

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC
CENTRO DE ENGENHARIA, MODELAGEM E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE INFORMAÇÃO**

WESLEY BOCHI ALBINO PIRES

**MEDIÇÃO INTELIGENTE DE POTÊNCIA ELÉTRICA CONECTADA A
UMA PLATAFORMA IOT VIA PLC IN HOME**

**SANTO ANDRÉ - SP
2019**

WESLEY BOCHI ALBINO PIRES

**MEDIÇÃO INTELIGENTE DE POTÊNCIA ELÉTRICA CONECTADA A
UMA PLATAFORMA IOT VIA PLC IN HOME**

Monografia apresentada como requisito para avaliação da disciplina Trabalho de Graduação III em Engenharia de Informação da Universidade Federal do ABC.

Orientador: Prof. Dr. João Henrique Kleinschmidt

SANTO ANDRÉ - SP

2019

RESUMO

A necessidade do consumo e geração de energia elétrica de maneira sustentável uniu o que há de melhor nos ramos de Energia e Telecomunicações para que o consumo de energia se tornasse cada vez mais responsável e consciente. O conceito de Redes Inteligentes (*Smart Grids*) junto ao emergir do IoT (*Internet of Things*) vem aproximando cada vez mais, consumidores, distribuidoras e geradoras de energia. Nesse contexto, este trabalho propõe o desenvolvimento de um medidor inteligente que possibilita o monitoramento do consumo de eletrodomésticos em uma plataforma IoT, onde os dados são visualizados de maneira clara ao usuário. Sensores foram responsáveis pela leitura dos dados, a medição de corrente foi feita através de um sensor de corrente não invasivo, já a de tensão foi obtida à partir de um módulo transformador e um divisor resistivo. Através desses sensores foram gerados sinais lidos pela entrada analógica do Arduino, e processados pelo mesmo sendo exibidos os valores finais de Potência e Tensão no LCD (*Liquid Crystal Display*), e enviados esses dados via rede elétrica (PLC - *Power Line Communication in home*) à plataforma *Cayenne*, onde foram geradas curvas de potência, tensão e corrente por tempo para quatro eletrodomésticos, durante as medições foi verificado que a leitura da tensão sofreu a interferência de ruídos emitidos pelo modem PLC trazendo uma pequena discrepância ao valor real. Ao final foi feita a soma da potência consumida dos quatro aparelhos no mesmo período de tempo e feito uma estimativa de consumo mensal.

Palavras-Chave: Smart Grid, Medidores Inteligentes, Internet of Things, Power Line Communication.

ABSTRACT

The necessity of sustainable generation and consumption of power energy joined what better existed in Electrotechnology and Telecommunications to become the consumption more responsible and conscious. The concept of Smart Grids and the development of the IoT (Internet of Things) have approximating consumers, power distributors and power generators. In this context, this paper proposes the development of one Smart Meter that allowed the monitoring of electric appliances' consumption where the dates can be showed in a easy way more understandable by the users. Sensors are the responsible for data reading , the measuring of current it is made for a non-invasive current sensor, to measure voltage was used a transformer module with a resistive divisor. During the measures of the voltage level was indentify the presence of noise emitted for the PLC modem, this noise cause a little discrepancy of the power final value. Using this sensor we can generate signals to be reading in analogue read by the Arduino, that processing this data and shows the final values of Power and Current on LCD (Liquid Crystal Display), and send this data via electrical wire (PLC- Power Line Communication *in home*) to Cayenne platform, where was generate a power graph per sample, of the four home appliances and at the end sum this four dates generating a single graph of the period and a estimative of one monthly consumption.

Keywords: Smart Grid, Smart Metering, Internet of Things, Power Line Communication

LISTA DE FIGURAS:

Figura 1: Níveis de tensão no sistema elétrico de potência.....	4
Figura 2: Modelo de transmissão elétrica convencional	5
Figura 3: Modelo de transmissão com amplo suporte em telecomunicações	6
Figura 4: Medidor analógico.....	7
Figura 5: Smart meter GLD.....	7
Figura 6: As quatro gerações dos medidores inteligentes.....	8
Figura 7: Consumo de energia por equipamento das cargas residenciais.....	9
Figura 8: Curva de demanda	10
Figura 9: Estrutura de acesso à rede PLC.....	12
Figura 10: Faixa de frequência de operação PLC.....	12
Figura 11: Espectro de frequência spread spectrum, OFDM e GMSK.....	13
Figura 12: Estrutura PLC in-Home	14
Figura 13: Aplicação PLC in Home	16
Figura 14: Objetos IoT conectados.....	19
Figura 15: Diagrama do medidor inteligente PLC.....	21
Figura 16: Principais placas de desenvolvimento da família arduino	22
Figura 17: Arduino Mega	23
Figura 18: Shield Ethernet	24
Figura 19: Sensor SCT-013.....	25
Figura 20: Circuito implementado para offset.....	28
Figura 21: Esquemático completo do medidor de corrente.....	29
Figura 22: Medição de tensão alternada através de conversores AC/AC	30
Figura 23: Ligação esquemática do módulo medidor de tensão ao arduino.....	31
Figura 24: Pinagem módulo LCD I2C.....	32
Figura 25: Esquemático completo da ligação do display LCD.....	32
Figura 26: Trilhas desenhadas para ligação do módulo I2C ao LCD.....	33
Figura 27: Módulo I2C ligado ao LCD.....	33
Figura 28: Modelo PLC utilizado para a medição inteligente.....	34
Figura 29: Adaptador TL-PA4010 KIT	35

Figura 30: Requisitos para autenticação de usuário plataforma Cayenne.....	37
Figura 31: Layout da página principal da plataforma IoT.....	38
Figura 32: Aspecto do gráfico gerado pela plataforma IoT.....	38
Figura 33: Dados do medidor e sua visualização na plataforma IoT.....	39
Figura 34: Dados do medidor e sua visualização via no excel.....	39
Figura 35: Interface de visualização do aplicativo para <i>Smartphone</i>	39
Figura 36: Interface de notificações do aplicativo para <i>Smartphone</i>	40
Figura 37: Medidor Inteligente PLC <i>in Home</i>	41
Figura 38: Sinal de entrada do medidor de tensão com o uso do modem PLC.....	45
Figura 39: Sinal de entrada do medidor de tensão sem o uso do modem PLC.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características sensor SCT-013-000.....	26
Tabela 2: Características do adaptador TL-PA4010 KIT.....	35
Tabela 3: Especificações técnicas do ventilador maxi power 30.....	41
Tabela 4: Especificações geladeira brastemp clean frost free 320 L.....	42
Tabela 5: Características técnicas da tv smart samsung.....	44
Tabela 6: Características técnicas ferro de passar arno.....	46

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Tensão RMS de um ventilador com o uso do modem.....	42
Gráfico 2: Tensão RMS Ventilador sem o uso do modem.....	43
Gráfico 3: Corrente RMS de um ventilador com o uso do modem.....	43
Gráfico 4: Corrente RMS ventilador sem o uso do modem PLC.....	43
Gráfico 5: Potência RMS de um ventilador com o uso do modem.....	44
Gráfico 6: Potência RMS Ventilador sem o uso do modem PLC.....	44
Gráfico 7: Tensão RMS geladeira Brastemp com o uso do modem PLC.....	46
Gráfico 7: Tensão RMS geladeira Brastemp com o uso do modem PLC.....	46
Gráfico 9: Corrente RMS Geladeira Brastemp como uso do modem PLC.....	47
Gráfico 10: Corrente RMS Geladeira Brastemp sem uso do modem PLC.....	48
Gráfico 11: Potência RMS Geladeira Brastemp com o uso do modem PLC.....	48
Gráfico 12: Potência RMS Geladeira Brastemp sem uso do modem PLC.....	49
Gráfico 13: Tensão RMS TV Smart Samsung com o uso do modem PLC.....	49
Gráfico 14: Corrente RMS TV Smart Samsung com o uso do modem PLC.....	49
Gráfico 15: Potência RMS TV Smart Samsung com o uso do modem PLC.....	49
Gráfico 16: Tensão RMS de um ferro de passar com o uso do modem PLC.....	49
Gráfico 17: Corrente RMS de um ferro de passar com o uso do modem PLC.....	50
Gráfico 18: Potência RMS de um ferro de passar com o uso do modem PLC.....	51
Gráfico 19: Potência RMS da curva dos aparelhos somados.....	51

LISTA DE SIGLAS

AC - *Alternating current*

ADC - *Analogic Digital Conversor*

ANEEL - Agência nacional de energia elétrica

EPE - Empresa de pesquisa energética

GD - Geração distribuída

GLD - Gerenciamento pelo lado da demanda

GMS- *Global System for Móbile Communications*

GMSK- *Gaussian Minimum Shift Keying*

Lora – *Long Range*

IoT - *Internet of the things*

IP- *Internet Protocol*

LCD - *Liquid Crystal Display*

MQTT - *Message Queue Telemetry Transport*

PLC - *Power Line Communication*

PROCEL- *Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica*

SCT- *Split-Core Current Transformer*

TCP- *Transmission Control Protocol*

UDP- *User Datagram Protocol*

OFDM- *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*

Wi-fi - *Wireless Fidelity*

I2C- *Inter-Integrated Circuit*

SDA-*Serial Data Line*

SCL - *Serial Clock Line*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVOS	3
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	3
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.2 ORGANIZAÇÃO TEXTUAL	3
2.1 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	4
2.2 SMART GRIDS	5
2.3 MEDIÇÃO DE POTÊNCIA ELÉTRICA	7
2.4 MEDIDORES INTELIGENTES	7
2.5 DESENVOLVIMENTO CENTRADO NOS CONSUMIDORES DE ENERGIA	9
2.6 CURVA DE DEMANDA DE CONSUMIDORES RESIDENCIAIS	10
2.7 POWER LINE COMMUNICATION	11
2.7.1 MODULAÇÕES EMPREGADAS NA COMUNICAÇÃO PLC.....	13
2.7.2 REDE PLC IN HOME.....	14
2.7.3 VANTAGENS DO USO DA PLC.....	15
2.7.4 DESVANTAGENS DO USO DA PLC.....	17
2.8 INTERNET OF THINGS	18
2.8.1 PROTOCOLO MQTT.....	20
3. MEDIDOR INTELIGENTE PLC	21
3.1 ARDUINO.....	22
3.1.1 ARDUINO MEGA.....	23
3.2 SENSORES.....	25
3.2.1 SENSOR DE CORRENTE.....	25
3.2.2 SENSOR DE TENSÃO.....	30
3.3 DISPLAY LCD.....	32
3.5 PLATAFORMA IoT CAYENNE.....	37
4. ANÁLISES E RESULTADOS	41
4.1 OBTENÇÃO DE DADOS DE UM VENTILADOR MONDIAL MAXI POWER 30.....	42
4.2 OBTENÇÃO DE DADOS DE UMA GELADEIRA BRASTEMP.....	46
4.3 OBTENÇÃO DE DADOS TV SMART SAMSUNG.....	48
4.4 OBTENÇÃO DE DADOS FERRO DE PASSAR ROUPA ARNO.....	50
5. CONCLUSÃO	53
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1. INTRODUÇÃO

A história da eletricidade e das telecomunicações envolve descobertas dos mais renomados cientistas da história. Os fenômenos elétricos começaram a ser observados num propósito mais intenso a partir do século XVIII, e à medida que essa ciência se desenvolvia ficavam cada vez mais evidentes as vantagens e facilidades que a energia elétrica proporciona nas atividades humanas.

A tecnologia mundial pode então crescer a passos largos com o uso da energia elétrica, tendo uma crescente notável pelos inventos de Nikola Tesla e Thomas Edison, que contribuíram para a concepção do setor elétrico como é visto na atualidade [1].

Alexander Graham Bell, outro notável inventor da época, se destacou por ser o primeiro a obter a patente do telefone em 1856, e popularizá-lo com a *Bell Telephone Company*, alavancando as telecomunicações. Fazendo uma breve comparação entre esses dois grandes eixos tecnológicos (energia e telecomunicações), que explodiram na segunda revolução industrial, é possível ver que o eixo das telecomunicações teve um desenvolvimento maior se comparado ao setor elétrico.

A evolução das telecomunicações deixou os consumidores mais exigentes, as tecnologias atuais permitem obtenção de informação, em tempo real trafegadas em canais de comunicação sem fio ou cabeados, obtidas a partir de sensores melhorando o monitoramento e controle de processos.

O termo *Smart Grid* surge então para se referir às redes de energia inteligentes, nas quais a distribuição e o gerenciamento de energia são feitos através de sistemas de comunicação, recursos de computação, sensores e transdutores unidos para otimização do controle, eficiência, confiabilidade e segurança da rede [2].

A *Smart Grid* vista de maneira mais próxima ao consumidor final tem como dispositivo principal o *Smart Meter* (medidor inteligente), que vem para substituir os tradicionais medidores eletromecânicos. A funcionalidade do medidor inteligente pode ser ampliada quando conectada a *Internet*, incorporando tecnologias de telecomunicações com *Wi-Fi*, *Lora* e o *PLC*. Assim, dados de consumo podem ser vistos de forma mais interativas através de plataformas que deixarão cada vez mais

próximos os consumidores e as distribuidoras de energia, além de trazerem dados concretos ao planejamento energético.

Essa conexão com a *Internet* tem possibilitado a implantação de ambientes onde todos os objetos podem ser identificados, localizados, endereçados, atuados, e realizar comunicação com centrais dotadas de inteligência, o que vem sendo chamado de *Internet of Things* (IoT) – ou Internet das Coisas. Essa tecnologia traz consigo uma possibilidade de ampliação dos serviços prestados e uma agilidade na implementação de serviços já existentes, em termos de manutenção, atendimento e planejamento. Possibilitando a interação entre concessionária e clientes por diversos canais como aplicativos em celulares e pela Web, saindo da tradicional conta impressa.

As nações desenvolvidas têm feito investimentos maciços em tecnologia *Smart Grid / IoT* tornando as informações adquiridas ferramentas precisas para o planejamento energético, e atuando, sobretudo como peça fundamental para integração da geração distribuída. Entretanto vale salientar que as iniciativas possuem alta variância mesmo em distribuidoras de um mesmo país como é o caso dos Estados Unidos, onde as distribuidoras são seccionadas por municípios e regiões sendo sujeitas as regulações estaduais [2].

No Brasil devido à grande extensão territorial e enorme variação cultural, não podemos simplesmente importar um modelo pré-estabelecido bem difundido no exterior, mas sim apoiar um desenvolvimento de uma *Smart Grid* nacional adaptando e tornando viáveis as diferentes necessidades dos estados e cidades [3].

Neste trabalho será abordado o desenvolvimento de um dispositivo capaz de obter dados de potência elétrica enviando os mesmos para a nuvem através de uma comunicação via *PLC in home*, tecnologia que permite utilizar a infraestrutura de transmissão de energia elétrica para também acesso à *Internet*, a uma plataforma IoT. Esses dados serão visualizados de maneira clara e acessível, gerando a informação necessária para que possam ser identificadas características de consumo e tornando o uso da energia mais responsável e econômico.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Estudar e analisar o uso de aplicações *Smart Grid*, *Smart Meter* e IoT através do desenvolvimento de um dispositivo capaz de coletar dados de consumo de eletricidade dos equipamentos de uma residência enviando esses dados para a nuvem através da própria rede elétrica via PLC *in home*.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Coletar dados de consumo de potência de equipamentos eletrodomésticos comuns à família brasileira (geladeira, ferro de passar, televisão, ventilador) com um sensor de corrente não invasivo.

Enviar dados os de consumo via PLC *in home* a plataforma *IoT Cayenne*, onde o consumo poderá ser monitorado em tempo real e o usuário terá acesso no *dashboard* à tensão elétrica, corrente elétrica, obtendo também os dados de potência consumidos no período selecionado minutos e hora.

1.2 ORGANIZAÇÃO TEXTUAL

O restante do texto está organizado da seguinte forma: o capítulo 2 trata dos conceitos macros que mostram a contextualização do trabalho trazendo definições de Smart Grids, Medição Elétrica, IoT e do PLC.

O capítulo 3 traz o desenvolvimento do projeto do medidor, os equipamentos e sensores utilizados, bem como as características técnicas e calibração de cada um.

No capítulo 4 foi feita uma análise das medições obtidas à partir do projeto em 4 eletrodomésticos comum a família brasileira.

Por fim no capítulo 5 traz as principais conclusões obtidas no trabalho bem como sugestões de projetos complementares e suplementares a este.

2.1 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

O Brasil apresenta uma das matrizes energéticas mais diversificadas do mundo, sendo destaque também pelo uso de energias renováveis. A maior parte da energia elétrica gerada no Brasil é proveniente de usinas hidrelétricas, que geram tensão na faixa de 12 a 25 KV a uma frequência de 60HZ.

A tensão de saída dos geradores é ampliada por meio dos transformadores elevadores para viabilizar as transmissões à médias e longas distâncias, diminuindo-se desta forma, a corrente elétrica e, portanto, possibilitando o uso de cabos condutores de bitolas razoáveis, com adequados níveis de perdas joule e de queda de tensão ao longo das linhas de transmissão [3].

Na Figura 1, podem ser observados os níveis de tensão que cada etapa do sistema de geração, transmissão e distribuição trabalham:

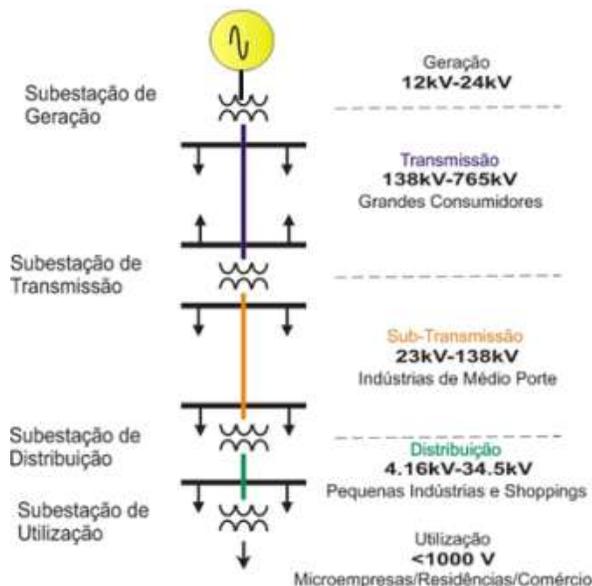


Figura 1: Níveis de tensão no sistema elétrico de potência [4].

Ao tratarmos de instalações residenciais no Brasil o nível mais comum utilizado pelos consumidores de energia é 127V e o 220V.

2.2 SMART GRIDS

As preocupações internacionais sobre a preservação do meio ambiente têm se intensificado cada vez mais nas últimas décadas. De fato, quando pensamos em políticas de preservação do meio ambiente a discussão do consumo eficiente de eletricidade de ser sempre pautada. Esses fatos levaram vários países a buscar uma mudança em suas políticas de consumo. A ideia mais ampla por trás da geração e consumo eficientemente de energia é chamada de *Smart Grid* [5].

Smart Grid é o termo usado para descrever a integração dos elementos de rede elétrica e de telecomunicações, trazendo qualidade na energia tanto para os geradores, distribuidores como para os consumidores de eletricidade [6].

É esperado que uma rede inteligente seja capaz de comutar toda a oferta de energia através da rede de distribuição, através das mais diversas fontes sejam elas renováveis ou não renováveis. O gerenciamento da demanda de energia é obtido através de ferramentas de comunicação integrando os dados dos diferentes consumidores em uma plataforma com a geração de um grande banco de dados.

Logo, podemos perceber que a inteligência da rede estará na capacidade de comunicação dos mais diversos dispositivos ligados a ela, sendo obtidos através destas comunicações importantes dados que facilitarão a tomada de decisão quanto ao tipo de energia utilizar, que consumidores priorizar, melhora no restabelecimento do sistema e o mais importante a realização de um planejamento energético mais consistente priorizando as áreas mais carentes de investimento.

Na Figura 2, podemos observar o modelo elétrico mais difundido desprovido de inteligência uma vez que não possui objetos conectados à uma rede comunicação capaz de tomar decisões que impliquem a melhor gestão da rede elétrica [18].

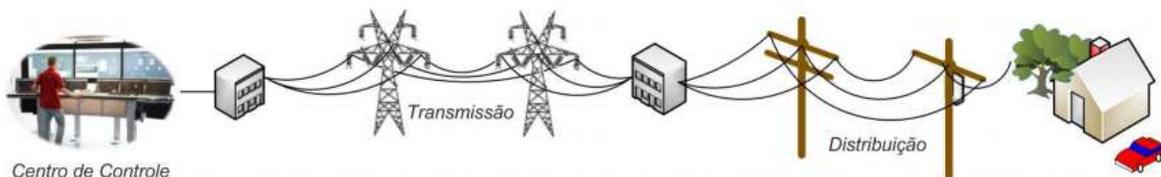


Figura 2: Modelo de transmissão elétrica convencional [18]

O modelo proposto pelas tecnologias *Smart Grid* pode ser mais bem entendido ao observarmos a Figura 3, onde dispositivos inteligentes coletam informações e as usam por meios de canais de comunicação, de forma a se obter um melhor desempenho da rede elétrica [18].

O centro de controle é o responsável pelo gerenciamento do fornecimento de energia e aquisição dos dados de consumo, podendo também controlar abertura e fechamento de chaves seccionadoras e disjuntores de maneira remota e inteligente.

A energia é transmitida pelas linhas em alta tensão sendo rebaixada a níveis de distribuição, os dispositivos desta etapa em sua maioria disjuntores e chaves, são automatizadas podendo ser acionados remotamente ou sobre condições pré estabelecidas.

Finalmente a energia chega ao consumidor em sua casa, que na concepção das *Smart Grids* tem papel ativo gerando e aplicando na rede energia produzida de maneira renovável, como em painéis solares. Dados de consumo são gerados através dos medidores inteligentes e são partes ativas de um planejamento energético eficiente na concepção *Smart Grid*.

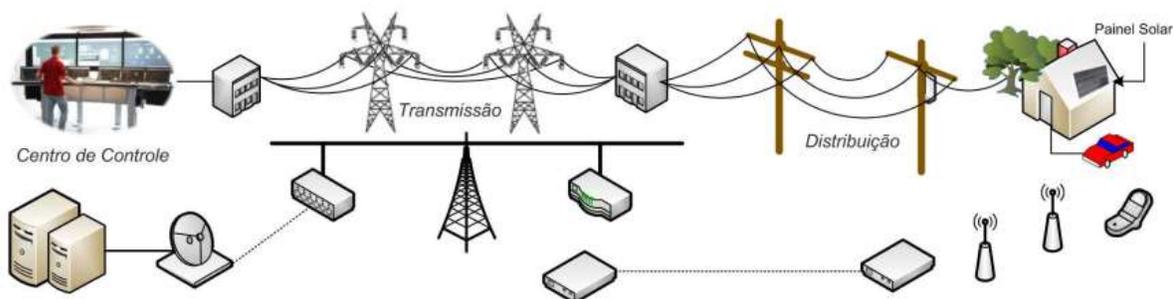


Figura 3: Modelo de transmissão com amplo suporte em telecomunicações [18].

2.3 MEDIÇÃO DE POTÊNCIA ELÉTRICA

Atualmente no mercado de medidores de potência elétrica temos duas principais vertentes: os medidores analógicos e eletrônicos. Os mais arcaicos medidores conhecidos por sua robustez são os analógicos que tem mais de 100 anos de uso. Medidores eletrônicos por sua vez são os mais atuais e cada vez mais trazem inovações, como diferentes possibilidades de comunicação.

As versões mais atuais possibilitam a troca de informações de consumo com a central de medição ou até mesmo, realizar o desligamento remoto da energia, os medidores inteligentes.

Na Figura 4, podemos visualizar o medidor elétrico mais comum nas casas brasileiras, no qual ainda é necessária a passagem de um colaborador da concessionária de energia para realização da leitura. Já na Figura 5, um medidor mais atual dotado de inteligência via conexão com a rede o medidor inteligente GLD (Gerenciamento pelo lado da Demanda). As ações de GLD mais comuns são limitadores de corrente, incentivos para mudança de horários de utilização de equipamentos elétricos (alocação dinâmica).



Figura 4: Medidor Convencional



Figura 5: Medidor inteligente GLD

2.4 MEDIDORES INTELIGENTES

Um medidor inteligente nada mais é do que um aparelho eletrônico que faz a leitura do consumo de energia elétrica (kWh) comunicando para a empresa responsável pelo fornecimento e taxaço, sem a necessidade de atuação humana direta. Em geral essa leitura pode ser feita de hora em hora ou diariamente. Atualmente esses medidores funcionam de maneira bidirecional entre medidor consumidor e central.

Na escala evolutiva dos medidores inteligentes podemos citar quatro principais gerações conforme Figura 6:

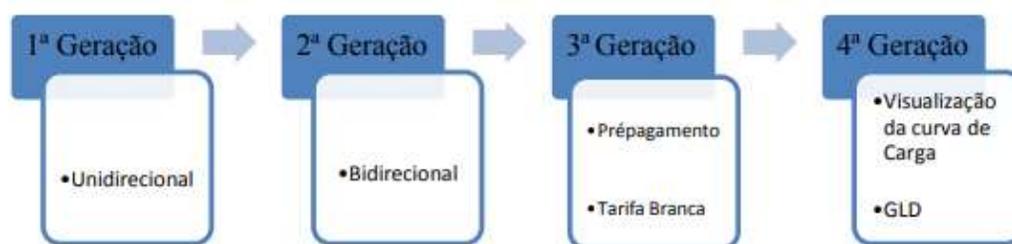


Figura 6: As quatro gerações dos medidores inteligentes [3].

A primeira geração de medidores inteligentes funcionava de maneira unidirecional permitindo apenas a verificação do consumo do usuário. A segunda geração permite a troca de informação de maneira bidirecional, sendo possível verificar o consumo e a produção de energia feita lado cliente. Já a terceira geração permite a discriminação do consumo em tarifas especiais para horários de menor demanda incentivando o consumo no horário em que a rede estiver menos sobrecarregada além de permitir o pré-pagamento, ou seja, o usuário determinava a quantia que gostaria de pagar e quando o valor chegava ao valor pré-estabelecido a fornecimento era interrompido. Por fim a quarta e mais moderna geração permite a visualização da curva de carga além do gerenciamento pelo lado da demanda [3].

2.5 DESENVOLVIMENTO CENTRADO NOS CONSUMIDORES DE ENERGIA

O consumidor de energia é qualquer pessoa física ou jurídica, que solicita à distribuidora ou à comercializadora o fornecimento de energia elétrica assumindo a responsabilidade pelo pagamento das faturas e pelas demais obrigações fixadas em normas e regulamentos da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), assim vinculando-se aos contratos de fornecimento, de conexão, de uso ou de adesão, conforme cada caso [4].

Nos sistemas de distribuição de energia podem-se encontrar muitos tipos de conexões: trifásicas, bifásicas ou monofásicas. Os tipos de carga que comumente se encontram são: residenciais, comerciais, industriais, rurais, iluminação pública e serviço público cada uma com sua peculiaridade.

De acordo com o Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2013, apresentado pela Empresa de Pesquisa de Energia – EPE, o setor residencial responde por 26,3% do consumo de energia elétrica no país. Os aparelhos com maior consumo de energia no setor residencial do Brasil são chuveiros, geladeiras e ares-condicionados, conforme mostrado o gráfico obtido pela pesquisa da PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), representado na Figura 7.

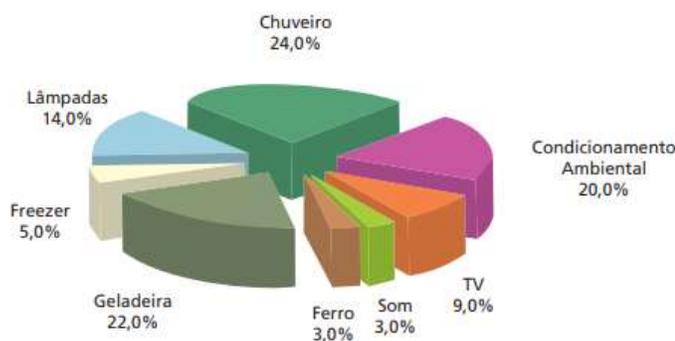


Figura 7: Consumo de energia por equipamento das cargas residenciais [9]

O desenvolvimento centrado no consumidor traz uma otimização da gestão de consumo pelo lado da demanda através de incentivos aos clientes, interrupções de cargas crítica nas unidades consumidoras, para melhor aproveitamento dos recursos.

2.6 CURVA DE DEMANDA DE CONSUMIDORES RESIDENCIAIS

O conhecimento da curva da demanda de consumidores residenciais é importante para o dimensionamento das redes de distribuição, e principalmente para escolha de equipamentos como, por exemplo, os transformadores de distribuição.

A curva de demanda mostra o consumo de um usuário ao longo do dia, evidenciando os picos de consumo, sendo uma ferramenta importante para o planejamento do setor elétrico.

O planejamento de sistemas de distribuição de energia elétrica é o processo de estudo e análise em que uma concessionária de energia realiza para garantir que sua rede será confiável e viável, de acordo com suas funções de entrega de energia nos pontos de consumo. Os sistemas necessitam de ferramentas rápidas e econômicas de planejamento para avaliar as consequências que uma mudança acarreta ao resto do sistema [7].

Na Figura 8, podemos visualizar a característica de uma curva de demanda, sendo distribuído o consumo em quilowatt pelo tempo, que varia conforme a duração de um dia, ou seja, de 0 a 24 horas. Da posse da curva instantânea podemos então traçar uma curva de demanda média.

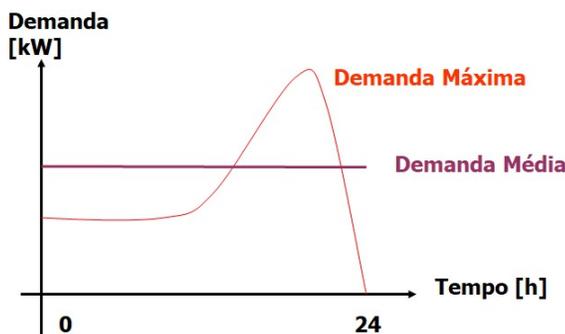


Figura 8: Curva de demanda [22].

A partir de curvas para usuários individualizados pode-se estimar então a demanda de uma rua, um bairro e até a demanda de uma cidade, o que se torna uma ferramenta muito eficaz no auxílio do planejamento energético.

2.7 POWER LINE COMMUNICATION

PLC pode ser definida como o tráfego de dados em linhas até então projetadas para uso de fornecimento de energia elétrica, usando a infraestrutura já montada para o setor elétrico para a transferência de dados. Embora o tema seja muito atual, a PLC tem sido utilizada desde o início do século XX pelas empresas de energia elétrica para suportar serviços de telecomunicações em usos internos como telemedição, alarmes e telecomandos. As aplicações iniciais trabalhavam sobre as linhas de energia entre frequências de 3kHz à 148,5 kHz [8].

Atualmente é possível a transmissão de dados em banda larga, onde são utilizadas frequências mais altas, entre 1,6 MHz e 30 MHz, essa tecnologia de banda larga também é denominada BPL (*Broadband Power Line*) [19].

Essa tecnologia de banda larga vinculada a empresas de fornecimento de energia tende a introduzir uma série de melhorias na gerência da rede e no comportamento dos consumidores, sendo a medição remota do consumo a mais evidente de todas.

Podemos caracterizar a rede PLC em duas principais vertentes:

- PLC *In-home* : usada para prover dados nas instalações elétricas internas de casas, apartamentos e prédios comerciais [8].
- PLC *Outdoor* : usada para prover a troca de dados entre a Estação Base e os medidores elétricos [8].

Na Figura 9, podemos observar a rede de telecomunicações principal (*Backbone*) conectada junto a estação base provendo a troca de dados configurando o PLC *Outdoor* , bem como a configuração PLC *In-Home* que a partir de outro meio de comunicação fibra, satélite, ou par trançado, provê dados em qualquer tomada.

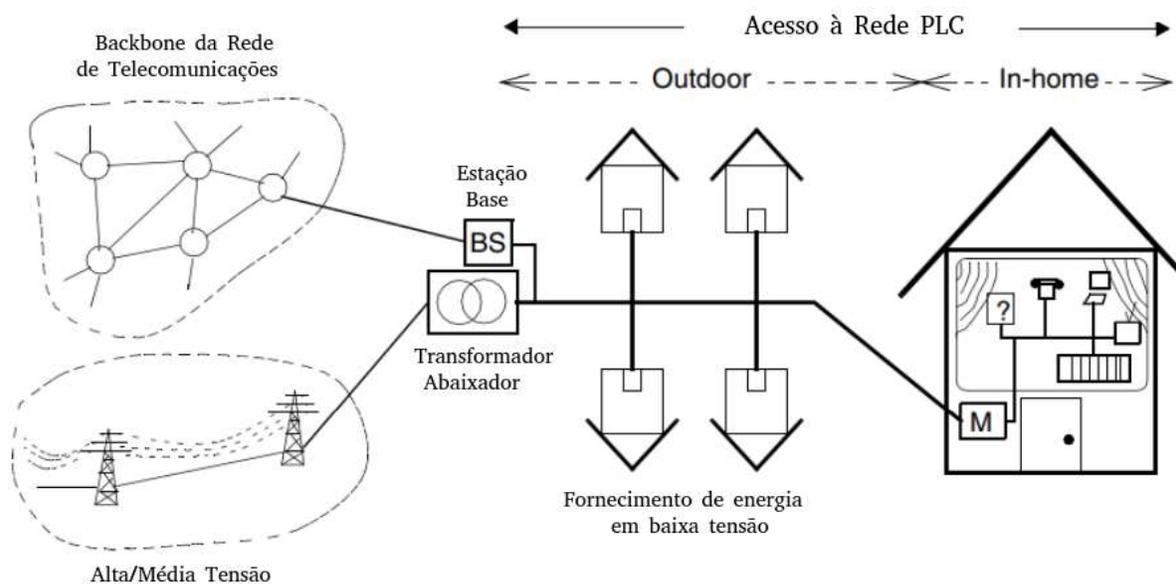


Figura 9: Estrutura de acesso à rede PLC [8].

Cada tecnologia trabalha em uma faixa de frequência característica, no geral as faixas entre 2.4 MHz e 10.8 MHz são utilizadas para transmissão *Outdoor*, para comunicações entre extrator de subestação, modems próximos ao extrator e Repetidores, já a segunda faixa utilizada para a tecnologia *In-Home* é compreendida entre 19.8 MHz e 24.6 MHz, tendo aplicações domésticas para comunicação entre repetidores e modems como pode ser observado na Figura 10:

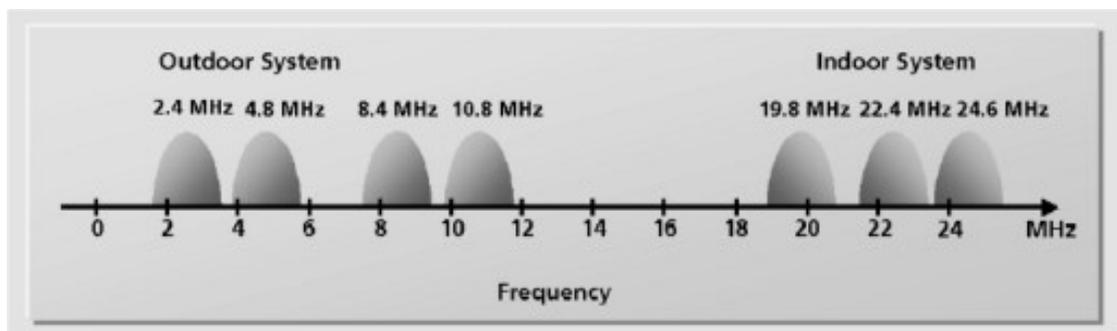


Figura 10: Faixa de Frequência de Operação PLC [17].

2.7.1 MODULAÇÕES EMPREGADAS NA COMUNICAÇÃO PLC

As modulações comumente utilizadas na tecnologia PLC são a *Spread Spectrum*, OFDM e GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*). Na Figura 11 podemos visualizar o espectro característico de cada uma delas.

A técnica de modulação *Spread Spectrum*, ou espectro de propagação, é amplamente utilizada em aplicações militares. Fornece uma densidade espectral baixa espalhando a potência do sinal sobre uma larga faixa de frequência [24].

Na modulação OFDM, do português, multiplexação por divisão de frequência ortogonal, consiste em um grande número de portadoras estreitas distribuídas, lado a lado [19].

A Modulação GMSK é o mesmo método de modulação utilizado na modulação GSM (*Global System for Mobile Communications*). O GMSK é um tipo especial de modulação de faixa estreita que transmite os dados na fase da portadora, resultando um sinal de envelope constante. O GMSK tem um formato de espectro do tipo Gaussiano, dando origem do seu nome [24].

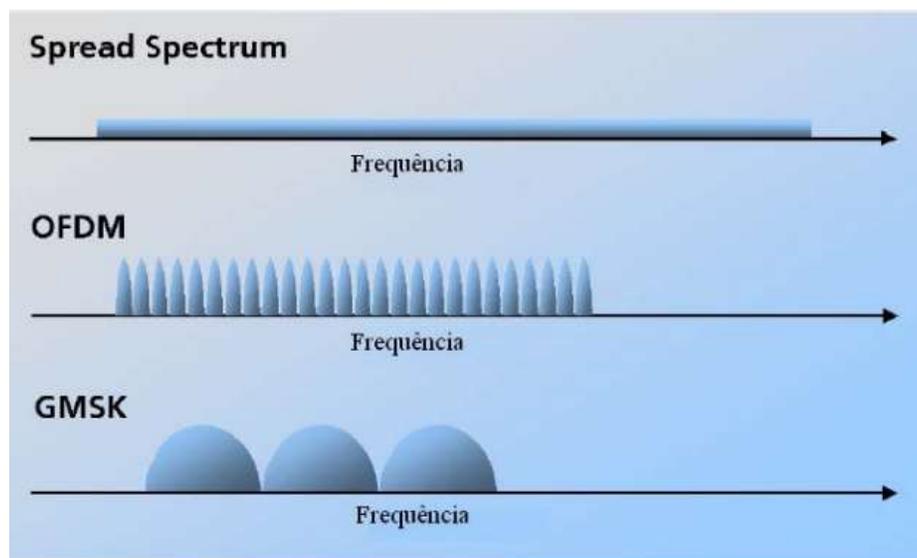


Figura 11: Espectro de frequência Spread Spectrum, OFDM e GMSK [17].

2.7.2 REDE PLC IN HOME

Uma rede *PLC In-home* pode ser caracterizada de três maneiras:

- Extensão de uma transmissão PLC de média tensão para baixa tensão, sendo esta puramente PLC.
- Uma rede PLC doméstica é conectada através de um gateway a uma rede de acesso, pode ser realizado não apenas por um sistema PLC, mas também por qualquer outra tecnologia de acesso .
- Uma rede PLC doméstica existe como um sistema independente, sendo extensão de outras técnicas de transmissão de dados.

Na Figura 12, podemos observar o esquema *PLC In-home* e suas variações seja puramente PLC, conexão via gateway ou PLC com outra comunicação como, por exemplo, fibra óptica, servindo de extensor.

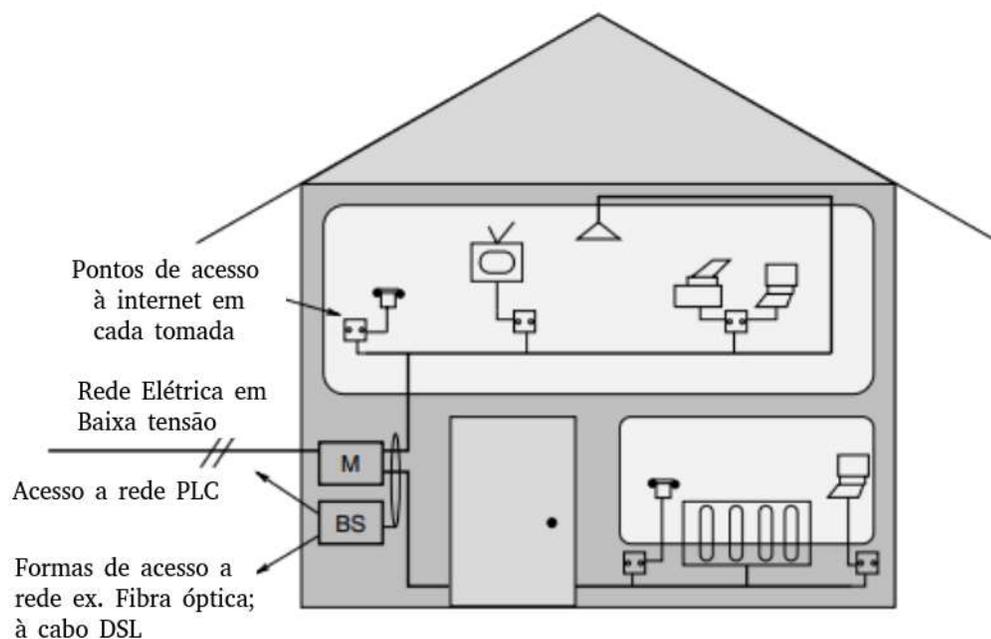


Figura 12: Estrutura PLC in-Home [8]

2.7.3 VANTAGENS DO USO DA PLC

Abaixo são listadas algumas das vantagens do uso da PLC:

- **Infraestrutura instalada:** A tecnologia PLC conta com a utilização do sistema elétrico já instalado para a comunicação de rede, o que viabiliza o projeto quando o quesito é custo de implantação. Casos peculiares, como construções tombadas pelo patrimônio histórico, onde projetos de rede lógica interna podem se tornar muito caros ou até mesmo inviáveis, como no geral essas construções já possuem alguma infraestrutura elétrica instalada a implementação da rede PLC vem trazer facilidade para esses projetos. Prédios onde a atividade exercida dificulte a reforma e instalação de novo cabeamento, como hospitais, onde uma reforma gera um grande impacto devido, dentre outras coisas, às normas rígidas de limpeza e a interrupção do atendimento [23].
- **Custo compartilhado:** a utilização do mesmo meio físico para distribuição de energia elétrica e transmissão de dados torna o custo desses projetos menores, dependendo do porte e quantidade de pontos de comunicação de dados necessários [23].
- **Redes domésticas com novas aplicações:** a evolução tecnológica tem tornado produtos e equipamentos utilizados em residências cada vez mais sofisticados e automatizados. Há um mercado em crescimento, que visa à automatização de tarefas domésticas, onde é possível controlar aparelhos domésticos, através de comunicação via rede de dados, esse mercado é parte do conceito das *Smart Homes* [23].

A utilização do PLC pode tornar a evolução desse mercado mais rápida e viável, sendo possível a utilização desses aparelhos em qualquer tomada elétrica disponível, não necessitando de reformas ou instalação específicas para cada produto.

Na Figura 13 podemos ver uma típica *Smart Home* com eletrodomésticos conectados à rede realizando suas tarefas de forma cada vez mais otimizada e automatizada.

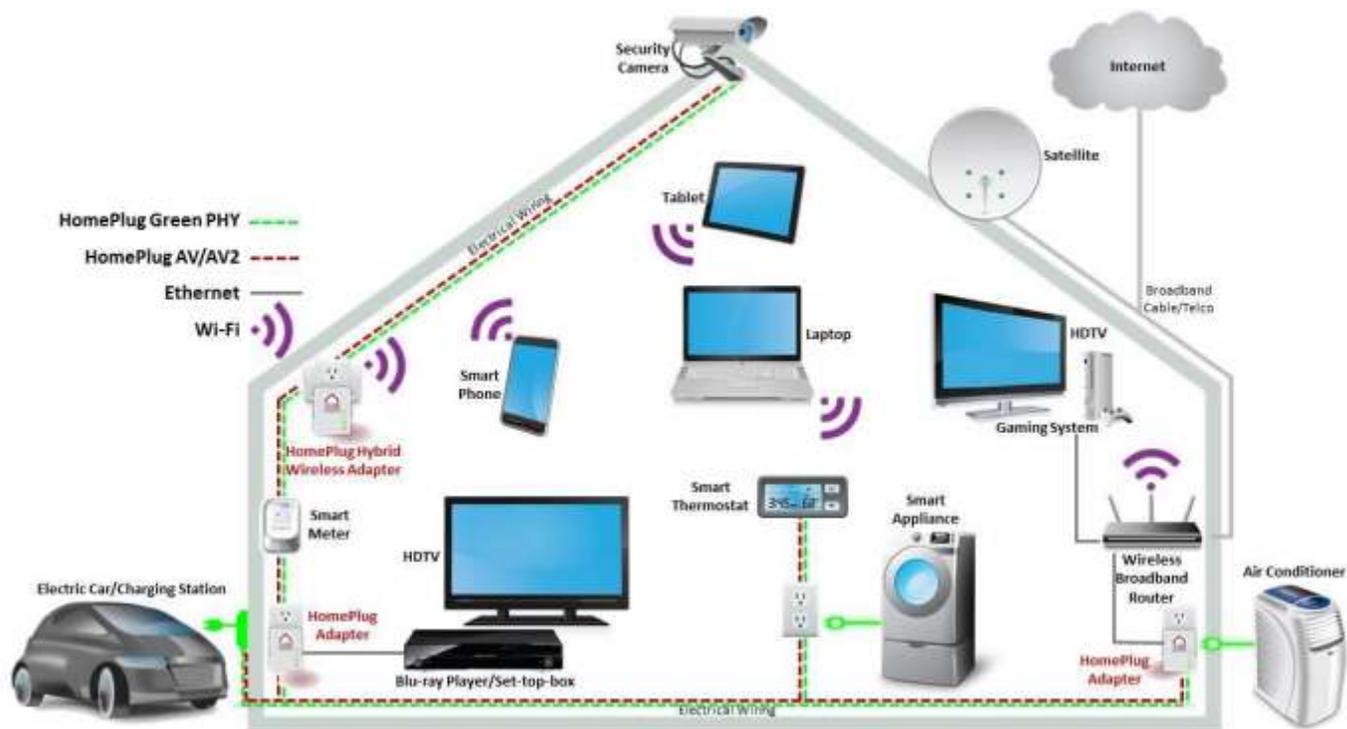


Figura 13: Aplicação PLC in Home [8]

2.7.4 DESVANTAGENS DO USO DA PLC

- **Limitações:** com o objetivo de garantir certa qualidade na prestação do serviço, foi estabelecido um número máximo em termos de equipamentos numa mesma rede PLC. Para cada célula da rede, compreendendo a instalação de um *Master*, é possível colocar até duzentos e cinquenta e quatro modems [10].
- **Atenuação:** as altas frequências a distância percorrida acarreta em atenuação. Descontinuidades ao longo da fiação elétrica, como: tomadas, interruptores e emendas feitas nos fios, também acabam por evidenciar esse problema. Equipamentos conectados nas tomadas também contribuem para isso, a diferença de impedância entre esses aparelhos, resultado de filtros capacitivos nos próprios equipamentos que impõem limites para sinais com frequência baixa, causa uma perda do sinal, que acaba sendo refletido [10].
- **Ruído:** a interferência causada por aparelhos eletroeletrônicos insere ruídos no canal de transmissão, reduzindo a qualidade da transferência de dados. Essas interferências são denominadas de ruídos impulsivos e podem ser classificadas em: impulso síncrono, impulso tonal de interferência não intencional, impulso tonal de interferência intencional, impulso de alta frequência e impulso de apenas uma ocorrência [10].

2.8 INTERNET OF THINGS

Kevin Ashton refletiu sobre a possibilidade de computadores terem o conhecimento de tudo o que fosse possível saber sobre o ambiente ao seu redor sem necessitar do auxílio e da intervenção dos usuários, nessa ocasião foi citado pela primeira vez o termo Internet das Coisas. Dessa forma, segundo o autor, seria possível reduzir perdas, custos e desperdícios. Também foi imaginada a necessidade de potencializar os computadores, de forma que eles pudessem ver, ouvir, cheirar e compreender o mundo por si mesmos [11].

O conceito de IoT carrega intrínseco a si a ideia de conexão entre o mundo físico e o digital, na qual todos os dispositivos estão interligados à *Internet*, automatizando tarefas cotidianas que vão das mais corriqueiras às mais complexas. Dessa forma, os objetos teriam a capacidade de comunicarem entre si, trocar informações, usar e fornecer serviços, além de reagir a eventos de modo inteligente e sensorial [12].

De acordo com esse contexto no qual a realidade se torna um ecossistema de informações, as máquinas dependem cada vez menos da intervenção humana para fazer gestão de informações e tomada de decisões, tornando-se agentes ativos em áreas distintas - destacam-se, por exemplo, em cidades inteligentes que são inteiramente projetadas para funcionarem de forma interconectada e automatizada e no uso de nano chips em seres vivos, mapeando biofunções [13].

Nos últimos anos tornou-se comum usar a Internet também conectar “coisas”. Essas “coisas” podem ser máquinas, dispositivos eletrônicos, sensores entre vários outros tipos de objetos comumente utilizados em nosso cotidiano, mas que até então desprovidos de inteligência artificial. O termo IoT foi proposto por Kevin Ashton, em 1999 [14].

A Figura 14 retrata esse fenômeno atual onde temos eletrodomésticos como máquinas de lavar, torradeiras, televisão, controle de iluminação, conectados à *Internet*, trocando informações e tomando ações conforme condições obtidas por sensores ou dados de controle exibindo as atividades de maneira interativa e confortável aos usuários.



Figura 14: Objetos IoT conectados[15].

Em médio prazo, a tendência é que a indústria foque o desenvolvimento de IoT na área de Cidades Inteligentes (*Smart Cities*), principalmente em *Smart Grids*, Construções Inteligentes (*Smart Buildings*) e Casas Inteligentes (*Smart Homes*) [15].

2.8.1 PROTOCOLO MQTT

A conexão com a *Internet* é um requisito para dispositivos IoT, ela permite que os dispositivos trabalhem entre si e com serviços de *backend*. O MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*) tornou-se o padrão para comunicações de IoT. O MQTT é um protocolo de ligação que especifica como os bytes de dados são organizados e transmitidos pela rede TCP/IP. O *broker* é o responsável por receber todas as mensagens e filtrá-las, direcionando cada mensagem ao seu destinatário enviando suas respectivas respostas [25].

Primeiro, o cliente conecta-se ao *broker* enviando uma mensagem CONNECT. A mensagem CONNECT pede para estabelecer uma conexão do cliente com o *broker* essa conexão:

- clientID: onde é feita a identificação do cliente
- Username: nome do usuário
- Password: é feita a autenticação de acesso do usuário

Uma vez autenticada a conexão, a troca de mensagens entre broker e dispositivo ocorre no padrão PUBLISH e SUBSCRIBE, assim um dispositivo inteligente pode acessar a *Internet* mais especificamente no broker e realizar o envio de dados de um sensor ou até mesmo executar uma ação dado o valor enviado por outro dispositivo.

3. MEDIDOR INTELIGENTE PLC

Para realizar a leitura da potência elétrica foi utilizado o Arduino, a leitura da corrente elétrica é realizada através de um sensor de corrente, que deve ser envolvido ao condutor de entrada do dispositivo a ser aferido. Uma vez conectado ao sistema, o sensor realiza a leitura da corrente elétrica que circula no circuito e envia esse dado a uma variável. A tensão de entrada é obtida através de um sensor de tensão e armazenada em outra variável, ao multiplicarmos essas variáveis obtemos a potência elétrica do equipamento.

Após a obtenção da Potência os dados obtidos são enviados a plataforma IoT usando como meio de transmissão à própria rede elétrica e os dados de potência e tensão são exibidos no display LCD. Na plataforma, é possível fazer o gerenciamento do consumo com as curvas de cargas Potência x Tempo, podendo ser monitoradas em tempo real. Toda esquematização do medidor pode ser conferida no diagrama da Figura 15.

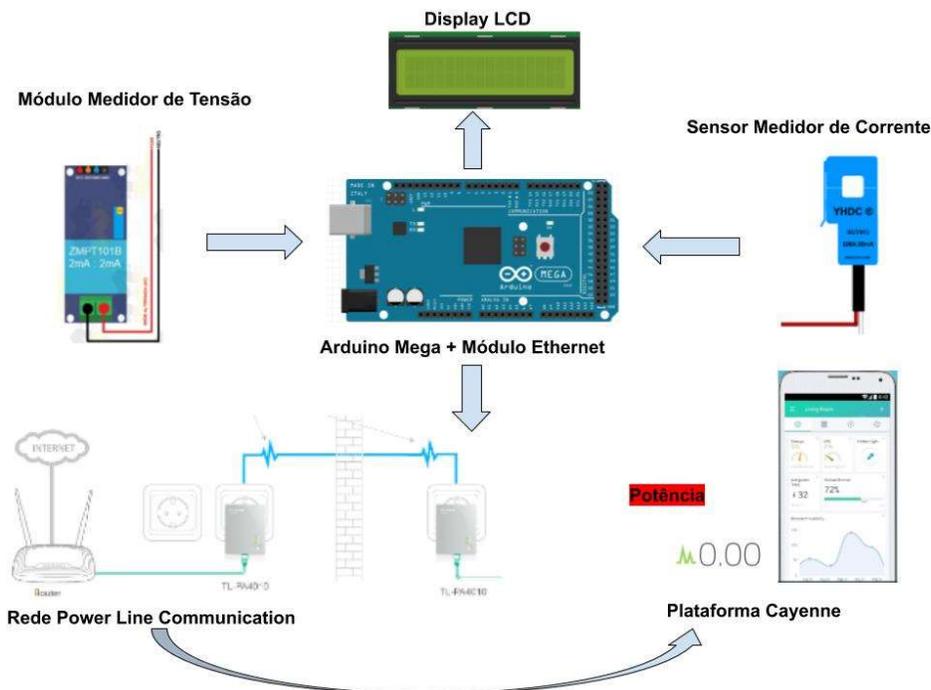


Figura 15: Diagrama do medidor inteligente PLC

3.1 ARDUINO

O Arduino é uma plataforma de *hardware open source* [16], de fácil utilização sendo muito requisitada na criação de sistemas que permitam interação com o ambiente, através de sensores.

A plataforma utiliza-se de uma camada simples de *software* implementada na placa, que é um *bootloader*, um programa que entra em ação sempre que iniciamos nosso dispositivo, ativando o sistema. Sua interface é de fácil utilização no computador usando a linguagem *processing*, baseada na linguagem C/C++.

Por trabalhar com o *bootloader* é dispensado o uso de programadores para o chip e não são exigidos o uso compiladores ou hardware adicional. São disponibilizadas bibliotecas que permitem o interfaceamento com outros *hardwares*, permitindo o completo desenvolvimento de aplicações simples ou complexas em qualquer área [16].

Na figura 16 podemos visualizar algumas placas da família Arduino que se diferenciam por chip, memória e número de entradas e saídas.



Figura 16: Principais placas de desenvolvimento da família Arduino [16].

3.1.1 ARDUINO MEGA

Para implementação do projeto foi utilizado a placa Arduino Mega 2560 que é uma placa da plataforma Arduino que possui recursos bem interessantes para implementação de projetos mais elaborados.

Baseada no microcontrolador ATMEGA2560, possui 54 pinos de entradas e saídas digitais onde 15 destes podem ser utilizados como saídas PWM (Pulse Width Modulation) . Possui 16 entradas analógicas, 4 portas de comunicação serial. Além da quantidade de pinos, ela conta com maior quantidade de memória que os modelos anteriores, sendo uma ótima opção para projetos que necessitem de uso de uma maior quantidade de memória [16].

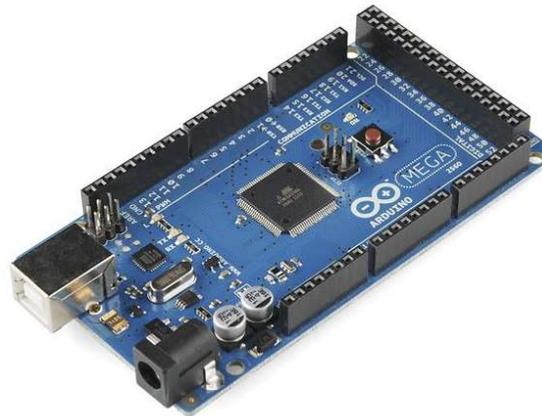


Figura 17: Arduino Mega [16].

O Arduino trabalha com dados digitais, portanto quando necessitamos trabalhar com dados analógicos é necessário realizar sua conversão para um valor digital. Para tal tarefa é realizada pelo conversor analógico digital, ADC ou conversor A/D.

3.1.2 SHIELD ETHERNET ARDUINO

Para conexão do nosso dispositivo de medição à rede foi utilizado a *Shield Ethernet*. O chip *Wiznet W5100* fornece acesso à rede através do *Transmission Control Protocol (TCP)*/ *Internet Protocol(IP)* e do *User Datagram Protocol (UDP)*, sendo necessários apenas comando de acessos para disponibilização da aplicação.



Figura 18: Shield Ethernet [16].

3.2 SENSORES

3.2.1 SENSOR DE CORRENTE

O sensor de corrente SCT-013 (*Split-Core Current Transformer*) é muito utilizado para medição de corrente em circuitos com o auxílio do Arduino pelo fato de não ser necessário realizar a abertura do circuito para medir a corrente elétrica alternada, ou seja, para realizar a medição basta apenas envolver um dos cabos ligados ao equipamento a ser monitorado.



Figura 19: Sensor SCT-013

O transformador de corrente de núcleo dividido possui uma bobina interna em sua estrutura, para fazer a medição este sensor utiliza as propriedades magnéticas da corrente elétrica. A lei de Ampere enuncia que um condutor percorrido por uma corrente induz a formação de um campo magnético ao seu redor de valor proporcional à corrente. A corrente alternada variando ao longo do tempo gera um campo magnético também variante. Esse campo magnético variante no tempo induz numa espira uma tensão, e por consequência uma corrente elétrica, proporcional à intensidade do campo magnético, assim através da leitura dessa tensão podemos mensurar o valor exato da corrente

A família de sensores SCT possui diversos modelos que variam pela corrente máxima de medição e o perfil da saída do sensor corrente ou tensão. A Tabela 1 evidencia as especificações do modelo utilizado em nosso projeto o SCT-013-000:

Tabela 1: Características Sensor SCT-013-000

Modelo	SCT- 013-000
Corrente de Entrada	0-100 A
Corrente de Saída	0-50mA

Assim podemos calcular qual será a corrente saída a cada ampere dividindo o valor máximo da corrente de saída pela máxima corrente adquirida do sensor:

$$\frac{0,05}{100} = 0,5mA \quad (1)$$

Ou seja, a cada um Ampere a saída aplicará uma corrente de 0,5 mA.

Uma vez que a entrada analógica do Arduino só lê valores de tensão, para realizar a medição da corrente foi montado um circuito auxiliar, fazendo com que a corrente percorra um resistor, gerado uma diferença de potencial e assim possamos converter os valores de corrente gerados pelo sensor em valores de tensão.

O sensor é calibrado para medir a corrente alternada máxima de 100A AC. Esse valor de 100A é o valor RMS (*Root Mean Square*), que corresponde ao máximo valor que a corrente pode alcançar (corrente de pico) dividido pela raiz quadrada de dois.

Assim, foi calculada a maior medida eficaz:

$$i(mx) = \sqrt{2} * i(rms) = 1,414 * 100A = 141,4A \quad (2)$$

Sabendo que para uma corrente de 100A no primário, ele produz 50mA no secundário, é só jogarmos na fórmula de relação de transformação::

$$\frac{N1}{N2} = \frac{I2}{I1} \quad (3)$$

- I_1 = corrente no primário (medido);
- I_2 = corrente no secundário;
- N_1 = número de voltas do primário (no caso deste sensor, N_1 será igual a 1);
- N_2 = número de voltas do secundário.

$$N_2 = 2000 \text{ espiras}$$

A corrente na saída do sensor é inversamente proporcional ao número de voltas:

$$i(\text{sensor}) = \frac{i(\text{medido})}{\text{Num. espiras}} = \frac{141,4A}{2000} = 0,0707A \quad (4)$$

A leitura de referência da entrada analógica do Arduino varia de 0 a 5 V, dessa forma como estamos trabalhando com corrente alternada é interessante parametrizar o 0 V na metade de nossa escala de trabalho assim quando a corrente for 0A a entrada analógica do Arduino deve receber uma tensão de 2,5 V. De posse do valor $i(\text{sensor})$ pode-se dimensionar a transformação dessa corrente em tensão para que o Arduino possa realizar a conversão dos valores medidos através de um resistor denominado R (Carga):

$$R(\text{carga}) = \frac{U(\text{sensor})}{I(\text{sensor})} = \frac{2,5V}{0,0707A} = 35,4 \text{ ohms} \quad (5)$$

Como não existe valor comercial para a resistência de carga calculada, foi utilizado no projeto o valor comercial mais próximo de 33 ohms. Fazendo a corrente do SCT-013 passar pelo resistor de 33 ohms temos um sinal de tensão alternada variando entre 2,5V positivo e 2,5V negativo.

Entretanto, o Arduino não pode medir tensão negativa, então precisamos somar 2,5 V ao sinal para que ele varie entre 0V a 5V. Para isso realizaremos um *offset* através de um divisor de tensão e um capacitor, para isso basta utilizarmos dois resistores R_1 e R_2 , de mesmo valor 10K ohms, como na Figura 20:

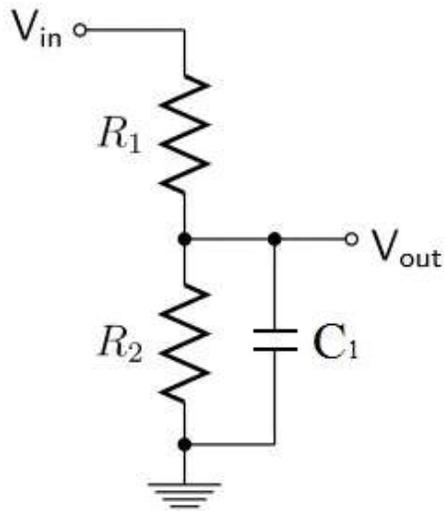


Figura 20: Circuito implementado para Offset

Conforme as especificações do Arduino citadas anteriormente, nosso circuito foi dimensionado com os seguintes parâmetros:

- R1 e R2, de 10K ohms;
- C1 de 10 μ F;
- Vin de 5V;

Na Figura 21 temos o esquemático montado para transformar a corrente gerada na saída do medidor em tensão elétrica:

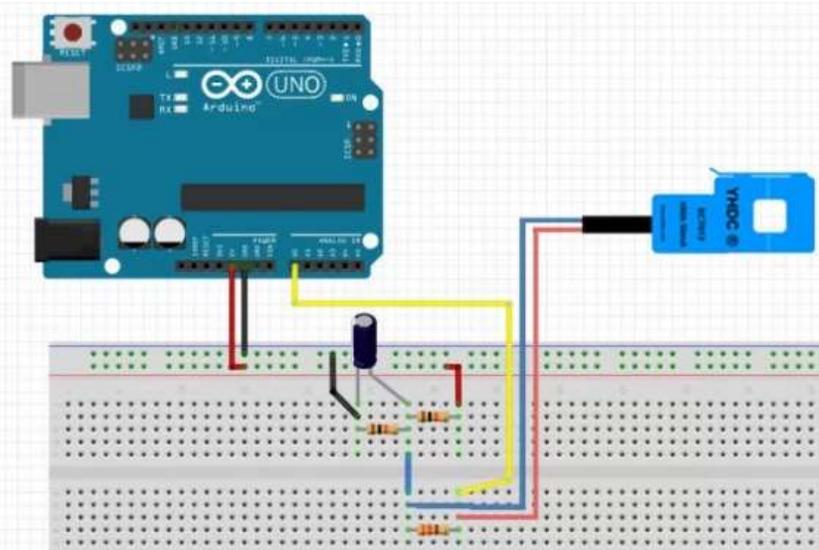


Figura 21: Esquemático completo do medidor de corrente

Para uma leitura eficiente é necessário calibrar o *software* conforme o resistor de carga o código fonte completo encontra-se no Anexo 2. O valor de calibração é composto pela divisão entre o número de espiras do sensor e o resistor de carga, em nosso projeto foi utilizado um resistor de 33 ohms e o número de espiras do sensor é 2000, dessa forma conheceremos a tensão que irá ser lida em nossa entrada analógica:

- Valor de Calibração = Número de Espiras/ Valor do Resistor de Carga;
- Valor de Calibração = 2000 / 33;
- Valor de Calibração = 60,606;

Dessa forma a leitura do sensor de corrente será feita através da variável SCT013.current parametrizada pelo pino pinSCT que deverá conter o pino de entrada analógica onde será ligado o sensor, seguido do Valor de Calibração no nosso caso 60,606.

- SCT013.current(pinSCT, Valor_de_Calibracao);
- SCT013.current(pinSCT, 60,606);

3.2.2 SENSOR DE TENSÃO

Para realizar a medição e o cálculo de potência de maneira eficaz geralmente são usados conversores AC/AC, de forma que o transformador garanta a isolamento eletromagnética da tensão mais alta 127V/220V, no projeto foi utilizado o sensor ZMPT101B que possui uma tolerância de $\pm 1\%$.

A medição de tensão alternada no Arduino é muito semelhante à medição de corrente, assim para que a leitura seja feita de maneira eficiente deve-se adequar a escala de 0V a 5V e realizar o offset para que a parte negativa seja lida.

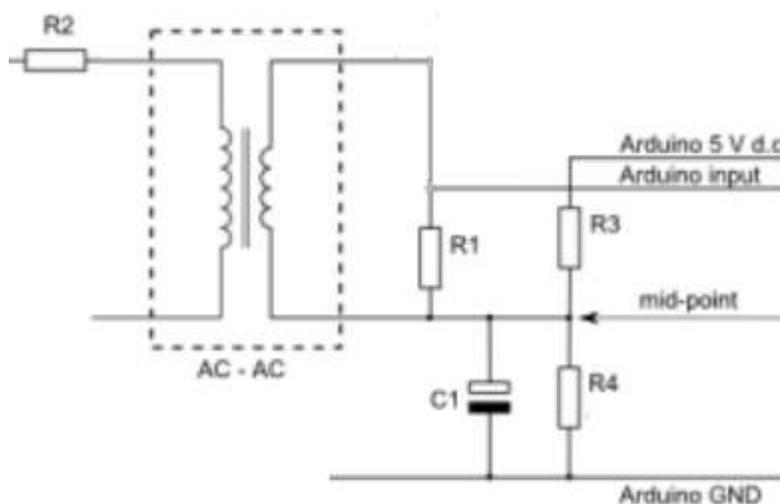


Figura 22: Medição de Tensão Alternada através de conversores AC/AC [26].

Na Figura 22, os resistores R1 e R2 são os responsáveis pela escala AC, já R3 e R4 ficam responsáveis pelo offset, garantindo que a tensão se alterne na faixa que o Arduino consegue ler. O capacitor C1 garante uma baixa impedância entre terra e o sinal AC.

No projeto foi utilizado o sensor ZMPT101B capaz de medir tensões de 0-250VAC seguindo o princípio de funcionamento descrito acima.

Na Figura 23, podemos ver a ligação esquemática do módulo, com seus pinos de entrada, alimentação e de saída ligado a uma entrada analógica do Arduino.

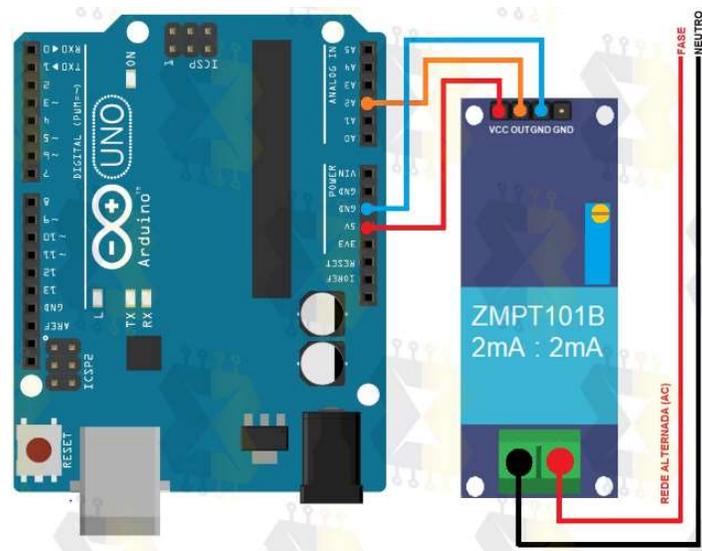


Figura 23: Ligação Esquemática do módulo medidor de tensão ao Arduino [21].

No código há a variável de calibração `VOLT_CAL`. Esta variável tem como função fazer uma compensação no cálculo, pois os componentes utilizados na construção de cada sensor podem ter valores um pouco diferente do especificado (conforme tolerância do componente). Para ajuste do sensor foi colocado em paralelo um Multímetro Digital HM-2090 - Hikari feito o ajuste do valor de `VOLT_CAL` até que a medição realizada pelo sensor fosse igual da medição mostrada pelo multímetro.

3.3 DISPLAY LCD

A ligação usual de um LCD ocupa uma grande quantidade de cabos além do uso de muitas saídas digitais do Arduino. Uma alternativa para um uso ótimo dos cabos foi a utilização do Módulo Serial I2C(Inter-Integrated Circuit) na qual podemos controlar o LCD usando apenas 2 pinos, via comunicação serial. Assim na implementação do projeto controlamos o *display* utilizando apenas dois pinos do Arduino Mega: o pino analógico 20 SDA (*Serial Data Line*) e o pino analógico 21 SCL (*Serial Clock Line*).

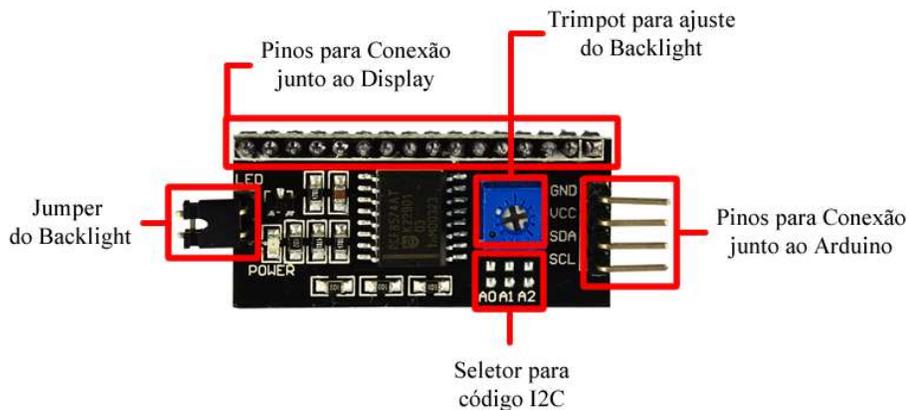


Figura 24: Pinagem módulo LCD I2C

Na Figura 25 temos a ligação realizada em *protoboard* para realização do teste do display, para a programação do LCD foi utilizada a biblioteca aberta Liquid Crystal I2C.

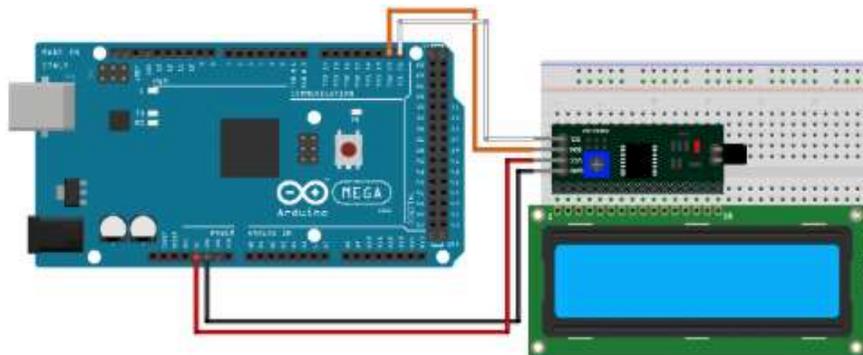


Figura 25: Esquemático completo da ligação do LCD

Após os testes partimos para implementação foi usado um pedaço de placa de fenolite para confecção das trilhas que interligam o LCD ao módulo I2C.

Foi feito o esboço das trilhas a mão com o auxílio de uma caneta preta retroprojetora, colocado a placa em para o banho em percloroeto de ferro. O percloroeto corrói todo o cobre da placa não pintado de caneta preta.

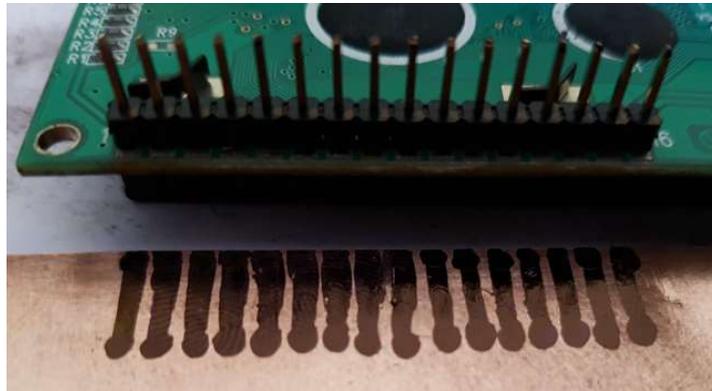


Figura 26: Trilhas desenhadas para ligação do Módulo I2C ao LCD

Foi realizada, então, a furação dos pinos do LCD e do módulo I2C, o processo de soldagem e testes de continuidade para garantir que as trilhas não estivessem em curto circuito.



Figura 27: Módulo I2C ligado ao display

3.4 PLC IN HOME ATRAVÉS DO MODEM PLC TP-LINK

Como visto anteriormente a rede PLC *in Home*, provê pontos de acesso à internet em qualquer tomada do circuito. O modelo adotado para nosso projeto é a rede PLC *in Home* independente, funcionando como uma extensão de acesso à rede, principal provida originalmente via fibra óptica, o modelo foi escolhido devido a sua fácil instalação evitando a necessidade de uma rede cabeada e devido ao seu alcance de 300m tendo uma perda de sinal menor se comparada ao Wi-Fi, empregando grandes distâncias com obstáculos.

Na Figura 28, podemos observar o modelo PLC *in Home* adotado no projeto. Constituído de dois modems PLC comunicando através da rede elétrica provendo acesso à Internet mesmo a longas distâncias sem a necessidade de cabos de rede.

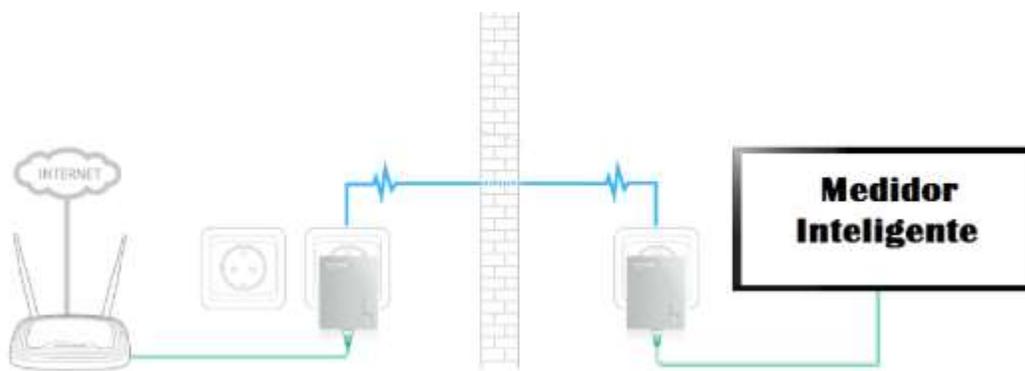


Figura 28: Modelo PLC utilizado para a medição inteligente

O modem utilizado para realizar essa comunicação foi o Adaptador TL-PA4010 da TP link, sendo uma opção confiável, rápida e segura. Na Tabela 2, são mostradas as características desse Adaptador que utiliza o padrão *HOMEPLUGAV* e os protocolos, IEEE802.3 e IEEE802.3u, alcançando altas taxas de transferência de dados e obtendo um alcance de até 300m dependendo da rede elétrica.

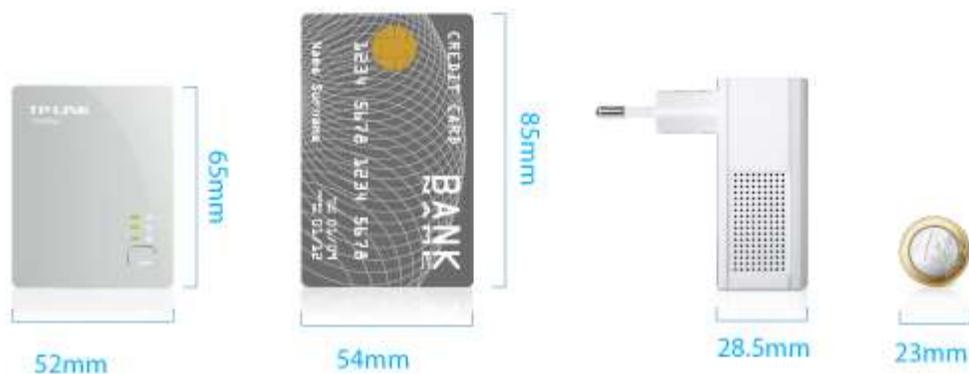


Figura 29: Adaptador TL-PA4010 KIT [20].

Na tabela 2, podem ser visualizadas as principais características técnicas do adaptador:

Tabela 2: Características do Adaptador TL-PA4010KIT [20].

Padrões e Protocolos	<i>HomePlug</i> AV, IEEE802.3, IEEE802.3u
Interface	1 porta Ethernet 10/100Mbps
LED	PWR, PLC, ETH
Dimensões (L X C X A)	2.6 x 2.0 x 1.1Pol.(65×52×28.5mm)
Alcance	300m em fiação interna

O padrão *HomePlug* fornece interoperabilidade entre dispositivos de estabelecendo um protocolo de controle de acesso. O controle de acesso à mídia

permite que vários dispositivos sejam conectados a rede dentro de um edifício. A especificação de controle de acesso à mídia inclui níveis de criptografia. A sinalização física usa uma forma de modulação de multiplexação ortogonal por divisão de frequência (OFDM) usando até para 76 portadoras na faixa de 20 MHz.

São utilizados dois modems, um conectado ao roteador principal, e um segundo no dispositivo em que se deseja acesso a rede, no projeto a shield Ethernet.

O módulo ethernet é ligado ao modem PLC através de um cabo RJ45, ao entrar no modem a informação é modulada para trafegar pela rede elétrica até chegar ao receptor que promove o acesso a rede, enviando assim os dados à plataforma.

3.5 PLATAFORMA IoT CAYENNE

Uma das etapas mais importantes do projeto foi a escolha da plataforma é a partir dela que o usuário pode interagir com os dados obtidos a partir do medidor.

Devido a sua fácil interatividade com os dados foi escolhida a plataforma Cayenne.

Para acesso a plataforma o Arduino utiliza requisitos acesso conforme o protocolo MQTT:



The image shows a configuration form for MQTT access. It contains the following fields and values:

- MQTT USERNAME:** cdf734b0-c42e-11e8-bcb6-5d6527e66c38
- MQTT PASSWORD:** a7fe0403f8714192db9e35b5fd2e57f76cde19C
- CLIENT ID:** 8c6bcb90-f9bd-11e8-a08c-c5a286f8c00d
- MQTT SERVER:** mqtt.mydevices.com
- MQTT PORT:** 1883
- NAME YOUR DEVICE (optional):** Arduino

Figura 30: Requisitos para autenticação de usuário plataforma Cayenne

Uma vez autenticado o acesso, o sensor começa a emitir os dados em tempo real via PLC para a plataforma. Esses dados são endereçados por canais, por exemplo, o canal “tensão” recebe os dados de tensão elétrica coletado pelo sensor.

Na figura 31 podemos visualizar os painéis que mostram os indicadores selecionados para ser exibidos no Dashboard, facilitando a compreensão das informações geradas:



Figura 31: Layout da página principal da plataforma IoT

Expandindo, ao selecionar a área “*Details & Chart*” é possível obter um histórico mais detalhado das medições obtidas em ordem cronológica. Na Figura 32, pode ser observada a aparência do gráfico gerado pela plataforma, nesse exemplo foi monitorada a potência elétrica de um equipamento entre às 00h01 do dia 05 de Março e às 05h00 do mesmo dia.

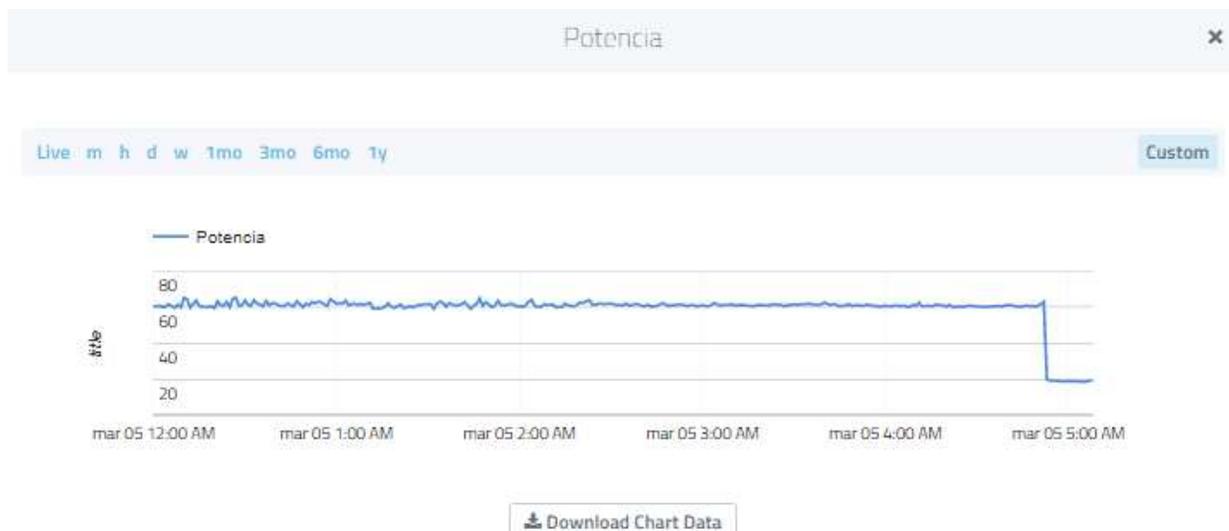


Figura 32: Aspecto do gráfico gerado pela plataforma IoT

A opção Dados mostra os dados colhidos com uma maior exatidão detalhando o canal usado para obtenção do dado, bem como a identificação do sensor e o valor medido, conforme é mostrado na Figura 33.

Channel	Sensor Name	Sensor ID	Data Type	Unit	Values
1	Tensao	8013f180-3eee-11e9-ba40-5d168...			115.727
0	Corrente	7ed7a0f0-3eee-11e9-b395-f5319...			0.164
2	Potencia	7d190100-3eee-11e9-b395-f5319...			18.97

Figura 33: Dados do medidor e sua visualização na plataforma IoT

É possível ainda realizar o download dos dados em formato .CSV sendo de fácil manipulação no Excel como exibido na Figura 34.

A	B	C	D	E	G	H
Timestamp	Device ID	Channel	Sensor Name	Sensor ID	Unit	Value
2019-03-05T08:08	252fb560-3ee4-11e9-a98b-69b394a1794b	1	Tensao	8013f180-3eee-11e9-ba40-5d168a516101		115.727
2019-03-05T08:08	252fb560-3ee4-11e9-a98b-69b394a1794b	0	Corrente	7ed7a0f0-3eee-11e9-b395-f53190c2ab6f		0.164
2019-03-05T08:08	252fb560-3ee4-11e9-a98b-69b394a1794b	2	Potencia	7d190100-3eee-11e9-b395-f53190c2ab6f		18.97
2019-03-05T08:08	252fb560-3ee4-11e9-a98b-69b394a1794b	2	Potencia	7d190100-3eee-11e9-b395-f53190c2ab6f		18.632
2019-03-05T08:08	252fb560-3ee4-11e9-a98b-69b394a1794b	1	Tensao	8013f180-3eee-11e9-ba40-5d168a516101		115.959
2019-03-05T08:08	252fb560-3ee4-11e9-a98b-69b394a1794b	0	Corrente	7ed7a0f0-3eee-11e9-b395-f53190c2ab6f		0.161

Figura 34: Dados do medidor e sua visualização via .CSV no excel

Na *PlayStore* é possível fazer o download do aplicativo para *smartphones*, todos os dados obtidos pelo site com visualização dos canais com os dados de consumo, na Figura 35 é possível ver a interface inicial, do aplicativo:



Figura 35: Interface de visualização do aplicativo para smartphones

Pelo aplicativo *mobile* ou via plataforma web é possível configurar alertas de consumo com envios de sms e de email conforme os dados cadastrados. Na Figura 36 temos um exemplo de alerta configurado no aplicativo *mobile*:



Figura 36: Interface de notificações do aplicativo para Smartphone

4. ANÁLISES E RESULTADOS

Com os conceitos trabalhados neste trabalho foi desenvolvido o protótipo do medidor, na Figura 37 observamos uma foto com a vista frontal do medidor onde podemos ver o botão de Liga/ Desliga e LCD que exibe os dados de potência e tensão.



Figura 37: Medidor Inteligente PLC in Home

Foram escolhidos quatro eletrodomésticos, ventilador, geladeira, ferro de passar, televisão, para serem analisadas as curvas de tensão, corrente e potência. A obtenção dos dados foi feita no período de uma hora, onde o Medidor Inteligente foi inserido ao circuito monitorando as grandezas citadas. Os gráficos abaixo exibidos foram extraídos diretamente da plataforma Cayenne.

4.1 OBTENÇÃO DE DADOS DE UM VENTILADOR MONDIAL MAXI POWER 30

O primeiro equipamento a ser feita a obtenção da curva foi um ventilador da marca Mondial, modelo MAXI POWER 30, com potência nominal de 50W, na Tabela 3 temos as especificações do fabricante.

Tabela 3: Especificações técnicas do ventilador MAXI POWER 30

Número de Velocidades	3
Potência	50 W

No gráfico 1 temos a tensão RMS medida durante a obtenção da curva para o ventilador como é observado os valores variam na faixa de 127V à 110V tendendo à uma média fixa na faixa de 114V, o valor esperado para esse gráfico é uma curva mais constante.



Gráfico 1: Tensão RMS ventilador com uso do modem PLC

Analisando os dados percebemos uma variação de mais de 20V em intervalos muito curtos de tempo o que não condiz com a tensão RMS em casos normais em que tendem a um valor constante, assim foram feitas novas medições com o cabo ethernet ligado diretamente ao Arduino sendo o resultado visualizado no gráfico 2, onde os valores se comportam de forma mais constante idênticos ao do multímetro usado na calibração.



Gráfico 2: Tensão RMS ventilador sem o uso do modem

Por se manter constante a velocidade do ventilador os valores de corrente variaram muito pouco ficando na faixa de 0.40 A, conforme Gráfico 3.



Gráfico 3: Corrente RMS ventilador com uso do modem PLC

Foram realizadas novas medidas sem o uso do Modem PLC, cabo ethernet direto, para a corrente os valores ficaram muito semelhantes a com uso do modem como pode ser observado no Gráfico 4, indicando a presença de ruído somente na leitura da tensão.



Gráfico 4: Corrente RMS ventilador sem o uso do Modem PLC

Os resultados de potência variaram na faixa de 50W especificada pelo fabricante, já que o foram realizados teste em máxima potência, pode ser observado mesmo que o aparelho permaneceu ligado durante todo o período de teste, conforme pode ser visualizado no gráfico 5.



Gráfico 5: Potência RMS ventilador com uso do modem PLC

Umavez que se obteve novos valores de tensão na nova medição obtivemos valores de potência próximos, como pode ser visto no gráfico 6.



Gráfico 6: Potência RMS Ventilador sem o uso do Modem PLC

À partir dos gráficos gerados foi então verificado a existência de ruído na leitura do sensor de tensão, com o uso do osciloscópio pode-se então extrair as curvas de entrada do uso do medidor com o modem PLC e sem o modem, na figura 38 podemos observar a presença de pequenos picos no topo da senoíde trata-se do ruído inserido pelo modem, que na leitura RMS apesar de ter causado esse discrepância causa acarreta num impacto menor se comparado a leitura instantânea.

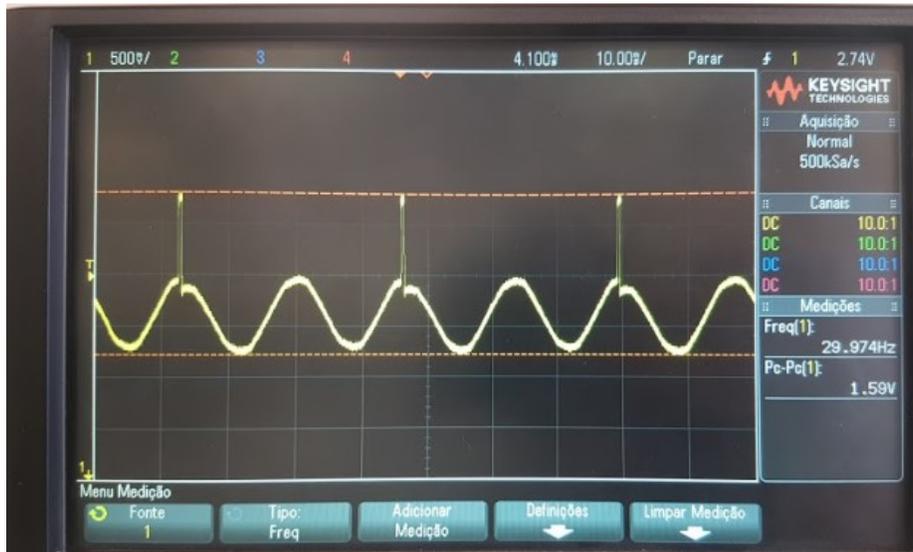


Figura 38: Sinal de entrada do medidor de tensão com o uso do modem PLC

Ao realizar o teste transmitindo diretamente com o cabo ethernet foi verificado a ausência do ruído sendo exibido uma senoide pura de frequência 60hz.

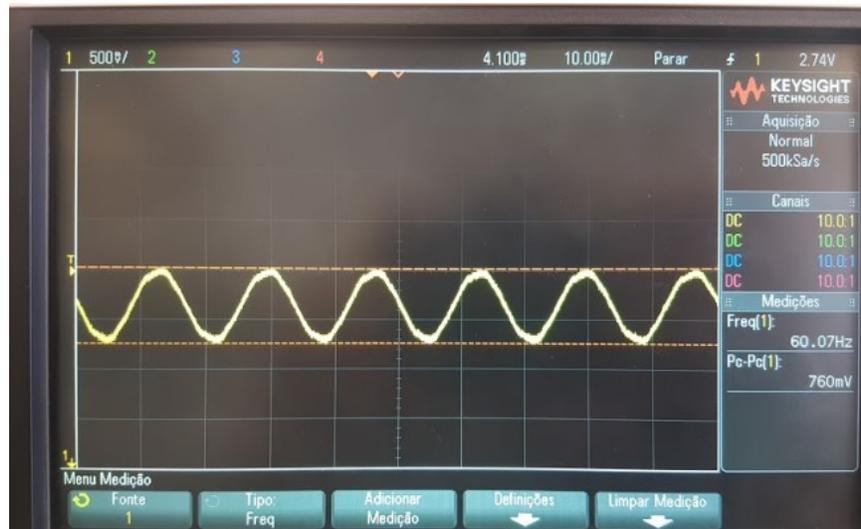


Figura 38: Sinal de entrada do medidor de tensão sem o uso do modem PLC

4.2 OBTENÇÃO DE DADOS DE UMA GELADEIRA BRASTEMP

Foram extraídos os dados de Tensão RMS, Corrente RMS e Potência RMS de uma geladeira Brastemp Clean Frost Free 320L no período das 16 horas às 17 horas, as medições foram realizadas no nível médio de refrigeração em um dia onde a temperatura ambiente média era 27 graus Celsius. Na tabela 4, podemos visualizar temos as características informadas pelo fabricante.

Tabela 4: Especificações geladeira Brastemp CLEAN FROST FREE 320 L

Intensidades de Refrigeração	6
Potência Média Aproximada	500 W

O Gráfico 7 mostra a tensão, que obteve uma variação entre 130V e 114V com uso do modem, indicando a presença de ruído na medição.

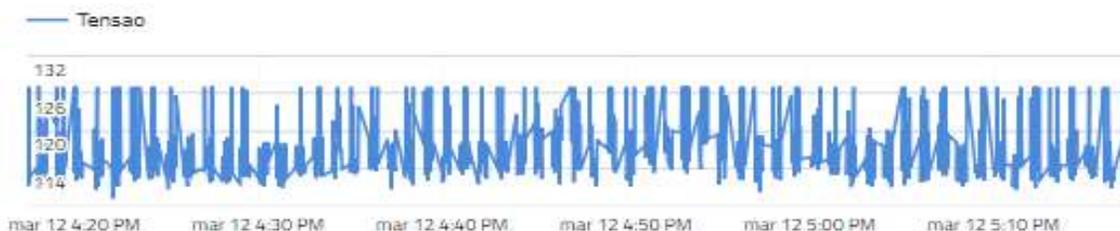


Gráfico 7: Tensão RMS geladeira Brastemp com o uso do modem PLC

Mais uma vez foram feitas as medições sem o uso do modem para verificar o comportamento da tensão sem o ruído inserido pelo modem PLC encontrando como no caso anterior valores com pouca variação.



Gráfico 8: Tensão RMS geladeira Brastemp sem o uso do modem PLC

Já no gráfico 9 da corrente é possível perceber os ciclos em que o motor do compressor é acionado para realizar o processo de refrigeração. Ocasionalmente um maior consumo de corrente e potência, nesses casos os dados não coincidem com os indicados pelo fabricante pois durante a medição utilizou-se a escala 3 de refrigeração .

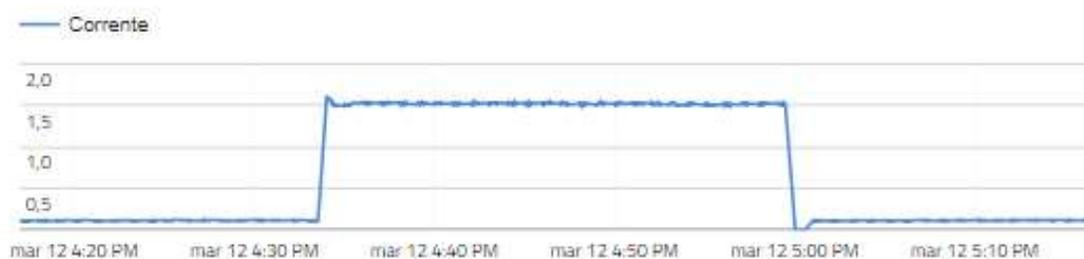


Gráfico 9: Corrente RMS Geladeira Brastemp como uso do modem PLC

Mais uma vez foram feitas medidas de corrente sem o uso do modem PLC, e obtivemos valores iguais ao obtido com o uso do modem não sendo identificado o ruído.

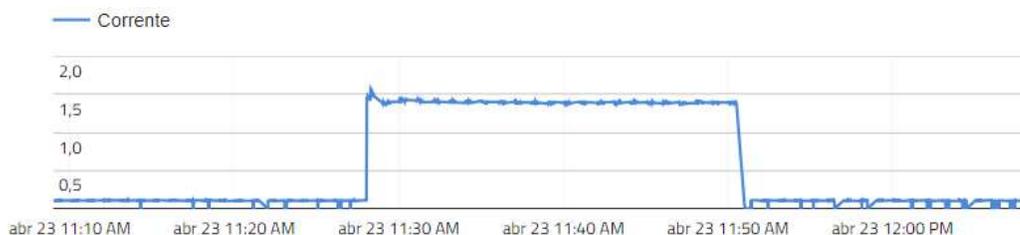


Gráfico 10: Corrente RMS Geladeira Brastemp como uso do modem PLC

Para o gráfico da potência como esperado por ser diretamente proporcional a corrente, obteve-se uma curva muito semelhante a da corrente.



Gráfico 11: Potência RMS Geladeira Brastemp como uso do modem PLC

Feito a verificação sem os resultados ficaram próximos com uma discrepância maior devido ao fator da corrente da geladeira ser mais alta que as dos demais equipamentos.

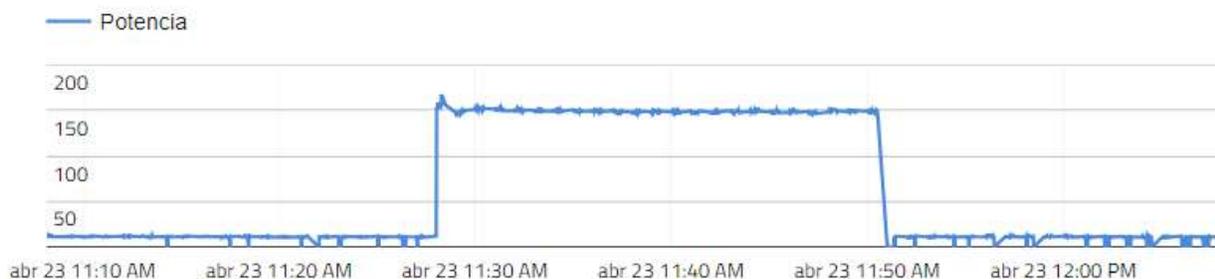


Gráfico 12: Potência RMS Geladeira Brastemp sem uso do modem PLC

4.3 OBTENÇÃO DE DADOS TV SMART SAMSUNG

Foram extraídos os dados de Tensão RMS, Corrente RMS e Potência RMS de uma Smart TV Samsung 50 Polegadas, no período das 06 horas e 30 minutos às 07 horas e 30 minutos. Na tabela 5, estão as especificações técnicas para o uso em resolução máxima, mais uso das funções Smart.

Tabela 5: Características Técnicas da TV Smart Samsung

Tensão Nominal	127V
Potência Nominal	130W

Abaixo temos o gráfico da tensão que assim como na geladeira tende a ser constante apresentando pequenas variações, ficando sempre na região dos 120 Volts.



Gráfico 13: Tensão RMS TV Smart Samsung com o uso do modem PLC

Já no gráfico da corrente é possível perceber que as linhas tendem a ser constantes, sendo possível visualizar o momento em que o equipamento está em uso atingindo uma corrente de aproximadamente 0,55A.



Gráfico 14: Corrente RMS TV Smart Samsung com o uso do modem PLC

Para o gráfico da potência mais uma vez, obteve-se uma curva muito semelhante a da corrente já que os valores da tensão tendiam a 120 Volts, é possível visualizar por esse gráfico também o momento exato em que o aparelho está em funcionamento.



Gráfico 15: Potência RMS TV Smart Samsung

4.4 OBTENÇÃO DE DADOS FERRO DE PASSAR ROUPA ARNO

Foram extraídos os dados de Tensão RMS, Corrente RMS e Potência RMS de um Ferro de passar roupa à vapor da marca ARNO, no período das 05 horas e 50 minutos às 06 horas e 50 minutos. Na tabela 6, estão as especificações técnicas para o uso em resolução máxima, mais uso das funções Smart.

Tabela 6: Características Técnicas Ferro de Passar Arno

Níveis de Temperatura	3
Tensão Nominal	127V
Potência Nominal	1200W

Abaixo temos o gráfico 16 da tensão que assim como na geladeira tende a ser constante apresentando pequenas variações, ficando sempre na região dos 120 Volts.

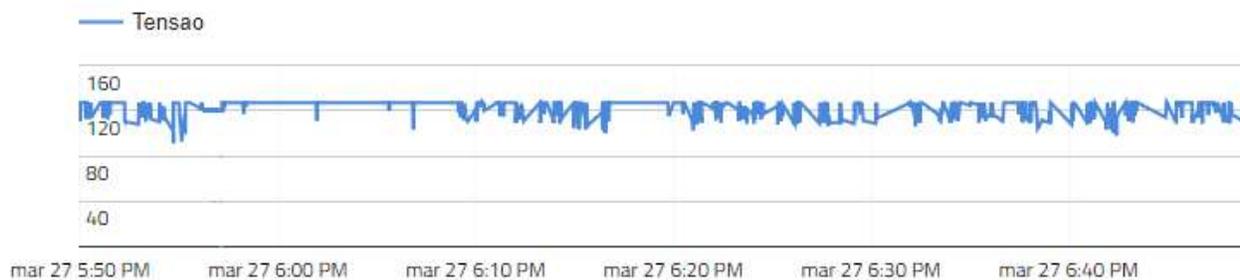


Gráfico 16: Tensão RMS Ferro de Passar Arno

Já no gráfico 17 da corrente é possível perceber o comportamento característico do ferro elétrico onde temos a ocorrência de picos periódicos que surgem conforme o funcionamento do termostato atingindo uma corrente de aproximadamente 8 A.



Gráfico 17: Corrente RMS Ferro de passar Arno com uso do modem

Para o gráfico 18 da potência mais uma vez, obteve-se uma curva muito semelhante a da corrente já que os valores da tensão tendiam a 120 Volts, é possível visualizar por esse gráfico também o momento em que o termostato corta a alimentação do ferro.

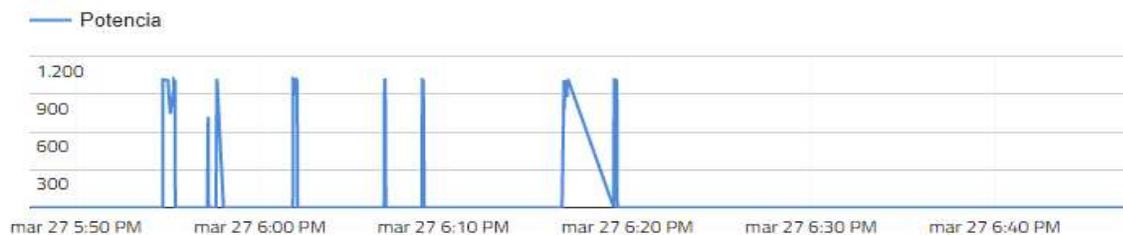


Gráfico 18: Potência RMS Ferro de passar Arno com uso do modem

A partir dos dados individuais de cada eletrodoméstico medidos com o uso do modem PLC, pode se fazer uma estimativa da potência total de uma casa realizando um soma da potência dos equipamentos mais utilizados.

Seguindo essa linha de usar cada eletrodoméstico para compor uma estimativa, foi simulada uma situação como se todos os equipamentos aferidos fossem ligados no mesmo período, compondo assim uma soma das potências consumidas em cada período a partir desses dados foi plotado o gráfico 13, e podem ser usados para gerar estimativas de consumo em kWh, para o planejamento de carga em uma rua e para a conscientização de gastos por parte do consumidores. Com a soma das potências podemos chegar há uma potência médias dos equipamentos obtendo o valor de 195,5 Watts, multiplicando esse valor por 24 referente às horas de um dia, e por 30 referentes a um mês chegamos a um consumo de mensal de aproximadamente 140 kWh por

mês. Extrapolando esses dados para todos os equipamentos de uma residência, para diversas casas, bairros e cidades poderão ser gerados dados reais e importantes para a conscientização de consumo e para um planejamento energético eficiente.

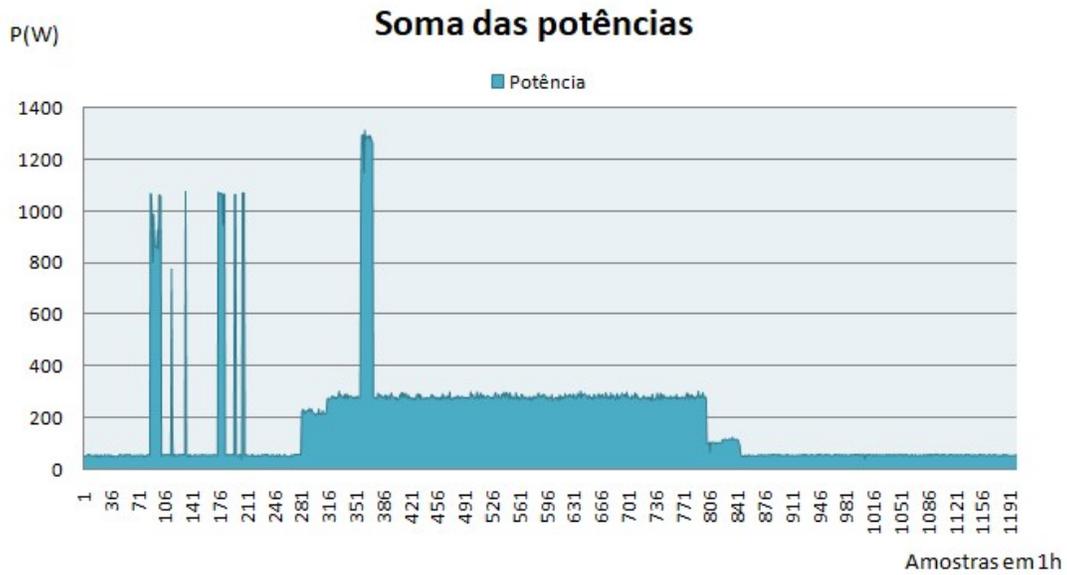


Gráfico 19: Potência RMS da curva dos aparelhos somados

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi desenvolvido um medidor de potência inteligente não invasivo para monitoramento em tempo real do consumo de energia elétrica de equipamentos eletrodomésticos usando a comunicação PLC. O sistema desenvolvido é de fácil uso e não necessita da abertura do circuito para medição de corrente.

Os resultados alcançados neste projeto mostram que é possível realizar a medição do consumo de equipamentos eletrodomésticos através de um sistema IoT, empregando sensores de baixo custo, técnicas de circuitos elétricos, técnicas amostragem, com o uso de placas de desenvolvimento como o Arduino, entretanto a transmissão via modem PLC mostrou-se mais ruidosa se comparada a ethernet sendo necessário fazer um tratamento do ruído que o modem insere na linha como dados para uma medição eficaz. Esse tipo de desenvolvimento de sistemas dotados de inteligência corre de encontro às tecnologias empregadas para Smart Grids, sendo peça fundamental para moldar um consumo mais consciente.

Os dados de medição foram visualizados na Plataforma Cayenne, onde os foram armazenados e puderam ser consultados. Podemos então comparar os valores de Potência catalogados pelos fabricantes e comparar com os obtidos pelo medidor. Ficou evidenciado o comportamento peculiar de cada eletrodoméstico, como a potência quase constante do Ventilador quando usado sempre na mesma rotação, e também a visualização dos ciclos em que a geladeira aciona o motor acarretando num consumo maior.

A tecnologia PLC mostrou-se eficiente para essa aplicação os dados foram trafegados pela rede elétrica de maneira confiável, entretanto é como citado anteriormente é necessário inserir ao projeto uma filtragem mais eficaz na leitura da tensão. Ao trabalhar com essa comunicação ficou visível o benefício que ele traz em termos de economia de infraestrutura quando comparada à tradicional infraestrutura de rede cabeada e as desvantagens em termos de ruído.

Levando em conta os resultados alcançados e as conclusões observadas nesse projeto, sugestões para trabalhos futuros podem ser elaboradas como:

- implementação de um medidor residencial completo bidirecional, de forma que, o equipamento seja capaz de realizar a medição do consumo e também a geração de energia feita pelo consumidor, tendência quando se fala em Smart Grids.
- estudo detalhado do padrão de consumo de uma família, horário, equipamento, usando ferramentas de análise de dados na busca de padrões.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Lima, Alves Aline. **O surgimento do sujeito pela escrita autobiográfica :o caso de Nikola Tesla**. UNESP, 2015.

[2] YAN, Y. , **A Survey on Smart Grid Communication Infrastructures: Motivations, Requirements and Challenges**. Lincoln: University of Nebraska-Lincoln, Faculty Publications from the Department of Electrical and Computer Engineering, 2013.

[3] Fabio Toledo et al., **Desvendando as Redes Elétricas Inteligentes: Smart Grid Handbook**, Rio de Janeiro, 2012

[4] ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica**. Disponível em: <www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Modulo8_Revisao_1_Retificacao_1.pdf>
Acesso em:10/09/2018

[5] H. C. Ferreira, L. Lampe, J. Newbury, and T. G. Swart, **Power Line Communications—Theory and Applications for Narrowband and Broadband Communications over Power Lines**, Wiley, 2010

[6] **Smart Grids**. UFRJ 2016 [Online] <https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel878/redes1-2016-1/16_1/smartgrid/>
Acesso em :10/01/2019.

[7] Gonen,T., **Electric Power Distribution System Engineering**. McGraw-Hill, USA, 1986.

[8] HRASNICA, HALID; HAIDINE, ABDEL FATTEH; LEHNERT, Ralf. **Broadband Powerline Communications: Network Design**. Dresden University of Technology, Germany. Wiley,2004.

[9] PROCEL; ELETROBRAS. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, ano base 2005: classe Residencial Relatório Brasil** - Sumário Executivo. Rio de Janeiro: ELETROBRAS; PROCEL, 2009. 187 p. (Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil).

[10] FERREIRA, M. V. A. **PLC - Power Line Communication**. Universidade Federal Fluminense, 2005.

[11] ASHTON, K.. **That “Internet of Things” Thing**. Em RFID Journal. 2009

[12] DEIDMAR, G. L. C.; SOBREIRA, D. S.; LIMA, W. D.; **Internet das coisas na educação**. Revista Tecnologias em Projeção, v8, nº2, ano 2017, p.78

[13] LACERDA, F.; LIMA-MARQUES, M.; **Da necessidade de princípios de Arquitetura da Informação para a Internet das Coisas**. Perspect. ciênc. inf., Belo Horizonte , v. 20, n. 2, p. 158-171, June 2015.

[14] YIANBIAO, S.; **Internet of Thing: Wireless Sensor Networks**. Geneva: Electrotechnical Commission, 2014.

[15] BORGIA, E. **The internet of things vision: Key features, applications and open issues**. Computer Communications, 2014.

[16] **Arduino** [Online]. <http://www.arduino.cc/> - Acesso em 25/11/2018

[17] APTEL, Rio de Janeiro Associação de Empresas Proprietárias de Infraestrutura e Sistemas Privados de Telecomunicações. Disponível em <<https://www.aptel.com.br>> Acesso :17 de janeiro de 2019.

[18] Lopes Y., Franco R. H. F., Molano D. A., dos Santos M. A., Calhau F. G., Bastos C. A. M., Martins J. S. B., Fernandes N. C., **Smart Grid e IEC 61850: Novos Desafios em Redes e Telecomunicações para o setor elétrico**. Brasília, Setembro de 2012.

[19] **Power Line Communication Tutorials TELECO**. [Online] Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialplc/default.asp>> Acesso em: 10 de Outubro 2018.

[20] **Power Line Adaptors**. Tp- Link [Online] <<https://www.tp-link.com/br/home-networking/powerline/>> Acesso em: 10/01/2019

[21] **Como usar sensor de tensão com Arduino**. [Online] <<http://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-sensor-de-tensao-ac-0-a-250v-voltmetro-zmpt101b/>> Acesso em:02/10/2018

[22] **Curvas de carga**. [Online] <<https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=1365087>> Acesso em:02/10/2018

[23] PILARSKI, André Luís.**Pesquisa e Análise da Tecnologia Power Line Communications**. 2015.30f. Monografia (Especialização em Gerenciamento de Redes)– Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

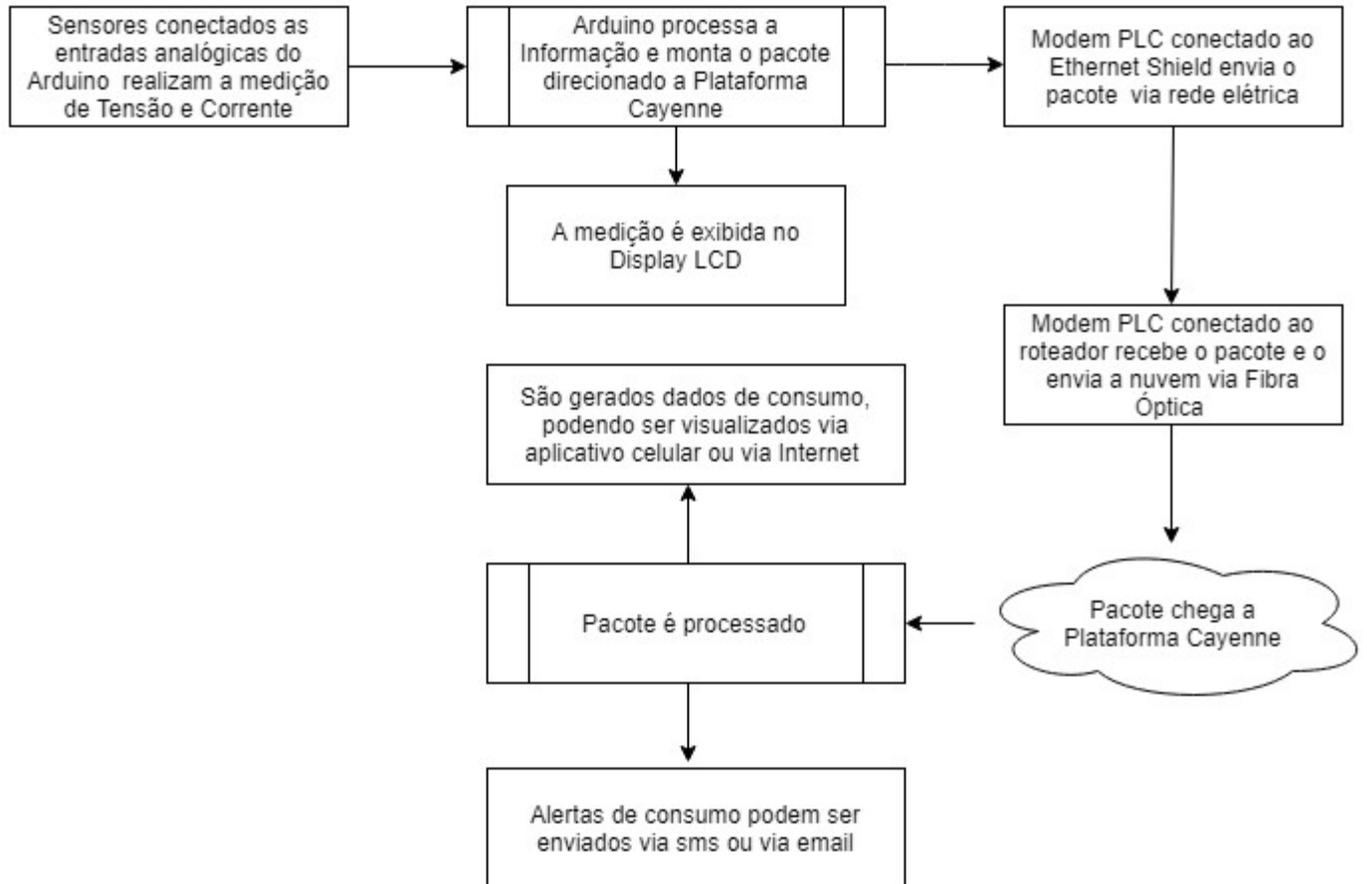
[24] ROSS, Julio. **Curso power line communications**. Antenna Edições técnicas Ltda. Rio de Janeiro – RJ 2006.

[25] IBM, **Conhecendo o Protocolo MQTT**, <<https://www.ibm.com/developerworks/br/library/iot-mqtt-why-good-for-iot/index.html>> Acesso em 26/01/2019.

[26] Interplus, **ZMPT Data Sheet**, <http://www.interplus-industry.fr/index.php?option=com_content&view=article&id=52&Itemid=173&lang=en>
Acesso em:27/01/2019

APÊNDICE:

Apêndice 1: Esquema de medição



Apêndice 2: Código Fonte Usado no Arduino

```
//Incluindo biblioteca MQTT
#include <CayenneMQTTEthernet.h>

// Dados de acesso do Dashboard.
char username[] = "cdf734b0-c42e-11e8-bcb6-5d6527e66c38";
char password[] = "a7fe0403f8714192db9e35b5fd2e57f76cde1901";
char clientID[] = "35d775e0-c42f-11e8-9f7b-1d1cb94fd98c";

// Biblioteca para controle serial do LCD
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
// Inicializa o display no endereço 0x27
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,2,1,0,4,5,6,7,3, POSITIVE);

//Inicia Biblioteca EmonLiB
#include "EmonLib.h"
#define VOLT_CAL 260
EnergyMonitor emon1;
double Irms = 0 ;
double Iss=0;
float Tempo = 0;
float supplyVoltage;
float Potencia;
float PotenciaFinal=0;
void setup()
{
  emon1.voltage(1, VOLT_CAL, 1.7); //input pin, calibration, phase_shift
  emon1.current(0, 60); //input pincalibracao corrente
  lcd.begin (16,2);
```

```

lcd.setCursor(0,0);           // seleciona coluna 0, linha 0
lcd.print("P(kWh)=");       // mostra texto
lcd.setCursor(0,1);         // seleciona coluna 0, linha 1
lcd.print("Vrms(V)=");      // mostra texto
Cayenne.begin(username, password, clientID);
}

void loop() {
  //If (Sn_SR == SOCK_ESTABLISHED)
  {
    Cayenne.loop();
    {
      // Write data to Cayenne here. This example just sends the current uptime in
      milliseconds on virtual channel 0.
      //CAYENNE_OUT_DEFAULT()
      Cayenne.virtualWrite(0, lss);
      Cayenne.virtualWrite(1, supplyVoltage);
      Cayenne.virtualWrite(2, Potencia);
    }
  }
  emon1.calcVI(20,2000);    // Calculate all. No.of half wavelengths (crossings), time-
  out
  supplyVoltage= 3.45*emon1.Vrms;    //extract Vrms into Variable
  if (supplyVoltage <3){
    supplyVoltage=0;
  }
  lcd.setCursor(9,1);       // seleciona coluna 9, linha 1
  lcd.print(supplyVoltage);

  Irms = emon1.calcIrms(1480);    // calculo da corrente RMS

```

```

lcd.setCursor(9,0);           // seleciona coluna 9, linha 0
Iss=(Irms-.10);
  if (Irms <0.20){
    Iss=0;
  }
  Potencia=Iss*supplyVoltage;
  lcd.print(Potencia);       // mostra valor da corrente

delay(10);                   // atraso de 1 segundo

```

Biblioteca EmonLib:

```

/*
  Emon.h - Library for openenergymonitor
  Created by Trystan Lea, April 27 2010
  GNU GPL
  modified to use up to 12 bits ADC resolution (ex. Arduino Due)
  by boredman@boredomprojects.net 26.12.2013
  Low Pass filter for offset removal replaces HP filter 1/1/2015 - RW
*/

```

```

#ifndef EmonLib_h
#define EmonLib_h

```

```

#if defined(ARDUINO) && ARDUINO >= 100

```

```

#include "Arduino.h"

```

```

#else

```

```

#include "WProgram.h"

```

```

#endif

```

```

// define theoretical vref calibration constant for use in readvcc()
// 1100mV*1024 ADC steps http://openenergymonitor.org/emon/node/1186
// override in your code with value for your specific AVR chip
// determined by procedure described under "Calibrating the internal reference voltage"
// at
// http://openenergymonitor.org/emon/buildingblocks/calibration
#ifndef READVCC_CALIBRATION_CONST
#define READVCC_CALIBRATION_CONST 1126400L

```

```

#endif

// to enable 12-bit ADC resolution on Arduino Due,
// include the following line in main sketch inside setup() function:
// analogReadResolution(ADC_BITS);
// otherwise will default to 10 bits, as in regular Arduino-based boards.
#if defined(__arm__)
#define ADC_BITS 12
#else
#define ADC_BITS 10
#endif

#define ADC_COUNTS (1<<ADC_BITS)

class EnergyMonitor
{
public:

    void voltage(unsigned int _inPinV, double _VCAL, double _PHASECAL);
    void current(unsigned int _inPinI, double _ICAL);

    void voltageTX(double _VCAL, double _PHASECAL);
    void currentTX(unsigned int _channel, double _ICAL);

    void calcVI(unsigned int crossings, unsigned int timeout);
    double calcIrms(unsigned int NUMBER_OF_SAMPLES);
    void serialprint();

    long readVcc();
    //Useful value variables
    double realPower,
        apparentPower,
        powerFactor,
        Vrms,
        Irms;

private:

    //Set Voltage and current input pins
    unsigned int inPinV;
    unsigned int inPinI;
    //Calibration coefficients
    //These need to be set in order to obtain accurate results
    double VCAL;
    double ICAL;

```

```

double PHASECAL;

//-----
// Variable declaration for emon_calc procedure
//-----
int sampleV;           //sample_ holds the raw analog read value
int sampleI;

double lastFilteredV,filteredV;    //Filtered_ is the raw analog value minus the DC
offset
double filteredI;
double offsetV;           //Low-pass filter output
double offsetI;          //Low-pass filter output

double phaseShiftedV;           //Holds the calibrated phase shifted voltage.

double sqV,sumV,sqI,sumI,instP,sumP;    //sq = squared, sum = Sum, inst =
instantaneous

int startV;           //Instantaneous voltage at start of sample window.

boolean lastVCross, checkVCross;    //Used to measure number of times
threshold is crossed.

};

#endif

```