através de sensores de monitoramento de corrente elétrica não

¹ EPE – Empresa de pesquisa energética. MME – Boletim Mensal de Monitoramento elétrico Brasileiro (AMARAL, 2017).

invasivos. Desta forma não será necessário lidar diretamente com os circuitos elétricos na residência, tornando-se assim, um meio viável para pessoas que não possuem conhecimento sobre eletricidade.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

- Analisar a aplicabilidade do SMACE para o monitoramento do consumo elétrico doméstico.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver um protótipo de sensoriamento com tecnologia Arduino para medir o consumo elétrico;
- Converter o valor de kW/h para valor monetário e mostrar o valor consumido por hora;
- Realizar a comparação entre os valores obtidos pelo SMACE, os informados pelo fabricante e por outros instrumentos de medição.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Fornasier (2018) a geração de energia é um fator importante para o desenvolvimento da sociedade e as empresas elétricas nacionais tem priorizado a construção de mais fontes de energia para suprir essa necessidade que cresce diariamente devido também ao desperdício e a falta de conscientização dos consumidores.

Mediante a importância da energia nos dias atuais observa-se a crescente demanda do consumo elétrico. Segundo os relatórios do Balanço Energético Nacional (BNE) de 2018, o consumo final de eletricidade no país tendo como ano base 2017 registrou um avanço de 0,9%, mostrando que os setores que mais contribuíram para este aumento foram o comercial (1,5%) e o industrial (1,1%). Os relatórios ainda destacam que o setor residencial também teve um aumento de 0,8% no consumo de energia elétrica em relação ao ano anterior (BRASIL, 2018).

Silva (2018), coloca que o aumento do consumo de energia como consequência do consumismo acelerado, tem provocado a construção de mais usinas hidrelétricas, que não poluem o ar, mas geram enormes consequências ambientais, em virtude da quantidade de água represada que visa a movimentação de turbinas para a produção de energia.

Embora a energia elétrica seja um dos pilares da atualidade e fonte de força, calor e de luz utilizada, o seu crescente consumo exigiu um crescimento exponencial de fontes elétricas, que acarretam em grandes impactos ambientais e econômicos (BRITO, 2016).

Diante disto, é mais que fundamental adotar estratégias de conservação de energia e tecnologias que reduzem o seu consumo em indústrias, comércios e residências.

O Brasil possui programas específicos, como o PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) e o CONPET (O Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural) que buscam promover a conservação da energia e racionalização do seu uso, através de informações e conscientização da população para a importância do uso mais eficiente de energia (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

No contexto de tecnologias encontram-se *softwares* automatizados, técnicas e sensores que monitoram o consumo de energia de aparelhos, o que consequentemente evita o desperdício de energia, trazendo uma eficiência energética para o setor.

Goldemberg e Lucon (2007, p.18), declaram “a eficiência energética é, sem dúvida, a maneira mais efetiva de ao mesmo tempo reduzir os custos e os impactos ambientais locais e globais”. Isso porque, além da conservação diminui a necessidade de investimentos governamentais na produção de energia.

Outras tecnologias da atualidade que também reduzem o consumo de energia e que estão ganhando força no eixo acadêmico e econômico são os sistemas de monitoramento invasivos e não invasivos. E para Duarte (2015):

Apesar da variedade de técnicas e tecnologias utilizadas, os sistemas de monitoramento de consumo de energia podem ser divididos em dois grupos principais: os sistemas de monitoramento de cargas em nível de aparelho e os sistemas de monitoramento não invasivo de cargas. (p. 15).

Os sistemas de monitoramento não invasivos ou NALM que provém do termo inglês (*Nonintrusive Appliance Load Monitoring*) trata-se de uma técnica

utilizada para analisar mudanças na tensão e corrente que entram em uma casa e deduzir quais eletrodomésticos são usados na casa, bem como seu consumo individual de energia.

Para Duarte (2015, p. 18), este “é um termo amplamente difundido na literatura para abordar sistemas capazes de quantificar o consumo de energia de mais de um aparelho através da medição do consumo de energia de um mesmo circuito.

Estas tecnologias além de terem o potencial de monitorar o consumo de energia, apresentam vantagens em relação à outras técnicas utilizadas, uma vez que reduzem significativamente o custo de *hardware*, pois as mesmas são compostas por *hardwares* de baixo custo, como o Arduino.

O Arduino consiste em uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto placa única, projetado por Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino e David Melli, com o objetivo de elaborar um dispositivo que fosse ao mesmo tempo barato, funcional e fácil de programar, sendo dessa forma acessível a estudantes e projetistas amadores (THOMSEN, 2004).

Diante de tais vantagens, apostar em tecnologias de baixo custo que visam garantir a eficiência energética podem proporcionar pontos positivos no monitoramento do consumo de energia de indústrias, comércios e residências, pois é mais fácil mantê-la por serem econômicas e de fácil instalação e utilização.

Assim, a sessão a seguir visa destacar modelos sistemas de sensores não invasivos para o monitoramento energético já desenvolvidos. É importante ressaltar, a respeito do consumo energético residencial que o desenvolvimento de tecnologias não garante a total conservação de energia, apenas trazem em suas funcionalidades informações que podem diminuir o consumo. No entanto a conscientização ainda é o principal recurso para a redução do consumo de energia.

2.1 Sistemas de monitoramento de energia

Os sistemas não invasivos se baseiam no conceito de assinatura de carga para identificação de quais aparelhos estão em operação em cada instante, neste aspecto a esta a assinatura de carga consiste em um conjunto de características elétricas únicas para cada carga elétrica (DUARTE, 2015).

Sob esta conjuntura Silva (2016) [1], desenvolveu um dispositivo que é capaz de realizar o monitoramento instantâneo do consumo de tensão elétrica dos aparelhos, e conta com comunicação sem fio fazendo assim com que o usuário consiga executar estas funções de forma remota através de um smartphone. O monitoramento é feito através de um sistema Arduino de baixo custo integrado a sensores de tensão elétrica.

O medidor de energia desenvolvido por Anil et al. (2018) [2] tem como objetivo informar ao usuário quanto aproximadamente será o valor a ser pago na conta de energia elétrica antes que a mesma chegue. E isto será feito através de Arduinos com sensor GSM que permite a comunicação entre o aparelho e o usuário. O sistema alerta quando o uso de eletricidade excede os limites definidos, desta maneira aumentando a eficiência e diminuindo o trabalho humano.

Ashna et al. (2013) [3] desenvolveu um sistema automático de monitoramento de consumo elétrico baseado em rede GSM, o qual é capaz de realizar tarefas semelhantes aos trabalhos apresentados previamente. Entretanto ele é capaz de converter o consumo elétrico e transformá-lo em rúpias (moeda indiana) em tempo real, desta forma deixando o consumidor ciente do valor atual da conta a qualquer momento.

O sistema de Prathik et al. (2018) [4] é semelhante ao de Anil, entretanto conta com mais funcionalidades, tais como, métrica de consumo elétrico diário, aviso de desligamento automático quando o limite de consumo está prestes a ser excedido, e a possibilidade de desligamento remoto por meio de mensagem com o sistema. O sensor GSM é utilizado como meio alternativo ao módulo Wi-Fi ESP8266, caso não haja internet para a comunicação o sensor GSM é imediatamente colocado em uso.

Pinheiro e Correia (2018) [5] propõem uma arquitetura de *hardware* de baixo custo para o monitoramento energético, pois segundo o mesmo, a maioria dos sistemas de gerenciamento elétrico é voltado para indústrias que possuem um custo elevado e são de difícil manuseio, e que seu sistema seja possível realizar tal monitoramento sem maiores dificuldades em domicílios familiares.

O sistema proposto por Correia foi desenvolvido utilizando os sensores SCT-013 que são sensores de corrente elétrica não invasivo. ACS712 que são medidores de corrente elétrica de corrente alternada (AC), que são de fácil

manuseio e especificamente desenvolvidos para aplicações com microcontroladores, tais como Arduino e *Raspberry*. A comunicação entre o sistema é feita através do módulo de internet Wi-Fi ESP8266 que permite que o Arduino se conecte a redes sem fio.

Quindai et al. (2017) [6] desenvolveu um kit de monitoramento elétrico, pois seu sistema é capaz de monitorar correntes monofásicas e trifásicas, utilizando sensores não invasivos ele é capaz de medir o consumo de redes monofásicas, este modo é voltado ao monitoramento de aparelhos elétricos. Através dos sensores invasivos é possível verificar o consumo em redes trifásicas, o qual é engloba o consumo geral de uma residência ou empresa.

A figura 2 demonstra algumas das funções e especificações deste trabalho e comparando-o com os trabalhos relacionados a monitoramento de consumo elétrico citados acima.

Figura 2 - Comparação dos trabalhos relacionados com o trabalho do autor.

	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	Protótipo
Comunicação	Wifi e Bluetooth	GSM	GSM	WiFi e GSM	Wifi	Local	Local
Baseado em Arduino	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Fases	Monofásico	Monofásico	Monofásico	Monofásico	Monofásico	Mono e Trifásico	Monofásico
Tipo de Sensor	Invasivo	Invasivo	Invasivo	Invasivo	Misto	Misto	Não invasivo
Open Source	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim
Conversor Monetário	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim
Custo	R\$ 96,34	X	X	X	X	X	R\$ 83,79

Fonte: Autor. 2019.

A rede monofásica, de dois fios, é instalada somente quando a carga residencial somada chega até 8000 watts. Quando isto acontece, há o aumento de carga, que é melhor e mais rápida que a instalação da rede trifásica, poupando tempo, material e horas de trabalho (TARANTO, 2012).

O mesmo autor, considera, por outro lado, a rede trifásica que é composta por quatro fios e possui três fases, proporciona melhor distribuição de carga por fase, o que significa o dimensionamento ou o balanceamento de carga residencial.

Nos últimos anos, a complexidade operacional dos sistemas de energia elétrica tem aumentado consequentemente. Isto vem acontecendo, conforme algumas medidas que o utilizam cada vez mais próximos 2 de seus limites de estabilidade, o que acarreta na diminuição da tolerância à ocorrência de perturbações e à saída de equipamentos.

Diante deste cenário, que impõe severas restrições operativas aos Operadores do Sistema, percebe-se a necessidade de um constante aprimoramento dos métodos e instrumentos dedicados à monitoração e ao controle da operação dos sistemas elétricos, em tempo real (EHRENSPERGER, 2004, p. 02).

Deste modo, com a utilização de um sensor de corrente elétrica, em conjunto com um microcontrolador e uma placa arduino, as dificuldades de monitoramento e cálculo do gasto com energia em tempo real podem ser simplificados.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Metodologia Científica

O trabalho proposto possui teor experimental e tecnológico, pois aborda o desenvolvimento de um protótipo de monitoramento de consumo elétrico. A pesquisa experimental implica no trabalho sistemático, que verifica como o protótipo reage através dos testes provocados com o propósito de observar os resultados esperados (WAZLAWICK, 2009).

A natureza deste trabalho é de caráter aplicada, “voltada para aquisição de conhecimento, e com vista a aplicação em uma situação específica” (GIL, 2010.) A abordagem é do tipo quantitativa, pois vale-se de amostras amplas, numéricas e utiliza instrumentos de coletas mais estruturados (LAKATOS, 2010).

A coleta de dados foi feita através da mensuração de consumo elétrico de aparelhos elétricos na residência do orientador e do acadêmico, os mesmos tiveram seu avaliados pelo SMACE, um Alicate Amperímetro da marca IDEA modelo 6267 para comparação dos valores obtidos. E após feita a comparação de ambos, procurou-se a marca e o modelo dos aparelhos testados e verificou-se o consumo que o fabricante informava.

Como o sensor utilizado é do tipo não invasivo, o mesmo é suscetível a leves interferências eletromagnéticas, dado este fator, o protótipo possui um pequeno ruído de interferência que varia de 0.01 a 0.04A, mas nada que impacte de forma significativa na mensuração dos valores.

3.2 Materiais e Métodos

Arduino: o Arduino é uma plataforma eletrônica de fonte aberta baseada em *hardware* e *software* de fácil uso. E é destinado a pessoas que possuam interesse em fazer projetos interativos, além disso, ele consegue sentir o ambiente por meio de vários tipos sensores, e é capaz de afetar ao seu redor, seja controlando lâmpadas, motores e diversos outros atuadores. O usuário é quem define o que o Arduino fará, através do da linguagem de programação Arduino, utilizando o seu ambiente de desenvolvimento.

Sensor SCT 013: Este sensor é capaz de medir a corrente elétrica de maneira não invasiva, ou seja, não é necessário manipular diretamente a parte metálica dos fios, basta somente que o sensor seja encaixado ao fio por onde passará a corrente que irá ser medida, feito isto ele é capaz de medir a corrente sem a necessidade de lidar diretamente com a parte elétrica, diminuindo assim o risco de possíveis acidentes e permitindo que pessoas mais leigas em relação a elétrica possam fazê-lo.

Capacitores e Resistores: Para a utilização do sensor SCT-013 faz-se necessário um conjunto de resistores e capacitores para que a carga seja distribuída corretamente, pois o Arduino não é capaz de suportar diretamente toda a carga gerada pelo sensor e Pinheiro e Correia (2018b) afirmam que ambos os sensores invasivos e não invasivos necessitam de um circuito fechado para dividir e reduzir os níveis de voltagem gerados, para que assim seja possível a leitura no Arduino dos

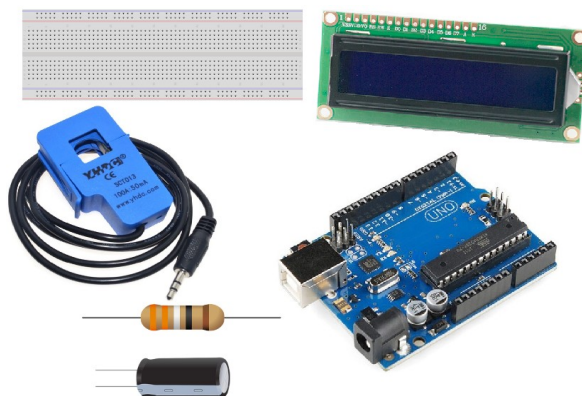
dados enviados pelos sensores. Este circuito foi feito utilizando dois resistores de 100k, um de 33 Ω e um capacitor de 10uF de 25v

Protoboard: É uma espécie de extensão para o arduino, na qual aumenta exponencialmente a quantidade de pinos que podem ser conectados durante algum projeto. É bastante utilizada para criar circuitos fechados, uma vez que, as entradas padrões disponibilizadas são bastante limitadas.

Display LCD: Foi utilizado para mostrar os dados obtidos pelo sensor de forma mais pratica ao consumidor. Normalmente os dados obtidos pelo arduino são mostrados somente no *Serial*, o qual é necessário ter um computador conectado para serem visualizados, desta forma, reduzindo completamente a mobilidade do protótipo, caso não viesse a ser utilizado um *Display LCD*.

As mensurações de consumo foram feitas em diversos eletrodomésticos, e para verificar a margem de erro dos valores medidos pelo protótipo foi utilizado um alicate amperímetro. Os testes foram realizados três vezes em cada aparelho. A Figura 3 ilustra todos os materiais utilizados no protótipo e a tabela 1 especifica os materiais bem como a quantidade utilizada pelos mesmos.

Figura 3: Materiais utilizados



Fonte: Autor. 2019

Tabela 1 - Componentes utilizados no protótipo

Componente	Quantidade
Arduino Uno	1
Display LCD 16x2	1
Protoboard	1
Resistor 100k	2
Resistor 33 Ω	2
Capacitor 10uF 25v	1
Sensor SCT-013-100	1

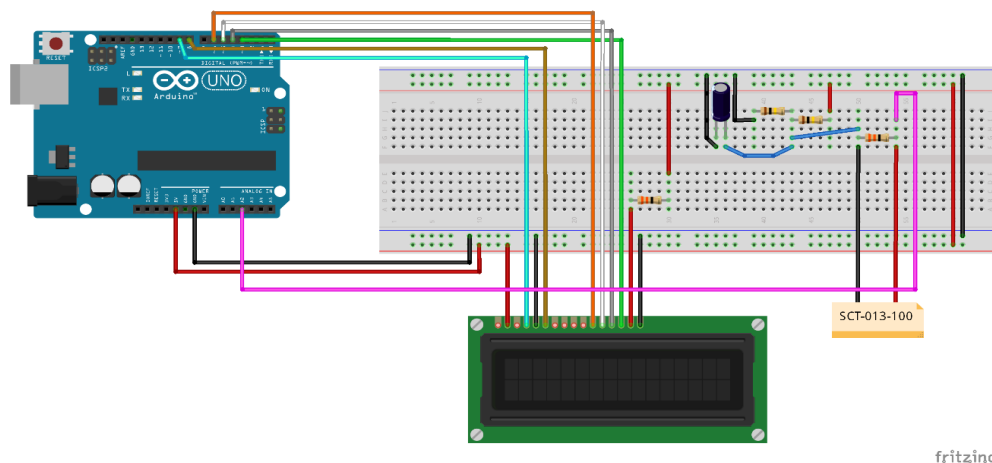
Fonte: Autor. 2019

3.3 Modelo Conceitual

A ligação dos componentes sucedeu no programa *Fritzing* versão 0.9.3.0, este por sua vez é uma iniciativa de *hardware* de código aberto que abrange diversos materiais para a área da eletrônica, e por sua facilidade de uso o seu *software* pode ser manipulado por aqueles que desejam navegar em suas ferramentas para documentar seus protótipos ou compartilhar com os outros.

O *Fritzing* deu início na Universidade de Ciências Aplicadas de *Potsdam*, e agora é desenvolvido pela *Friends-of-Fritzing* que é uma organização beneficente sem fins lucrativos dedicada ao desenvolvimento de ferramentas de *software* de código aberto (FRITZING). A figura 4 ilustra as conexões do protótipo.

Figura 4 - Conexão do sensor com o Arduino



Fonte: Autor. 2019

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para Goldemberg e Lucon (2007) quando o consumo de eletricidade é feita de forma correta, com o mínimo de desperdício, a demanda pela mesma acontecerá mais lentamente e com isto retardando a expansão da rede elétrica, de forma que a qualidade dos serviços fornecidos ao usuário final não sejam comprometidos.

Neste contexto, para uma melhor eficiência energética as pessoas precisam estar informadas a respeito do consumo diário de energia. Duarte (2015), coloca que para a conscientização das pessoas é fundamental o conhecimento preciso da forma que a energia está sendo consumida, e através deste discernimento é possível reduzir o desperdício sem causar grande impacto na qualidade de vida.

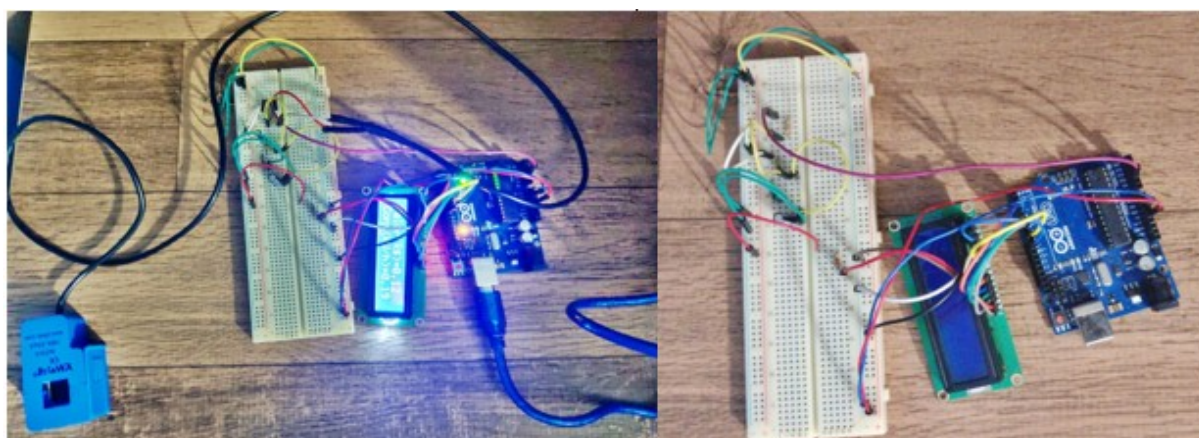
Dessa forma desenvolveu-se o SMACE, com o intuito de informar o consumidor de seus gastos diários e auxiliá-lo na tomada de decisões ao analisar

uma alta taxa de consumo de eletrodomésticos, máquinas/aparelhos que necessitam ser trocadas ou possíveis furtos de consumo elétrico.

O SMACE foi desenvolvido por meio de controladores de Arduino (figura 4), por se tratar de uma plataforma de prototipagem eletrônica de baixo custo e que ao ser comparada com outros controladores realiza todas as funções necessárias de forma eficiente e econômica.

O Arduino é capaz de interagir com o ambiente no qual se encontra através de sensores, sendo assim capaz de realizar diversas funções, seja controlando luzes ou monitorando algo, há uma vasta gama de possibilidades devido à grande quantidade de sensores disponíveis no mercado. (ARDUINO.CC, c2019).

Figura 5 – Protótipo SMACE.



Fonte: Autor. 2019.

Após o desenvolvimento, alguns testes foram realizados para que se pudesse comprovar a eficiência do protótipo, logo esta sessão visa destacar os resultados obtidos ao testar o protótipo.

Logo, a partir uma bateria de testes com uma variedade de aparelhos como TVs, Notebooks, cafeteiras e outros eletrônicos, chegou-se a determinadas médias de consumo que foram contabilizadas em medida de Amperes (A), pois o multímetro trabalha apenas com esta métrica de valores, no entanto ainda se mostra eficaz para a comparação de valores.

Ao comparar os valores, o protótipo obteve a precisão do protótipo 94% ao ser comparado com os valores fornecidos pelas fabricantes dos aparelhos, como mostra os dados da figura 6

Figura 6 - Testes feitos com o SMACE

Aparelho	Fabricante	SMACE	Amperímetro
Air Frier	≈5.45A	≈5.4A	≈5.5A
Smart TV 55"	≈0.70A	≈0.4A	≈0.1A
Notebook Acer	≈9.20A	≈9.1A	≈9A
Notebook Avell	≈9.20A	≈9.15A	≈9.3A
Notebook Lenovo	≈3.33A	≈3.2A	≈3.2A
Notebook Samsung	≈2.25A	≈2.2A	≈2.3A
Cafeteira	≈4.1A	≈4A	≈4.2A
SmarTV 42"	≈0.47A	≈0.51A	≈0.1A
Ferro de Passar Roupa	≈4.54A	≈3.85A	≈3.5A
Ventilador	≈0.57A	≈0.32A	---
Ar Condicionado 7000	≈2.9A	≈2.62A	≈2.6A
Ar Condicionado 9000	≈3.4A	≈3A	≈2.9
Microondas	≈6.81A	≈6.16A	≈5.9A
Máquina de lavar roupas	≈2.09A	≈1.16A*	≈0.9A*
Geladeira	---	≈0.78A	≈0.5A

Fonte: Autor. 2019.

Ao comparar o multímetro com o SMACE não houve uma grande discrepância entre os valores obtidos, seja entre o amperímetro ou com os valores fornecidos pelos fabricantes. Assim, com base nos testes e comparações realizadas, prova-se que o SMACE é um protótipo de precisão consideravelmente alta.

O SMACE realiza uma série de funções que um simples amperímetro não é capaz de realizar, tais como: conversão de kW/h para valor monetário, ou seja, é capaz de informar em tempo real, quanto um aparelho consome em reais (R\$) por hora e mensurar quantos *Watts* um aparelho consome de energia por hora.

Uma das principais funções do protótipo é a conversão de kW/h para valor monetário. Vale-se de uma ferramenta de auxílio ao consumidor que o torna mais consciente acerca do consumo dos aparelhos eletrodomésticos. Isto, individualmente já auxilia na diminuição da conta de energia elétrica mensalmente, ao considerar que o preço da energia possa conter uma variação devido as tarifas das bandeiras.

O valor do kW/h varia entre os estados. Com isto, o protótipo está calibrado com o valor de R\$ 0.605 o kW/h que é o preço atual (Janeiro de 2019) sem nenhuma bandeira do estado do Tocantins.

O SMACE pode ajudar o consumidor a tornar-se mais consciente acerca do consumo dos aparelhos eletrodomésticos, ocasionando na diminuição da conta

mensal de energia elétrica, a partir do simples ato de observar o consumo elétrico diário.

Nesta perspectiva, recentemente foi implantado um sistema de tarifas denominado de “tarifa branca”. Com a tarifa branca, o consumidor passa a ter a possibilidade de pagar valores diferentes em função da hora e do dia da semana em que consome a energia elétrica. Esta tarifa é oferecida para unidades de baixa tensão como residências e pequenos comércios (ANEEL, 2019).

Contudo, para que o consumidor faça parte deste sistema é necessário que o mesmo solicite a adesão, porém, é necessário estar ciente do quanto cada aparelho elétrico consome e em que horário ele é mais utilizado, pois esta tarifa é baseada no horário de consumo.

A Tarifa Branca reflete o uso da rede de distribuição de energia elétrica de acordo com o horário de consumo. Assim, quando o consumidor centraliza seu consumo no período fora de ponta, pode reduzir seus gastos com energia elétrica e, ao mesmo tempo, melhorar o fator de utilização das redes - o que reduz ou posterga investimentos. (Agência Nacional de Energia Elétrica, S/D. 2018)

Segundo o site G1 (2018), é importante que o consumidor analise o perfil de consumo da residência antes de aderir à tarifa branca, pois, caso a energia seja utilizada demasiadamente nos horários incorretos, haverá um aumento exponencial na conta. Mas se utilizada de forma correta, o valor final poderá ter uma baixa de até 42%.

Os horários de consumo são organizados em três categorias, das quais são: Branca Ponta, Branca Intermediária e Branca Fora Ponta. Na Branca Ponta é o horário onde o valor do kW/h é mais que o dobro, ou seja, é o horário onde deve ser consumida a menor quantidade possível de energia. Na Branca Intermediária, o valor do kW/h é aumentado em aproximadamente 20%, neste horário é recomendado um consumo não muito exagerado, e na Branca Fora Ponta é quanto o valor do kW/h é o menor, chegando a ficar 20% mais barato. Os horários e suas respectivas tarifas são demonstrados na figura 7.

Figura 7 - Horários de valores da Tarifa Branca

Tipo de Tarifa	Horário	Valor do kW/h
Branca Ponta	Entre 17h30 às 20h30	R\$ 1,314
Branca Intermediária	Entre as 16h30 e as 17h30 e das 20h30 às 21h30	R\$ 0,818
Branca Fora Ponta	Entre 21h30 às 16h30	R\$ 0,491
Comum	---	R\$ 0,605

Fonte: Autor. 2019.

A Tarifa Branca é uma proposta atraente ao se ter a noção do quanto está sendo consumido e em qual horário, porém, a mesma ainda não se encontra disponível para todos. Assim, há alguns requerimentos para que a mesma seja solicitada.

Quando entrou em vigor, em janeiro de 2018, o requisito para a solicitação da tarifa era um consumo mínimo mensal de 500 kW/h. Já em 2019, o requerido é apenas metade, ou seja, 250 kW/h consumidos mensalmente. A partir de janeiro de 2020, estará disponível para qualquer consumidor, independente do consumo mensal.

4.1 Código

A programação do Arduino ocorre via **IDE** (*Integrated Development Environment*) e utiliza a linguagem de programação C/C++. Após ser programado o microcontrolador pode ser usado de forma independente, sendo possível controlar as luzes de casa, ventiladores, a temperatura do ar condicionado entre outros, além de utilizá-lo como um aparelho de medição (THOMSEN, 2014).

Dessa forma, a programação do SMACE ocorreu na IDE do próprio Arduino. A figura 8 demonstra a codificação utilizada para que o Arduino juntamente aos sensores consiga realizar a interação com a corrente elétrica.

Figura 8 – Codificação.

```

1 #include "EmonLib.h"
2 #include <LiquidCrystal.h>
3
4 #define Vrede 220
5 #define InputSCT A2
6
7 #define LCD_RS 9
8 #define LCD_E 8
9 #define LCD_D4 3
10 #define LCD_D5 4
11 #define LCD_D6 5
12 #define LCD_D7 6
13 #define I_calibration 55
14
15 EnergyMonitor EnerMonitor;
16 LiquidCrystal lcd(LCD_RS, LCD_E, LCD_D4, LCD_D5, LCD_D6, LCD_D7);
17 double Irms = 0;
18 float Tempo = 0;
19
20
21 void setup()
22 {
23   lcd.begin(16, 2);
24   lcd.clear();
25
26   EnerMonitor.current(InputSCT, I_calibration);
27
28   lcd.setCursor(0,0);
29   lcd.print("Valor(R$)=");
30   lcd.setCursor(0,1);
31   lcd.print("Cons(kW/h)=");
32 }
33
34 void loop()
35 {
36   Irms = EnerMonitor.calcIrms(1480);
37   float kWh = (Irms*Vrede*(Tempo/3600));
38   lcd.setCursor(10,0);
39   lcd.print(kWh*0.605);
40   lcd.setCursor(11,1);
41   lcd.print(kWh);
42   Tempo++;
43   delay(1000);
44 }

```

Fonte: Autor. 2019.

O programa conta com duas bibliotecas fundamentais, a primeira chamada *EmonLib* é a biblioteca disponibilizada pela *EnergyMonitor*, a qual é responsável pela interpretação dos dados obtidos pelo sensor SCT, na linha 4 da codificação representada na figura 8, é definida a tensão da rede. No Tocantins a voltagem padrão é 220V por isso este valor foi definido. Na linha 5 (figura 8), mostra a porta analógica que receberá os dados obtidos pelo sensor.

A segunda biblioteca é para o funcionamento do display LCD, das linhas 7 a 12 são definidas as portas que receberão os dados do display fornecidos na linha 17.

A linha 13 (figura 8) representa o fator de calibração da corrente, logo este valor é obtido através da seguinte fórmula: $I_calibratrion = (resK/resOhm)*10$. Onde resK = equivalem aos resistores de 100k, e como estão sendo utilizados dois, 200k, e resOhm é o resistor utilizado, neste caso o de 33 Ohms, convertendo a fórmula para valores numéricos obtém-se: $I_calibratrion = (200/33)*10$, a qual resulta em aproximadamente 60. É importante ressaltar que a temperatura ambiente e outros fatores podem fazer com que este valor sofra pequenas alterações.

Na linha 16 (figura 8) é criada uma instância da classe *EnergyMonitor*, e na linha 26 os valores serão recebidos do sensor pelo arduino será na porta analógica 2, e variando de acordo com a calibração definida. Nas linhas 28 a 31 (figura 8) são definidos os valores estáticos que aparecerão no display LCD.

Na linha 36 (figura 8), são definidos os parâmetros padrões para a conversão de *Watts* para amperagem (A), na linha 37 (figura 8) é feito o cálculo para obter o consumo de quilowatt-hora (kW/h) e na linha 39 (figura 8) é feita a conversão do consumo elétrico para valor monetário, multiplicando o valor do kW/h pelo valor do mesmo, que é de 0.605 sem nenhuma bandeira.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente a energia é responsável por grande parte da execução de atividades cotidianas, deste modo entende-se que há a necessidade de diminuir o impacto ambiental causado através do alto consumo elétrico doméstico e industrial, tornando o consumidor mais atento acerca do consumo dos eletrodomésticos.

Esta pesquisa apresentou o desenvolvimento de um protótipo para realizar o monitoramento do consumo elétrico doméstico, a partir da utilização de placas Arduino integradas à sensores de corrente elétrica não invasivos, não sendo necessário o contato direto com os circuitos residenciais, tornando-se uma alternativa mais viável ao consumidor.

O SMACE é um protótipo de monitoramento de baixo custo, e se mostra viável para o consumidor que deseja estar ciente do consumo de energia auxiliando-o no controle de seus gastos, na tomada de decisões sobre a troca ou compra de um novo eletrodoméstico com base nas observações e comparações que podem ser realizadas pelo próprio consumidor.

O trabalho possui fundamentos consideráveis a respeito do monitoramento de corrente elétrica não invasivo. Com os dados obtidos é possível afirmar que o SMACE possui uma alta precisão alta, calculada em 94%, possuindo ainda um diferencial, que é a capacidade de informar em tempo real quantos *Watts* e reais (R\$) um aparelho consome por hora.

Acredita-se que os resultados que foram obtidos com esta monografia podem vir a ser uma fonte de pesquisa para outros trabalhos com temas relacionados. Conclusivamente, considera-se que o SMACE tem potencial para realizar o monitoramento do consumo de energia elétrica das residências, sendo um sistema simples, barato e que apresenta um diferencial quanto a conversão de kW/h para valor monetário. Para pesquisas futuras, propõe-se a implementação de módulos de comunicação sem fio, para que o usuário consiga realizar o monitoramento remoto e assim garantir mais autonomia e controle do monitoramento.

REFERÊNCIAS

AMARAL, A. B. d'A. **O impacto da insuficiência no fornecimento de energia elétrica nas empresas brasileiras do setor de telecomunicações**. São Paulo, 2017. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3136/tde-23102017-150353/pt-br.php> > Acesso em: 03 jan.2019.

ANIL, Miss Chavan Renu et al. **Smart Energy Meter By using Arduino Based System**. *Journal of Embedded Systems and Processing*, v. 3, n. 2, 2018.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Tarifa branca é nova opção para os consumidores a partir de 2018**. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/tarifa-branca-e-nova-opcao-para-os-consumidores-a-partir-de-2018/656877 > Acesso em: 05 de jan. 2019.

ARAUJO, Felipe Castro et al. **Sistema de monitoramento do consumo elétrico residencial com utilização de medidores de energia elétrica com comunicação sem fio para medição e verificação em programas de eficiência energética**. 2018.

ARDUINO.CC, **Placa Arduino**. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/>> Acesso em: 12 de jan. de 2019.

ASHNA, K.; GEORGE, Sudhish N. **GSM based automatic energy meter reading system with instant billing**. In: Automation, Computing, Communication, Control and Compressed Sensing (iMac4s), 2013 International Multi-Conference on. IEEE, 2013. p. 65-72.

BRASIL, **Balanco Energético Nacional 2018: Ano base 2017**. Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2018.

BRASIL, **Programa de Eficiência Energética. Agência Nacional de Energia Elétrica**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/programa-eficiencia-energetica>> Acesso em: 05 de jan. de 2019.

BRITO, J. L. G. de. **Sistema para monitoramento de consumo de energia elétrica particular, em tempo real e não invasivo utilizando a tecnologia Arduino**. Universidade Estadual de Londrina, 2016. Disponível em: < http://www.uel.br/ctu/deel/TCC/TCC2016_JoaoLuisGrizinskyBrito.pdf > Acesso em: 03 jan.2019.

DUARTE, Luís Fernando Caparroz, **Sistema não invasivo de monitoramento de consumo de energia elétrica baseado em conjuntos nebulosos**. Campinas, SP: [s.n.], 2015. Disponível em: < http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/260730/1/Duarte_LuisFernandoCaparroz_D.pdf >

EHRENSPERGER, Juliana Gubert et al. **Sistemas de medição fasorial sincronizada: análise do estado da arte e aplicações no monitoramento de**

sistemas de energia elétrica. 2004. Disponível em:
<<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/87164>>. Acesso: 20 jan. 2019.

FORNASIER, Mateus de Oliveira; ROGERIO, Marcele Scapin. **Sociedade de consumo e demanda por energia elétrica:** construção de hidrelétricas no rio Uruguai como reflexo do consumismo. *Juris Poiesis*, v. 21, n. 25, p. 121-146, 2018.

FRITZING. **fritzing.** Disponível em:< <http://fritzing.org/home/>> Acesso em: 20 out. 2018.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. **Energia e meio ambiente no Brasil. Estudos avançados**, 2007, 21.59: 7-20. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/ea/v21n59/a02v2159>> Acesso em: 05. De jan. 2019.

Grupo de Eficiência Energética (GEE). **MANUAL DE ECONOMIA DE ENERGIA. USE - Uso Sustentável da Energia** [recurso eletrônico] : guia de orientações / PUCRS, FENG, GEE, PU ; coord. PROAF, Porto Alegre: PUCRS, 2010. Disponível em: < <http://www.pucrs.br/biblioteca/manualuse.pdf> > Acesso em: 03 jan.2019.

PAQUETE, Suzana. **Qual o impacto ambiental da instalação de uma hidrelétrica.** Disponível em: mundoestranho.abril.com.br. Acesso em 27 de janeiro de 2019.

PINHEIRO, E. M.; CORREIA, S. D. **Hardware Architecture of a Low-Cost Scalable Energy Monitor System.** *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, v. 61, n. 1, p. 1-5, 2018.

PRATHIK, M.; ANITHA, K.; ANITHA, V. **Smart Energy Meter Surveillance Using IoT.** In: 2018 International Conference on Power, Energy, Control and Transmission Systems (ICPECTS). IEEE, 2018. p. 186-189.

QUINDAI, Randy et al. **A non intrusive low cost Arduino-based three phase sensor kit for electric power measuring.** In: Computer and Energy Science (SpliTech), 2017 2nd International Multidisciplinary Conference on. IEEE, 2017. p. 1-6.

SILVA, Igor Alexandre Dutra. **Sensor tensão-corrente inteligente com monitoramento e controle on-line por smartphone.** 2016.

SILVA, I. A. D. **Sensor tensão-corrente inteligente com monitoramento e controle on-line por smartphone.** UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre, 2016. Disponível em: < <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/151012> > Acesso em: 03 jan.2019.

SILVA, Marcos Noé Pedro. **Consumo de Energia Elétrica.** 2018. Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/matematica/consumo-energia-eletrica.html>> Acesso em: 05 de jan. 2019.

TARANTO, G. N. et al. **Simulador de Redes de Distribuição Ativas com Modelagem Monofásica/Trifásica**. Anais do XII Simpósio de Especialistas Em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica (SEPOPE), 2012.

TARIQ, Taleb. **Smart energy management in a smart environment using a mobile device**. In: Computer & Information Technology (GSCIT), 2014 Global Summit on. IEEE, 2014. p. 1-5.

THOMSEN, Adilson. **O que é Arduino?**. 2014. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/>> Acesso em: 05 de jan. 2019.