

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

TAMIRES GIOVANNA DE PAIVA OLIVEIRA



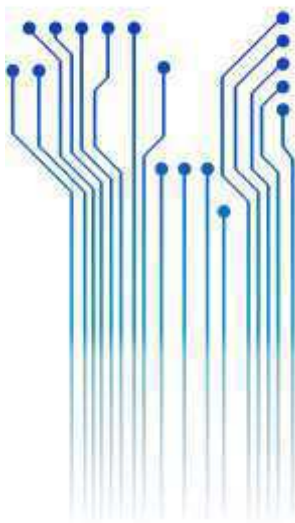
Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

COMUNICAÇÃO ETHERNET PARA MEDIDORES DE CONSUMO DE
ENERGIA



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande
2017

TAMIRES GIOVANNA DE PAIVA OLIVEIRA

COMUNICAÇÃO ETHERNET PARA MEDIDORES DE CONSUMO DE ENERGIA

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientador:

Professor Edmar Candeia Gurjão, D. Sc.

Campina Grande
2017

TAMIRES GIOVANNA DE PAIVA OLIVEIRA

COMUNICAÇÃO ETHERNET PARA MEDIDORES DE CONSUMO DE ENERGIA

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em / /

Jalberth Fernandes de Araújo, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador, UFCG

Professor Edmar Candeia Gurjão, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho aos meus pais: Roberto e Germana, que com muito esforço e renúncia permitiram à concretização desse sonho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, pela minha vida e pelo dom da perseverança e sabedoria, que me permitiu concluir este trabalho.

Agradeço também aos meus pais, Germana e Roberto, por terem se esforçado para me proporcionar uma boa educação, por ter me alimentado com saúde, força e coragem, as quais foram essenciais para superação de todas as adversidades ao longo desta caminhada.

Agradeço também à toda minha família, que com todo carinho e apoio, não mediu esforços para que eu concluísse essa etapa da minha vida.

Agradeço ao estimado orientador Edmar por toda a paciência e conhecimentos transmitidos desde o meu terceiro período no curso de engenharia elétrica. E que me acompanhou durante a graduação em projetos de pesquisa e não poderia deixar de ser meu orientador no trabalho de conclusão de curso.

Enfim, agradeço a todos os professores que durante a minha vida acadêmica contribuíram para a construção do conhecimento técnico e amadurecimento pessoal.

“Não fui eu que lhe ordenei? Seja forte e corajoso! Não se apavore, nem se desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar”.

(Josué 1: 9)

RESUMO

O conceito de *Smart Grid* ou redes elétricas inteligentes promove uma mudança na forma de enxergar o sistema elétrico, otimizando a geração, transmissão, distribuição e consumo de energia elétrica. Nesse trabalho são discutidas as vantagens desse novo modelo, destacando a importância dos medidores inteligentes para o funcionamento das *smart grids*, visto que através desses é possível obter informações em tempo real e transmiti-las utilizando protocolos ethernet. Dessa forma, tem-se o porquê destes dispositivos terem se tornado o elemento central no aumento da eficiência dos sistemas de energia elétrica. Através de uma pesquisa exploratória em artigos e relatórios energéticos, além de testes em laboratório, confirma-se a necessidade de investimento em sistemas de comunicações rápidos e eficientes a fim de que as medições realizadas recebam o tratamento de dados necessário e chegue a uma central de monitoramento que tome decisões acertadas para resolver a anomalia detectada.

Palavras-chave: Medição inteligente, Smart Grid, eficiência, comunicações, energia elétrica, Ethernet.

ABSTRACT

The concept of Smart Grid or smart grids promotes a change in the way the electrical system is viewed, optimizing the generation, transmission, distribution and consumption of electricity. In this paper the advantages of this new model are discussed, highlighting the importance of smart meters for the operation of smart grids, since through these it is possible to obtain information in real time and to transmit them using ethernet protocols. In this way, one can see why these devices have become the central element in increasing the efficiency of electric power systems. Through exploratory research on energy articles and reports, in addition to laboratory testing, the need for investment in fast and efficient communications systems is confirmed so that the measurements made receive the necessary data processing and arrive at a monitoring to make informed decisions to resolve the detected anomaly

Keywords: Smart metering, Smart Grid, efficiency, communications, electricity, Ethernet.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 - <i>Smart Grid</i> | 19 |
| Figura 2 - Evolução do consumo no período de 1990 a 2011. | 22 |
| Figura 3 - Relação das camadas OSI e camadas IEEE 802. | 28 |
| Figura 4 - Esquema de transmissão de dados. | 28 |
| Figura 5 - Frame Ethernet. | 29 |
| Figura 6 - Exemplo de utilização do switch. | 30 |
| Figura 7 - Cabeçalho UDP. | 32 |
| Figura 8 - Pinagem ATMEGA328 usada no Arduino UNO. | 33 |
| Figura 9 - Placa Arduino. | 33 |
| Figura 10 - Protótipo de medição. | 35 |
| Figura 11 - Esquema de funcionamento do estudo de caso. | 35 |
| Figura 12 - Recebimento do pacote de dados na máquina do servidor. | 36 |
| Figura 13 - Potência na fase R. | 37 |
| Figura 14 - Potência na fase S. | 37 |
| Figura 15 - Potência na fase T. | 38 |
| Figura 16 - Potência R. | 39 |
| Figura 17 - Potência S. | 39 |
| Figura 18 - Potência T. | 40 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1-Especificações Ethernet | 26 |
| Tabela 2 - Valores de potências recebidos pelo servidor | 50 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------|---|
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica |
| BEN | Balanco Energético Nacional |
| CNP | Conselho Nacional de Petróleo |
| DEC | Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora |
| DRP | Duração Relativa da Transgressão de Tensão Precária |
| DRC | Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica |
| EPE | Empresa de Pesquisa Energética |
| FEC | Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora |
| INB | Indústrias Nucleares Brasileiras |
| LAPSI | Laboratório de Processamento de Sinais e Imagens |
| OSI | Open System Interconnection |
| SHEMS | Smart Home Energy Management Systems |
| UFMG | Universidade Federal de Campina Grande |
| XML | Extensible Markup Language |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Introdução | 14 |
| 1.1 | Objetivos | 16 |
| 1.2 | Justificativa | 17 |
| 1.3 | Metodologia | 17 |
| 1.4 | Estrutura do Trabalho | 17 |
| 2 | Redes elétricas inteligentes | 19 |
| 2.1 | Casas residenciais inteligentes | 21 |
| 2.2 | Medidores Inteligentes..... | 23 |
| 2.3 | Arquitetura | 24 |
| 2.3.1 | Comunicação de dados | 25 |
| 2.3.2 | Modelo de dados | 25 |
| 2.3.3 | Segurança da informação..... | 25 |
| 2.3.4 | Capacidade de processamento e armazenamento | 25 |
| 3 | Ethernet | 26 |
| 3.1 | Switches | 30 |
| 3.2 | UDP | 31 |
| 3.3 | Arduino UNO..... | 32 |
| 3.3.1 | Shield ethernet..... | 33 |
| 3.3.2 | Biblioteca UDP | 34 |
| 4 | Estudo de Caso | 34 |
| 5 | Análises e Discussões | 38 |
| 6 | Conclusões | 40 |
| 7 | Referências | 42 |
| | Anexo A..... | 43 |
| | Anexo B | 46 |
| | Apêndice | 50 |

1 INTRODUÇÃO

As redes de energia elétrica utilizadas nos dias atuais são a evolução de um conceito concebido há mais de um século. As primeiras redes de corrente alternada faziam parte de sistemas centralizados de geração, transmissão e distribuição de eletricidade com demanda controlada.

O modelo usado para o desenvolvimento desses sistemas, ainda hoje, utiliza muito do que foi proposto entre os séculos XIX e XX (Garcia, 2012) por Samuel Insull, Thomas Edison, Lucien Gaulard, entre outros, no que diz respeito à construção de subestações, sistemas interligados, consumo de massa, aumento da produção de energia elétrica, transmissão de energia em corrente contínua ou alternada.

Em meados da década de sessenta, a indústria de energia elétrica iniciou o monitoramento, automação e controle dos sistemas de potência através de dispositivos analógicos e digitais. No entanto, ainda hoje, o sistema elétrico é baseado em um modelo onde as usinas geradoras são construídas afastadas dos centros consumidores e para a distribuição dessa energia produzida se faz necessário à construção de extensas linhas de transmissão.

A construção desse modelo é responsável por uma série de impactos ambientais e sociais. A legislação ambiental está cada vez mais rigorosa quanto à realização do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) (Sousa, 2000), resultando, em alguns casos, no impedimento da construção desse empreendimento.

Além de fatores ambientais, outros problemas são decorrentes, como a ineficiência das redes no que se refere a longas distâncias, a crescente demanda energética, perdas técnicas¹, dentre outros.

Visando contornar esses problemas, muito se tem falado em:

- Utilização de fontes alternativas de energia que reduzam o impacto ambiental;
- Aumento da eficiência energética;

¹ Perdas técnicas são inerentes ao transporte da energia elétrica na rede, relacionadas à transformação de energia elétrica em energia térmica nos condutores (efeito joule), perdas nos núcleos dos transformadores, perdas dielétricas, etc. Podem ser entendidas como o consumo dos equipamentos responsáveis pela distribuição de energia.

- Geração distribuída² ;

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o consumo de energia elétrica no Brasil tende a crescer, em média, 4,3% ao ano até 2023. Considerando que no Brasil, cerca de 86% da geração de energia elétrica é de origem hidráulica (EPE, Anuário Estatístico de Energia Elétrica, 2016) e que o país sofre sérias ameaças de racionamento de energia elétrica, devido aos longos períodos de estiagem, há uma necessidade eminente de utilização de fontes alternativas de energia e processos mais inteligentes.

No que se referem aos processos, as cidades deixarão de ser meros consumidores de energia elétrica e passarão a ser locais onde a energia é usada, produzida e armazenada, a partir do momento em que novas fontes de energia serão utilizadas. E em uma visão micro do processo, os consumidores residenciais e industriais injetarão na rede elétrica o excedente de energia da sua pequena produção. Como consequência, será necessário implementar sistemas de controle e gerenciar os dados provenientes da penetração maciça de dispositivos de medição e controle.

O sucesso desse novo modelo dependerá da criação de uma estrutura apropriada de comunicação que ofereça suporte a implementação de algoritmos de controle e medição que possam ser executados de forma centralizada ou distribuída, de acordo com as necessidades da aplicação ao qual foram destinados, evitando sobrecarregar as redes de comunicação.

A otimização das redes de comunicação atuais, que já fazem parte dos sistemas elétricos, a transição de fontes de energia buscando alternativas mais limpas, do ponto de vista do impacto ambiental, e os fortes investimentos no setor de geração e distribuição de energia elétrica, incentivam o desenvolvimento de equipamentos e serviços destinados a esse ramo. Dessa forma, favorece o surgimento de novas tecnologias e normas que conduzam essa expansão, objetivando a atender à crescente demanda por energia elétrica e a necessidade de atualizar a forma de gerar e distribuir essa energia.

² Geração Distribuída (GD) é uma expressão usada para designar a geração elétrica realizada junto ou próxima do(s) consumidor (es) independente da potência, tecnologia e fonte de energia.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é fazer a análise de redes elétricas inteligentes através do estudo da interface e do protocolo de comunicação Ethernet, enfatizando o protocolo UDP. Além disso, será feito um estudo de caso que envolve o envio de pacotes de dados para uma central de monitoramento. Esses pacotes contêm informações que permitem o gerenciamento do consumo de energia elétrica de um bloco da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

1.2 JUSTIFICATIVA

A escolha do tema levou em consideração a necessidade de integrar os setores de geração, distribuição e medição do sistema elétrico por meio de redes de comunicação eficientes do ponto de vista de velocidade e baixa perda de dados e que atendam as necessidades já apresentadas na atual conjuntura (informações precisas em tempo hábil) e que tende a se intensificar com as projeções de demanda de energia elétrica para os próximos anos.

1.3 METODOLOGIA

A metodologia empregada foi a análise de artigos científicos sobre as *Smart Grids*³, disponíveis na base de pesquisa do site IEEE, bem como a leitura dos Anuários Estatísticos de energia elétrica mais recentes. Para assim justificar a necessidade do sistema de comunicação proposto. Além disso, foram feitos testes de bancada utilizando o *Arduino*⁴ acoplado a um protótipo desenvolvido no próprio laboratório. A plataforma *Arduino* é de fácil acesso e baixo custo, além de apresentar interface de programação intuitiva, justificando a sua escolha dentre outros microcontroladores disponíveis no mercado.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esse trabalho está organizado da seguinte maneira. No desenvolvimento, Capítulo 2, é feita uma revisão bibliográfica, procurando explicitar os diversos conceitos abordados. Posteriormente, Capítulo 3, é introduzida a metodologia utilizada, quando são descritos as ferramentas e *softwares* utilizados. Em seguida, no Capítulo 4, é feito um estudo de caso baseado no envio de dados para uma central de monitoramento dentro da própria Universidade. A etapa seguinte, Capítulo 5, faz uma análise e

³ O termo rede elétrica inteligente (do inglês *Smart grid*) refere-se a um sistema de energia elétrica que se utiliza da tecnologia da informação para fazer com que o sistema seja mais eficiente (econômica e energeticamente), confiável e sustentável.

⁴ *Arduino* é uma plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre e de placa única.

discussão dos resultados obtidos pelo estudo de caso. O trabalho é finalizado no Capítulo 6, com o encaminhamento das conclusões e proposta de refinamentos para pesquisas similares posteriores.

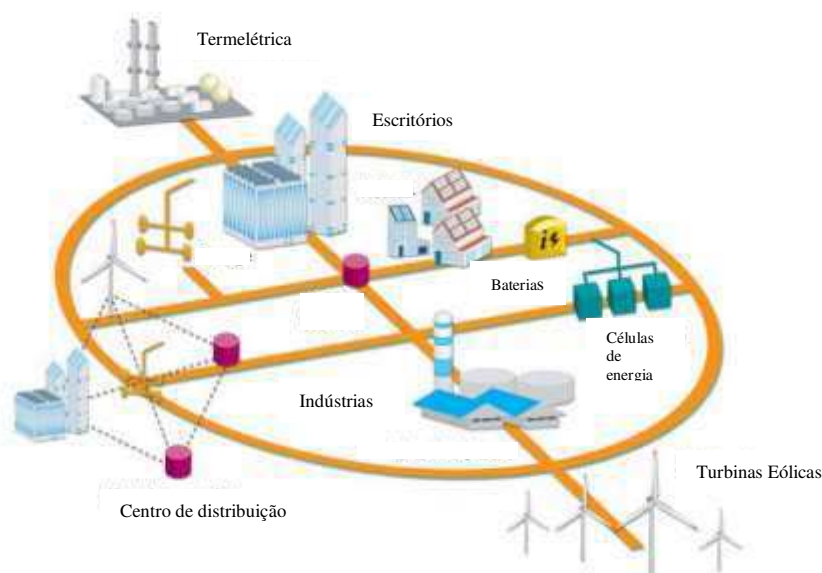
2 REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES

O termo *Smart Grid* foi utilizado pela primeira vez em 2005, em um artigo escrito por S. Massoud Amin e Bruce F. Wollenberg, publicado na revista IEEE P&E, com o título de “Toward A Smart Grid” (Amin & Wollenberg, 2005). São muitas as definições, mas de forma geral, todas abordam o uso de elementos digitais e de comunicações em rede que transportam energia, enviando dados e informações para uma central de controle, que trata os dados e auxilia na operação e controle do sistema.

Redes elétricas inteligentes permitem o monitoramento e a atuação nos âmbitos da geração, distribuição e utilização da energia elétrica. Esse conceito, também designado pela nomenclatura anglo-saxônica de *Smart Grid*, versa sobre a gestão da rede elétrica de forma cada vez mais eficiente.

Uma Smart Grid opera de forma bidirecional no que se refere à eletricidade e à informação, operando de forma automática os elementos interligados à rede: centrais de geração, rede de transmissão e distribuição em alta, média e baixa tensão, complexos industriais e/ou residenciais.

Figura 1 - *Smart Grid*.



Fonte: (European, 2006).

As redes inteligentes permitem que microprodutores de energia ingressem na rede, nesse caso a geração passa a ser distribuída. A partir desse ponto de vista, surge uma problemática interessante: fluxo bidirecional de energia, onde ora se tem um consumidor ora um microprodutor. Então, como seria possível injetar eletricidade na rede sem desestabilizar o sistema? Além disso, como o consumidor seria recompensado pela eletricidade que produz, ao mesmo tempo em que também a consome?

Esses questionamentos podem ser respondidos através do conceito de *Smart Meters*, ou melhor, medidores inteligentes. Esses medidores monitoram em tempo real, o consumo de residências e/ou indústrias, mostrando o quanto está sendo consumido ao mesmo tempo em que calcula o valor a ser pago, fazendo uma estimativa da conta de energia ao final do mês.

As redes inteligentes podem contribuir, de forma significativa, com o uso inteligente da energia elétrica, otimizando o seu consumo e inserindo de maneira maçante a utilização da energia sustentável, como a geração com placas solares e através de turbinas eólicas.

Algumas funções são essenciais em uma rede inteligente, tais como:

- Auto recuperação, ou seja, diante de uma falta, o sistema precisa ser capaz de resolver o problema de forma rápida e eficaz, restabelecendo o fornecimento de energia.
- Motivar os consumidores a serem mais participativos. A rede inteligente deve ser interessante do ponto de vista econômico, atraindo assim, cada vez mais consumidores.
- Resistir a ataques físicos e cibernéticos. A rede inteligente deve transmitir dados criptografados, impedindo possíveis interceptações desses dados por terceiros.
- Fornecer uma energia de melhor qualidade, sem oscilações ou interrupções.
- Permitir vários tipos de geração e armazenagem de energia.

Um dos maiores objetivos é a maior participação do usuário, seja como consumidor e/ou produtor. A rede inteligente traça o perfil do consumidor e o auxilia a controlar o seu consumo, reduzindo custos através de sinais tarifários emitidos pela concessionária.

Uma pesquisa realizada em 2007, com 100 empresas de energia e 1900 consumidores dos Estados Unidos, Alemanha, Holanda, Inglaterra, Japão e Austrália, apresentada no relatório *Plugging in the Consumer* (IBM, 2007), revelou que 83% gostariam de poder escolher a fornecedora de energia, quase dois terços dos consumidores gostariam de receber energia de fontes renováveis e a mesma porcentagem gostaria de poder gerar sua própria energia e vendê-la a concessionária.

Para a penetração de fontes renováveis é necessário o avanço da tecnologia no que se refere ao armazenamento de energia, embora já seja possível encontrar no mercado baterias para diversas aplicações, o preço ainda é um empecilho para a popularização dessas novas fontes.

De maneira geral, o conceito *Smart Grid* envolve outras tecnologias, que podem ser agrupadas em medição eletrônica, o dispositivo de medição de grandezas propriamente dito, comunicação rápida, para levar informações a uma central de monitoramento, sensoriamento e atuadores, para identificar falhas e as corrigir de forma eficiente, e por último, mas não menos importante, um sistema computacional com processamento eficaz para integrar essas tecnologias.

2.1 CASAS RESIDENCIAIS INTELIGENTES

Hoje, utiliza-se energia com pouco controle e conhecimento do perfil do consumo, o consumidor tem uma única informação do seu consumo quando recebe a sua fatura e pouco incentivo para racionalizar o uso da energia elétrica. Paralelamente, as concessionárias dependem quase que exclusivamente do chamado do cliente para perceber uma falta de energia, demorando horas e até dias para religar uma unidade. Esse fato impacta não só o cliente, que é o principal prejudicado, mas também interfere em indicadores da própria concessionária.

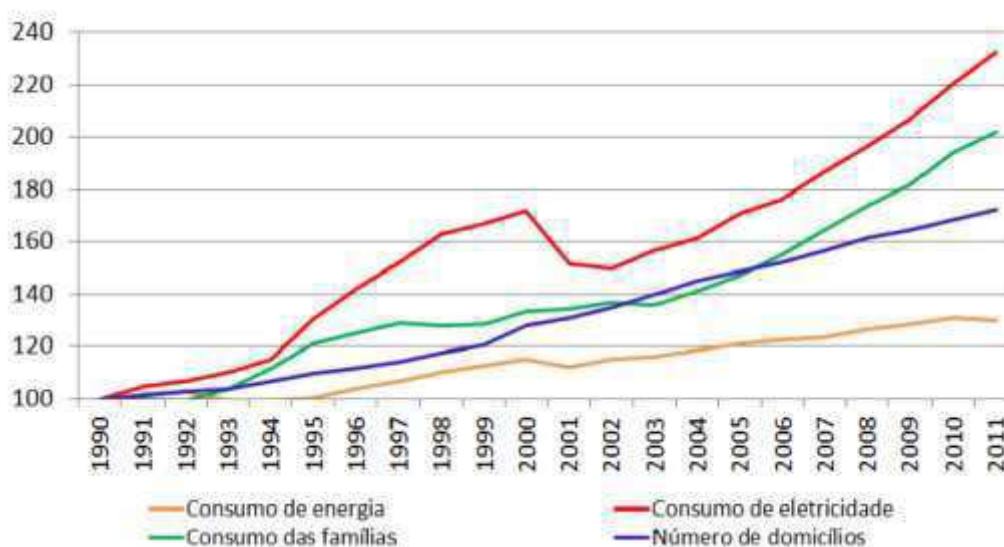
A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) exige que as concessionárias mantenham um padrão de continuidade e, para tal, estabelece limites para os indicadores de continuidade, DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora). Dessa forma, a concessionária tem seus indicadores impactados ao demorar em religar determinada unidade e também quando determinada unidade tem seu fornecimento interrompido várias vezes.

Em uma visão micro do amplo conceito de *Smart Grid*, está às casas residenciais inteligentes ou *Smart Home Energy Management Systems* (SHEMS). O consumo brasileiro de energia elétrica é crescente em todos os setores, e entre os anos de 1990 e 2000 ocorreu um significativo aumento no consumo de eletricidade. Isso decorreu tanto do aumento do consumo das famílias (eletrodomésticos) quanto da indústria e serviços em geral (EPE, Consumo de Energia no Brasil, 2014).

Durante o período de 2001 a 2011 se intensificou o rápido avanço no aumento per capita da população em geral, bem como na redistribuição de renda no Brasil. Isso pode ser explicado pela prática de políticas econômicas visando o aquecimento da indústria e o acesso a eletrodomésticos pelas camadas mais populares da sociedade.

Diante desse cenário, o consumo residencial de energia elétrica pelas famílias acompanhou o crescimento do consumo nacional de eletricidade. A evolução desse consumo pode ser verificada pelo gráfico abaixo:

Figura 2 - Evolução do consumo no período de 1990 a 2011.



Fonte: (EPE, Consumo de Energia no Brasil, 2014).

As projeções mostram que esse consumo continuará crescente pelos próximos anos, evidenciando a necessidade da utilização de fontes renováveis de energia, bem como um melhor gerenciamento do uso da energia elétrica no país. Nesse contexto se insere as casas residenciais inteligentes ou *Smart Home Energy Management Systems* (SHEMS).

As casas inteligentes podem ser consideradas mini redes inteligentes, monitorando o consumo de energia elétrica através de medidores inteligentes, que

monitoram e enviam a informação para uma central de monitoramento, contribuindo assim para a redução do consumo de energia. Os eletrodomésticos são controlados por uma central de monitoramento, dessa forma o ambiente familiar se torna mais agradável e pode-se reduzir consideravelmente o consumo, visto que aquele aparelho que foi deixado ligado poderia ser desligado pelo sistema no horário de maior consumo.

Em suma, o gerenciamento inteligente residencial oferece as seguintes funcionalidades:

- Informação, o sistema monitora o consumo identificando padrões e traçando um perfil do uso de energia elétrica em determinada residência. Seria possível obter mensalmente, diariamente ou até em tempo real gráficos com o consumo de determinado cômodo da casa, por exemplo.
- Automatização, a partir de padrões o sistema liga ou desliga determinado aparelho eletrodoméstico. Por exemplo, em dias frios o aquecedor seria ligado automaticamente para garantir uma temperatura estável dentro da residência, ou quando o ambiente estivesse em temperatura ambiente, o aparelho ar-condicionado seria desligado.
- Interoperabilidade, os sistemas de medição e atuadores comunicam-se entre si, garantindo uma resposta rápida quando determinada medição apresentar valores que divergem do perfil traçado.

Em uma rede doméstica, a concessionária de energia pode oferecer outros serviços, como por exemplo, resolver problemas no abastecimento de forma remota, sem precisar enviar equipes ao local, fontes de energia alternativas poderão ser conectadas à rede, como o veículo híbrido ou painéis fotovoltaicos. O excedente de energia seria ofertado ao sistema, surgindo assim um novo agente comercializador de energia, o consumidor produtor.

2.2 MEDIDORES INTELIGENTES

O medidor é um dos componentes principais do sistema *Smart Grid*. Cabe a ele realizar medições do consumo em intervalos programados, processar dados e enviar comandos para outros componentes do sistema, integrando a cadeia de fornecimento.

Uma de suas maiores vantagens é a comunicação bidirecional, podendo enviar e receber dados. Para isso várias tecnologias já estão disponíveis: ZigBee, PLC, rede Mesh, entre outras.

No Brasil, a ANEEL mediante uma audiência pública (Audiência Pública N° 043/2010) propôs que entre as grandezas medidas pelo dispositivo devem está a energia ativa, energia reativa e a tensão de fornecimento. Já em relação à funcionalidade, propõe-se que os medidores possam registrar o início e a duração das interrupções de fornecimento, apurar DRP – Duração Relativa da Transgressão de Tensão Precária – e DRC – Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica⁵ - e registrar até quatro pontos tarifários.

Os postos tarifários são regulamentados pela ANEEL através da Resolução Normativa n° 414/2010, possibilitando a contratação e o faturamento de energia e da demanda de potência diferenciada ao longo do dia: horário de ponta, horário fora de ponta e horário intermediário (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2010).

2.3 ARQUITETURA

O sistema de fornecimento de energia envolve múltiplos processos. No caso de redes inteligentes, buscam-se elementos de tecnologia que proporcionem inteligência às várias etapas desse fornecimento.

A camada física é composta pelas tecnologias que envolvem medidores eletrônicos, equipamentos de proteção e operação das redes de transmissão e distribuição, geração distribuída, sincrofasores e elementos de inteligência em subestações como, por exemplo, os IEDs (*Intelligent Electronic Devices*).

Para monitorar estas diversas fases, há as camadas lógicas que gerem e supervisionam os processos: sistemas de controle atuando como supervisórios, gerenciamento e armazenamento de dados, além de sistemas de automação e controle.

A infraestrutura de supervisão depende de uma camada de comunicação, que permite a troca de informações entre os equipamentos de medição, monitoramento e atuação. Na distribuição, por exemplo, podem-se utilizar redes *Mesh* ou redes de malha.

⁵ Duração Relativa da Transgressão de Tensão Precária (DRP) e Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica expressam o percentual do tempo no qual a unidade consumidora permaneceu com tensão precária (tensão abaixo do valor contratado) e com tensão crítica. A ANEEL estabelece limites para os indicadores de tensão em regime permanente. Esses limites são de 3% para o DRP e 0,5% para o DRC.

Esse tipo de rede utiliza equipamentos com a função de roteador/repetidor. Já para áreas urbanas, densamente povoadas, podem-se utilizar fibras ópticas.

2.3.1 COMUNICAÇÃO DE DADOS

Como a interface ocorre, normalmente, entre equipamentos de fabricantes distintos, a comunicação de dados deve seguir um padrão aberto. Em sistemas de automação e proteção, como subestações, a norma IEC 61850 permite a flexibilidade e projetos de funções através do uso de redes de alta velocidade como *Ethernet* (100Mbps/s ou 1Gbps/s).

2.3.2 MODELO DE DADOS

A norma IEC 61850 define um modelo para aquisição de dados de dispositivos eletrônicos inteligentes. A norma define uma linguagem de comunicação baseada em XML – *Extensible Markup Language*. Dessa forma, equipamentos de diversos fabricantes “conversam” entre si utilizando a mesma linguagem.

2.3.3 SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO

Os dados que trafegam pela rede precisam chegar ao seu destino de forma segura, sem riscos de interceptação ou violação ao longo do caminho. São muitos os requisitos para a segurança e provavelmente a solução consiste em adicionar uma camada ao modelo, que atue de forma paralela à camada lógica.

2.3.4 CAPACIDADE DE PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO

Espera-se grande volume de dados, já que estes são enviados de diversas fontes para uma mesma central de monitoramento, além disso, a monitoração deve ocorrer em intervalos de tempo curtos (uma hora, quinze minutos, etc). Esse cenário exige a utilização de dispositivos que processem dados rapidamente e que tenham capacidade de armazenamento elevada.

3 ETHERNET

A Ethernet, também conhecida por norma IEEE 802.3, é um padrão de transmissão de dados em uma rede local, onde todas as máquinas da rede Ethernet estão conectadas em uma mesma linha de comunicação, utilizando cabos de rede, ou seja, todos os dispositivos estão conectados fisicamente.

De acordo com o tipo e o diâmetro de cabo utilizado, os mesmos podem ser classificados como:

1. 10Base2: o cabo utilizado é um cabo coaxial fino de fraco diâmetro chamado *thin* Ethernet.
2. 10Base5: cabo coaxial de grande diâmetro chamado *thick* Ethernet.
3. 10Base-T: o cabo utilizado é um par trançado com débito atingido de cerca de 10Mbps.
4. 100Base-TX: semelhante ao 10Base-T, mas com débito dez vezes maior (100Mbps).
5. 1000Base-T: utiliza um duplo par trançado, permitindo débito de Gigabit por segundo.
6. 1000Base-SX: baseado em um cabo de fibra óptica que utiliza um sinal de fraco comprimento de onda de 830 nanômetros.
7. 1000Base-LX: semelhante ao 1000Base-SX, mas com comprimento de onda elevado de 1350 nanômetros.

Na tabela abaixo constam as especificações destas e de outras alternativas Ethernet:

Tabela 1-Especificações Ethernet.

| Sigla | Denominação | Cabo | Conector | Débito | Alcance |
|--------------|--------------------|--------------------|-----------------|---------------|----------------|
| 10Base2 | Ethernet fina | Coaxial fino | BNC | 10 Mb/s | 185m |
| 10Base5 | Ethernet espessa | Coaxial espesso | BNC | 10Mb/s | 500m |
| 10Base-T | Ethernet padrão | Par trançado | RJ-45 | 10Mb/s | 100m |
| 100Base-TX | Ethernet rápida | Duplo par trançado | RJ-45 | 100Mb/s | 100m |

| | | | | | |
|-------------|-------------------------|--|-------|-----------|------|
| 100Base-FX | Ethernet rápida | Fibra óptica multimodo (tipo 62.5/125) | | 100Mb/s | 2 km |
| 1000Base-T | Ethernet Gigabit | Duplo par trançado | RJ-45 | 1000Mb/s | 100m |
| 1000Base-LX | Ethernet Gigabit | Fibra óptica monomodo ou multimodo | | 1000Mb/s | 550m |
| 1000Base-SX | Ethernet Gigabit | Fibra óptica multimodo | | 1000Mb/s | 550m |
| 10GBase-SR | Ethernet de 10 Gigabits | Fibra óptica multimodo | | 10Gbits/s | 500m |
| 10GBase-LX4 | Ethernet de 10 Gigabits | Fibra óptica multimodo | | 10Gbits/s | 500m |

Fonte:< (CCM Comunidade on-line)>.

A Ethernet opera na camada física e na camada de enlace do modelo OSI (*Open System Interconnection*)⁶ operando de forma síncrona com velocidade ente 10Mbits/s a 1000Mbitis/s para destinos diferentes, considerando que esses destinos são máquinas que fazem parte de uma mesma rede local, estando por isso, conectadas fisicamente.

Os sinais de Ethernet são transmitidos bit a bit de forma serial através de um cabo compartilhado pelas estações da rede. Cada estação transmite apenas quando há tráfego livre, caso haja uma colisão entre pacotes de dados, as estações são notificadas do evento.

A camada de enlace está relacionada essencialmente ao gerenciamento do “*link*” e ao empacotamento das mensagens. No padrão ethernet não existe retransmissão de dados, esse procedimento fica a cargo das camadas superiores.

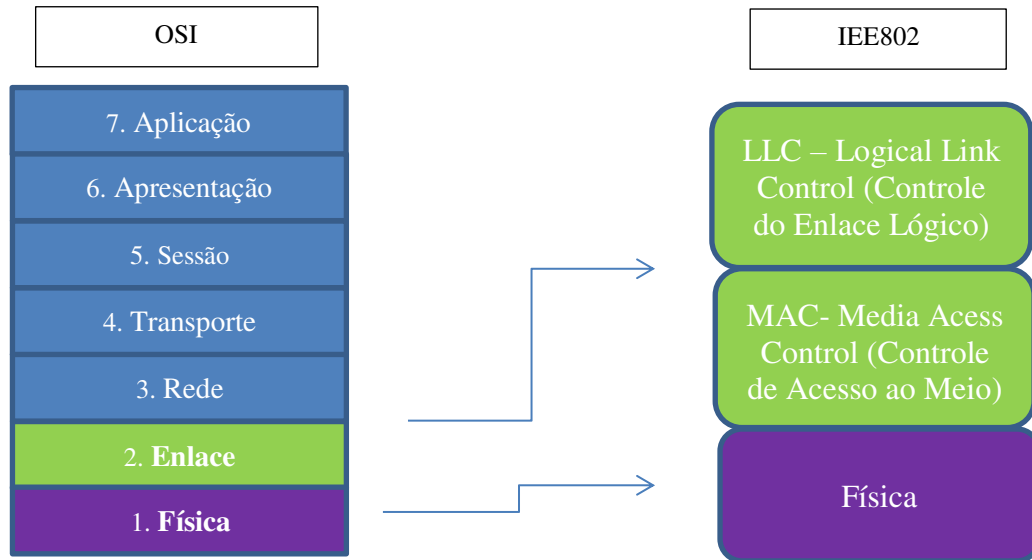
A figura 3 ilustra a relação das camadas do modelo OSI e as camadas IEEE 802.

O Controle do Enlace Lógico (LCC) especifica os mecanismos para endereçamento de estações conectadas ao meio e para controlar a troca de dados entre os usuários e a rede. São estabelecidos três tipos de serviços: sem conexão e sem reconhecimento, com conexão e com reconhecimento sem conexão.

⁶ Modelo de rede de computador referência da ISO dividido em camadas de funções, criado em 1971 e formalizado em 1983, com objetivo de ser um padrão, para protocolos de comunicação entre os mais diversos sistemas em uma rede local (Ethernet), garantindo a comunicação entre dois sistemas computacionais

A função do Controle de Acesso ao Meio (MAC) é permitir que os dispositivos compartilhem a capacidade de transmissão de uma rede, dessa forma possibilita o uso eficiente e ordenado da rede.

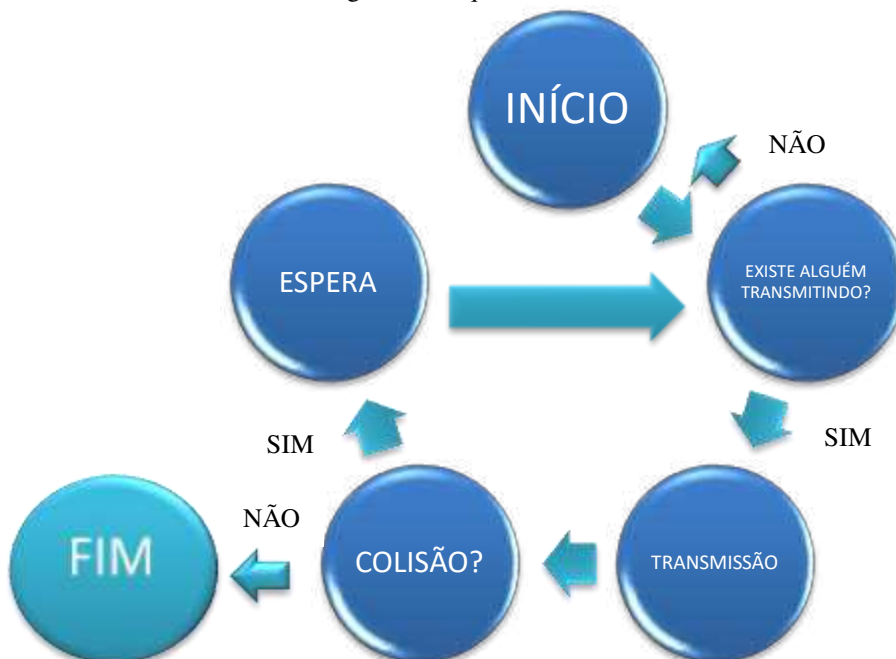
Figura 3 - Relação das camadas OSI e camadas IEEE 802.



Fonte: Próprio Autor.

O algoritmo de acesso ao meio para uma estação que deseja transmitir um pacote de dados é, de forma simplificada, o seguinte:

Figura 4 - Esquema de transmissão de dados.



Fonte: Próprio Autor.

O tempo de espera, após a colisão, é aleatório, esse tempo evita que duas ou mais estações venham a transmitir juntas novamente. Ainda assim há uma possibilidade remota disso acontecer, ela aumenta com o número de estações, quanto mais estações em uma rede, maior o risco de ocorrer colisões entre os pacotes.

Antes da transmissão, a estação transmissora deve transmitir um preâmbulo de 64 bits a fim de que os receptores sintonizem na rede. Esse preâmbulo constitui-se de uma sequência alternada de 0 e 1 e termina em 11, indicando o início do pacote.

Cada adaptador de rede possui o seu endereço ethernet. A estação transmissora coloca o seu endereço no campo Endereço Fonte e a estação a qual se destina o pacote é identificada no campo Endereço Destino. O campo Tipo pode ser utilizado de diversas formas, mas em geral serve para identificar qual o protocolo de rede (TCP/IP, UDP, entre outros). O campo Dados se refere a informação propriamente dita e possui tamanho variável (46 a 1500 bytes). E por fim, o campo FCS, essa informação serve para verificar erros.

Figura 5 - Frame Ethernet.

| 8bytes | 6 bytes | 6 bytes | 2 bytes | 46-1500bytes | 4 bytes |
|-----------|------------------|----------------|---------|--------------|---------|
| Preâmbulo | Endereço Destino | Endereço Fonte | Tipo | Dado | FCS |

Fonte: < <http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/Ethernet-tutorial.html>>.

Campo de preâmbulo: anuncia a presença do pacote e habilita todos os receptores ethernet a se sincronizarem com o quadro em questão. A presença desse campo garante o espaçamento mínimo de 9,6us entre quadros, permitindo a realização de operações de detecção de erros.

Delimitador de Início de Quadro: Aplica-se somente ao padrão IEEE 802.3 e pode ser visto como uma continuação do preâmbulo. Sua finalidade é alertar sobre o início do quadro de dados.

O adaptador remove os campos de preâmbulo e delimitador, colocando o restante dentro de um *buffer*.

Campo de endereço de destino e de fonte: Identifica o receptor/transmissor do pacote. Um endereço em particular é FFFFFFFF:FFFFFFF, que significa que todas as estações de rede estão endereçadas (endereço de broadcast).

Quanto à terminação, temos:

- Unicast: identifica uma única estação.
- Multicast: identifica um conjunto de estações.
- Broadcast: identifica todas as estações de uma rede.

Tamanho de Dados: No padrão IEEE 802.3 o campo de tipo foi substituído pelo tamanho dos dados, permitindo identificar o número de bytes do campo de dados.

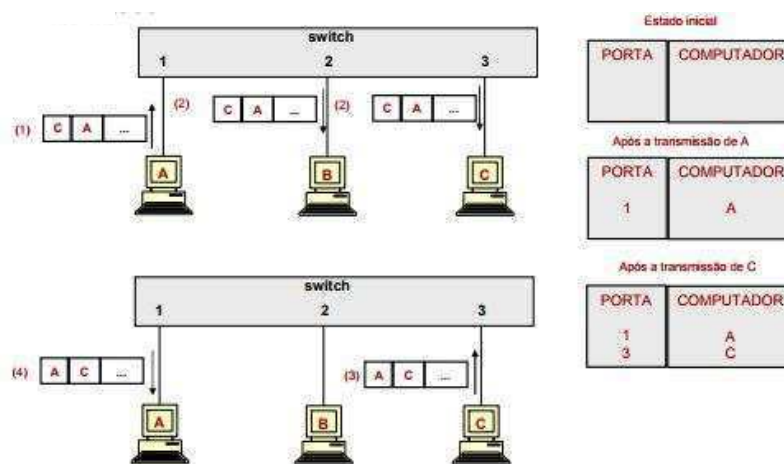
3.1 SWITCHES

O *switch Ethernet* é um equipamento de comutação que permite encaminhar o quadro recebido em uma porta apenas para onde o computador de destino está conectado (Jamhour, 2017). Esse equipamento mantém em sua memória uma tabela relacionando o endereço dos computadores às suas portas.

O preenchimento é totalmente automático, não é necessário fazer nenhuma configuração nos computadores para que eles passem a operar com o *switch*. Inicialmente, conforme mostra a figura abaixo, a tabela está vazia. O computador A envia um quadro para o pacote C, o switch tenta localizar em que porta o computador C está localizado. Como ele não consegue (a tabela não tem essa informação), o pacote é enviado para todos os computadores.

Ao interpretar o endereço de origem, o switch “aprende” que o computador A está na porta 1, assim, uma eventual resposta de C para A, é enviada apenas para a porta 1. A figura abaixo ilustra um exemplo de utilização do switch.

Figura 6 - Exemplo de utilização do switch.



Fonte: (Jamhour, 2017).

Só é possível haver colisões entre computadores conectados a uma mesma porta. Internamente, o switch possui uma matriz de comutação de capacidade elevada, dessa forma é possível realizar diversas transmissões em paralelo. Cada dispositivo da rede só concorre com outro se ambos estiverem conectados a uma mesma porta do switch, logo o ganho de desempenho para a rede é bastante elevado.

A maioria dos switches disponíveis no mercado possuem 12 ou 24 portas, o que é suficiente para algumas aplicações, tais como o recebimento de dados via ethernet de até 24 medidores inteligentes. Para criar redes maiores, é possível conectar os switches em cascata, aumentando, assim, o número de portas disponíveis.

3.2 UDP

O protocolo UDP (User Datagram Protocol) é um protocolo de camada de transporte no modelo TCP/IP, ou seja, é responsável pelo envio e/ou recebimento dos dados, gerenciando o transporte de datagramas pela rede.

Se comparado com o protocolo TCP, pode ser considerado bem mais simples. O TCP se preocupa com a conexão e a chegada dos dados no destino, já o UDP não verifica o recebimento dos dados e não possui o serviço de reenvio, os dados são agrupados na ordem que chegam à rede, não há controle do fluxo de informações.

Essa simplicidade, que pode parecer uma desvantagem para algumas aplicações, para outras é excelente, visto que por ser mais simples, o UDP é menor, o que significa ganho na velocidade de transmissão e recepção dos dados.

A estrutura do pacote UDP é constituída pelos seguintes campos:

1. Porta UDP Origem: este campo contém a porta UDP usada pela origem e é opcional.
2. Porta UDP Destino: informa a porta de destino.
3. Tamanho da mensagem UDP: contém o tamanho de todo o pacote (Dados e Cabeçalho)
4. UDP Checksum: esse campo é utilizado na recepção dos dados, a fim de verificar se este dado está correto ou não. É opcional, logo, ao atribuir o valor 0 (zero) no campo, o receptor não saberá classificar em certo ou errado.

Figura 7 - Cabeçalho UDP.



Fonte: Próprio Autor.

3.3 ARDUINO UNO

O Arduino Uno (figura 9) é uma placa de desenvolvimento composta pelas seguintes partes:

1. Micro controlador: é um dispositivo programável que executa os comandos do código nele gravado. O chip utilizado nessa placa é o ATmega328.
2. Conector USB: É por onde o computador e o Arduino se comunicam com auxílio de um cabo USB, além de ser uma opção de alimentação da placa.
3. Pinos de entrada e saída: Pinos que podem ser programados para agirem como entradas ou saídas fazendo com que o Arduino interaja com o meio externo. O Arduino UNO possui 14 portas digitais (I/O), 6 pinos de entrada analógica e 6 saídas analógicas (PWM).
4. Pinos de Alimentação: Fornecem diversos valores de tensão que podem ser utilizados para energizar os componentes de determinado projeto. Devem ser utilizados com cuidado para não serem forçados a fornecer valores de corrente superiores ao suportado pela placa.

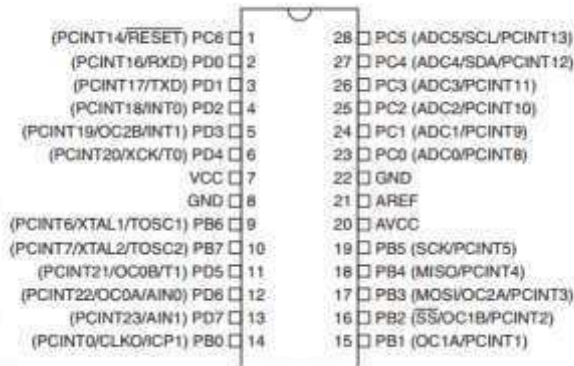
A alimentação externa é feita através do conector Jack com positivo no centro, onde o valor da tensão externa deve estar entre os limites 6V a 20V. Porém a fim de garantir estabilidade, recomenda-se utilizar fontes de tensão entre 7 e 12V. Quando o cabo USB é conectado ao computador, a placa é alimentada diretamente pela porta USB.

O componente principal da placa Arduino é o microcontrolador ATMEGA328 (figura 8), um dispositivo de 8 bits com arquitetura avançada RISC. Ele possui 32 KB de memória Flash, 2KB de RAM, e 1KB de EEPROM.

Esse microcontrolador possui dois modos de consumo muito baixos, o *Power-down Mode* e o *Power-save Mode*, para que o sistema possa poupar energia em

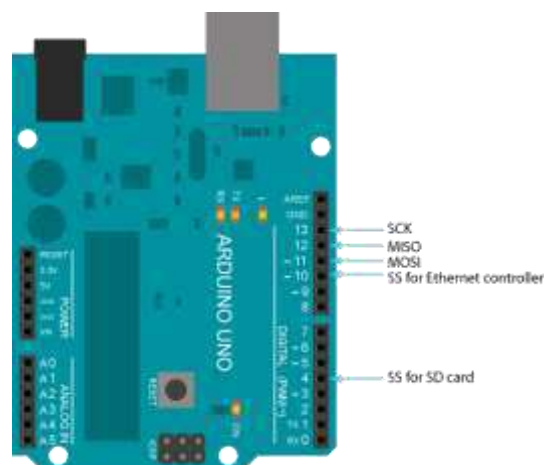
situações de espera, nesses casos a tensão de operação é de 1,8V e a frequência do oscilador é de até 4MHz, mas possui um oscilador interno de 32kHz que pode ser utilizado em situações de baixo consumo.

Figura 8 - Pinagem ATMEGA328 usada no Arduino UNO.



Fonte: < <https://www.embarcados.com.br/arduino-uno/>>.

Figura 9 - Placa Arduino.



Fonte: (ARDUINO®).

3.3.1 SHIELD ETHERNET

O Arduino é uma ferramenta de desenvolvimento e plataforma aberta, logo pessoas de todo o mundo desenvolvem complementos para essa plataforma, chamados *Shields*, como por exemplo, o *Shield Ethernet* que habilita o Arduino a acessar uma rede.

O *Ethernet Shield W5100* possui internamente todas as camadas do protocolo TCP/IP e UDP implementadas, sendo necessários somente comandos de acesso para disponibilizar a sua aplicação na rede.

É necessário obter algumas informações da rede local para a correta configuração do módulo Ethernet. Inicialmente identificar o endereço IP da rede local, em seguida, definir o endereço IP para o *shield*, no mesmo formato do IP da rede, modificando apenas o último número para que não ocorra conflito com outros equipamentos conectados à rede.

Além disso, é preciso identificar o *gateway* padrão e a máscara de sub rede. Todas essas informações podem ser obtidas através do prompt de comando da máquina a qual o Arduino está conectado.

3.3.2 BIBLIOTECA UDP

Da mesma forma que a maioria das plataformas de programação, o ambiente Arduino pode ser estendido pelo uso de bibliotecas.

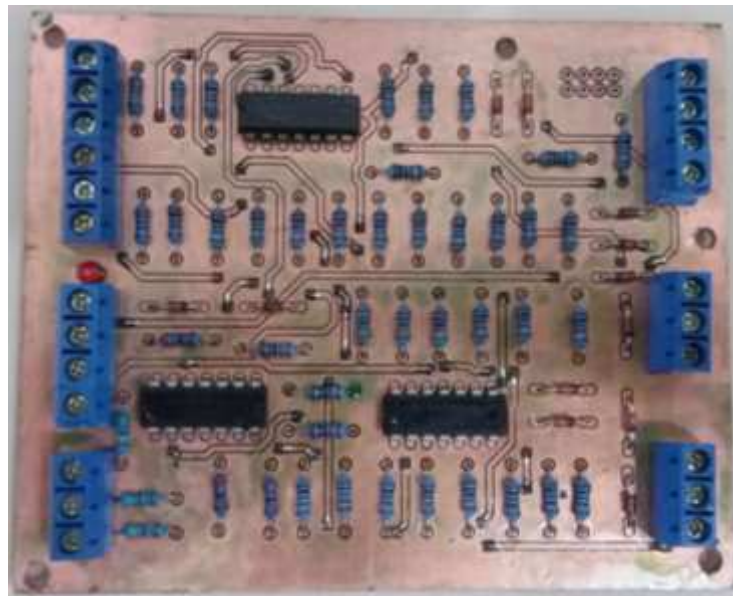
O Arduino já dispõe de uma biblioteca para a implementação do protocolo UDP, esta biblioteca se encontra disponível para download no site da marca, e pode ser incluída no código em desenvolvimento.

4 ESTUDO DE CASO

No Laboratório de Processamento de Sinais e Informação (LAPSI), localizado no bloco CJ da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), foi desenvolvido um protótipo (Figura 10) com o objetivo de realizar medições de tensão e corrente e o cálculo das potências nas três fases da rede elétrica.

A esse protótipo, desenvolvido pelo engenheiro Naelso Cunha sob a supervisão do professor Edmar Candeia, foi acoplado o Arduino conectado ao shield Ethernet, com o objetivo de enviar os dados medidos e calculados via Ethernet.

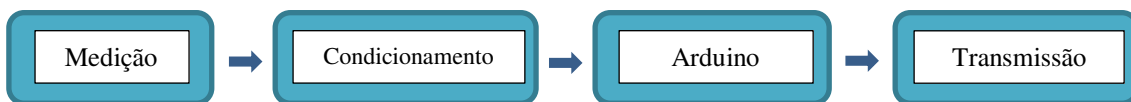
Figura 10 - Protótipo de medição.



Fonte: Próprio Autor.

O interesse da equipe é monitorar remotamente, em tempo real, o consumo de energia no bloco CJ, conforme o diagrama abaixo:

Figura 11 - Esquema de funcionamento do estudo de caso.



Fonte: Próprio Autor.

Inicialmente, foi desenvolvido o código para a formação do pacote de dados e envio ao servidor. Utilizou-se a IDE do Arduino para a programação em Linguagem C.

As variáveis Pr, Ps e Pt armazenam os valores de potência nas fases R, S e T, respectivamente, calculados na função medição(), a partir dos valores de tensão e corrente medidos pelo protótipo. O código encontra-se em anexo.

Para formação do pacote de dados, utiliza-se a função:

```
aux.toCharArray(pacote_dados,UDP_TX_PACKET_MAX_SIZE);
```

E em seguida a função: **udp.write**(pacote_dados), utilizada para gravar o pacote de dados na variável pacote_dados.

Antes da formação e escrita do pacote de dados é necessário indicar que um pacote de dados será formado, utilizando para isso a função

`udp.beginPacket(IPAddress(150,165,62,121),localPort)`. Esta função envia como parâmetros o IP do servidor, ou seja, o IP da máquina que recebe o pacote, além da porta do *switch* que será lida pelo servidor.

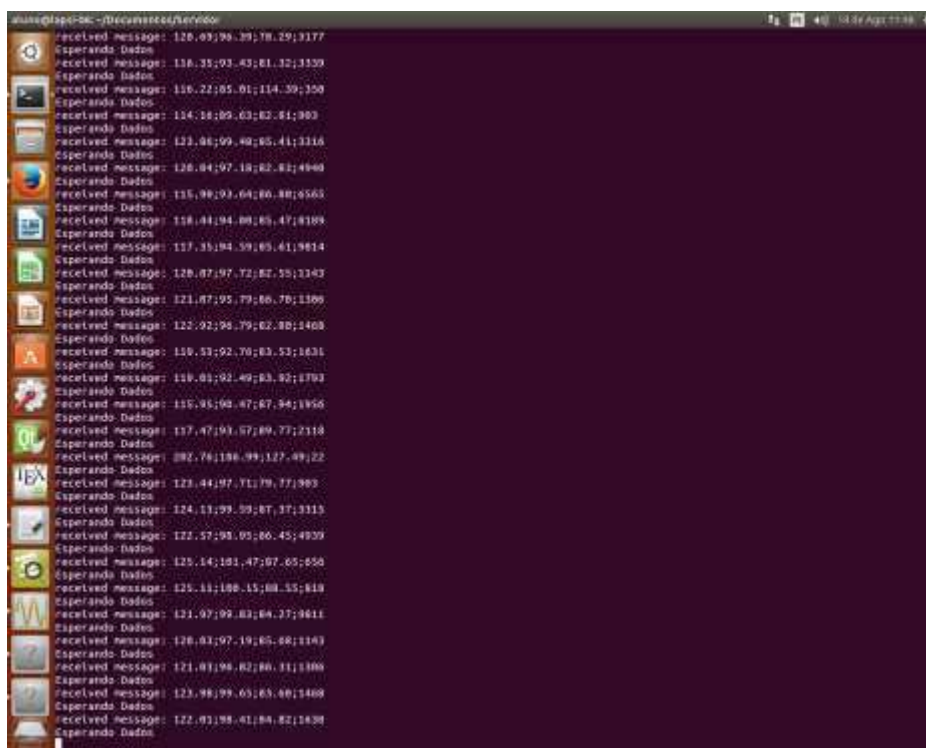
No experimento realizado, utilizou-se o IP 150.165.62.121 como servidor e a porta 5010 do *switch* do laboratório como destino. Visto que o protocolo para transporte é UDP, não é obrigatório inserir no cabeçalho a porta origem nem o *Cchecksum*.

O pacote só é finalizado ao chamar a função `udp.endPacket()`, informando, assim, que o pacote está pronto para ser enviado pela rede.

O código foi compilado e gravado no Arduino Uno acoplado ao shield Ethernet. Na tabela em anexo estão registrados os valores recebidos pelo Servidor para as potências nas três fases.

A cada um segundo, o Shield Ethernet envia ao servidor um pacote de dados formado por três *strings*: Potência R, Potência S e Potência T e o valor do tempo, em segundos, que o pacote foi formado.

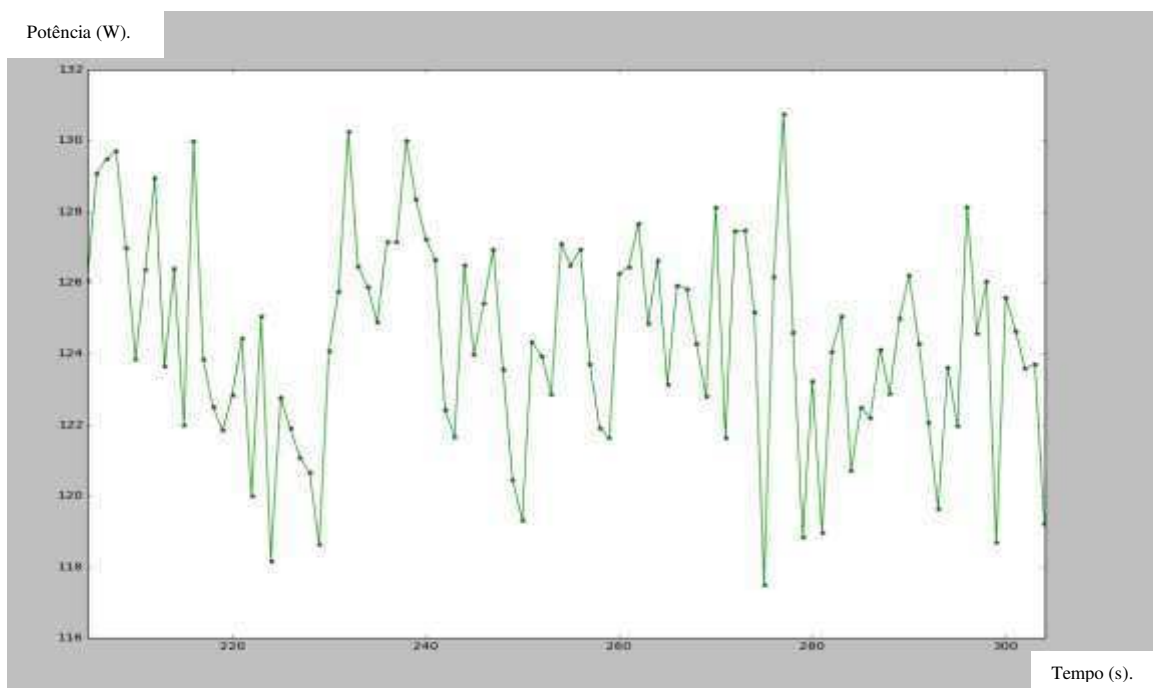
Figura 12 - Recebimento do pacote de dados na máquina do servidor.



Fonte: Próprio Autor.

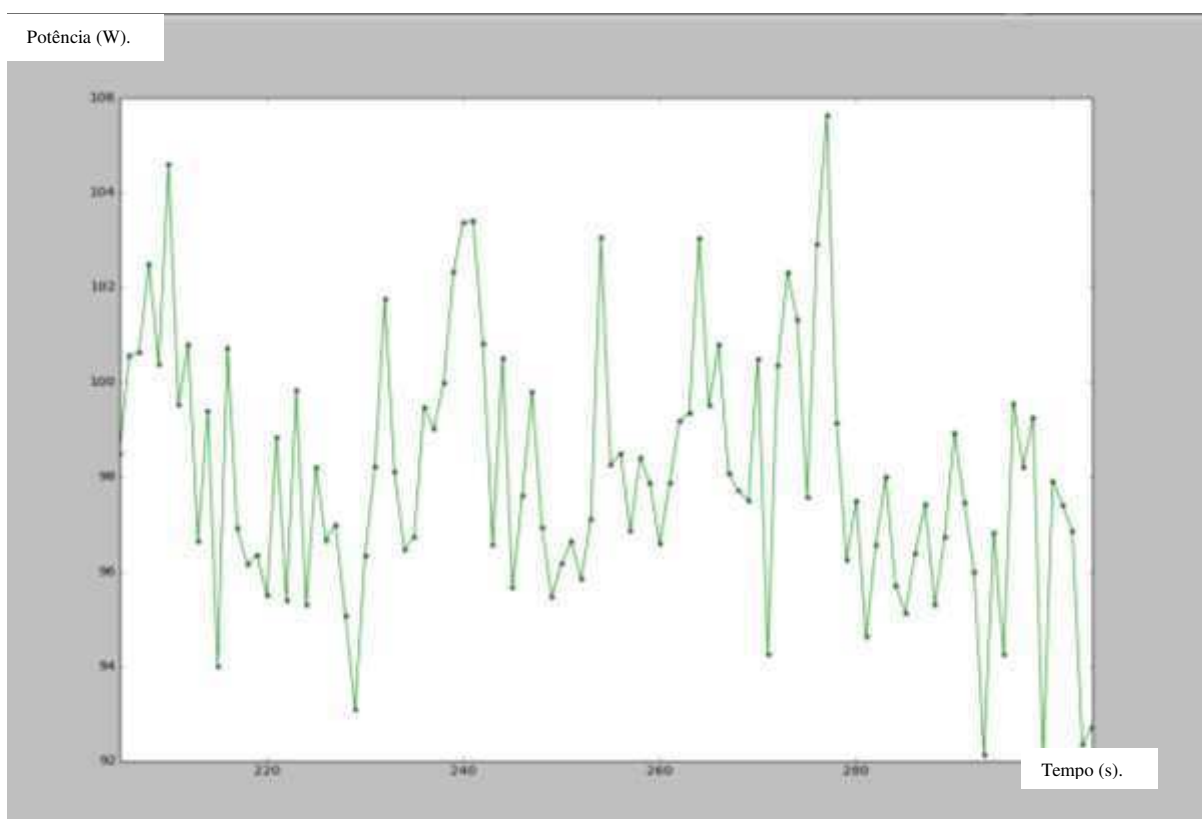
O servidor grava os dados em um arquivo `.csv` e traça três gráficos, um para cada fase da rede elétrica.

Figura 13 - Potência na fase R.



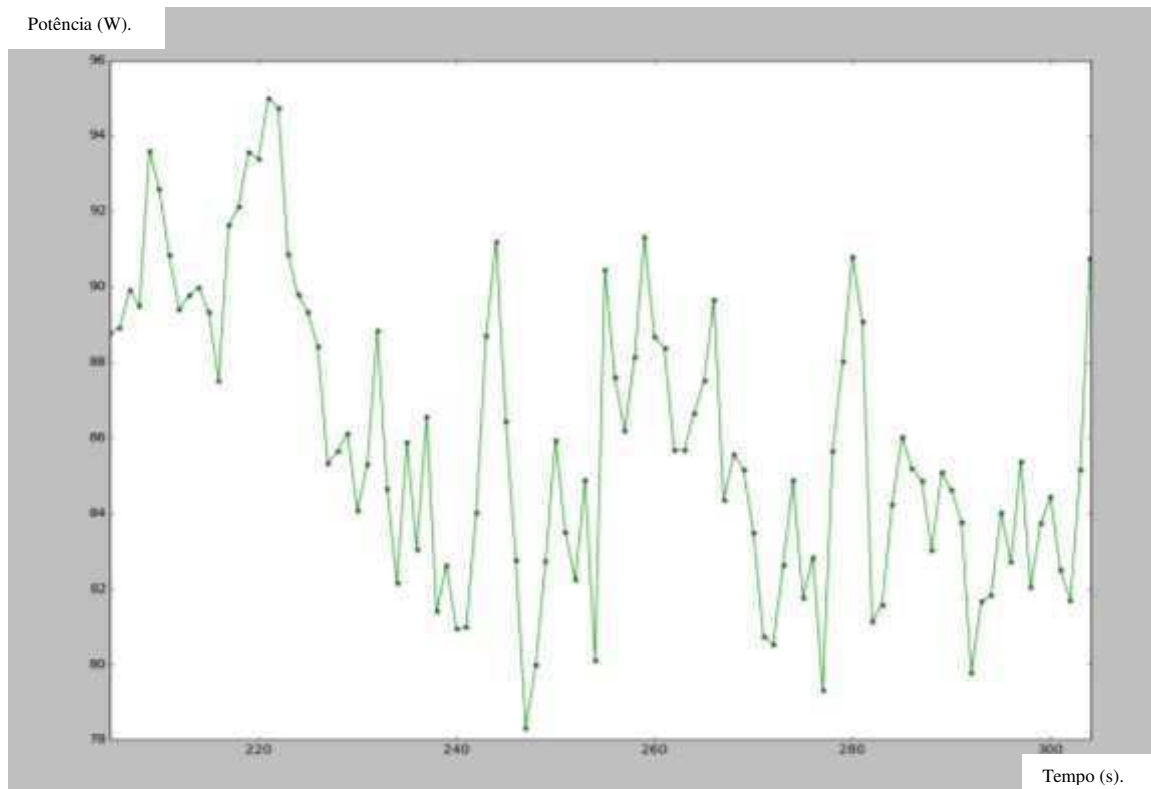
Fonte: Próprio Autor.

Figura 14 - Potência na fase S.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 15 - Potência na fase T.



Fonte: Próprio Autor.

5 ANÁLISES E DISCUSSÕES

A cada um segundo, um pacote de dados formado por três valores de potência é enviado para a rede Ethernet do Laboratório de Processamento de Sinais e Imagens (LAPSI) do bloco CJ na Universidade Federal de Campina Grande.

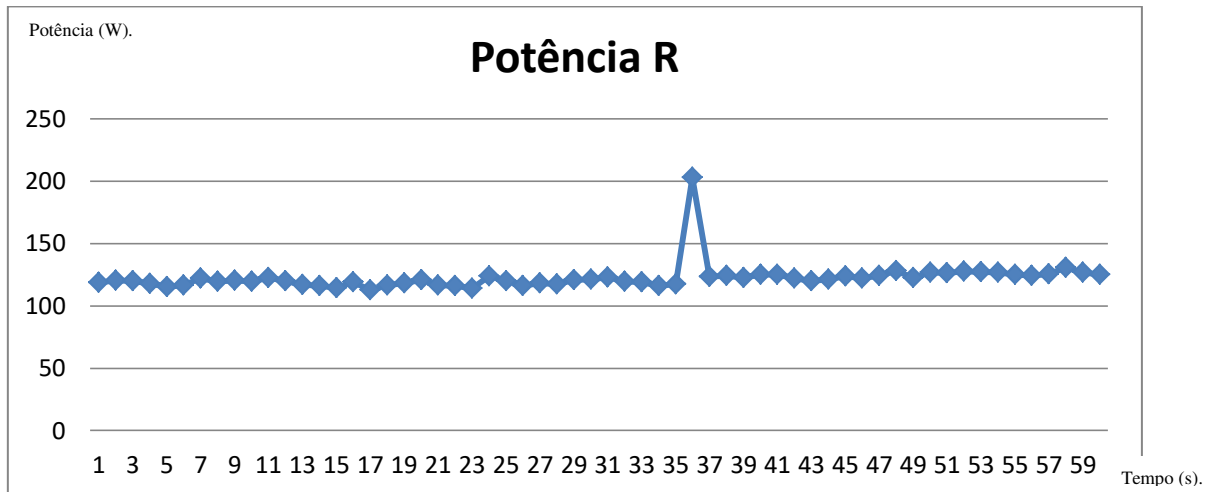
Esses valores de potência correspondem à potência medida nas três fases da rede elétrica do bloco, que é constituído pelo LAPSI, Laboratório de Radiometria, Auditório e salas de professores. No momento em que o experimento foi realizado, havia poucas pessoas no bloco, o auditório não estava sendo utilizado nem o outro laboratório. Logo, não se espera grandes variações de tensão e corrente, conseqüentemente a potência varia de forma não significativa.

A tabela 2, apresentada no apêndice deste trabalho, foi extraída do arquivo gerado pelo próprio servidor, nesse arquivo os valores recebidos são armazenados e

atualizados a cada um segundo, dessa forma tem-se o acompanhamento em tempo real dos valores de potência.

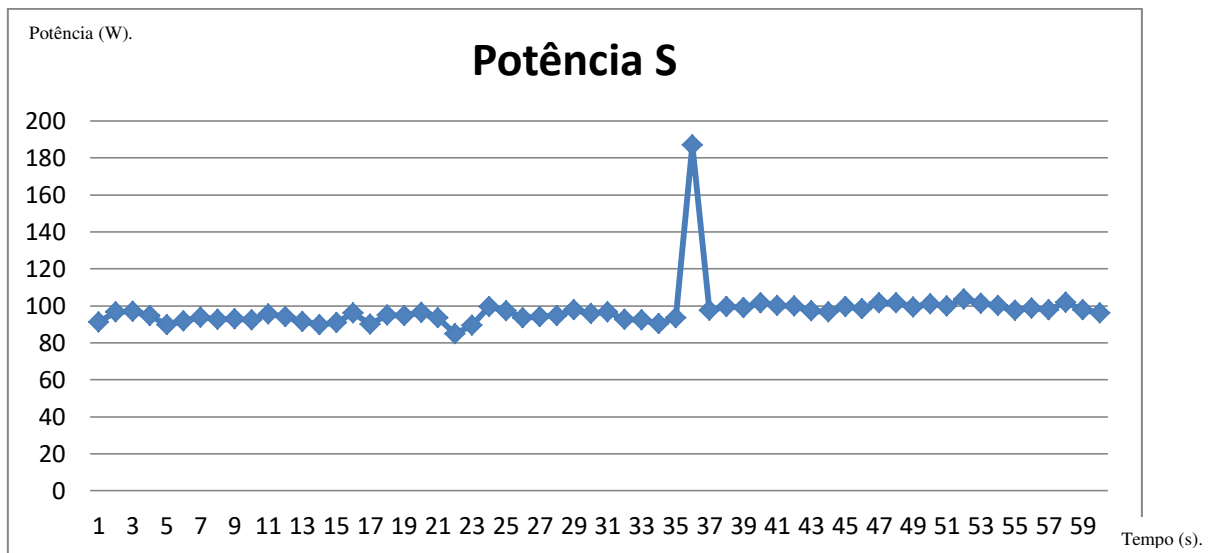
Os gráficos abaixo foram obtidos a partir desses valores.

Figura 16 - Potência R.



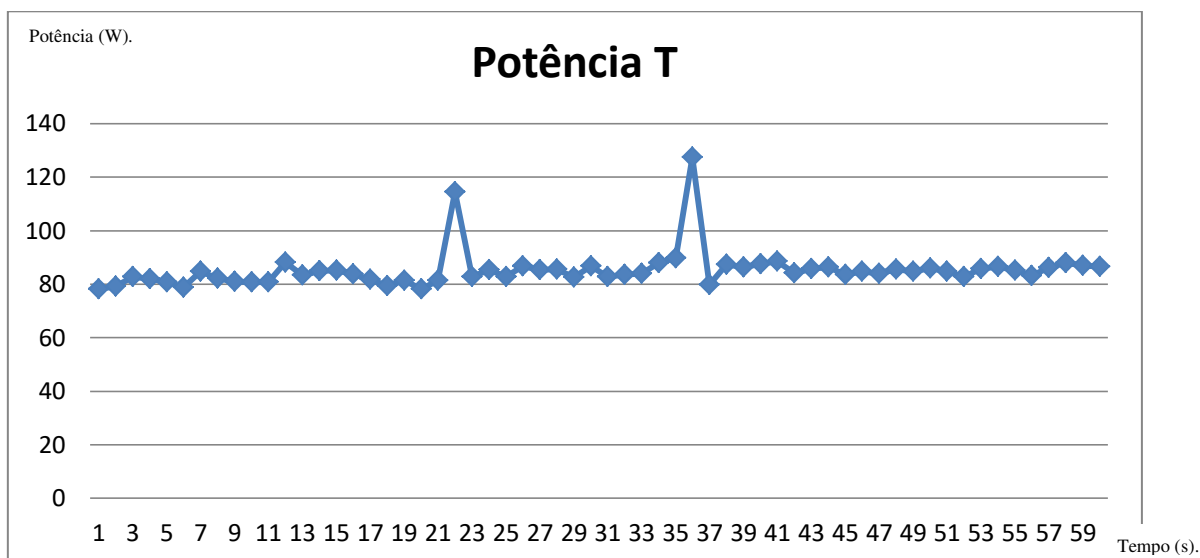
Fonte: Próprio Autor.

Figura 17 - Potência S.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 18 - Potência T.



Fonte: Próprio Autor.

Os valores médios de potência são 122,42 W, 97,48 W e 85,30 W, respectivamente. Nos três gráficos é possível identificar picos de potência, isso pode ocorrer devido aos seguintes fenômenos: uma ou mais lâmpadas são acesas, computadores são ligados, a temperatura do ar condicionado é elevada, entre outros.

Dessa forma, podem-se traçar perfis de consumo para determinado consumidor em certo período do dia. Logo, valores elevados de potência em horários onde é sabido que não há aumento de consumo de energia elétrica pode indicar um possível desperdício. Tendo posse dessa informação elaboram-se planos de ação para a utilização da energia elétrica de forma mais consciente.

6 CONCLUSÕES

As Redes Inteligentes são uma proposta mundial com a finalidade de inserir inteligência e inovação no sistema elétrico. Essas redes são automatizadas com medidores de qualidade e de consumo de energia em tempo real, possibilitando mais informações e alternativas de consumo.

O elemento central das redes inteligentes é de fato o medidor, que acompanha o consumo e envia essa informação pela rede, logo, é possível otimizar a geração e o consumo da energia elétrica, beneficiando tanto a concessionária quanto o cliente, além de permitir a inserção de uma nova modalidade, o consumidor produtor, ou seja, aquele que gera e ao mesmo tempo consome eletricidade, injetando o excedente na rede.

A informação captada pelo medidor precisa ser enviada a uma central que acompanha os perfis de consumo e dispara atuadores na rede elétrica, no caso em que faltas são identificadas. Porém, isso não será possível se não existir um sistema de comunicação eficiente destinado a essa finalidade.

A comunicação ethernet é uma tecnologia bastante conhecida e por ter baixo custo de implementação pode ser facilmente inserida em uma rede inteligente, com o objetivo de transportar pacotes de dados formados a partir das medições. O protocolo ethernet tem capacidade de transportar elevado fluxo de informações em tempo hábil além de possuir alto desempenho.

Através do estudo de caso apresentado nesse trabalho, confirmaram-se as vantagens da comunicação ethernet. Para estudos posteriores, indica-se mudanças no protocolo, como por exemplo, a utilização do protocolo TCP/IP, embora o UDP tenha sido satisfatório nessa aplicação.

O TCP/IP apresenta a vantagem da confiabilidade, visto que o UDP apenas envia a informação sem a preocupação se esta foi devidamente recebida, o que é compensado pela comunicação rápida. A escolha entre o uso do protocolo TCP ou UDP cabe ao desenvolvedor de cada aplicação. Embora alguns prefiram a segurança e confiabilidade oferecidas pelo TCP, outros optam pela velocidade de transmissão gerada pelo UDP.

7 REFERÊNCIAS

- (s.d.). Acesso em 20 de Agosto de 2017, disponível em ARDUINO®:
<https://www.arduino.cc/en/Reference/Ethernet>
- Agência Nacional de Energia Elétrica, A. (09 de Setembro de 2010). Resolução Normativa N° 414.
- Amin, S. M., & Wollenberg, B. F. (2005). Toward a Smart Grid. *IEEE Power & Energy Magazine*, 34-41.
- Asare-Bediako, B., L.Kling, W., & Ribeiro, P. F. (2010). Integrated Energy Optimization with Smart Home Energy Management . *IEEE*.
- CCM Comunidade on-line. (s.d.). Acesso em Julho de 2017, disponível em CCM:
<http://br.ccm.net/contents/673-ethernet#q=ethernet&cur=1&url=%2F>
- EPE, E. d. (2014). *Consumo de Energia no Brasil*. Rio de Janeiro.
- EPE, E. d. (2016). *Anuário Estatístico de Energia Elétrica*. Rio de Janeiro.
- European, C. (2006). *European Smart Grids Technology Platform - Vision and strategy for Europe's Electricity Networks of the future*.
- Garcia, D. A. (Abril de 2012). Aspectos de evolução do smart grid nas redes de distribuição. *O Setor Elétrico*.
- IBM. (2007). Plugging in the consumer.
- Jamhour, E. (2017). *Programa de Pós Graduação em Informática*. Acesso em Julho de 2017, disponível em PUC Paraná:
https://www.ppgia.pucpr.br/~jamhour/Download/pub/RSS/POS_RSS/ApostilaArquiteturaTCPIP.pdf
- Sousa, W. L. (2000). *Impacto Ambiental de Hidrelétricas: Uma Análise Comparativa de Duas Abordagens*. Rio de Janeiro: UFRJ.

ANEXO A

```

////////////////////////////////////
// TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO TCC
// ARQUITETURA DE MEDIDORES INTELIGENTES NO CONTEXTO SMART GRID
// DESENVOLVIDO POR: TAMIRES GIOVANNA DE PAIVA OLIVEIRA
// JUNHO/JULHO 2017
////////////////////////////////////

#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>
#include <EthernetUdp.h>
#include <math.h>
// VARIÁVEIS
#define AGUARDE 1
#define NA 40 // Número de amostras
#define NM 22 // Número de médias

int sucess; //flag
unsigned long tempo;
char pacote_dados[UDP_TX_PACKET_MAX_SIZE] ;
// Potências calculadas na função medicao()
float Pr;
float Ps;
float Pt;
const unsigned char PS_4 = (1 << ADPS1); // Usadas para mudar a velocidade de captura do
conversor AD
const unsigned char PS_128 = (1 << ADPS2) | (1 << ADPS1) | (1 << ADPS0);

// FUNÇÕES
void medicao();

// Entre com o endereço MAC e o endereço do IP do dispositivo
// O endereço IP depende da rede local
byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };

```

```

IPAddress ip(150, 165, 62, 248);
unsigned int localPort = 5010; // Porta local
EthernetUDP Udp;

void setup() {
  // Iniciando Ethernet e UDP:
  Ethernet.begin(mac,ip);
  Udp.begin(localPort);
  Serial.begin(9600); // Inicializando a porta serial

  // Configuração do conversor AD
  ADCSRA &= ~PS_128; // Remove os bits atribuídos pela biblioteca do Arduino
  ADCSRA |= PS_4; // Modifica o pré-escalador para 4
}

void loop() {

  medicao();

  sucess = Udp.beginPacket(IPAddress(150,165,62,121),localPort); // máquina onde visualiza o
wireshark
  Serial.print("Iniciando Pacote: ");
  Serial.println(sucess);

  tempo = millis();

  String aux = String(Pr) + ";" + String(Ps) + ";" + String(Pt) + ";" + String(tempo);

  aux.toCharArray(pacote_dados,UDP_TX_PACKET_MAX_SIZE);
  sucess = Udp.write(pacote_dados);
  Serial.print("Dados Enviados: ");
  Serial.println(sucess);
  Serial.println(pacote_dados);
  sucess = Udp.endPacket();
  Serial.print("Fim do Pacote: ");

  Serial.println(sucess); //retorna 1 para sucesso e 0 para erro

```

```
Serial.print("\r\n");  
delay(AGUARDE*1000);  
  
}
```

ANEXO B

```
// MEDIÇÃO DE TENSÃO E CORRENTE E CÁLCULO DAS POTÊNCIAS
void medicao()
{
    int i;
    int k;

    float V1[NA]; //Variáveis usadas para armazenar os valores lidos na entrada analógica
    float V2[NA];
    float V3[NA];
    float I1[NA];
    float I2[NA];
    float I3[NA];

    float Vs;
    float Vr;
    float Vt;

    float Ir;
    float Is;
    float It;

    for (k = 0; k < NM; k++)
    {

        // Adquire os Dados
        for (i = 0; i < NA; i++)
        {
            V1[i] = analogRead(5);
            V2[i] = analogRead(4);
            V3[i] = analogRead(3);
            I1[i] = analogRead(2);
            I2[i] = analogRead(1);
```

```

I3[i] = analogRead(0);
delayMicroseconds(363);
}

//Calcula o Valor médio das tensões
for (i = 0; i < NA; i++)
{
  Vr = Vr + V1[i];
  Vs = Vs + V2[i];
  Vt = Vt + V3[i];
  Ir = Ir + I1[i];
  Is = Is + I2[i];
  It = It + I3[i];
}
Vr = Vr/NA;
Vs = Vs/NA;
Vt = Vt/NA;
Ir = Ir/NA;
Is = Is/NA;
It = It/NA;

//Subtrai de cada medida o valor que representa o nível DC
for (i = 0; i < NA; i++)
{
  V1[i] = V1[i] - Vr;
  V2[i] = V2[i] - Vs;
  V3[i] = V3[i] - Vt;
  I1[i] = I1[i] - Ir;
  I2[i] = I2[i] - Is;
  I3[i] = I3[i] - It;
}

//Multiplica as medições pelo fator de correção
for (i = 0; i < NA; i++)
{
  V1[i] = V1[i] * 1.3;
  V2[i] = V2[i] * 1.6;

```

```

V3[i] = V3[i] * 1.6;
I1[i] = I1[i] * 0.06;
I2[i] = I2[i] * 0.47;
I3[i] = I3[i] * 0.5;
}

```

//Integra os sinais e obtém os valores RMS de Tensão e Corrente

```

for (i = 0; i < NA; i++)
{
V1[i] = V1[i] * V1[i];
V2[i] = V2[i] * V2[i];
V3[i] = V3[i] * V3[i];
I1[i] = I1[i] * I1[i];
I2[i] = I2[i] * I2[i];
I3[i] = I3[i] * I3[i];
}

```

```
Vr = 0;
```

```
Vs = 0;
```

```
Vt = 0;
```

```
Ir = 0;
```

```
Is = 0;
```

```
It = 0;
```

```
for (i = 0; i < NA; i++)
```

```

{
Vr = Vr + V1[i];
Vs = Vs + V2[i];
Vt = Vt + V3[i];
Ir = Ir + I1[i];
Is = Is + I2[i];
It = It + I3[i];
}

```

```
Vr = sqrt(Vr / NA);
```

```
Vs = sqrt(Vs / NA);
```

```
Vt = sqrt(Vt / NA);
```



```
Ir = sqrt(Ir / NA);  
Is = sqrt(Is / NA);  
It = sqrt(It / NA);
```

```
}
```

```
//Calcula as Potências Médias
```

```
Pr = (Pr + (Vr * Ir)) / 2;  
Ps = (Ps + (Vs * Is)) / 2;  
Pt = (Pt + (Vt * It)) / 2;
```

APÊNDICE

Tabela 2 - Valores de potências recebidos pelo servidor.

| 118,67 | 91,32 | 78,23 |
|---------------|--------------|--------------|
| 120,18 | 96,61 | 79,16 |
| 119,78 | 96,92 | 82,88 |
| 117,65 | 94,54 | 81,99 |
| 115,11 | 89,73 | 80,81 |
| 116,45 | 91,79 | 78,84 |
| 122,18 | 93,84 | 84,75 |
| 119,58 | 92,77 | 82,13 |
| 120,48 | 92,95 | 80,95 |
| 119,67 | 92,47 | 80,76 |
| 122,33 | 95,45 | 80,7 |
| 119,96 | 94,21 | 88,25 |
| 117,08 | 91,41 | 83,38 |
| 116,06 | 89,85 | 84,89 |
| 114,31 | 90,94 | 85,19 |
| 119,24 | 96,01 | 83,82 |
| 112,7 | 90,13 | 81,82 |
| 116,56 | 95,01 | 79,48 |
| 118,2 | 94,6 | 81,36 |
| 120,69 | 96,39 | 78,29 |
| 116,35 | 93,43 | 81,32 |
| 116,22 | 85,01 | 114,39 |
| 114,16 | 89,63 | 82,81 |
| 123,86 | 99,48 | 85,41 |
| 120,04 | 97,18 | 82,83 |
| 115,9 | 93,64 | 86,8 |
| 118,44 | 94 | 85,47 |
| 117,35 | 94,59 | 85,61 |
| 120,87 | 97,72 | 82,55 |
| 121,07 | 95,79 | 86,7 |
| 122,92 | 96,79 | 82,8 |
| 119,53 | 92,76 | 83,53 |
| 119,01 | 92,49 | 83,92 |
| 115,95 | 90,47 | 87,94 |
| 117,47 | 93,57 | 89,77 |
| 202,76 | 186,99 | 127,49 |
| 123,44 | 97,71 | 79,77 |
| 124,13 | 99,59 | 87,37 |
| 122,57 | 98,95 | 86,45 |
| 125,14 | 101,47 | 87,65 |
| 125,11 | 100,15 | 88,55 |

| | | |
|--------|--------|-------|
| 121,97 | 99,83 | 84,27 |
| 120,03 | 97,19 | 85,68 |
| 121,03 | 96,82 | 86,31 |
| 123,98 | 99,65 | 83,6 |
| 122,01 | 98,41 | 84,82 |
| 124,33 | 101,71 | 83,99 |
| 128,02 | 101,56 | 85,6 |
| 122,71 | 99,4 | 84,72 |
| 126,85 | 100,97 | 86,06 |
| 126,48 | 99,77 | 84,72 |
| 127,81 | 103,62 | 82,85 |
| 127,24 | 101,26 | 85,8 |
| 126,58 | 100,2 | 86,64 |
| 124,87 | 97,59 | 85,21 |
| 124,1 | 98,78 | 83,1 |
| 125,44 | 97,73 | 86,27 |
| 130,84 | 102 | 87,97 |
| 126,74 | 97,88 | 86,94 |
| 125,21 | 96,11 | 86,55 |
| 129,53 | 100,23 | 91,22 |
| 123,33 | 96,55 | 92,22 |
| 127,01 | 100,73 | 90,40 |
| 123,54 | 99,84 | 89,34 |
| 120,89 | 97,72 | 85,26 |
| 124,69 | 100,64 | 85,81 |
| 115,14 | 90,20 | 88,80 |
| 124,24 | 95,59 | 90,35 |
| 123,21 | 97,04 | 87,40 |
| 122,75 | 95,99 | 89,59 |
| 124,88 | 96,46 | 86,92 |
| 130,24 | 102,90 | 90,89 |
| 123,07 | 97,71 | 93,87 |
| 123,36 | 99,13 | 92,32 |
| 121,10 | 97,93 | 88,31 |
| 124,42 | 100,61 | 82,92 |
| 123,61 | 99,62 | 87,09 |
| 129,91 | 102,00 | 87,33 |
| 125,57 | 96,99 | 83,75 |
| 124,97 | 96,11 | 84,88 |
| 121,96 | 94,09 | 91,31 |
| 124,70 | 97,31 | 89,34 |
| 119,29 | 95,36 | 93,09 |
| 121,62 | 97,11 | 83,13 |
| 125,51 | 102,76 | 86,27 |
| 120,62 | 96,31 | 86,34 |
| 137,45 | 106,93 | 50,17 |
| 121,92 | 96,05 | 86,96 |
| 124,35 | 96,46 | 88,68 |

| | | |
|--------|--------|-------|
| 114,62 | 90,29 | 94,25 |
| 118.36 | 96.15 | 86.83 |
| 124.24 | 99.50 | 84.31 |
| 122.46 | 96.27 | 87.14 |
| 116.38 | 92.22 | 85.79 |
| 116.19 | 90.32 | 85.96 |
| 123.28 | 96.80 | 86.96 |
| 121.28 | 95.31 | 89.10 |
| 120.95 | 94.77 | 93.50 |
| 116.17 | 91.51 | 89.13 |
| 116.56 | 92.38 | 91.48 |
| 117.39 | 96.81 | 87.45 |
| 117.74 | 95.88 | 88.81 |
| 120.18 | 97.47 | 83.43 |
| 123.38 | 101.02 | 87.60 |
| 119.19 | 95.37 | 86.39 |
| 115.11 | 92.38 | 74.42 |
| 121.78 | 95.92 | 87.93 |
| 124.17 | 96.75 | 86.14 |
| 120.69 | 94.34 | 85.87 |
| 116.97 | 92.03 | 87.57 |
| 122,05 | 95,14 | 89,75 |
| 120.73 | 94.39 | 89.06 |
| 118.09 | 92.71 | 88.87 |
| 118.01 | 94.28 | 93.88 |
| 115.98 | 92.71 | 91.60 |
| 117.85 | 95.53 | 92.87 |
| 117.66 | 95.98 | 90.15 |
| 119.53 | 97.06 | 87.09 |
| 123.78 | 100.17 | 85.17 |
| 120.25 | 99.82 | 86.30 |
| 121,39 | 98.78 | 84.34 |
| 124,52 | 97.73 | 88.05 |
| 120.84 | 95.65 | 84.94 |
| 121.25 | 98.07 | 85.27 |
| 126.73 | 102.26 | 87.10 |
| 129.29 | 102.83 | 86.34 |
| 123.76 | 97.08 | 84.94 |
| 119.19 | 92.95 | 86.01 |
| 122.10 | 94.16 | 89.44 |
| 119.82 | 92.66 | 86.03 |
| 118.00 | 92.07 | 87.02 |
| 119.35 | 93.30 | 84.83 |
| 122.57 | 93.93 | 86.39 |
| 122.33 | 95.43 | 89.62 |
| 122.57 | 95.45 | 86.43 |
| 127.47 | 98.10 | 89.17 |
| 122.98 | 95.50 | 85.58 |

| | | |
|--------|--------|-------|
| 122.33 | 95.85 | 85.10 |
| 127.04 | 98.36 | 90.44 |
| 120.59 | 94.84 | 85.47 |
| 123.73 | 96.69 | 88.65 |
| 124.22 | 95.59 | 88.07 |
| 127.03 | 98.01 | 90.68 |
| 119.98 | 91.36 | 89.78 |
| 125.55 | 98.09 | 90.61 |
| 121.35 | 93.99 | 87.26 |
| 124.39 | 97.70 | 92.92 |
| 126.45 | 100.36 | 88.63 |
| 122.10 | 100.04 | 85.98 |
| 124.37 | 100.37 | 87.43 |
| 123.98 | 97.32 | 83.34 |
| 131.45 | 101.42 | 86.08 |
| 126.80 | 99.23 | 87.06 |
| 120.69 | 93.04 | 87.26 |
| 118.72 | 95.08 | 82.41 |
| 121.97 | 96.68 | 89.19 |
| 117.76 | 96.10 | 88.87 |
| 121.12 | 98.50 | 87,36 |
| 121,7 | 99,2 | 87.90 |
| 120,46 | 98,54 | 86,73 |
| 121,7 | 96,64 | 86,14 |
| 118,73 | 94,99 | 87,25 |
| 157.55 | 122.92 | 88.09 |
| 129.37 | 100.44 | 83.34 |
| 127.76 | 101.01 | 88.43 |
| 129.85 | 101.93 | 89.68 |
| 127.09 | 99.03 | 87.27 |
| 132.90 | 105.77 | 85.71 |
| 127.48 | 100.29 | 85.94 |
| 128.24 | 104.38 | 86.64 |
| 127.59 | 100.58 | 86.46 |
| 130.54 | 105.52 | 84.66 |
| 134.21 | 106.82 | 87.26 |
| 130.61 | 103.25 | 86.50 |
| 122.61 | 95.62 | 86.91 |
| 127.88 | 102.87 | 83.96 |
| 129.43 | 102.43 | 86.79 |
| 123.85 | 100.76 | 86.45 |
| 128.95 | 104.23 | 88.40 |
| 123.47 | 99,4 | 94.08 |
| 127.40 | 99,68 | 93.68 |
| 124.34 | 98,43 | 89.01 |
| 130.56 | 100,8 | 87.94 |
| 129.10 | 100,69 | 88.69 |
| 132.84 | 103.89 | 86.88 |

| | | |
|--------|--------|-------|
| 131.38 | 101.91 | 87.83 |
| 131.35 | 104.96 | 84.12 |
| 128.92 | 104.72 | 85.90 |
| 130.81 | 104.19 | 89,29 |
| 124.31 | 98.72 | 91,54 |
| 126.72 | 98.41 | 92,93 |
| 128.44 | 100.61 | 88,68 |
| 129.46 | 99.70 | 87,07 |
| 124.53 | 96,29 | 87,98 |
| 127,87 | 99,75 | 87,99 |
| 128,43 | 101,29 | 83,96 |
| 131,36 | 102,88 | 86,44 |
| 130,58 | 101,29 | 87,11 |
| 128,31 | 100,99 | 87,56 |
| 126,69 | 98,88 | 85,66 |
| 124,45 | 96,87 | 87,99 |
| 126,6 | 99,78 | 90,44 |
| | | |

Fonte: Próprio Autor.