

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA**

PATERSON ANUNCIÇÃO PRADO

**SISTEMA DE MONITORAMENTO REMOTO DE CONSUMO DE ENERGIA
ELÉTRICA EM RESIDÊNCIAS**

Manaus

2018

PATERSON ANUNCIÇÃO PRADO

**SISTEMA DE MONITORAMENTO REMOTO DE CONSUMO DE ENERGIA
ELÉTRICA EM RESIDÊNCIAS**

Pesquisa desenvolvida durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentada à banca avaliadora do Curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas , como pré-requisito para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Fábio de Sousa Cardoso

Manaus
2018

Universidade do Estado do Amazonas – UEA
Escola Superior de Tecnologia - EST

Reitor:

Cleinaldo de Almeida Costa

Vice-Reitor:

Cleto Cavalcante de Souza Leal

Diretor da Escola Superior de Tecnologia:

Roberto Higino Pereira da Silva

Coordenadora do Curso de Engenharia Elétrica:

Ingrid Sammyne Gadelha Figueiredo

Banca Avaliadora composta por:

Prof. Fábio de Souza Cardoso (Orientador)

Prof. Jozias Parente de Oliveira

Prof. Daniel Guzmán Del Rio

Data da defesa: 07/12/2018.

CIP – Catalogação na Publicação

Prado, Paterson Anunciação

Sistema de monitoramento remoto de consumo de energia elétrica em residências / Paterson Anunciação Prado; [orientado por] Fábio de Souza Cardoso – Manaus: 2018.

52 p.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica).
Universidade do Estado do Amazonas, 2018.

1. Consumo de energia. 2. Smartphone. 3. Internet das Coisas. Cardoso, Fábio de Souza.

PATERSON ANUNCIÇÃO PRADO

**SISTEMA DE MONITORAMENTO REMOTO DE CONSUMO DE ENERGIA
ELÉTRICA EM RESIDÊNCIAS**

Pesquisa desenvolvida durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentada à banca avaliadora do Curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Área de concentração: Sistemas microcontrolados

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

Fábio de Souza Cardoso, Dr.
Orientador

Jozias Parente de Oliveira, Dr.
Membro

Daniel Guzmán del Rio, Dr.
Membro

Manaus
2018

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais,
meu irmão pelo apoio e ao meu tio
Paulo (in memorian) , por me mostrar
a eletrônica enquanto jovem.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, em especial ao meu irmão Patrese e minha mãe Cristina, por me aconselharem e ajudarem nos meus momentos de dúvida e de dificuldade.

Agradeço aos mestres e doutores por me ensinar a arte da Engenharia Elétrica em especial ao meu orientador, Dr. Fábio Cardoso, pelo apoio e por me aceitar como orientando mesmo sem contato prévio.

Agradeço também às equipes BAJA UEA e Leviatã, por me proporcionarem experiências práticas de engenharia, além do companheirismo e ajudarem a crescer o meu interesse pela Engenharia.

Agradeço aos meus companheiros de curso, especialmente a Fábio Wesen, Erick Monteiro, João Victor e Mateus Saraiva, por me acompanharem nos desafios do curso e da vida.

Agradeço também à Karolayne Costa pela compreensão, apoio e parceria nos meus momentos difíceis.

RESUMO

Esta dissertação apresenta o desenvolvimento e implementação de um sistema de medição de corrente elétrica a fim de determinar o consumo de energia elétrica de uma única residência. Há um sistema de medição atual, mas o mesmo não segue a tendência tecnológica atual que envolve as tecnologias integradas à Internet, no conceito chamado de Internet das Coisas (IoT). O sistema proposto compõe-se de sensores de medição de corrente invasivos ACS712 diretamente nos pontos de tomada geral ou específica, onde este alimenta um pequeno circuito que possui um microcontrolador ESP-01 com tecnologia WiFi integrada. Ao conectar-se ao ESP-01 através de um *smartphone* com um sistema Android, o usuário poderá acessar estes valores de medição, a potência consumida e qual o valor que será pago no mês até então, de acordo com as tarifas vigentes. Ao testar o sistema, foi necessário ajustar o algoritmo de leitura e uma vez que o projeto possui apenas este sensor, existirá uma estimativa de consumo medido, uma vez que o presente projeto considera as tensões como adequada.

Palavras-chaves: Consumo de Energia Elétrica. Medição. Sensor de corrente. Internet das Coisas. ESP-01. Sistema. Aplicativo. *Smartphone*.

ABSTRACT

This dissertation presents the development and implementation of a system that measures electrical current in order to determine energy consumption of a single house. There is already a measurement system, but it does not follow the current technological trend that involves that joins such all technologies to the Internet, which is the concept of Internet Of Things (IoT). The system consists of using ACS712 invasive current sensors directly at power outlets, and using such outlets to power a small circuit that has a ESP-01 microcontroller that has WiFi technology inside. Connecting with the ESP-01 through an Android smartphone, the user can access the measures taken, consumed power and what price will they pay so far, using the current government taxes. While testing the system, it was necessary to adjust the measuring algorithm and since this project only has the current sensor, there will be an estimated consumption, given that the present project considers voltage in a house to be adequate.

Keywords: Electrical energy consumption. Measuring. Current sensor. Internet of Things. ESP-01. System. Application. *Smartphone*.

Lista de ilustrações

Figura 1	Composição da tarifa de energia representada em porcentagens	16
Figura 2	Exemplo de publicação da ANEEL sobre a bandeira tarifária	17
Figura 3	Esquema de um medidor de energia por indução	19
Figura 4	Composição de um sensor, utilizando mais de um transdutor	19
Figura 5	O sensor ACS712 em sua versão de 30 amperes	20
Figura 6	Componentes básicos de um microcontrolador	21
Figura 7	Diagrama de pinos de um microcontrolador ATmega328/p	21
Figura 8	Diagrama de pinos de um microcontrolador ATTiny	22
Figura 9	IDE da plataforma Arduino	22
Figura 10	O ESP-01 em comparação com uma moeda	23
Figura 11	Exemplo de uma WLAN conectada à Internet	24
Figura 12	Tela inicial do Android Studio ao criar um projeto	26
Figura 13	Diagrama de blocos do sistema proposto	29
Figura 14	Comportamento e suas variáveis de uma tensão alternada	29
Figura 15	Conjunto de microcontroladores do projeto	30
Figura 16	Fluxograma do algoritmo pretendido no ATtiny85	31
Figura 17	Fluxograma do algoritmo pretendido no ESP-01	32
Figura 18	Funcionamento do sistema completo	33
Figura 19	Fonte escolhida para alimentar os microcontroladores	35
Figura 20	Microcontrolador Arduino Nano que possui o chip ATmega328p	35
Figura 21	Esquema de conexão entre Arduino Nano e ESP-01	36
Figura 22	Esquema de conexão do regulador LM317T	37
Figura 23	<i>Layout</i> da atividade de configuração	38
Figura 24	<i>Layout</i> da atividade principal	39
Figura 25	<i>Layout</i> da atividade de resultado	40
Figura 26	Projeto final em matriz de contatos	40
Figura 27	Monitor serial mostrando valores de corrente de um ventilador	41
Figura 28	Gráfico de tensão de saída do sensor pela corrente lida	42
Figura 29	Lista de pontos de acesso Wifi com rede criada pelo ESP8266	43
Figura 30	Saída esperada ao acessar a URL	43
Figura 31	Teste da atividade principal	44
Figura 32	Teste da atividade de configuração	45
Figura 33	Teste da atividade de resultados	45
Figura 34	Questão 1 da pesquisa	46
Figura 35	Questão 2 da pesquisa	46
Figura 36	Questão 3 da pesquisa	46
Figura 37	Questão 4 da pesquisa	47
Figura 38	Questão 5 da pesquisa	47

Figura 39	Questão 6 da pesquisa	47
Figura 40	Questão 7 da pesquisa	48
Figura 41	Questão 8 da pesquisa	48
Figura 42	Questão 9 da pesquisa	48
Figura 43	Questão 10 da pesquisa	49
Figura 44	Questão 11 da pesquisa	49

Lista de tabelas

Tabela 1	Componentes da placa e seus consumos	34
Tabela 2	Pinos do Arduino Nano e suas conexões	36
Tabela 3	Pinos do ESP8266 e suas conexões	37
Tabela 4	Cargas utilizadas em teste e suas correntes	41
Tabela 5	Leituras de correntes pelo sistema	41
Tabela 6	Custo do projeto para uma tomada	49

Lista de abreviaturas e siglas

ADC	<i>Analog-Digital Converter</i> - Conversor analógico-digital
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
EST	Escola Superior de Tecnologia
GND	<i>GROUND</i> ou terra em um circuito elétrico
GPIO	<i>General-Purpose Input-Output</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
MRE	Mecanismo de Realocação Energética
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
UEA	Universidade do Estado do Amazonas
URL	Uniform Resource Locator
VCC	Tensão de corrente contínua

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	13
1	REFERENCIAL TEÓRICO	15
1.1	TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	15
1.1.1	Bandeiras Tarifárias	16
1.1.2	Tipos de Consumidores	17
1.2	MEDIDOR DE ENERGIA	18
1.3	SENSORES	19
1.3.1	Sensor de corrente ACS712	20
1.4	MICROCONTROLADORES	20
1.4.1	ATMega	21
1.4.1.1	Arduino	22
1.4.2	ESP8266	23
1.5	COMUNICAÇÕES SEM FIO	23
1.5.1	Wi-Fi	24
1.6	SMARTPHONE	24
1.6.1	Android	25
1.6.2	Kotlin	25
1.7	TRABALHOS ANTERIORES	26
2	MATERIAIS E MÉTODOS	28
2.1	SENSORIAMENTO	29
2.2	MICROCONTROLADORES	30
2.3	COMUNICAÇÃO COM O ESP-01	32
3	IMPLEMENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	34
3.1	IMPLEMENTAÇÃO	34
3.2	ANÁLISE DOS RESULTADOS	41
	CONCLUSÃO	51
	REFERÊNCIAS	52

INTRODUÇÃO

Segundo o site do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), em 36 anos o consumo de eletricidade será similar ao que se tem na Europa, cerca de sete mil kWh por habitante, por ano. É evidente que com um aumento de consumo por habitante, a demanda de energia elétrica aumenta e finalizando esta ação em cadeia, a própria tarifa de energia tem seu valor aumentado, como mostra a decisão da ANEEL em aprovar o aumento da tarifa em 29,29 por cento para consumidores e 33,54 para indústrias no ano de 2017.

Isso nos leva a um cenário onde a eficiência energética é a uma peça fundamental tanto para a demanda de energia quanto a economia do consumidor. Entende-se por eficiência energética o conjunto de práticas e políticas, que reduza custos com energia sem alteração da geração (MARTINS, 1999). Isso inclui eficiência nos equipamentos de uso final, na geração e distribuição de energia e especificamente importante para este projeto de pesquisa, práticas que estimulam a eficiência.

Adicionando a esse contexto, os medidores de consumo de energia elétrica em residências são do tipo analógico. Enquanto esse tipo de medidor satisfazia a necessidade, o estado da rede elétrica no Brasil especificamente faz com que estas medições nem sempre tenham valores confiáveis atualmente. (MINGUEZ, 2007) A questão levantada aliada ao fato de que esse tipo de medição não está alinhado com o escopo da tecnologia atual, nos leva a pensar em melhorias nas soluções de medição. Esse é um problema do ponto de vista da concessionária.

Do ponto de vista do consumidor, é visível a dificuldade da análise do consumo de energia, qual o consumo em dado momento e quanto está sendo o valor a pagar. Isso gera um problema quanto ao tempo perdido para realizar estes cálculos. Na perspectiva da engenharia, há uma gama de tecnologias aplicadas para o mesmo problema, mesmo assim, a solução não é final, o que valida o estudo.

Dada a tendência de desenvolvimento de tecnologia atual, este trabalho, cujo tema é sistema de monitoramento remoto de consumo de energia elétrica em residências, tem como objetivo estudar a viabilidade e possível implementação de um sistema de monitoramento de consumo de energia elétrica em âmbito doméstico, a fim de dar ao consumidor uma maneira intuitiva de acompanhar seus custos de energia, assim como também a concessionária.

O trabalho tem como objetivo geral projetar um sistema comercialmente viável que meça o consumo de energia elétrica e mostre o valor a pagar, bem como histórico de consumo, através de uma integração entre o sistema de medição e um dispositivo móvel de fácil acesso ao consumidor contemporâneo, o *smartphone*. São os objetivos específicos:

- a) realizar levantamento bibliográfico pertinente ao projeto;
- b) realizar a pesquisa de sensores que serão utilizados;
- c) comparar as soluções já existentes para entender quais tecnologias foram empregadas;
- d) realizar uma pesquisa em campo para entender a opinião do público sobre tarifação de energia e validação da proposta;

- e) desenvolver o algoritmo para aquisição dos sinais, juntamente com a placa a ser utilizada;
- f) desenvolver um aplicativo para *smartphones* que seja capaz de armazenar e mostrar os dados obtidos das medições;
- g) realizar testes do funcionamento de todo o sistema por completo
- h) realizar custeamento do projeto, de forma que seja o mais acessível possível.

O presente projeto se justifica primeiramente na economia de tempo para consumidor, que não terá problemas em facilmente saber o preço a pagar pelo seu consumo, mas principalmente na oportunidade em realizar uma gestão energética na sua casa, pois o consumidor poderá descobrir por meio de um aplicativo não apenas o consumo total, mas o consumo por seções. Isso ajudará o consumidor no gerenciamento de consumo de energia na sua residência, assim como em possíveis manutenções. Através do aplicativo, o consumidor poderá rapidamente identificar possíveis problemas de consumo.

A primeira seção está destinada ao referencial teórico do trabalho, onde será mostrado conceitos necessários para o entendimento do projeto. Como a tarifação de energia elétrica funciona, como um medidor de energia funciona, além da teoria por trás do próprio sistema em si, o princípio de funcionamento do sensor de corrente e introduzir elementos utilizados no trabalho, como a linguagem de programação Kotlin, microcontroladores ESP8266 e Arduino. A última parte do referencial teórico destina-se a trabalhos que executaram soluções ao mesmo problema, para fins de comparação de soluções na análise de resultados.

A segunda seção trata-se de materiais e métodos, que descreve a idealização do projeto e quais requisitos ele deve atender. A seção deve abranger as três partes do projeto: leitura de corrente, envio de dados por Wi-Fi e recebimento de dados pelo aplicativo.

A terceira seção será de implementação e análise de resultados. Abrange como o projeto foi aplicado em relação à segunda seção, suas diferenças e conexões, e procedimentos. A seguir a análise de resultados mostra a leitura de corrente e o funcionamento do aplicativo em Android.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, será abordada a teoria necessária para o entendimento do conceito e procedimento do projeto, o qual pode ser dividido em *software* e *hardware*.

A parte *software* envolve a comunicação entre os sensores, o microcontrolador e o *smartphone*. Desta seção, destaca-se a importância de explicar a referência teórica de microcontroladores e comunicações sem fio, essenciais para o projeto. Como dito anteriormente no capítulo de Introdução, está incluído no projeto um aplicativo para *smartphones*, o que envolve a programação em *Android*.

O *hardware* do projeto também será abordado. Desta parte, abordaremos tópicos como microcontroladores e sensores, em suas especificações físicas, além da necessidade de uma fonte para a placa de aquisição de dados. A concepção do projeto será explicada melhor na seção de Metodologia.

Além das questões técnicas a cerca do consumo de energia elétrica, é necessário entender como as tarifas de energia elétrica são determinadas para termos previsões de valores precisas.

1.1 TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

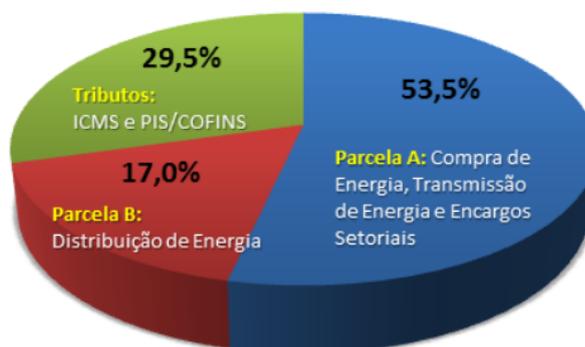
A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é o órgão responsável pela regulamentação da energia elétrica. Entre suas atribuições específicas estão a regulamentação da geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica; a fiscalização de concessões, permissões e serviços de energia elétrica; implementação de diretrizes do governo federal relativas à exploração da energia elétrica e o estabelecimento de tarifas (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2001).

A tarifa pode ser conceituada como o preço da unidade de energia elétrica em reais por megawatt-hora e/ou da demanda de potência ativa em reais por quilowatt (PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2011).

A tarifa estabelecida atualmente pelo mercado é variável pois inclui os seguintes critérios para definições de custos, sendo reavaliada periodicamente por alguns critérios como custos de prestação de serviço, remuneração e depreciação de ativos (FUGIMOTO, 2010). Esses critérios formarão o nível tarifário, onde será segregado os custos totais de acordo com o tipo de consumidor, sendo calculadas várias tarifas de energia elétrica.

A ANEEL realiza este cálculo tarifário de acordo com os custos da distribuidora e são classificados em dois tipos, a Parcela A e a Parcela B. A figura 1 mostra as porcentagens que as parcelas representam no total da tarifa de energia.

Figura 1 – Composição da tarifa de energia representada em porcentagens



Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (2001)

1.1.1 Bandeiras Tarifárias

Uma medida de reajuste tarifário foi o de utilizar o sistema de bandeiras tarifárias, instituído através da resolução normativa de número 547, no dia 16 de Abril de 2013, entrando em vigência no ano de 2015. De acordo com o submódulo 6.8 publicado pela ANEEL, aprovado pela resolução normativa de número 649 de 2015, ao que se diz respeito a bandeiras tarifárias, cujo objetivo do documento é estabelecer definições e procedimentos de aplicação das mesmas, todos os consumidores finais cativos de distribuidoras seriam faturados pelo sistema de Bandeiras Tarifárias, com exceção de consumidores localizados em sistemas isolados.

Sua finalidade é sinalizar as condições de geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional por meio de valor adicional à tarifa de energia, além equalizar parcela de custos variáveis relativas à aquisição de energia elétrica (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2018b)

As bandeiras tarifárias são divididas em quatro tipos: Verde, Amarela, Vermelha Patamar 1 e Patamar 2. Essas classificações são divididas de acordo com a utilização de usinas adicionais e o potencial hidrelétrico do país, nas quais a ANEEL classifica na seguinte forma:

A bandeira verde sinaliza condições favoráveis de geração hidrelétrica, não havendo acréscimo na tarifa de energia; A bandeira amarela indica que as usinas termelétricas estão funcionando, mas a geração não é intensa. Há um aumento na tarifa, porém é na ordem de R\$ 0,010 por quilowatt-hora (kWh) consumido; As bandeiras vermelha patamar 1 e patamar 2 indicam uma condição custosa de geração, onde as usinas hidrelétricas estão com um potencial bem reduzido devido às secas. O acréscimo fica em R\$ 0,030 para cada quilowatt-hora (kWh) consumido para o patamar 1. O patamar 2 tem seu acréscimo ainda maior, custando R\$ 0,050 a mais por quilowatt-hora consumido. (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2018b)

Também de acordo com o mesmo submódulo, é responsabilidade do próprio órgão definir mensalmente a bandeira tarifária a ser aplicada em cada mês. A definição se baseia em um Mecanismo de Realocação de Energia (MRE), um mecanismo de compartilhamento dos riscos hidrológicos associados à otimização eletro-energética do Sistema Interligado Nacional -

SIN (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2001). A figura 2 mostra o ícone mostrado pela ANEEL que informa qual bandeira será usada.

Figura 2 – Exemplo de publicação da ANEEL sobre a bandeira tarifária



Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (2001)

1.1.2 Tipos de Consumidores

Partindo da premissa de diferentes consumidores possuírem diferentes perfis de consumo, é evidente aplicar tarifas diferentes. Essa categorização existe para aplicar a tarifa apropriada a cada perfil de consumo.

A denominada classificação dos consumidores diferencia as unidades consumidoras em dois grandes grupos tarifários: o Grupo A (alta tensão), que é cobrado por uma tarifa binômica e o grupo B (baixa tensão), que possui uma tarifa monômica.

O conceito de tarifa binômica é ser o conjunto de tarifas de fornecimento, constituído por preços de consumo de energia elétrica ativa (kWh) e à demanda faturável (kW), enquanto a tarifa monômica é constituída por preços unicamente ao consumo de energia elétrica ativa (kWh). (PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2011)

Assim, o grupo B tem como divisões os seguintes:

- a) subgrupo B1 - residencial e residencial baixa renda;
- b) subgrupo B2 - rural e cooperativa de eletrificação rural;
- c) subgrupo B3 - demais classes;
- d) subgrupo B4 - iluminação pública.

Assim como o grupo A tem como seus subgrupos:

- a) subgrupo A1 - Nível de tensão 230 kV ou mais;
- b) subgrupo A2 - Nível de tensão de 88 a 138 kV;
- c) subgrupo A3 - Nível de tensão de 69 kV;
- d) subgrupo A3a para nível de tensão de 30 a 44 kV;
- e) subgrupo A4 para nível de tensão de 2,3 a 25 kV;
- f) subgrupo AS para sistemas subterrâneos.

De acordo com o tema e a hipótese explicitados nesta pesquisa, temos como subgrupo a ser estudado o de categoria B1, que tem uma tarifa monômnia. O Manual de Tarifação de Energia Elétrica nos informa a equação que nos permite entender o valor a pagar:

$$P_c = T_c \times C_m \quad (1)$$

Onde:

- a) P_c é a parcela de consumo a pagar;
- b) T_c é a tarifa de consumo de acordo com a ANEEL;
- c) C_m é o consumo medido em um dado momento.

1.2 MEDIDOR DE ENERGIA

Para efeito de comparação, nesta seção será mostrada a solução atual para medição de energia.

Segundo Creder (2007), podemos entender a energia consumida como a potência dissipada ao longo do tempo, ou seja:

$$W = P \times t \quad (2)$$

Onde:

- a) W é a energia consumida em Wh;
- b) P é a potência dissipada por uma carga em W;
- c) t é o tempo decorrido, em horas.

Nesta equação, a energia consumida ao longo do tempo é igual à potência ativa multiplicada pelo tempo de funcionamento. O resultado é a unidade quilowatt-hora (kWh).

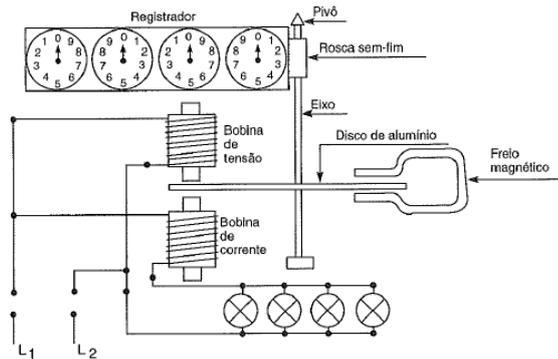
O medidor de energia elétrica tipo indução é o instrumento mais utilizado para medição de consumo em residência e consiste em um motor elétrico que sua interação de fluxos magnéticos produz movimento no rotor com correntes elétricas. O medidor é composto por um estator, rotor, uma carcaça e um registrador (MINGUEZ, 2007).

O princípio de funcionamento deste equipamento é o mesmo de um motor de indução, no qual campos gerados pelas bobinas de corrente e de tensão induzem correntes em um disco,

ocorrendo uma rotação. Esse disco possui um eixo em conexão com uma rosca-sem-fim que provoca a rotação dos registradores, componente este que nos mostra o valor consumido (CREDER, 2007).

A figura 3 nos mostra os componentes que fazem parte de um medidor de energia convencional utilizado.

Figura 3 – Esquema de um medidor de energia por indução



Fonte: Creder (2007)

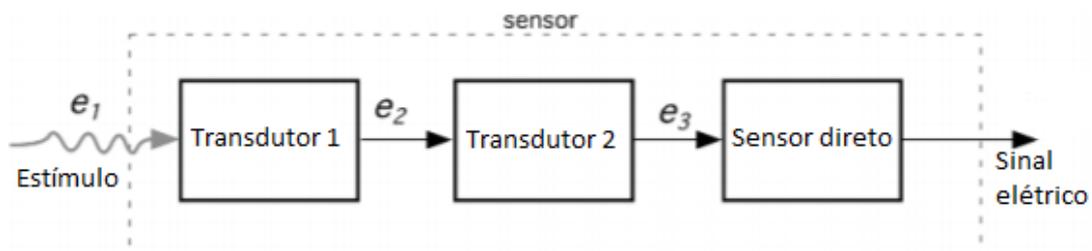
1.3 SENSORES

Para captar fenômenos do mundo físico, um microcontrolador necessita de dispositivos que consigam realizar uma conversão do ambiente físico ao elétrico.

Estes dispositivos chamam-se sensores, dispositivos que recebem um estímulo e respondam um sinal elétrico correspondente, onde este estímulo é uma quantidade, propriedade ou condição que é sensoriada e convertida em um sinal elétrico (FRADEN, 2004).

O objetivo de um sensor é responder a algum tipo de propriedade física de entrada (estímulo) e convertê-lo a um sinal elétrico que seja compatível com o circuito eletrônico. O formato do sinal de saída de um sensor pode ser na forma de tensão ou corrente, ou sendo mais específico, em termos de amplitude, frequência ou fase. A palavra *sensor* deve ser diferenciada de *transdutor*, onde a última converte um tipo de energia para outro e o *sensor* converte um tipo de energia para especificamente elétrica. Resumindo a explicação acima, a figura 4 mostra a composição de um sensor e a transformação de um estímulo para um sinal elétrico.

Figura 4 – Composição de um sensor, utilizando mais de um transdutor



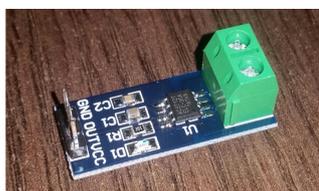
Fonte: Adaptado de Fraden (2004)

1.3.1 Sensor de corrente ACS712

O sensor utilizado especificamente neste projeto trata-se de um sensor do tipo invasivo ACS712. Segundo ALLEGRO (2017), o dispositivo consiste de um circuito de sensor Hall preciso de *offset* baixo.

O princípio de funcionamento deste sensor consiste em uma corrente ser aplicada à entrada deste sensor então gera um campo magnético que é sensoriado pelo circuito integrado e convertido para uma tensão proporcional em forma de rampa positiva, ou seja, quanto mais corrente passa pelo sensor, maior será o valor transmitido, que pode ser interpretado por um microcontrolador. A figura 5 mostra o circuito integrado ACS712 acoplado em uma placa pronta para uso.

Figura 5 – O sensor ACS712 em sua versão de 30 ampères



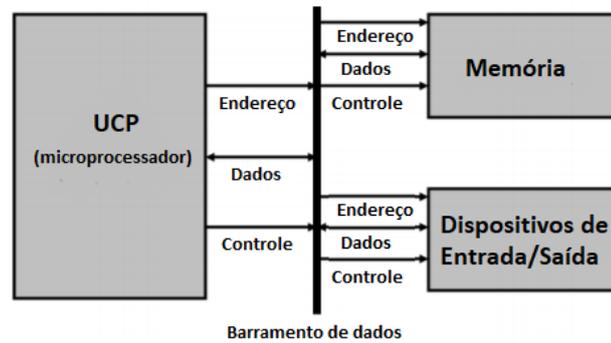
Fonte: Autor

1.4 MICROCONTROLADORES

Um microcontrolador pode ser analisado como algo entre um microprocessador e um microcomputador. O termo microcontrolador refere-se a um único dispositivo como o microprocessador, mas possui componentes de um microcomputador em um único chip, como processador, memória e dispositivos de entrada e saída (ALLEY, 2011).

Como microcontroladores não são exatamente fabricados para uma interação direta humana, agindo mais como um dispositivo de controle e coletor de dados, os dispositivos de entrada são diferentes se comparado com um computador convencional, onde teclados, monitores e *mouses* são substituídos por conversores analógico-digital (ADC), *timers* e interrupções externas. A seguir, a figura 6 mostra uma representação de componentes básicos que definem um microcontrolador.

Figura 6 – Componentes básicos de um microcontrolador

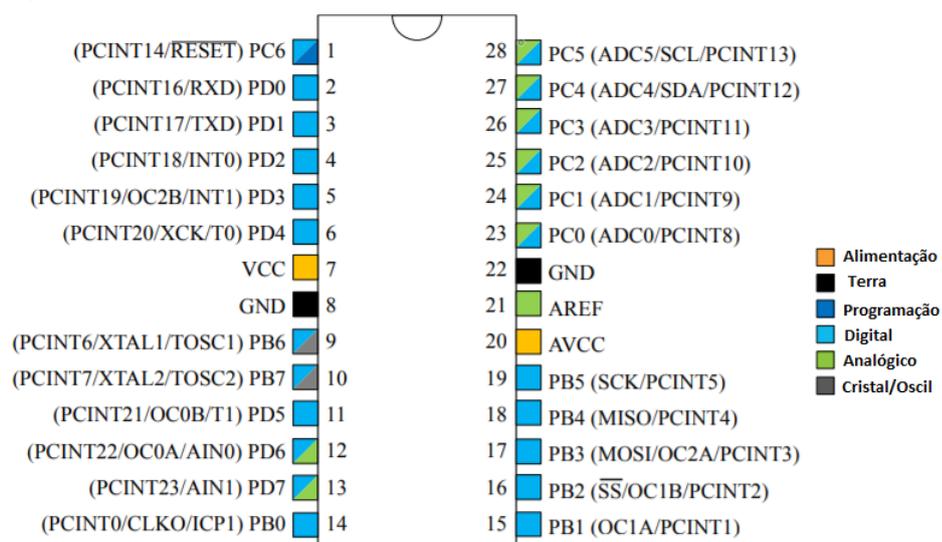


Fonte: Adaptado de Alley (2011)

1.4.1 ATmega

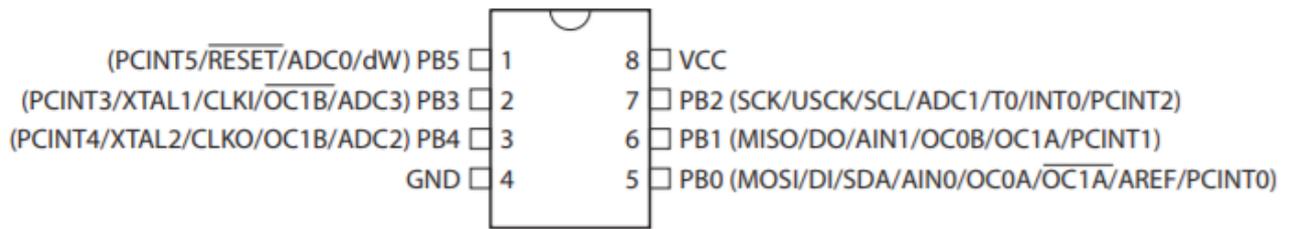
Um microcontrolador que podemos citar como exemplo é o AVR ATmega, uma família de microprocessadores de 8 bits da Atmel. Possui memórias do tipo EEPROM, SRAM e Flash. A família ATmega suporta também os protocolos de comunicação SPI, TWI, UART, USB, CAN e LIN. Outra família de microcontroladores é o ATtiny, também de 8 bits. Pode ser visto como uma versão compacta do ATmega. O ATtiny é um microcontrolador interessante para aplicações em dimensões reduzidas, além de ser o único na família AVR que trabalha com uma tensão de 700 mV, caracterizando um consumo de energia baixo (KUNIKOWSKI et al., 2015). As figuras 7 e 8 mostram os diagramas de pinos dos microcontroladores ATmega e ATtiny, respectivamente.

Figura 7 – Diagrama de pinos de um microcontrolador ATmega328/p



Fonte: Adaptado de ATMEL (2016)

Figura 8 – Diagrama de pinos de um microcontrolador ATTiny



Fonte: ATMEL (2013)

1.4.1.1 Arduino

Caracteriza-se sendo uma plataforma *open-source* de prototipagem eletrônica baseado em *hardware* e *software* de forma a deixar sua utilização fácil. Teve início no *Ivrea Interaction Design Institute* (IVREA) como uma ferramenta fácil de prototipagem para estudantes que não tinham embasamento em eletrônica e programação (WANZELER; FULBER; MERLIN, 2016).

O seu *hardware* se baseia em uma ideia de *open-source* também. Placas de desenvolvimento Arduino podem ser compradas já prontas, mas as informações de *hardware design* também está disponível para aqueles que querem construir ou modificá-las. As placas de Arduino também contam com os *shields* que são placas de extensões para a principal. Alguns exemplos destas extensões são o *shield* Xbee, para comunicação sem fio e *shields* para controle de motores de corrente contínua (D'AUSILIO, 2011).

O *software* consiste em uma linguagem de programação padrão e seu *firmware*. É importante notar que as placas Arduino também são compatíveis com MATLAB e Flash, por exemplo. O *hardware* da plataforma Arduino é programado através de uma simplificação da linguagem C++, baseado no processamento de programação no ambiente de desenvolvimento integrado (IDE). A figura 9 nos mostra a janela principal deste ambiente.

Figura 9 – IDE da plataforma Arduino



Fonte: Própria

1.4.2 ESP8266

Ao incluir neste projeto a capacidade de comunicação via WiFi, que será discutido em uma seção posterior, devemos incluir um *hardware* apropriado. A solução encontrada foi utilizar um tipo de microcontrolador denominado ESP8266.

ESP8266 é um tipo de microcontrolador, como o ATmega discutido anteriormente. É um Sistema em Chip (SoC) criado pela empresa chinesa Espressif que consiste de uma unidade microcontroladora (MCU) Tensilica e um transceptor Wi-Fi. (PIETER, 2017)

De acordo com Benchoff (2014), os estudos sobre este microcontrolador em específico datam de pelo menos setembro de 2014, sendo considerado então um microcontrolador novo. Atualmente, não há muita documentação sobre o mesmo exceto *datasheets*, experiências de desenvolvedores e livros seletos.

Uma vantagem do ESP8266 é que ele pode ser programado também pelo ambiente de desenvolvimento do Arduino, mostrado na figura 9 anteriormente. Porém, assim como existem diversas placas de desenvolvimento Arduino como Mega, Uno e Nano, também existem variações do microcontrolador ESP8266, alguns exemplos são o ESP32, ESP12, ESP07, ESP08.

A figura 10 mostra a placa escolhida para o projeto, o ESP-01, um dos mais acessíveis para soluções Wi-Fi no momento pela AIThinker, podendo servir apenas como um módulo para conexão ou um microcontrolador por si mesmo.

Figura 10 – O ESP-01 em comparação com uma moeda



Fonte: Própria

1.5 COMUNICAÇÕES SEM FIO

A aplicação de uma comunicação sem fio é essencial para o projeto, visto que uma comunicação sem fio nos dá uma oportunidade de torná-lo mais acessível. Primeiro, devemos defini-la:

Uma comunicação sem fio pode ser conceituada como uma transferência de informações entre dois pontos que não estão conectadas por um condutor elétrico. Este tipo de comunicação tem sido desenvolvida a ponto de não só existir comunicações sem fio por rádio, apesar deste tipo ser o mais popular até hoje (PHOGAT; ANAND, 2014).

As comunicações sem fio possuem diferentes maneiras de transmissão, podendo ser:

- a) comunicação via rádio;

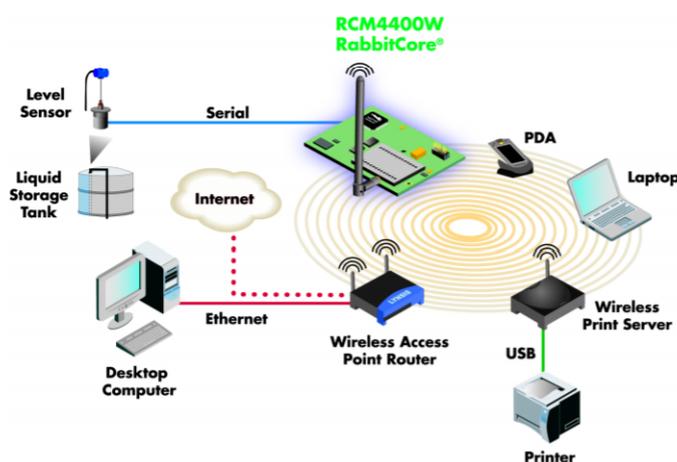
- b) comunicação por micro-ondas;
- c) infravermelho;
- d) sônico, especialmente comunicações ultrassônicas de curta distância;
- e) indução eletromagnética de curto alcance.

As vantagens de uma comunicação sem fio podem ser expressadas na possibilidade de conseguir informação rapidamente e a qualquer momento e pelo seu custo, sendo mais barato tanto na instalação quanto na manutenção. Apesar disso, suas desvantagens estão na facilidade de acessar uma rede sem fio, o que aumentou o risco de perder informações. Para confrontar esta situação, foram criados protocolos de segurança para sinais sem fio, como o WPA e o WPA2.

1.5.1 Wi-Fi

Um exemplo de comunicação sem fio é o *Wi-Fi*, nome dado pela *Wi-Fi Alliance* ao conjunto de padrões IEEE 802.11, que definiu os padrões iniciais para *wireless local area networks* (WLAN), sendo considerada lenta para algumas aplicações, assim foi obsoletada por extensões como 802.11a e 802.11b e mais tarde, pela 802.11g (DIGI, 2008). Sendo uma alternativa à tecnologia Ethernet, possui os mesmos componentes-chave, operando a uma velocidade de transmissão equivalente. A figura 11 mostra um exemplo de uma rede conectada à Internet de forma sem fio.

Figura 11 – Exemplo de uma WLAN conectada à Internet



Fonte: Digi (2008)

1.6 SMARTPHONE

Segundo Theoharidou, Mylonas e Gritzalis (2012), um *smartphone* é um celular com capacidade avançada, que executa um sistema operacional identificável permitindo usuários a estender suas funções com aplicações de terceiros. Aplicações tipicamente incluem serviços de mensagem, *e-mail*, reprodutores de áudio e navegadores de internet por meio de uma *Graphical User Interface* (GUI).

1.6.1 Android

Com os *smartphones*, surgiu a necessidade de obter um sistema operacional mais interativo com o usuário. Desta necessidade surgiu o *Android*, utilizado em telefones, tablets e outros dispositivos, baseado no *kernel* do Linux. Lançado em 2003, a empresa Google adquiriu o sistema em 2005 e realiza atualizações regularmente. Para o desenvolvimento na plataforma, a Android disponibiliza o *Android SDK (Software Development Kit)*.

A definição de *Android* está no fato de ser uma plataforma para tecnologia móvel completa, envolvendo um pacote com programas para celulares, já com sistema operacional, *middleware*, aplicativos e interface do usuário (PEREIRA, 2009).

1.6.2 Kotlin

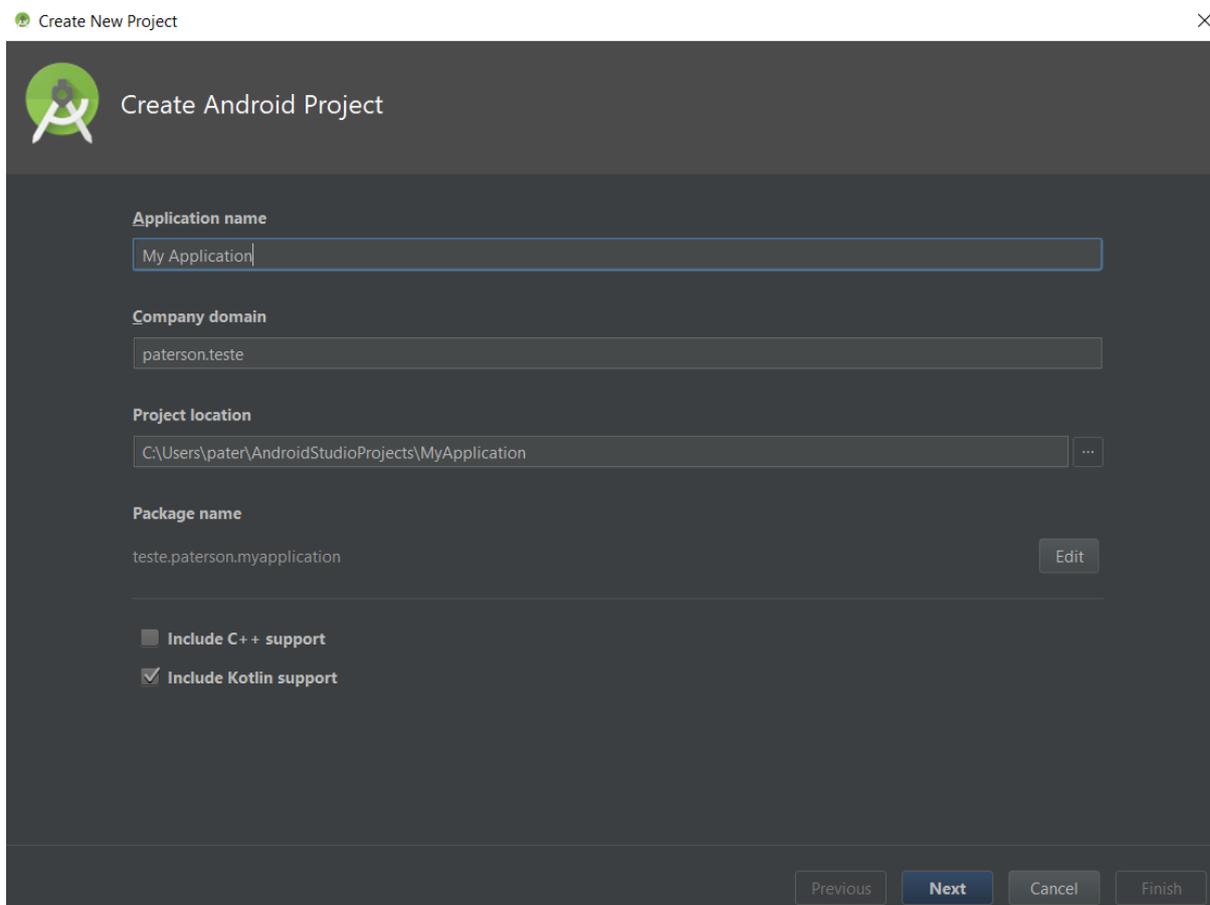
A linguagem utilizada para desenvolver aplicativos para *smartphones* é, em sua maioria, Java. Neste trabalho, no entanto, utilizaremos uma nova linguagem oficial chamada Kotlin. De acordo com Jemerov e Isakova (2016), é uma linguagem que é concisa, segura e pragmática, focada na interoperabilidade com códigos em Java.

O grande benefício desta linguagem vem dessa interoperabilidade, já que é possível possuir códigos em Java e códigos em Kotlin no mesmo aplicativo e ainda assim, serem interpretados por si mesmos sem maiores problemas.

Na conferência anual Google I/O no ano de 2017, entre a centena de anúncios feitos pela Google, foi anunciado que Kotlin seria uma linguagem oficial de desenvolvimento para sistemas Android. (GOOGLE, 2017)

A figura 12 mostra a tela ao clicar no botão de criar um novo projeto, em detalhe, nota-se a opção de marcar o suporte à linguagem Kotlin, função esta que já existe nas versões atualizadas do Android Studio, ferramenta oficial de desenvolvimento em Android.

Figura 12 – Tela inicial do Android Studio ao criar um projeto



Fonte: Autor

1.7 TRABALHOS ANTERIORES

Esta seção apresenta trabalhos anteriores que produziram soluções para o mesmo problema utilizando diferentes técnicas. Os conceitos são diferentes pois utilizam de ferramentas diferentes.

O primeiro trabalho consultado foi o de João Luis Grizinsky de Brito da Universidade Estadual de Londrina. Brito (2006) utiliza um sensor não invasivo de corrente além de um sensor de tensão. É interessante notar que este trabalho realiza um sistema completo de medições, podendo ler potência real, aparente, leituras de tensão, corrente e fator de potência. O acesso a estes dados é feito por um aplicativo feito em uma plataforma chamada Blynk, que é pronta para integração com microcontroladores pela Internet.

Apesar de ser preciso, o projeto teve um preço muito acima do esperado, na faixa dos 245 reais. É notável componentes como Ethernet Shield e cabos RJ45, algo que não seria necessário se o projeto fosse aplicado com a tecnologia Wi-Fi, por exemplo. O próprio autor reconhece este problema e faz algumas sugestões quanto a isso na seção de trabalhos futuros. (BRITO, 2006)

O segundo trabalho consultado foi o de Guilherme Pimenta Barreto da Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas de Brasília. Sua metodologia consiste em monitorar o consumo em dois cômodos através de leituras de consumo tanto com sensor de tensão como sensor de corrente, enviando os valores à uma unidade central que é um microcontrolador Raspberry Pi, que demonstra gráficos para o usuário. (??)

A tecnologia adotada por Barreto não é bem dimensionada para o projeto, uma vez que não seria necessário o poder de processamento de Arduinos para receber leituras, por exemplo. O microcontrolador Raspberry Pi utilizado faz o preço final do produto subir, além da sobra de processamento por parte de todos os microcontroladores. Apesar disso, sua precisão de leituras é notável.

Os dois trabalhos consultados servirão de parâmetro para entender se o conceito foi bem aplicado ou não e seus pontos fortes e fracos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi uma Pesquisa Aplicada, cujo objetivo era a realização de uma pesquisa exploratória e explicativa sobre o material bibliográfico e de laboratório adquiridos sobre o assunto. Os procedimentos técnicos utilizados foram os de pesquisa bibliográfica e experimental. Como método de abordagem, foi utilizado o hipotético-dedutivo e a elaboração seguiu o método de procedimento monográfico. A coleta de dados foi feita através da observação direta intensiva e documentação indireta, sendo estes dados quantitativos e interpretados de forma global.

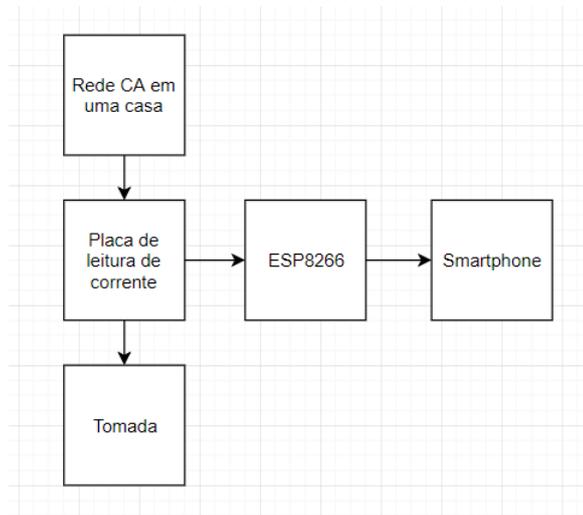
Inicialmente, foram realizadas pesquisas bibliográficas na área de sistemas microprocessados, tecnologias de comunicação sem fio, sensoriamento, eletrônica de potência, sistemas de medições e consumo de energia, a fim de entender as tecnologias disponíveis.

Uma pesquisa de campo validou o perfil de consumo do consumidor manauara, assim como as tecnologias disponíveis na residência do mesmo. Foi realizado também um levantamento de quantas pessoas enfrentam o problema de valor da conta de energia elétrica elevada por motivos desconhecidos. Um outro item testado na pesquisa de campo foi o interesse no projeto se fosse comercializado. Na pesquisa em laboratório foi feita coleta de dados do sensoriamento, de forma a depurar os problemas que poderiam ocorrer na manufatura da placa de monitoramento.

O sistema proposto foi feito em algumas etapas, na qual o primeiro passo trata-se do tipo de sensor que será utilizado, bem como o microcontrolador através de pesquisa comparativa, assim como o desenvolvimento de uma alimentação CC que atenda os requisitos da placa cujos componentes foram escolhidos durante a pesquisa bibliográfica. Nessa parte, ocorreu a depuração da placa através de uma série de medições de forma local. A parte final de desenvolvimento foi um aplicativo em Android que satisfaz as necessidades do projeto, mostrando o consumo por seções com uma opção de histórico de consumo. É importante que haja a opção de mudar a tarifa proposta, pois como o referencial teórico evidencia, o valor muda de forma constante.

A figura 13 mostra resumidamente a metodologia proposta, os detalhes de cada etapa são definidos no diagrama de blocos a seguir:

Figura 13 – Diagrama de blocos do sistema proposto



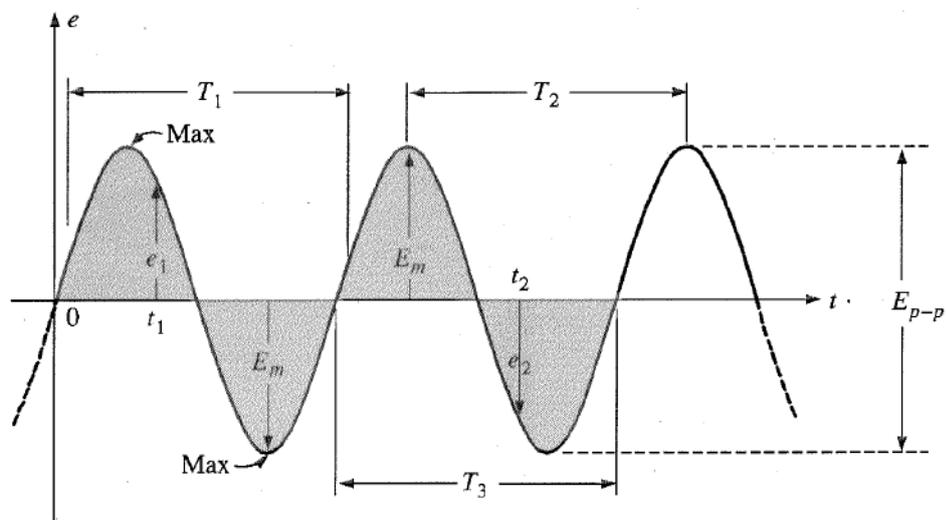
Fonte: Própria

2.1 SENSORIAMENTO

O sensoriamento do projeto foi feito pelo sensor citado no referencial teórico ACS712 de 5 amperes, onde o mesmo foi posto em série com uma extensão de tomadas de corrente alternada qualquer. Nesta seção será explicado o método de leitura.

O sensor ACS712 é geralmente utilizado para medições de corrente contínua sem maiores problemas, apenas realizando a leitura do valor do sensor e fazendo a conversão necessária. A situação muda quando o objetivo é ler corrente alternada, uma vez que seu valor instantâneo nunca é o mesmo dentro do seu período. (BOYLESTAD, 1998) A figura 14 expressa o comportamento da tensão alternada de maneira simples para efeitos de demonstração.

Figura 14 – Comportamento e suas variáveis de uma tensão alternada



Fonte: (BOYLESTAD, 1998)

O motivo de demonstrar o formato de uma tensão alternada apesar de medir a corrente é que o sensor ACS712 fornece uma tensão proporcional à corrente medida, como explicitado no referencial teórico. O algoritmo busca essas variáveis explicitadas na figura anterior para detectar o máximo e o valor mínimo para calcular o valor eficaz da tensão de saída do sensor. Ao reajustar a leitura utilizando a sensibilidade do sensor, tem-se o valor de corrente eficaz no intervalo de tempo desejado.

Como o projeto não demanda que o valor seja instantâneo, o intervalo de tempo ficou em 5 segundos, aceitável ao comparar as medidas obtidas pelo sensor com um multímetro.

2.2 MICROCONTROLADORES

Como discutido no referencial teórico, o microcontrolador ESP8266 provou-se uma escolha favorável, ao possuir uma memória de valor aceitável (1MByte), funcionalidade Wi-Fi embutida e custo acessível. Porém, há uma divergência entre o datasheet dos ESP-01 e ACS712. Uma delas é que a tensão de alimentação é diferente, 3.3 volts e 5 volts respectivamente. A outra é que o conversor analógico-digital do ESP-01 suporta no máximo 1 volt. Mesmo que fosse utilizado um divisor de tensão para adequar as medidas, o fato de diminuir a tensão de saída do sensor para 1 volt poderia acarretar em problemas de precisão e até a ilegibilidade dos dados.

A solução para isso foi aumentar o custo e utilizar um microcontrolador de menor capacidade possível que fosse capaz de tanto alimentar o sensor quanto ter um ADC suficiente. O componente que se encaixa com as especificações é o ATtiny85, também discutido no referencial teórico. Possui 8kBytes de memória, que não seria suficiente para uma função de acumulação ao longo de dias, mas o suficiente para fazer a conversão analógico-digital e transferir os dados para o ESP-01. A figura 15 mostra o conjunto de microcontroladores escolhidos para o projeto.

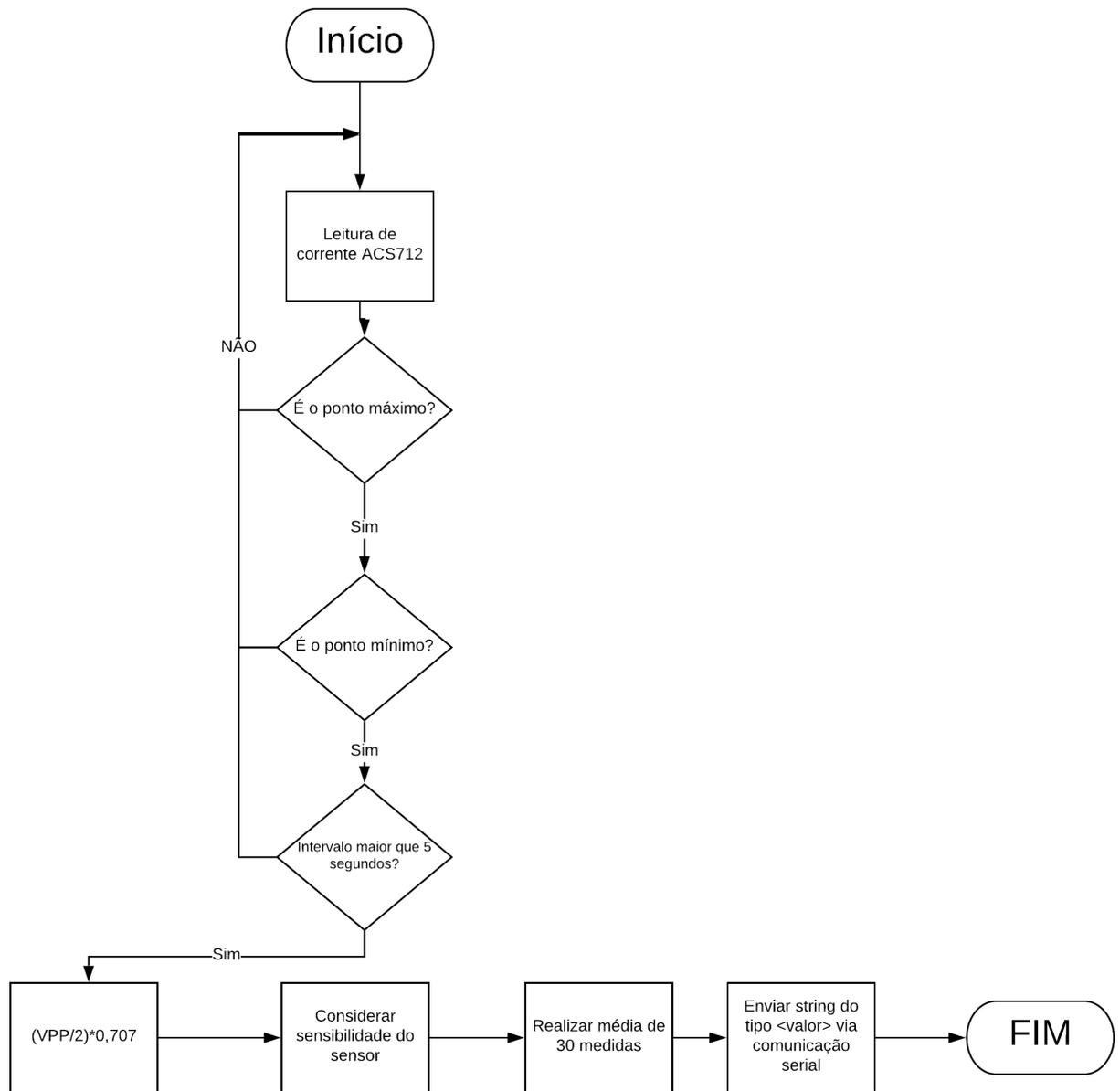
Figura 15 – Conjunto de microcontroladores do projeto



Fonte: Própria

O programa instalado no ATtiny85 deve possuir a programação conforme o fluxograma demonstrado na figura 16.

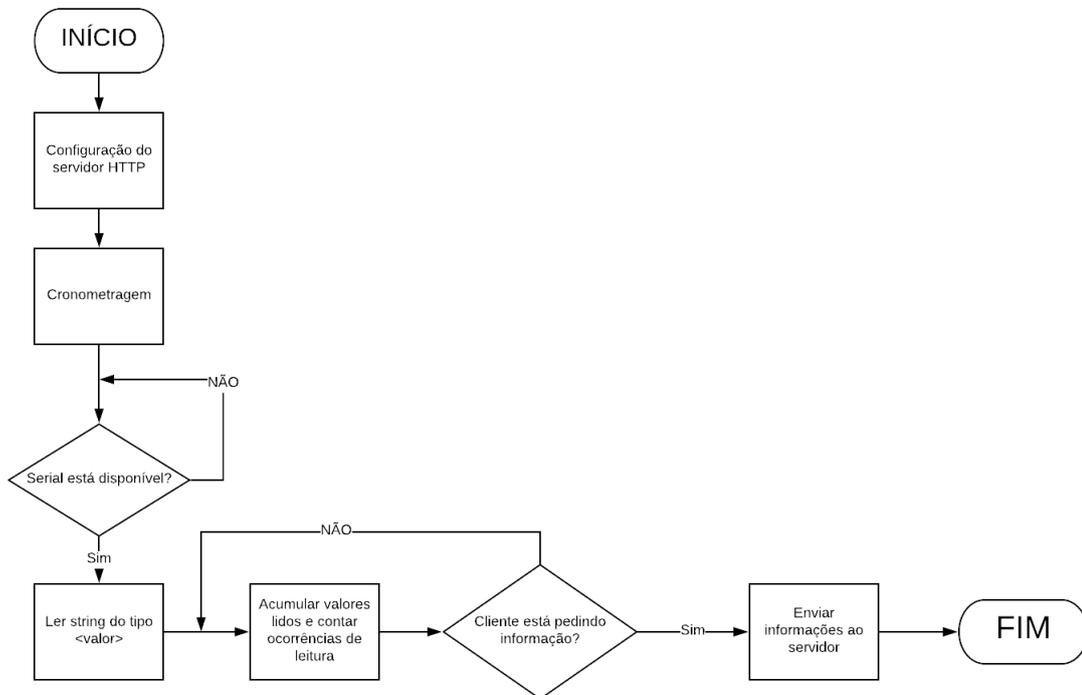
Figura 16 – Fluxograma do algoritmo pretendido no ATtiny85



Fonte: Própria

O microcontrolador ESP-01 receberá os dados através de uma comunicação serial. O ESP-01 deverá possuir uma programação conforme o fluxograma demonstrado na figura 17

Figura 17 – Fluxograma do algoritmo pretendido no ESP-01



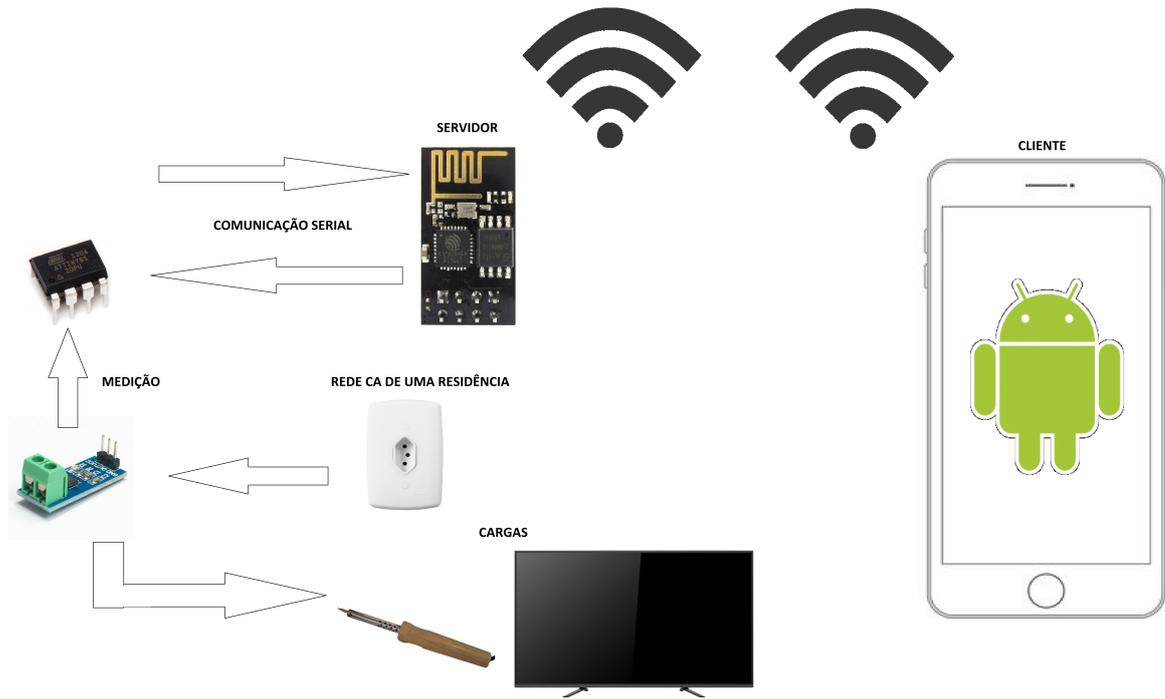
Fonte: Própria

2.3 COMUNICAÇÃO COM O ESP-01

Finalmente, de acordo com os parâmetros do projeto, é necessário uma maneira portátil e fácil de acessar os dados transmitidos pelo ESP-01. O dispositivo escolhido foi um *smartphone* inicialmente que possui um sistema operacional Android. O aplicativo desenvolvido possui uma aba de configuração, onde o usuário fornece a senha da rede Wi-Fi criada pelo dispositivo, valor da tarifa atual e bandeira desejada.

Por fim, a figura 18 mostra o processo de como o sistema funciona. O sistema estará interrompendo o circuito de uma tomada residencial qualquer até carga, para o funcionamento do sensor ACS712. Ao utilizar um algoritmo que permite ler correntes alternadas, estes valores serão interpretados por um microcontrolador ATtiny85, que possui processamento suficiente para esta operação. O componente-chave deste sistema é o ESP8266, no caso, o modelo ESP-01, que receberá as informações através de uma comunicação serial com o ATtiny85. O ESP-01 então, funcionará como servidor Wi-Fi, onde um *smartphone* com sistema Android pode usar o aplicativo desenvolvido para coletar os dados e salvá-los no seu celular. É necessário destacar que o valor máximo de leitura depende exclusivamente do sensor escolhido. No caso do projeto, escolheu-se até 5 amperes.

Figura 18 – Funcionamento do sistema completo



Fonte: Própria

3 IMPLEMENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Esta seção tem como objetivo mostrar os passos da implementação do projeto além da análise do projeto final dividido entre a alimentação do circuito, a leitura de corrente, o ESP-01 e o aplicativo.

3.1 IMPLEMENTAÇÃO

O primeiro desafio encontrado foi a alimentação do próprio circuito de leitura, pois demandaria uma fonte de alimentação própria CC. Houve a tentativa de dimensionar uma fonte sem transformador para o circuito seguido um regulador de tensão LM7805, porém com a pesquisa levantada sobre fontes sem transformador, percebe-se que não seria possível implementá-la com segurança. De acordo com Braga (2017), deve-se ao fato das fontes sem transformador suprirem correntes muito baixas, na ordem das dezenas de miliamperes.

Então, foi confirmado o consumo de corrente dos três componentes utilizados para a leitura. De acordo com ATMEL (2016), ALLEGRO (2017) e AIThinker (2015), então, obteve-se a tabela 1 que nos mostra o consumo de corrente dos componentes.

Tabela 1 – Componentes da placa e seus consumos

Componente	Corrente de funcionamento (mA)
ATMega328p	6 (f=10 MHz)
Sensor ACS712	10
Módulo ESP8266	34 (Picos de 435mA)

Fonte: *Datasheets* dos respectivos componentes

Prova-se então, que uma fonte sem transformador, não é ideal para o projeto, uma vez que espera-se uma corrente de no mínimo 50 mA, porém o ESP-01 deve se comportar como servidor neste protótipo, o que segundo o datasheet do componente, elevaria a corrente para a ordem das centenas de miliamperes, além dos seus picos de corrente previstos em datasheet. A solução foi utilizar uma fonte bivolt CC genérica com tensão de saída 5 volts e corrente de saída 1 ampere. A figura 19 mostra o componente discutido neste parágrafo. As implicações da adição deste componente, infelizmente, é de encarecer o produto final, já que uma fonte de alimentação dessas está na faixa de 12 reais.

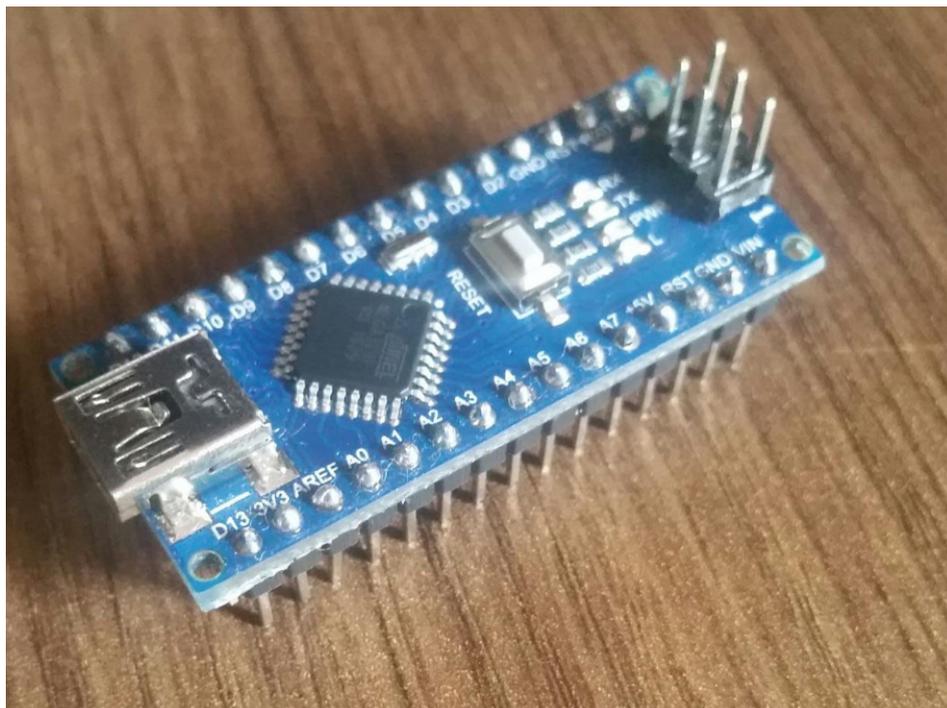
Figura 19 – Fonte escolhida para alimentar os microcontroladores



Fonte: Própria

Para o microcontrolador que recebe a leitura de corrente, inicialmente foi utilizado o ATtiny85 apenas para captura. Porém, devido a problemas de calibração do oscilador interno do microcontrolador, a comunicação serial não estava sincronizada e por isso, não haveria recebimento de dados pelo ESP-01. Para o protótipo então, foi descartado o ATtiny85, sendo substituído por uma placa Arduino Nano, que já possui um cristal externo ao microcontrolador, o que solucionaria o problema. A figura 20 mostra a placa escolhida como substituta.

Figura 20 – Microcontrolador Arduino Nano que possui o chip ATmega328p



Fonte: Própria

As conexões feitas para o Arduino Nano são descritas a seguir na tabela 2.

Tabela 2 – Pinos do Arduino Nano e suas conexões

Arduino Nano	Conexão
5V	5V da fonte
GND	GND da fonte
A0	Vout do sensor ACS712
TX	RX do ESP-01 (Necessita de divisor de tensão)

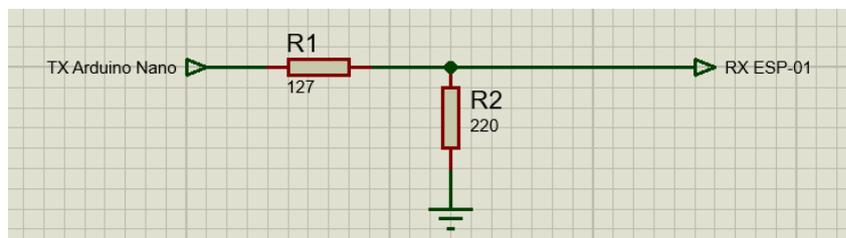
Fonte: Própria

Como descrito na tabela 2 e observado no datasheet do componente ESP-01, as portas GPIO suportam até 3.6 volts. Acima disso, o componente seria queimado. Tem-se a equação para divisão de tensão como:

$$V_{in} = V_{out} \times \frac{R2}{(R1 + R2)} \quad (3)$$

Onde V_{in} é a tensão de entrada, no caso 5 volts, a tensão de saída V_{out} é 3,3 volts e a variável $R2$ igual a 220 ohms, então a variável $R1$ deve possuir um valor de 123,75 ohms. Para aproximar a esse valor, foi utilizado dois resistores em série com valores de 100 ohms e 27 ohms que totalizam 127 ohms. A figura 21 mostra a conexão entre os pinos TX do Arduino Nano e RX do ESP-01.

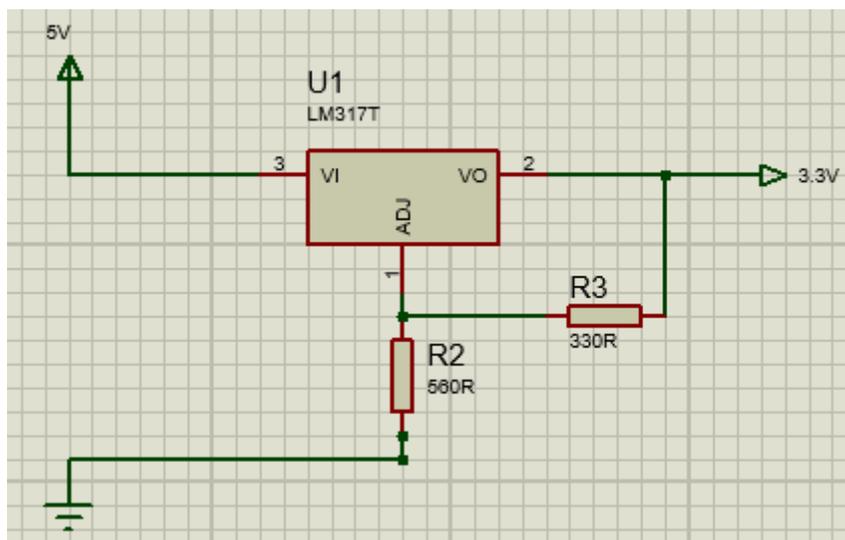
Figura 21 – Esquema de conexão entre Arduino Nano e ESP-01



Fonte: Própria

Um ponto de atenção para o microcontrolador ESP-01 é que os pinos de alimentação (VCC e GND) são tolerantes a 5 volts, porém eles operam a 3.3 V. Para evitar futuros danos ao microcontrolador, utilizou-se um regulador de tensão variável LM317T. Este componente é capaz de gerar uma tensão regulada de acordo com os resistores associados no pino de ajuste. A figura 22 mostra o esquemático das conexões do LM317T para fornecer uma tensão de 3.3V.

Figura 22 – Esquema de conexão do regulador LM317T



Fonte: Própria

Por fim a conexão do ESP8266 deve ser feito segundo a tabela 3.

Tabela 3 – Pinos do ESP8266 e suas conexões

ESP-01	Conexão
VCC	3.3V (saída do LM317T)
GND	GND da fonte
RX	TX do Arduino Nano (após divisor de tensão)
GPIO0	3.3V passando por resistor de 3900 ohms
CH PD	3.3V passando por resistor de 3900 ohms
RESET	3.3V passando por resistor de 3900 ohms

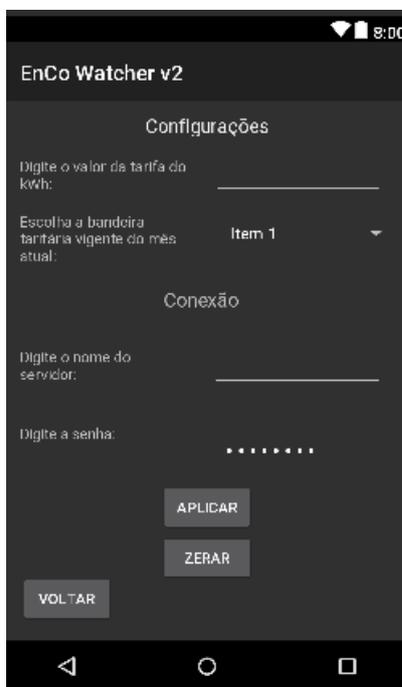
Fonte: Própria

Nota-se que a tecnologia usada para a transferência de dados é o protocolo HTTP através de um servidor criado pelo próprio ESP-01. O microcontrolador receberá informações da maneira descrita em Materiais e Métodos, e enviará para um servidor de endereço padrão, cuja URL é <http://192.168.4.1>. Para acessar os dados lidos, o cliente deverá solicitar a URL <http://192.168.4.1/data>. Após recebido os dados, o ESP-01 deverá zerar suas informações a fim de evitar acúmulo desnecessários de variáveis.

O aplicativo para receber estes dados foi projeto para ter três atividades: Uma atividade de configuração, uma atividade de observação, que é a principal, e uma atividade de resultados. A

atividade de configuração deve possuir espaço para o usuário colocar a tarifa de energia elétrica atual, a bandeira tarifária do mês, além dos dados do servidor ESP-01, que serão disponibilizados previamente. A figura 23 apresenta o *layout* produzido para a referida atividade.

Figura 23 – *Layout* da atividade de configuração



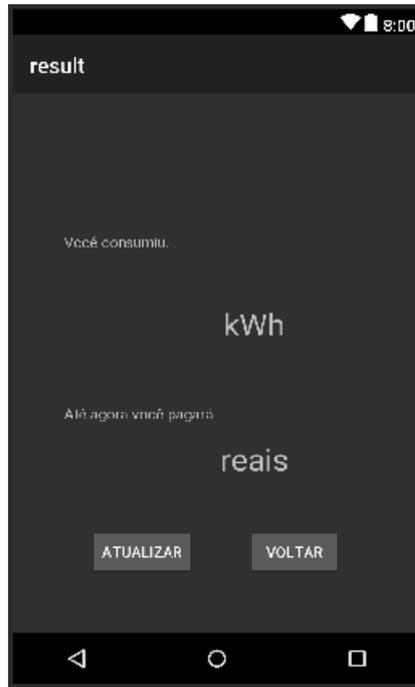
Fonte: Própria

A atividade de observação possui botões para navegar entre configuração e resultado. Nesta atividade também constarão botões de conectar-se ao ESP-01 e um botão para atualizar informações, que solicitará ao servidor através da URL <http://192.168.4.1/data>. Uma vez obtida a informação, disponibilizará a informação de cada dispositivo em uma lista. A figura 24 apresenta o *layout* produzido para a atividade principal

Figura 24 – *Layout* da atividade principal

Fonte: Própria

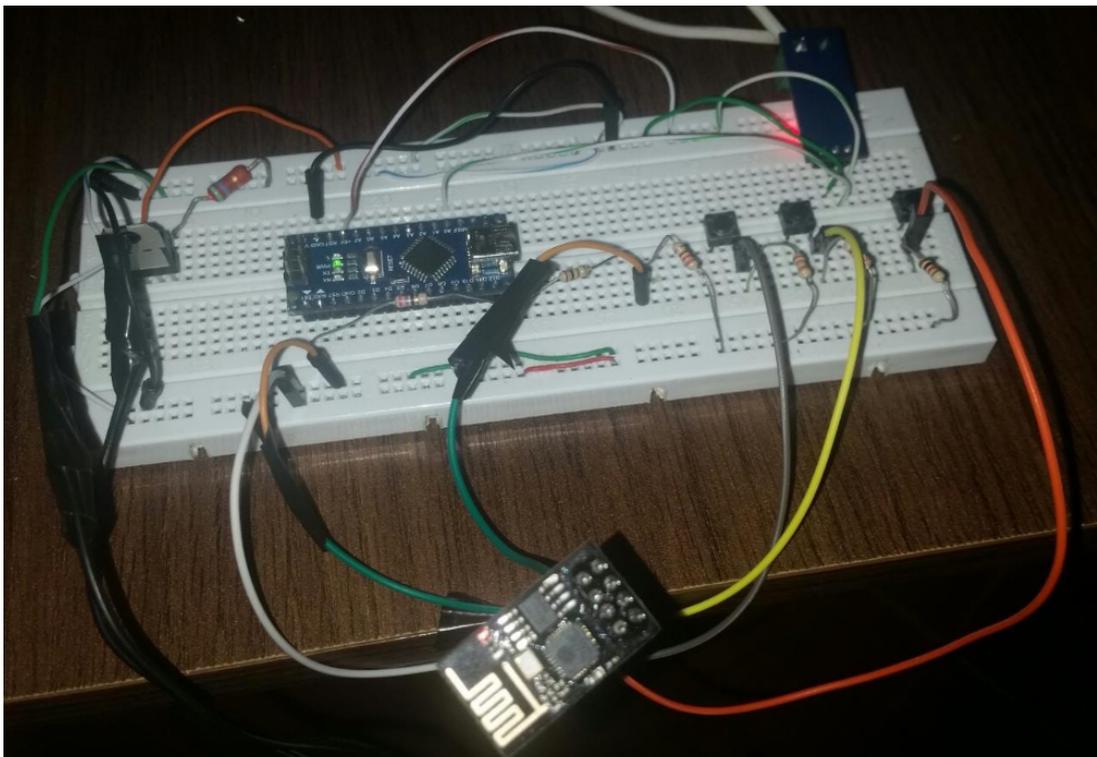
A atividade de resultados deverá obter o valor somado das energias medidas de todos os dispositivos e disponibilizá-las após multiplicar pelo valor de tensão de corrente alternada presente numa residência, no caso da cidade de Manuas, 127 volts. Apesar disso, será mostrado que poderá haver variações, uma vez que de acordo com AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (2018a), um nível de tensão é considerado adequado quando varia de 5% para mais ou para menos, que é o considerado para o projeto. A figura 25 apresenta o *layout* produzido para a atividade de resultados.

Figura 25 – *Layout* da atividade de resultado

Fonte: Própria

Para o protótipo foi utilizada uma extensão de tomada com um dos fios descascados para ser inserido no sensor invasivo ACS712 a fim de realizar a leitura de corrente. O circuito final então é demonstrado na figura 26.

Figura 26 – Projeto final em matriz de contatos



Fonte: Própria

3.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A validação de leitura de corrente foi feita através da utilização de três cargas cujas correntes de funcionamento estarão descritas na tabela 4, todas validadas com um multímetro MESTEK DM90 anteriormente.

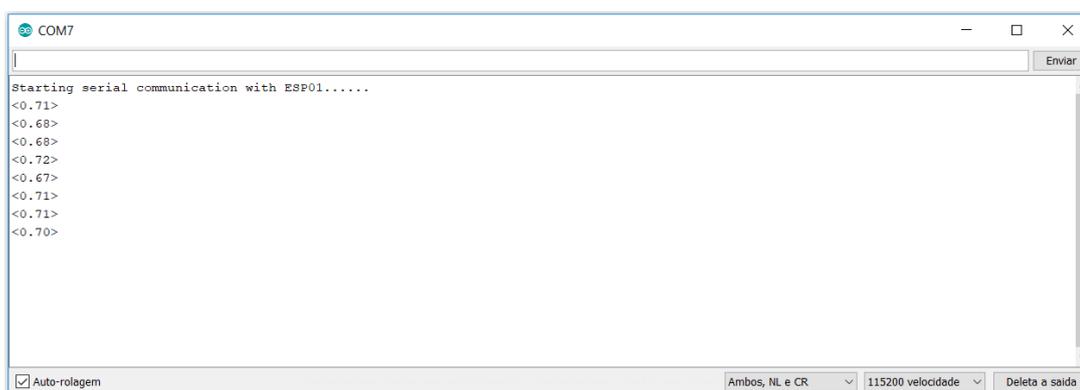
Tabela 4 – Cargas utilizadas em teste e suas correntes

Carga	Corrente (A)
Ventilador Arno Silence Force (velocidade 1)	0,6
Ventilador Arno Silence Force (velocidade 2)	0,7
Ventilador Arno Silence Force (velocidade 3)	1,07
Ferro de solda Tramontina 40W	0,3
Caixa de som 800W em standby	0,16

Fonte: Própria

A seguir, através do monitor serial da IDE do Arduino, observou-se as medidas. A figura 27 mostra o monitor serial observando as medidas enviadas pelo Arduino Nano ao ESP-01.

Figura 27 – Monitor serial mostrando valores de corrente de um ventilador



Fonte: Própria

Assim, observou-se através do monitor serial o comportamento das três cargas e anotado os seus valores para entendermos a divergência do sistema. A tabela 5 mostra os valores medidos, reais e a porcentagem da diferença entre as medidas.

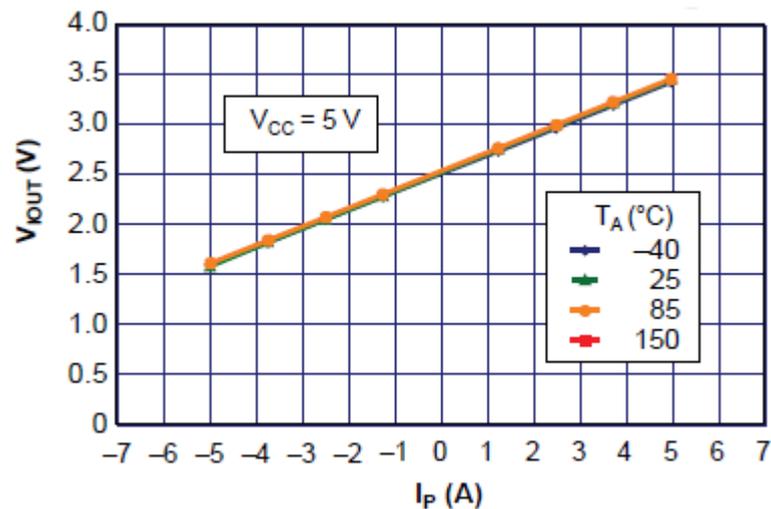
Tabela 5 – Leituras de correntes pelo sistema

Carga	Valor medido (A)	Valor real (A)	Delta (%)
Ventilador Arno Silence Force (velocidade 1)	0,65	0,6	+8,33
Ventilador Arno Silence Force (velocidade 2)	0,75	0,7	+11,11
Ventilador Arno Silence Force (velocidade 3)	1,14	1,07	6,54
Ferro de solda 40W	0,28	0,3	-6,67
Caixa de som Frahm FP800 800W em standby	0,19	0,16	+18,75

Fonte: Própria

Na tabela acima, podemos perceber a divergência sendo menor em correntes maiores, isso deve ao fato do sensor ACS712 produzir uma tensão de acordo com a sensibilidade do mesmo. No caso do projeto, a versão de 5 amperes. A figura 28 mostra a curva de tensão produzida pelo ACS712 de acordo com a corrente lida. O gráfico demonstra que para 0 amperes lidos, o sensor produzirá 2,5 V na saída, com um máximo de 4 volts. Isso pode explicar a diferença dos valores lidos para os reais, porém isso acarreta um certo erro ao projeto, que pode ser considerado na estimativa final.

Figura 28 – Gráfico de tensão de saída do sensor pela corrente lida



Fonte: ALLEGRO (2017)

Para a confirmação do funcionamento do ESP-01, utilizou-se um computador para acessar o ponto de rede criado pelo ESP8266. A figura 29 mostra uma lista de pontos de acesso disponíveis, destaque para a rede "ESP-AP".

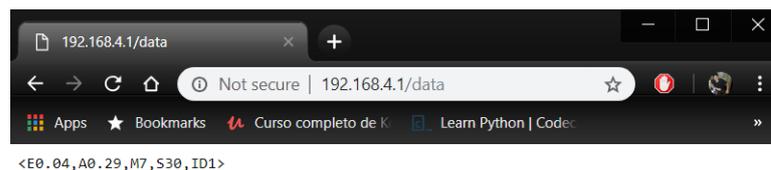
Figura 29 – Lista de pontos de acesso Wifi com rede criada pelo ESP8266



Fonte: Própria

A partir de um navegador de Internet padrão é possível acessar o microcontrolador digitando a URL <http://192.168.4.1/data> para confirmação do funcionamento. A figura 30 mostra o que o ESP8266 envia quando um usuário acessa a página, ou seja, quando o método HTTP GET é utilizado.

Figura 30 – Saída esperada ao acessar a URL



Fonte: Própria

O texto a ser lido é do formato $\langle Ea,Ab,Mc,Sd,IDe \rangle$, onde:

- a) a é valor do ampere-hora medido, corrente elétrica multiplicado por tempo medido
- b) b é a corrente elétrica média medida
- c) c e d representam o tempo de medição até o momento do acesso em minutos e segundos
- d) e é a identificação do dispositivo

Apesar do protótipo possuir apenas um ESP8266, o modelo aqui realizado propicia o ambiente para que múltiplos microcontroladores possam ser utilizados.

O aplicativo então foi projetado de maneira a ter sua tela inicial como a atividade principal, onde se tem as opções:

- a) ir para menu de configurações
- b) ir para menu de resultados
- c) conectar-se ao servidor ESP-01
- d) atualizar os dados recebidos

A figura 31 mostra a tela principal no teste realizado em um *smartphone*. Nota-se que foi detectado apenas um dispositivo, então o aplicativo mostrou apenas o que encontrou.

Figura 31 – Teste da atividade principal



Fonte: Própria

A figura 32 mostra a tela de configuração com os espaços para o usuário colocar os valores conforme projetados na seção de materiais e métodos.

Figura 32 – Teste da atividade de configuração

EnCo Watcher v2

Configurações

Digite o valor da tarifa do kWh:

Escolha a bandeira tarifária vigente do mês atual: Verde

Conexão

Digite o nome do servidor:

Digite a senha:

VOLTAR

APLICAR

ZERAR

Fonte: Própria

Por fim, a figura 33 mostra a tela de resultados, onde mostra-se a soma da leitura de energias e a conversão para seu preço em reais de acordo com a configuração do aplicativo.

Figura 33 – Teste da atividade de resultados

Você consumiu...

0.005 kWh

Até agora você pagará...

0.002 reais

ATUALIZAR

VOLTAR

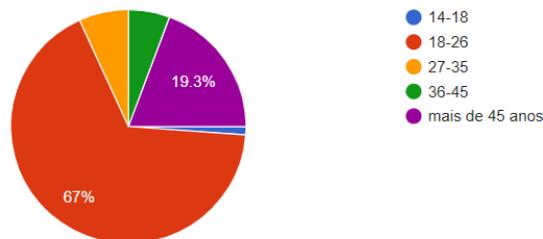
Fonte: Própria

Paralelo à implementação do projeto, uma pesquisa foi realizada *online* utilizando a aplicação Google Forms. A pesquisa foi limitada a uma resposta por usuário Google. O objetivo da pesquisa era confirmar o interesse do público pela solução, além de perguntas gerais sobre tarifação e consumo de energia. A pesquisa contou com o total de 88 respostas num período de 5 dias. Os resultados, juntamente com as perguntas, são mostradas nas figuras 34 a 44.

Figura 34 – Questão 1 da pesquisa

Qual sua idade?

88 responses

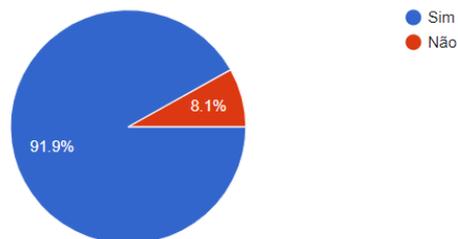


Fonte: Própria

Figura 35 – Questão 2 da pesquisa

Você mora em Manaus, Amazonas?

86 responses

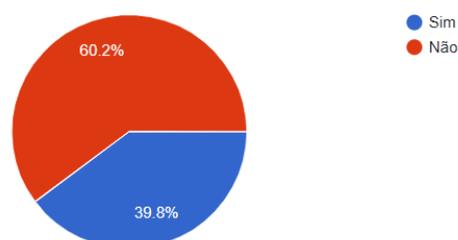


Fonte: Própria

Figura 36 – Questão 3 da pesquisa

Você é responsável por pagar a conta de luz em sua residência?

88 responses

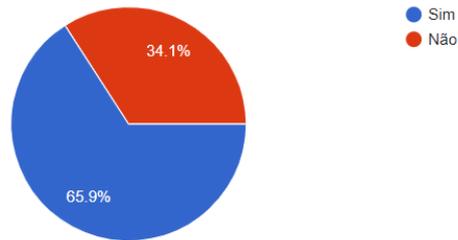


Fonte: Própria

Figura 37 – Questão 4 da pesquisa

Você conhece sobre a tarifação sobre a energia elétrica?

88 responses

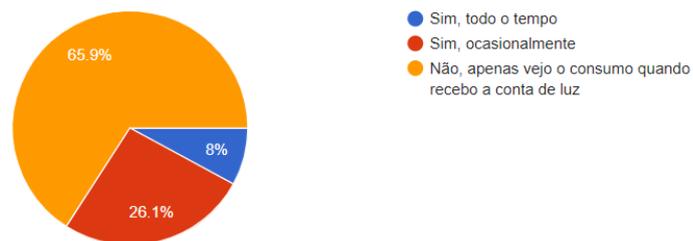


Fonte: Própria

Figura 38 – Questão 5 da pesquisa

Você acompanha o consumo de energia no seu medidor de energia?

88 responses

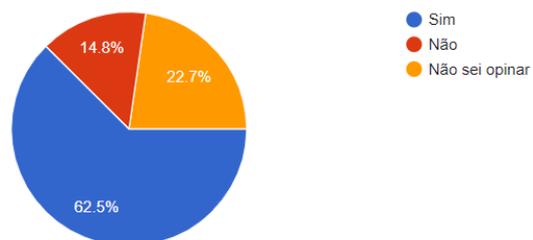


Fonte: Própria

Figura 39 – Questão 6 da pesquisa

Você acha que paga mais do que consome? (Pergunta não é sobre o valor da tarifa em si)

88 responses

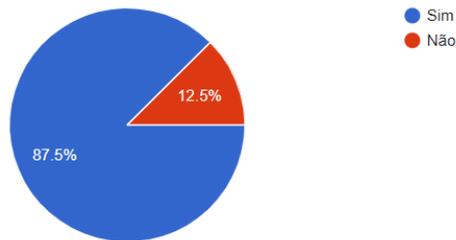


Fonte: Própria

Figura 40 – Questão 7 da pesquisa

Você estaria interessado em saber o consumo por tomada na sua casa?

88 responses

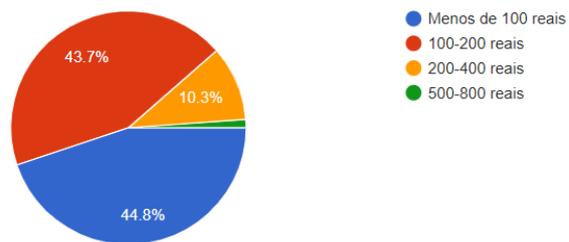


Fonte: Própria

Figura 41 – Questão 8 da pesquisa

Qual valor você estaria disposto a pagar por tal solução?

87 responses

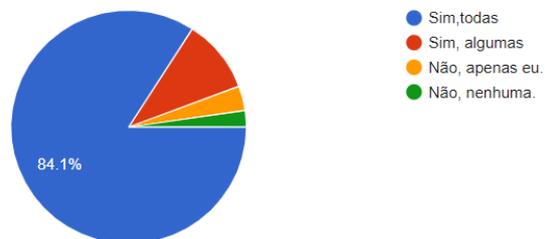


Fonte: Própria

Figura 42 – Questão 9 da pesquisa

Você e as pessoas que moram com você possuem um smartphone?

88 responses

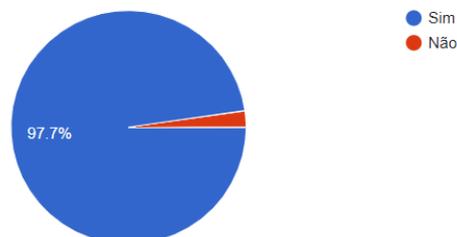


Fonte: Própria

Figura 43 – Questão 10 da pesquisa

Você possui Wi-Fi em casa?

88 responses

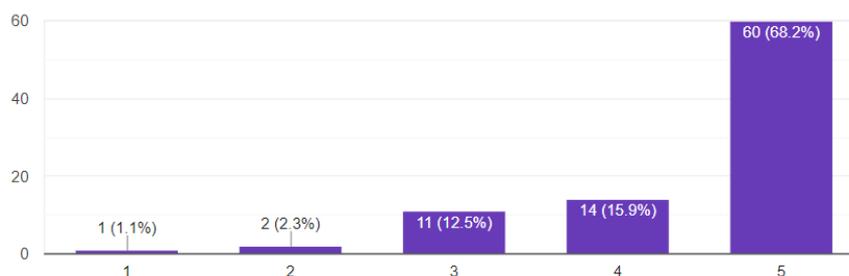


Fonte: Própria

Figura 44 – Questão 11 da pesquisa

Qual sua opinião sobre poder ver uma estimativa da sua conta de luz em tempo real no seu celular?

88 responses



Fonte: Própria

Em relação à figura 41 então, deve-se calcular o custo do projeto. Há a necessidade de explicitar que o protótipo contempla apenas uma tomada. A tabela 6 mostra os valores e o seu total.

Tabela 6 – Custo do projeto para uma tomada

Componente	Preço (R\$)
Arduino Nano	25
ESP-01	21.90
Componentes eletrônicos diversos	2
Fonte CC 5 volts	12.5
Sensor de corrente ACS712 5 amperes	12 reais
Extensão de tomada genérica	10
Total	83.4

Fonte: Própria

Analisando o preço do projeto, o total não está conforme as respostas do público na figura 41, considerando que este é um protótipo para uma tomada apenas. Apesar disso, como prova de conceito, é aceitável. O interesse do público pelo projeto mostra que o projeto tem base para existir, e apesar de ultrapassar o valor esperado por muito, o projeto é bem flexível em questões de aprimoramento.

Como comparação a outros projetos expostos na seção de trabalhos anteriores, há alguns pontos interessantes para discussão, que se dividem em três grandes pontos: tecnologia, preço e precisão

No quesito preço, o projeto elaborado está em grande vantagem em comparação aos outros, dois, uma vez que empregam microcontroladores com preços demasiadamente altos. O projeto por Wi-Fi possui preço na faixa de 83 reais, o projeto realizado pro Brito tem preço de 245 reais e o preço do projeto de Barreto está pelo menos em 400 reais, porém o valor não foi exposto pelo autor.

Na parte de tecnologia, os autores empregam soluções interessantes ao problema, porém, não adotam a metodologia de diminuir o *hardware* para cumprir apenas o seu propósito. Não há a preocupação em utilizar chips ATmega, por exemplo. Assim, há uma sobra de processamento nos dois trabalhos.

Por fim, enquanto os outros trabalhos não tem resultados ótimos nos quesitos anteriores, compensam na parte de precisão, uma vez que nos dois trabalhos foram obtidas medidas com valores muito próximas do real. No projeto elaborado, as medições tiveram valores aproximados, mas não tão próximas quanto as dos dois autores.

CONCLUSÃO

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho foram revisados conceitos sobre os assuntos: tarifação de energia elétrica, medição de energia, microcontroladores e apresentação das técnicas utilizadas como linguagem de programação Kotlin, ESP8266. Estes assuntos foram desenvolvidos no referencial teórico.

Foi utilizado o sensor ACS712 na sua versão de 5 amperes para realizar leitura de corrente elétrica. A partir da sua utilização junto com um Arduino Nano, foi realizado ajustes para reduzir o erro de leitura, uma vez que o erro estará ainda maior em correntes menores devido à sensibilidade do sensor.

Com o algoritmo de leitura completo, foi implementado o microcontrolador ESP-01 ao usá-lo para receber informações do Arduino Nano através de uma comunicação serial. O ESP-01 também funciona como servidor neste caso, assim como realiza uma média das leituras recebidas a fim de reduzir erros.

O aplicativo realizou funções básicas como receber as informações de leitura do servidor, configurar valor de tarifa, bandeira tarifária e configurações de internet do próprio servidor, exibindo os valores em uma outra atividade.

O resultado das leituras são mostradas na tabela 5. O valor lido pelo sistema é aproximado do real, apesar dos microcontroladores realizarem médias aritméticas antes de mandarem informações para o aplicativo. O preço deste sistema então, como descrito na seção de análise de resultados, não está dentro das expectativas do público.

Mesmo assim, todos os passos foram concluídos com sucesso e a metodologia adotada torna o sistema flexível o suficiente para ser modificado. Para trabalhos futuros, sugere-se a mudança da placa Arduino Nano por um microcontrolador ATtiny85, calibrando seu oscilador interno para que a comunicação serial seja feita de forma correta, fabricar uma placa de circuito específico para a leitura, incluindo, alimentação de 5 volts, sensor e microcontroladores, assim como utilizar a própria rede Wi-Fi do usuário do sistema como servidor. Todas as mudanças aqui sugeridas tem como objetivo reduzir o preço final do projeto.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Site oficial da Agência Nacional de Energia Elétrica*. 2001. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/Audiencia_Publica/audiencia_proton/2001/ap004/AP004_2001_PropostaCPFL.pdf>. Citado 3 vezes nas páginas 15, 16 e 17.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Resolução sobre conformidade de níveis de tensão de energia elétrica*. 2018. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Citado na página 39.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Submódulo 6.8: Bandeiras Tarifárias*. 2018. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2018811_Proret_Submod_6_8_V1_5.pdf>. Citado na página 16.
- AITHINKER. *Datasheet do microcontrolador ESP-01*. 2015. Disponível em: <<https://ecksteining.de/Datasheet/Ai-thinker%20ESP-01%20EN.pdf>>. Citado na página 34.
- ALLEGRO. *Datasheet ACS712*. 2017. Disponível em: <<https://www.sparkfun.com/datasheets/BreakoutBoards/0712.pdf>>. Citado 3 vezes nas páginas 20, 34 e 42.
- ALLEY, P. *Introductory Microcontroller Programming*. Dissertação (Mestrado) — Worcester Polytechnic Institute, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.
- ATMEL. *Datasheet ATtiny25*. 2013. Disponível em: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2586-AVR-8-bit-Microcontroller-ATtiny25-ATtiny45-ATtiny85_Datasheet.pdf>. Citado na página 22.
- ATMEL. *Datasheet ATmega328*. 2016. Disponível em: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 34.
- BENCHOFF, B. *The current state of ESP8266 development*. 2014. Disponível em: <<https://hackaday.com/2014/09/06/the-current-state-of-esp8266-development/>>. Citado na página 23.
- BOYLESTAD, R. *Introdução à Análise de Circuitos*. [S.l.]: Prentice-Hall do Brasil, 1998. Citado na página 29.
- BRAGA, N. *Projetando e Montando Fontes Sem Transformador (ART009)*. 2017. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/artigos/54-dicas/376-projetando-e-montando-fontes-sem-transformador>>. Citado na página 34.
- BRITO, J. L. G. de. *Sistema para monitoramento de consumo de energia elétrica particular, em tempo real e não invasivo utilizando a tecnologia Arduino*. 2006. Citado na página 26.
- CREDER, H. *Instalações Elétricas*. 15. ed. [S.l.]: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2007. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 19.
- D'AUSILIO, A. *A low-cost multipurpose lab equipment*. 2011. Citado na página 22.

- DIGI. An introduction to wi-fi. 2008. Disponível em: <ftp1.digi.com/support/documentation/0190170_b.pdf>. Citado na página 24.
- FRADEN, J. *Handbook of Modern Sensors: Physics, designs and applications*. 3. ed. [S.l.]: Springer, 2004. Citado na página 19.
- FUGIMOTO, S. K. *Estrutura de tarifas de energia elétrica: Análise crítica e proposições metodológicas*. 2010. Citado na página 15.
- GOOGLE. *All 101 announcements from Google I/O '17*. 2017. Disponível em: <https://www.blog.google/technology/developers/all-io17-announcements/>. Citado na página 25.
- JEMEROV, D.; ISAKOVA, S. *Kotlin in Action*. [S.l.]: Manning, 2016. Citado na página 25.
- KUNIKOWSKI, W. et al. An overview of atmega avr microcontrollers used in scientific research and industrial applications. 2015. Citado na página 21.
- MARTINS, M. P. de S. *Inovação Tecnológica e Eficiência Energética*. 1999. Citado na página 13.
- MINGUEZ, A. *Medidores de Energia Ativa: funcionamento, práticas usuais, principais Ensaios e análise das fraudes mais comuns*. 2007. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 18.
- PEREIRA, L. C. O. *Android para desenvolvedores*. [S.l.]: Brasport, 2009. Citado na página 25.
- PHOGAT, M.; ANAND, A. An introduction to wireless communication. 2014. Citado na página 23.
- PIETER. *A Beginner's Guide to the ESP8266*. 2017. Disponível em: <http://www.esploradores.com/wp-content/uploads/2018/04/A-Beginners-Guide-to-the-ESP8266-1.pdf>. Citado na página 23.
- PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. *Manual de Tarifação de Energia Elétrica*. 2011. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual%20de%20Tarif%20En%20EI%20-%20Procel_EPP%20-%20Agosto-2011.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 17.
- THEOHARIDOU, M.; MYLONAS, A.; GRITZALIS, D. A risk assessment method for smartphones. 2012. Citado na página 24.
- WANZELER, T.; FULBER, H.; MERLIN, B. Desenvolvimento de um sistema de automação residencial de baixo custo aliado ao conceito de internet das coisas. 2016. Citado na página 22.