



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

LUIZ PAULO BATISTA RODRIGUES

**MEDIDORES ELETRÔNICOS INTELIGENTES EM REDES INTELIGENTES DE
ENERGIA ELÉTRICA: ESTUDO E ANÁLISE**

FORTALEZA

2021

LUIZ PAULO BATISTA RODRIGUES

MEDIDORES ELETRÔNICOS INTELIGENTES EM REDES INTELIGENTES DE
ENERGIA ELÉTRICA: ESTUDO E ANÁLISE

Monografia apresentada ao
Departamento de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal do Ceará,
como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia
Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Raphael Amaral da
Câmara

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R614m Rodrigues, Luiz Paulo Batista.

Medidores eletrônicos inteligentes em redes inteligentes de energia elétrica : estudo e análise / Luiz Paulo Batista Rodrigues. – 2021.

41 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2021.

Orientação: Prof. Dr. Raphael Amaral da Câmara.

1. Rede inteligente. 2. Medidor inteligente. 3. Eficiência energética. 4. Qualidade de energia elétrica. I. Título.

CDD 621.3

LUIZ PAULO BATISTA RODRIGUES

MEDIDORES ELETRÔNICOS INTELIGENTES EM REDES INTELIGENTES DE
ENERGIA ELÉTRICA: ESTUDO E ANÁLISE

Monografia apresentada ao
Departamento de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal do Ceará,
como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia
Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Raphael Amaral da
Câmara

Aprovada em: __/__/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Raphael Amaral da Câmara (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

MSc. Allan Uchoa Barbosa
Eletra Energy Solutions

Dedico este trabalho a minha família,
minha noiva, e futura esposa, e amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a minha família, em especial meus pais, Paulo Ricardo Ricardo e Audenice, e meus irmãos, Ricardo, Jaqueline e Ítala, por sempre me apoiarem e investirem na minha educação formal e cívica.

A minha noiva, e futura esposa, Cintia Maria, por sempre me apoiar nesses mais de 7 anos que estamos juntos em todos os momentos difíceis e por compartilhar comigo todas as alegrias.

Aos meus amigos, Shara, João Lucas, Rafael, Tereza, Mariana, Camila, João Weverton, Erandi, João Vitor e John Kesley por sempre alegrar os dias com brincadeiras e conversas sobre a vida de universitário.

Aos grandes amigos que fiz na Universidade Federal do Ceará (UFC), Gustavo, Igor, Thiago, Natiara e Wandick, por sempre apoiarem e dividirem os momentos de aflição e comemoração durante esses 5 anos de curso.

Aos companheiros que fiz na Eletra Energy Solutions, no qual o conhecimento adquirido foi essencial para realização desse trabalho, em especial aos meus colegas de equipe Pietro Andrade, Ricardo Ramos e Allan Uchoa.

A todos os professores e servidores do Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) da UFC, em especial ao meu orientador Prof. Dr. Raphael Amaral da Câmara e ao Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho.

E, por fim, todos que fizeram parte da minha trajetória até aqui, seja por ajudar na parte técnica quanto na parte pessoal e de acolhimento.

“Em todo o espaço há energia... é (só) uma questão de tempo até que os homens tenham êxito em associar seus mecanismos ao aproveitamento desta energia.”

(Nikola Tesla)

RESUMO

As redes inteligentes, ou smart grids, vêm se tornando cada vez mais parte do dia a dia dos consumidores normais de energia elétrica ao redor do mundo. Esse trabalho dá uma básica explicação teórica sobre essa evolução da rede elétrica convencional e, em seguida, foca em um dos principais componentes que torna possível toda a aquisição de dados e comunicação da concessionária com o cliente: o chamado medidor eletrônico inteligente. Com a apresentação desse tipo de medidor, será focado nas principais vantagens que o mesmo trás para concessionárias e unidades consumidoras: a melhora na eficiência energética e na qualidade da energia elétrica. Para isso, será explicado uma contextualização teórica sobre os medidores de energia elétrica, apresentando uma explanação teórica desde a concepção dos medidores eletromecânicos, passando pelos medidores eletrônicos convencionais e, por fim, terminando nos medidores eletrônicos inteligentes. Também é apresentado as normas regulatórias sobre medição de energia elétrica em vigor no Brasil. Em seguida apresenta as principais funcionalidades desses medidores para a rede elétrica: o aumento da eficiência energética, através da maior disponibilidade de dados sobre o consumo para a concessionária e as unidades consumidoras, e da qualidade da energia elétrica, através dos indicadores calculados que são apresentados pelo módulo 8 do PRODIST. Como resultado do uso desse tipo de medidores, é apresentado casos de projetos piloto ao redor do Mundo em que esses tipos de medidores geraram melhorias de eficiência energética através da maior disponibilidade de dados para o usuário, ocasionando a uma maior eficiência energética e redução do consumo, e para as concessionárias, ocasionando diminuição de falhas e maior continuidade do serviço. Por fim, são apresentados tendências futuras para o segmento: os sistemas centralizados de medição de energia elétrica, caixas que concentram medidores em postes para evitar perdas não técnicas, e a energia pré-paga, que funciona através de cartões recarregáveis ou compras de crédito diretamente com a concessionária.

Palavras-chave: Rede Inteligente, Smart Grid, Medidor Inteligente, Smart Meter, Eficiência Energética, Qualidade de Energia Elétrica.

ABSTRACT

Smart grids are becoming increasingly part of the daily life of normal consumers of electricity around the world. This paper provides a basic theoretical explanation of this evolution of the conventional electrical network and then focuses on one of the main components that makes all the acquisition of data and communication of the concessionaire with the customer possible: the so-called smart electronic meter. With the presentation of this type of meter, it will be focused on the main advantages that it brings to concessionaires and consumer units: the improvement in energy efficiency and the quality of electricity. For this purpose, a theoretical contextualization about the electric energy meters will be explained, presenting a theoretical explanation from the conception of the electromechanical meters, passing through the conventional electronic meters and, finally, ending in the smart electronic meters. Also presented are the regulatory standards for measuring electricity in force in Brazil. Then it presents the main functionalities of these meters for the electric network: the increase of the energy efficiency, through the greater availability of consumption data for the concessionaire and the consumer units, and the quality of the electric energy, through the calculated indicators that are presented by PRODIST module 8. As a result of the use of this type of meters, cases of pilot projects around the world are presented in which these types of meters have generated improvements in energy efficiency through greater availability of data for the user, leading to greater energy efficiency and reduced consumption, and for the concessionaires, causing a reduction in failures and greater continuity of service. Finally, future trends for the segment are presented: centralized systems for measuring electricity, boxes that concentrate meters on poles to avoid non-technical losses, and prepaid energy, which works through rechargeable cards or credit purchases directly with the concessionaire.

Key-words: Smart Grid, Smart Meter, Energy Efficiency, Electric Energy Quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Medidor eletromecânico de energia da fabricante Nansen.....	16
Figura 2 - Medidor inteligente eletrônico de energia da fabricante Eletra.....	17
Figura 3 - Sistema de Medição Centralizada sendo instalado em um poste.....	18
Figura 4 - Redução do consumo.....	30
Figura 5 - <i>Website</i> usado para disponibilizar informações sobre o consumo.....	30
Figura 6 - Redução de perdas técnicas antes e depois dos medidores inteligentes.....	31
Figura 7 - Aplicativo usado para controle e monitoramento do consumo.....	32
Figura 8 - Resultados encontrados.....	33
Figura 9 - Apresentação de Divulgação do Projeto Rede Elétrica Inteligente da COPEL.....	34
Figura 10 - Medidor eletrônico inteligente Zeus da fabricante Eletra Energy Solutions.....	35

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação das Variações de Tensão de Curta Duração.....	25
Quadro 2 - Estratificação das VTCD com base nos níveis de sensibilidade das diversas cargas.....	26
Quadro 3 - Fatores de Ponderação e Fatores de Impacto Base de acordo com a tensão nominal.....	27
Quadro 4 - Informações mostradas ao usuário.....	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

AMT - Afundamento Momentâneo de Tensão

ATT - Afundamento Temporário de Tensão

CEMIG - Companhia Elétrica de Minas Gerais

COPEL - Companhia Paranaense de Energia

DIC - Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora

DICRI - Duração de Interrupção Individual ocorrida em Dia Crítico por Unidade Consumidora

DRP - Duração Relativa da Transgressão de Tensão Precária

DRC - Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica

DRPE - Duração Relativa da Transgressão de Tensão Precária Equivalente

DRCE - Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica Equivalente

DMIC - Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

ENEL - Ente nazionale per l'energia elettrica (Agência Nacional de Eletricidade)

EMT - Elevação Momentânea de Tensão

ETT - Elevação Temporária de Tensão

EUA - Estados Unidos da América

FP - Fator de Potência

FI - Fator de Impacto

FIC - Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora

GD - Geração Distribuída

GPRS - General Packet Radio Service (Serviço de Rádio de Pacote Geral)

IMT - Interrupção Momentânea de Tensão

ITT - Interrupção Temporária de Tensão

LoRA - Long Range (Longa Distância)

PLC - Power Line Communication (Comunicação por Linha de Energia)

QEE - Qualidade de Energia Elétrica

PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica do Sistema Elétrico Nacional

VTCD - Variação de Tensão de Curta Duração

SUMÁRIO

1. Introdução.....	12
1.1 Motivação.....	12
1.2 Objetivos.....	13
1.2.1. Objetivos Gerais.....	13
1.2.2. Objetivos Específicos.....	13
1.3 Organização do trabalho.....	13
2. Fundamentação Teórica.....	14
2.1 Redes Inteligentes (<i>Smart Grids</i>).....	14
2.2 Histórico das Redes Inteligentes.....	14
2.3 Medidores Inteligentes (<i>Smart Meters</i>).....	15
2.4 Contextualização da Medição de Energia Elétrica.....	17
2.5 Normas Regulatórias.....	19
3. Medidores inteligentes em redes elétricas inteligentes.....	21
3.1 Eficiência Energética.....	21
3.2 Qualidade de Energia Elétrica.....	23
3.2.1 Indicadores de Conformidade do Nível de Tensão em Regime Permanente.....	23
3.2.2 Variação de Tensão de Curta Duração (VTCD).....	24
3.2.3 Indicadores de Continuidade Individuais.....	27
3.3 Redes e Medidores Inteligentes no Brasil e no Mundo.....	28
3.3.1 Coreia do Sul.....	28
3.3.2 Alemanha.....	30
3.3.3 Romênia.....	31
3.3.4 Suécia.....	32
3.3.5 Minas Gerais (Projeto Cidades do Futuro).....	33
3.3.6 Rio de Janeiro (Projeto Cidade Inteligente Búzio).....	34
3.3.7 Paraná (Rede Elétrica Inteligente).....	34
3.4 Tendências Futuras.....	35
4. Conclusão.....	36
REFERÊNCIAS.....	38

1. Introdução

Nesse trabalho é discutido uma breve contextualização do tema desse trabalho através da definição de redes inteligentes e medidores inteligentes, além de falar rapidamente sobre sua importância no meio elétrico.

Além disso, é discutido os principais objetivos que espera-se alcançar com esse trabalho e de que forma ele está organizado para uma melhor compreensão do assunto.

Também é discutido a importância da tarifação branca e da geração fotovoltaica para o crescimento do uso de medidores inteligentes no Brasil, já que desde 2012 já foram instalados mais de 8 GW de energia elétrica de fonte solar. (ABSOLAR, 2021)

A energia fotovoltaica também está se tornando muito presente nas unidades consumidoras residenciais no Brasil, sendo Fortaleza a 6ª cidade com maior potência instalada, 43,1 MW. E quanto maior a utilização, maior a necessidade de medidores inteligentes para o controle de créditos de energia gerados e dados sobre as consequências dessa energia exportada para a rede elétrica (ABSOLAR, 2021).

1.1 Motivação

As redes inteligentes (ou *smart grids*) estão se tornando cada vez mais comum no mercado brasileiro de rede elétrica (COPEL, 2020). Existem muitas vantagens no seu uso e entre elas podemos citar: o monitoramento contínuo da rede elétrica, monitoramento do padrão de qualidade de energia elétrica (QEE), integração entre as redes e possibilidade de introdução do conceito de geração distribuída e micro redes.

Um dos principais componentes das redes inteligentes são os medidores inteligentes (ou *smart meters*), dispositivos eletrônicos com capacidade de medição, processamento e transmissão dos dados referentes ao consumo elétrico de cada unidade consumidora, possibilitando análises que levem ao conhecimento dos hábitos de consumo e, assim, se possa realizar pesquisas e aperfeiçoamentos.

No Brasil, a expectativa de crescimento demográfico de 0,6 % a.a destacado por EPE (2020) para os próximos 10 anos traz consigo uma previsão de alta na demanda de energia consumida nos mais diversos setores da sociedade. Com isso, a prática de hábitos que aumentem a eficiência energética tem se tornado um

assunto cada vez mais importante e os medidores inteligentes se mostram uma poderosa ferramenta de auxílio nessa questão.

Segundo LAMIN (2009), os medidores eletrônicos inteligentes vêm conseguindo cada vez mais espaço no mercado, principalmente devido a tarifação branca disponível para aderência de qualquer unidade consumidora e o crescimento da geração fotovoltaica (ABSOLAR, 2021).

As concessionárias de energia elétrica investem cada vez mais na substituição de seus medidores convencionais por modelos inteligentes. Uma delas é a COPEL (Companhia Paranaense de Energia), que anunciou em 2020 um investimento de R\$ 820 milhões para substituição de seus medidores (COPEL, 2020).

1.2 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivos:

1.2.1. Objetivos Gerais

- A discussão da necessidade dos medidores inteligentes;
- Apresentar resultados do uso de medidores inteligentes;
- Discutir tendências do segmento para o futuro.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Apresentar a origem e uso dos medidores inteligentes;
- Apresentar a relação de medidores inteligentes e redes inteligentes de energia elétrica.

1.3 Organização do trabalho

Esse trabalho de conclusão de curso está organizado do seguinte modo:

- O capítulo 1 apresenta uma breve introdução dos assuntos tratados nesse trabalho e os objetivos do mesmo;
- O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica sobre os medidores inteligentes e as redes inteligentes de energia elétrica;
- O capítulo 3 trata sobre a importância dos medidores eletrônicos inteligentes no cenário das redes inteligentes, cita casos de sucesso da aplicação dos mesmos ao redor do mundo e no Brasil e apresenta tendências futuras no cenário;
- Por fim, o capítulo 4 apresenta as conclusões sobre o assunto.

2. Fundamentação Teórica

Nesse capítulo é feito um aprofundamento teórico sobre redes inteligentes e, principalmente, sobre os medidores eletrônicos inteligentes. Para isso, é explicado o que são, como funcionam e a história de como chegou-se a esses modelos de medidores, além de falar brevemente sobre a norma regulatória atual no Brasil acerca do tema.

2.1 Redes Inteligentes (*Smart Grids*)

A rede inteligente (ou *smart grid*) é um modelo de um sistema de comunicação e medição digital em conjunto com a tradicional rede de energia elétrica, tornando o processo controlado e eficiente.

Ou seja, a rede deixa de se tratar apenas de um sistema elétrico de potência e se torna também uma grande fonte de informações. A rede possui um monitoramento em tempo real e técnicas para aumentar sua tolerância a falhas e possibilitar previsão de eventos na rede (KRISHNAN, 2015). Ela tem como finalidade integrar as informações e dados transmitidos pelos responsáveis pela geração (tradicional ou distribuída), transmissão, distribuição e consumo em uma unidade central de processamento de dados para um melhor controle.

2.2 Histórico das Redes Inteligentes

O termo foi cunhado a primeira vez em 2005 no artigo *Toward a Smart Grid*. Nele é feita a comparação entre um caça americano F-15 e a rede de elétrica dos Estados Unidos da América (EUA). Enquanto o caça tinha um dos sistemas mais avançados da época, podendo voar com apenas uma das asas caso necessário, a rede elétrica continha equipamentos obsoletos e falhas podiam ocorrer a qualquer momento ocasionando no desligamento de grande parte dos consumidores por longos períodos (WOLLENBERG, 2005).

Essa comparação demonstrou que o tempo de resposta a falha na rede elétrica deve ser diminuído com o objetivo do consumidor ficar sem energia o menor tempo possível. A detecção de falhas e resposta do caça F15 é baseado em múltiplos diferentes sensores distribuídos pelo avião conectados a um sistema de processamento que envia rápidas respostas de controle. O artigo propôs projetar um modelo semelhante, um sistema distribuído conectado a um rede central para o melhor controle da rede elétrica (WOLLENBERG, 2005).

Ou seja, a definição pode ser resumida em um grupo de equipamentos eletrônicos, ligados na rede de transmissão de energia, água e/ou gás, conectados por uma rede de comunicação que enviam diversos dados medidos em tempo real (KRISHNAN, 2015). Essa rede inteligente é um sistema distribuído gerando diversos tipos de dados que são enviados para sistemas computacionais, geralmente as empresas de distribuição.

Um assunto que levantou mais ainda a projeção das redes inteligentes é a geração distribuída (GD). Esse novo paradigma possibilita que os usuários instalem painéis fotovoltaicos, transformando a energia solar em elétrica, e possam exportar essa energia para a rede elétrica, e não mais só importar. Essa energia pode ser consumida ou armazenada dependendo da demanda da unidade consumidora. Essa escolha integra a geração, o armazenamento e o gerenciamento da energia. Com uma rede inteligente e integrada pode-se difundir uma cultura de racionamento e consciência no consumo.

Outro pilar fundamental das *smart grids* é como se conseguir tanta informação tratada e organizada. Essa dificuldade é viabilizada através, principalmente, dos chamados medidores inteligentes (que será tratado em tópicos posteriores desse trabalho), tecnologia que permite o controle de energia, o corte e religação remotos, coleta de dados e segurança da rede contra furtos de energia. Esse tipo de medidor tem a possibilidade de ser integrado de vários tipos de tecnologia como fibra ótica, Wi-Fi, Mesh, rádio, GPRS e PLC, controlado por uma central de operações com funcionalidades de todo o sistema de medição (LIPARI, 2014).

2.3 Medidores Inteligentes (*Smart Meters*)

Existem basicamente dois tipos de medidores de energia elétrica, os eletromecânicos e os eletrônicos. O primeiro tipo é composto por um estator, um rotor, uma carcaça e um registrador que grava o número de rotações efetuadas pelo rotor. Na Figura 1 é apresentado o exemplo de um medidor desse tipo, sendo de uma das principais fabricantes nacionais e que atualmente também fabrica medidores eletrônicos.

Figura 1 - Medidor eletromecânico de energia da fabricante Nansen.



Fonte: geracaosmartgrid.com

Esse tipo de medidor é obsoleto e vem sendo substituído pelos medidores eletrônicos de energia, já não sendo mais fabricado. Esse último se caracteriza por ser um sistema embarcado microprocessado. É composto por uma placa eletrônica onde realiza a medição de corrente por um resistor shunt ou um transformador de corrente e a tensão através de um divisor de tensão. A energia elétrica é calculada em um microprocessador e mostrada em um display LCD.

Os medidores inteligentes são uma evolução dos medidores eletrônicos em resposta da demanda cada vez maior por uma rede elétrica inteligente, eficiência energética e geração distribuída (LIPARI, 2014). Esses medidores se caracterizam por possuírem controle de corte e religamento da energia a distância, coleta detalhada dos dados de consumo da unidade consumidora, atualização do *software* embarcado de forma automática e diversos tipos de comunicação, como Wi-Fi, Mesh, LoRA e etc.

Na Figura 2 é possível observar um dos principais modelos de medidores inteligentes do mercado, o Zeus 8023 da fabricante Eletra Energy Solutions, que possui características como comunicação RS-232/485, módulo de comunicação remota PLC/RF Mesh, relé para corte ou religação de energia e ferramentas de análise de qualidade da energia elétrica.

Figura 2 - Medidor inteligente eletrônico de energia da fabricante Eletra.



Fonte: eletraenergy.com

2.4 Contextualização da Medição de Energia Elétrica

O conceito de medição de energia elétrica surgiu juntamente com a utilização da energia elétrica em corrente contínua para a iluminação dos ambientes, afinal, precisava-se faturar aquela energia utilizada e conseguir lucro.

Nesse quesito, o primeiro medidor foi o de Gardiner de 1872. O sistema contava apenas com um relógio, que era ligado ou desligado conforme havia uma entrada de carga, isso graças a um ímã conectado em série, criando-se inclusive o conceito de lâmpada-hora (DAHLE, 2010).

Com os avanços das cargas e do conhecimento a respeito do comportamento de circuitos magnéticos em corrente alternada dadas as descobertas de Tesla, surgiram os medidores eletromecânicos. Esse tipo de medidor é composto por um elemento motor dividido em dois circuitos magnéticos, um de corrente e outro de potencial, de onde a resultante do campo magnético de ambos é proporcional a tensão e corrente as quais os mesmos são submetidos (FERREIRA, 2012).

Um dos principais motivos que esses medidores vem sendo continuamente substituídos, apesar de ainda serem usados em grande parte das residências, se deve ao seu erro maior que 2%, em comparação aos 1% dos medidores eletrônicos comuns de classe B, e ser fácil ter seu faturamento burlado através de campos magnéticos externos, além de que facilmente qualquer sujeira interna pode travar o registrador ciclométrico.

Com isso surgiu os medidores eletrônicos, que ocupavam bem menos espaço, eram extremamente baratos, já que possuíam uma placa de circuito impresso bem simples e componentes baratos, possuíam erros menores, podendo chegar a 0,2% na classe D, e evoluíram até chegar em medidores inteligentes, que possuíam diversas funções além da simples medição.

Atualmente os medidores inteligentes possuem comunicação remota através de redes como LoRA, Wi-Fi ou até através da rede elétrica com a tecnologia PLC (*Power Line Communication*) e comunicações locais como serial RS-232 e RS-485. Também possuem diversas funções que permitem calcular indicadores sobre a qualidade da energia elétrica e diversos alarmes para evitar tentativas de adulteração do medidor.

Além dos medidores inteligentes, tem surgido o conceito de medição centralizada. São sistemas colocados em postes de energia que concentram vários medidores em uma caixa. Desse modo, evita-se que tenha perdas não técnicas em áreas de risco e com difícil acesso por parte dos leituristas. Assim como os medidores inteligentes convencionais, possuem comunicação remota, geralmente *RF Mesh*, para possibilitar o faturamento a distância. Na Figura 3 é possível visualizar uma caixa de medição centralizada sendo instalada.

Figura 3 - Sistema de Medição Centralizada sendo instalado em um poste.



Fonte: pucrs.br

2.5 Normas Regulatórias

No Brasil, a norma regulatória que trata sobre medidores eletrônicos é a Resolução Normativa (RN) Nº 414, promulgada em 2010 pela ANEEL.

A RN trata de diversos assuntos referentes a distribuição de energia elétrica, e os medidores estão inseridos nesse contexto. A mesma descreve como deve ser feita a instalação, como as informações devem ser mostradas para o proprietário da unidade consumidora, como deve-se proceder em caso de falha no equipamento, entre outros temas.

Sobre medidores inteligentes não há uma RN específica, mas a RN 502 de 2012, também da ANEEL, estabelece algumas condições que os medidores eletrônicos devem possuir para serem instalados em unidades consumidoras que adotem a tarifa branca, o que acaba sendo o caso dos medidores inteligentes, já que eles possuem essa funcionalidade.

De acordo com a RN 502, dois tipos de medidores com diferentes funcionalidades podem ser instalados. O primeiro tipo atende os consumidores do grupo B, que podem escolher adotar a tarifa branca. Inicialmente apenas consumidores com mais de 500 kWh/mês de consumo poderiam adotar, mas a partir de Janeiro de 2020 todos conseguiram o direito. O medidor deve aferir o consumo ativo com pelo menos quatro períodos de precificação e mostrar o consumo acumulado de energia, assim como os preços dos períodos. Com relação ao segundo tipo de medidor, algumas informações extras devem ser disponibilizadas, como:

- Dados sobre tensão e corrente;
- Datas e tempo de pelo menos 100 interrupções de energia, tanto longas quanto curtas;
- Informações sobre o consumo do cliente;
- Preços sobre os tipos de período adotados;
- Indicadores sobre tensão precária e crítica.

Esses tipos de informações estão presentes nos medidores inteligentes, ou seja, todos eles possuem também a função de computar tarifa branca.

Nessa mesma resolução a ANEEL também regulou a tecnologia chamada PLC (*Power Line Communications*), que usa a rede elétrica como infraestrutura de comunicação nos medidores inteligentes, sendo essa uma das principais formas de transmissão de dados remota, juntamente com a rede Mesh.

Outras bibliografias regulatórias sobre o tema são as NBR (Normas Brasileiras) mantidas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), representante da ISO (Organização Internacional de Padronização) no Brasil. No caso de medidores eletrônicos de energia há 3 normas principais: NBR 14519, NBR 14520 e NBR 14522.

A NBR 14519 trata sobre especificações técnicas que os medidores devem possuir, como tensão, dimensões do medidor, distâncias de isolamento, dispositivos de lacre, saída serial, porta óptica, placa de identificação, entre outros.

A NBR 14520 descreve métodos de ensaio em medidores especificados na norma anterior (14519). Ou seja, ela especifica todos os testes que o medidor deve passar para ser aprovado como apto a ser instalado nas unidades consumidoras, como tensão de impulso, tensão aplicada, ensaio da constante do medidor, da corrente de partida, entre outros.

Por fim, a NBR 14522 descreve um dos principais protocolos de comunicação entre medidores usados no mercado, juntamente com o DLMS (*Device Language Message Specification*). Ela especifica informações como: saída de usuário, formato público, códigos do mostrador, leituras padronizadas, entre outros.

3. Medidores inteligentes em redes elétricas inteligentes

Como já mencionado anteriormente em tópicos passados, o principal pilar das *smart grids* é a aquisição e tratamento de dados para que, com isso, sejam tomadas decisões em benefício da rede elétrica, da concessionária e do consumidor. Esses benefícios já se mostram presentes atualmente, com o cada vez mais comum discurso das cidades inteligentes (*smart cities*), eficiência energética e o empoderamento do consumidor ao transferir para ele a possibilidade de gerar sua própria energia, a chamada geração distribuída.

3.1 Eficiência Energética

Um dos principais fatores que serve como motivo para uso dos medidores inteligentes é a sua ajuda em melhorar continuamente a eficiência energética da rede e, assim, conscientizar o consumidor em prol de um uso mais inteligente da sua própria energia (LEITE, 2013).

Com relação à expansão tradicional do sistema elétrico, ou seja, a construção de grandes grupos geradores e novas linhas de transmissão, existem dificuldades físicas, financeiras e jurídica, especialmente em tempos de recessão econômica, já que o financiamento para essas obras é público. Desta forma, acompanhar o aumento da demanda por energia elétrica desencadeado pelo progresso tecnológico e econômico torna-se complicado. Com isso, foi notado que o estudo de melhorar a eficiência energética é a forma mais barata e simples de auxiliar o sistema elétrica sobrecarregado (CANAVAGH;HOWAT, 2012).

A ANEEL e as concessionárias se preocupam cada vez mais com o uso mais consciente e eficiente da energia elétrica, já que o impacto do desperdício gera perdas econômicas para todas as partes. Logo, os medidores inteligentes se tornam grandes aliados pela busca de um melhor uso da energia por parte dos consumidores.

Outra grande aliada no auxílio aos sistemas elétricos de potência que tem se tornado cada vez mais popular é a utilização de energias renováveis de forma distribuída por parte dos consumidores finais, em especial a energia fotovoltaica. Essa última é perceptível o crescimento principalmente em mini e micro geração, com a instalação de parques eólicos, principalmente no nordeste brasileiro. Já a energia solar, através de células fotovoltaicas, tem crescido principalmente nos consumidores residenciais e comerciais, já que o preço de painéis solares tem

decaído cada vez mais e a eficiência vem aumentando. E para a utilização dessa rede é necessário a instalação de medidores bidirecionais, onde se encaixa os medidores inteligentes, que têm a capacidade de registrar a energia importada e exportada para a rede elétrica.

Outro benefício relacionado a eficiência energética é a possibilidade do próprio consumidor acompanhar o seu consumo em tempo real, o que possibilita um maior controle de gastos e uma educação em prol de práticas mais eficientes de utilização de energia elétrica.

Mais um benefício se deve em relação a já falada adoção da tarifa branca, que possibilita a adoção de tarifas diferentes de acordo com o horário de consumo. Isso possibilita ao consumidor a escolha de economizar o preço pago pelo seu consumo modificando o horário em que ele mais consome energia para um horário em que a tarifa está mais barata. Isso dá mais um protagonismo na mão do consumidor e cria um conceito chamado mundialmente de Gerenciamento pelo Lado de Demanda (SUI et al.,2011).

Esses dados gerados pelos medidores inteligentes também permitem que as concessionárias revisem suas tarifas de acordo com os horários de maior consumo e, possibilitando, uma maior diluição da curva de consumo diário para não sobrecarregar o sistema além de, a longo prazo, revisar os investimentos necessários para a boa continuidade da rede. Com isso, os consumidores sentirão uma redução da tarifa paga em seu consumo mensal.

Outra melhoria proveniente é a menor chance de falha de equipamentos primordiais na cadeia. Os dados provenientes dos medidores inteligentes permitem um melhor planejamento de quando, por exemplo, determinado transformador está atuando com sobrecarga e precisa ser substituído.

Mais uma possibilidade de aumento da eficiência energética através dos medidores inteligentes é a da energia pré-paga (*prepaid energy*). No Brasil já foi tentado pela ANEEL a regulação dessa modalidade com a Resolução Normativa 610/2014, mas teve pouca adesão das concessionárias devido ao elevado custo para implantação de novos medidores (IDEC, 2018). Mas em 2019 surgiu um projeto de lei, PL 151/19, que fez retornar o debate público sobre o tema no Brasil.

Diversos países já utilizam várias modalidades de energia pré-paga, como Estados Unidos e Reino Unido. Nesse tipo de consumo, o consumidor compra créditos que podem ser utilizados para consumo de energia. O medidor inteligente

mostra no *display* quanto resta de créditos (não de kWh) restantes (UK POWER, 2014).

Como a utilização de energia pré-paga necessita um constante acompanhamento do consumidor, acaba gerando uma autoeducação sobre consumo eficiente. Alguns estudos dizem que esse tipo de tarifação originou uma redução de consumo entre 5% e 15% (OZOG, 2013).

Outro benefício é a redução de contas de energia com consumo errado, já que é o próprio consumidor que acompanha seus créditos. Em contrapartida, em geral, as tarifas nessa modalidade são maiores que o método tradicional (USWITCH, 2014).

3.2 Qualidade de Energia Elétrica

Outra grande funcionalidade e importância dos medidores inteligentes na rede elétrica de energia é a possibilidade de contribuir para o aumento da qualidade, segurança e confiabilidade do sistema elétrico de potência.

A definição de qualidade de energia elétrica abrange a possibilidade de se mensurar diversos fatores presentes em sistemas elétricos e que são importantes para a boa continuidade do mesmo. Devido a cada vez maior quantidade de equipamentos ligados à rede elétrica, a instabilidade da mesma se torna cada vez maior e, por consequência, a necessidade de se monitorar os fenômenos que contribuem para isso.

Esse trabalho se limitará a falar apenas dos indicadores que os medidores inteligentes no mercado costumam calcular, excluindo assim outros indicadores e informações também abordados pelo módulo 8 do PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica do Sistema Elétrico Nacional).

Todos esses indicadores mencionados a seguir estão presentes no módulo 8 do PRODIST, no qual as fabricantes de medidores inteligentes usam como base para padronização dos indicadores de qualidade de energia elétrica.

3.2.1 Indicadores de Conformidade do Nível de Tensão em Regime Permanente

O módulo 8 do PRODIST define 2 indicadores referentes ao nível de tensão em regime permanente, sendo eles: o DRP (Duração Relativa da Transgressão de Tensão Precária) e o DRC (Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica). Cada unidade consumidora é medida ao longo de uma semana e o medidor calcula

esses indicadores, que são apurados trimestralmente. Esses indicadores são calculados utilizando a Equação (1) e (2).

$$\text{DRP} = \frac{\text{nlp}}{1008} \cdot 100 [\%] \quad (1)$$

$$\text{DRC} = \frac{\text{nlc}}{1008} \cdot 100 [\%] \quad (2)$$

Os numeradores nlp e nlc se referem ao maior valor entre as fases do número de leituras situadas nas faixas precária e crítica, respectivamente. Os denominadores 1008 são porque o módulo 8 define que devem ser registradas 1008 amostras de leitura válidas em intervalos consecutivos de 10 minutos cada.

A ANEEL estabelece como limite do DRP apenas 3% e do DRC apenas 0,5%. Quando esse limite é ultrapassado, a concessionária deve corrigir essa falha e compensar financeiramente o consumidor. Os medidores calculam esses 2 indicadores, que são individuais, mas a concessionária calcula mais 2 indicadores coletivos, que são o DRPE (Duração Relativa da Transgressão de Tensão Precária Equivalente) e o DRCE (Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica Equivalente). Sendo esses apenas a média dos individuais.

3.2.2 Variação de Tensão de Curta Duração (VTCD)

O PRODIST define o VTCD como sendo variações significativas na amplitude da tensão eficaz durante intervalos de tempo menores que 3 minutos. O Quadro 1 classifica as variações de acordo com o tempo de duração.

Quadro 1 - Classificação das Variações de Tensão de Curta Duração

Classificação	Denominação	Duração da Variação	Amplitude da tensão (valor eficaz) em relação a tensão de referência
Variação Momentânea de Tensão	Interrupção Momentânea de Tensão (IMT)	Inferior ou igual a três segundos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Momentâneo de Tensão (AMT)	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Momentânea de Tensão (EMT)	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior a 1,1 p.u
Variação Temporária de Tensão	Interrupção Temporária de Tensão (ITT)	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Temporário de Tensão (ATT)	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Temporária de Tensão (ETT)	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Superior a 1,1 p.u

Fonte: Módulo 8 do PRODIST.

Quando se fala de VTCD, três valores são extremamente importantes, sendo eles a amplitude do evento (V_e), a duração do evento (Δt_e) e a frequência de

ocorrência do evento (f_e), sendo eles calculados utilizando as equações (3), (4) e (5), respectivamente.

$$V_e = \frac{V_{res}}{V_{ref}} \times 100 \quad (3)$$

Sendo que:

V_{res} = tensão residual do evento de VTCD em volt (V);

V_{ref} = tensão de referência em volt (V).

$$\Delta T_e = T_f - T_i \quad (4)$$

Sendo que:

T_f = instante final do evento em milissegundos (ms);

T_i = instante inicial do evento em milissegundos (ms);

$$F_e = n \quad (5)$$

Sendo que:

n = quantidade de eventos de VTCD computados no período de análise.

De acordo com a amplitude do VTCD e a duração do evento, existe classificações de A a I, como demonstrado no Quadro 2.

Quadro 2 - Estratificação das VTCD com base nos níveis de sensibilidade das diversas cargas.

Amplitude (pu)	Duração						
	[16,67 ms - 100 ms]	(100 ms - 300 ms]	(300 ms - 600 ms]	(600 ms - 1 seg]	(1 seg - 3 seg]	(3 seg - 1 min]	(1 min - 3 min]
> 1,15	REGIÃO H			REGIÃO I			
(1,10 - 1,15]	REGIÃO H			REGIÃO I			
(0,85 - 0,90]	REGIÃO A						
(0,80 - 0,85]	REGIÃO A						
(0,70 - 0,80]	REGIÃO B		REGIÃO D		REGIÃO G		
(0,60 - 0,70]	REGIÃO B		REGIÃO D		REGIÃO G		
(0,50 - 0,60]	REGIÃO C		REGIÃO D		REGIÃO F		
(0,40 - 0,50]	REGIÃO C		REGIÃO D		REGIÃO F		
(0,30 - 0,40]	REGIÃO E			REGIÃO F			
(0,20 - 0,30]	REGIÃO E			REGIÃO F			
(0,10 - 0,20]	REGIÃO E			REGIÃO F			
< 0,10	REGIÃO E			REGIÃO F			

Fonte: Módulo 8 do PRODIST.

Com base nessa tabela, é possível calcular outro importante indicador de qualidade de energia elétrica: o Fator de Impacto (FI), que demonstra quão grave é a ocorrência do evento. Ele é calculado conforme demonstrado na equação (6).

$$FI = \frac{\sum_{i=A}^I (F_{ei} \times FP_i)}{FI_{base}} \quad (6)$$

Sendo que:

F_{ei} = frequência de ocorrência de eventos de VTCD em um período de 30 dias consecutivos para cada área de i (A a I);

FP_i = fator de ponderação para cada região de i , relacionando amplitude e duração;

FI_{BASE} = fator de impacto base. Ele é obtido do somatório dos produtos dos fatores de ponderação pelas frequências máximas de ocorrência em 30 dias de VTCD para cada área de sensibilidade.

O FP e o FI_{BASE} são obtidos conforme o Quadro 3, que foi retirado do módulo 8 do PRODIST.

Quadro 3 - Fatores de Ponderação e Fatores de Impacto Base de acordo com a tensão nominal.

Região de Sensibilidade	Fator de Ponderação (fp)	Fator de Impacto Base (FI_{BASE})	
		$1,0 \text{ kV} < V_n < 69 \text{ kV}$	$69 \text{ kV} \leq V_n < 230 \text{ kV}$
A	0,00	2,13	1,42
B	0,04		
C	0,07		
D	0,15		
E	0,25		
F	0,36		
G	0,07		
H	0,02		
I	0,04		

Fonte: Módulo 8 do PRODIST.

3.2.3 Indicadores de Continuidade Individuais

Outro importante fator para medir a qualidade da energia elétrica é a confiabilidade do serviço, ou seja, o quanto pode-se confiar que ele não irá parar de funcionar e, quando para, retorna rapidamente. Nessa questão existem 4 indicadores importantes que são calculados por medidores inteligentes e são mencionados no módulo 8 do PRODIST: o DIC (Duração de Interrupção Individual), o FIC (Frequência de Interrupção Individual), o DMIC (Duração Máxima de Interrupção Contínua) e o DICRI (Duração de Interrupção Individual ocorrida em Dia Crítico). Todos esses indicadores são calculadores para períodos de apuração

mensal, trimestral e anual, com exceção do DICRI, que é apenas em dias críticos. Todos esses indicadores são calculados conforme as equações (7), (8), (9) e (10).

$$DIC = \sum_{i=1}^n t(i) \quad (7)$$

$$FIC = n \quad (8)$$

$$DMIC = t(i)_{\max} \quad (9)$$

$$DICRI = t_{\text{crítico}} \quad (10)$$

Sendo que:

i = índice de interrupções da unidade consumidora no período computado. Pode variar de 1 a n ;

n = número de interrupções no período computado;

$t(i)$ = tempo de duração da interrupção no período computado (hora e centésimo de hora);

$t(i)_{\max}$ = valor referente ao tempo de máxima duração de interrupção contínua (i) no período computado (hora e centésimo de hora);

$t_{\text{crítico}}$ = duração da interrupção ocorrida em dia crítico (hora e centésimo de hora).

3.3 Redes e Medidores Inteligentes no Brasil e no Mundo

Com o cada vez maior avanço dos medidores inteligentes e suas funcionalidades, se torna cada vez mais comum a utilização de redes elétricas inteligentes que os usam.

Vários países já fizeram projetos pilotos para estudar os benefícios de ter esse tipo de tecnologia em suas redes elétricas, e o Brasil também se inclui, inclusive sendo um dos que já fizeram grandes investimentos.

3.3.1 Coreia do Sul

Um dos primeiros países a implementar o uso de medidores inteligentes em sua rede elétrica com o intuito de melhorar a eficiência energética foi a Coreia do Sul. Em 2008 eles lançaram um projeto piloto onde escolheram 77 unidades consumidores residenciais, sendo 24 em Seoul, a capital, e 53 em Cheongju (CHOI et al., 2009).

O sistema desenvolvido tinha como ideia o autogerenciamento, ou seja, o próprio usuário acompanhando seu consumo regularmente e com projeções para o futuro. O estudo buscou avaliar o impacto de uma interface com o usuário na economia de energia.

O medidor inteligente utilizado usa o sistema PLC, também utilizado em muitos dos medidores comercializados no Brasil, em que a infraestrutura do sistema elétrico é utilizada para a comunicação com a interface do usuário e com o concentrador de informações. Já esse último realiza comunicação com o servidor da concessionária através de rede *ethernet*.

O Quadro 4 sintetiza as informações mostradas aos consumidores na interface:

Quadro 4 - Informações mostradas ao consumidor.

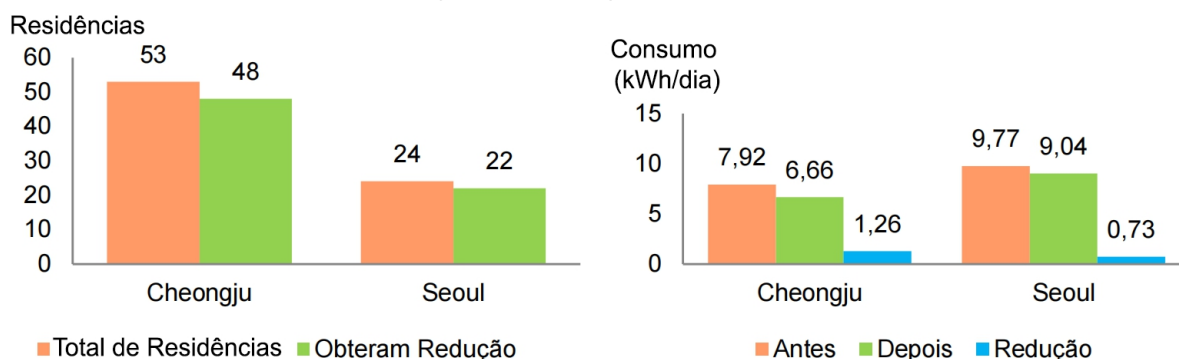
Informações sobre o uso da energia	Consumo acumulado
	Fatura atual
	Estimativa até a fatura ser fechada
	Fator de potência médio
	Nível progressivo atual
Dados estatísticos	Gráfico de consumo no tempo
	Consumo do mês anterior
	Fatura do mês anterior
	Consumo anual
Extras	Emissão de gases do efeito estufa
	Informações sobre o clima
	Dicas sobre o uso de energia

Fonte: CHOI et al., 2009.

O projeto durou 2 meses. No primeiro mês foram instalados sobre os medidores inteligentes, para a concessionária traçar o padrão de consumo desses usuários antes deles terem acesso aos dados. No segundo mês foi instalado a interface com o usuário para avaliar o impacto das informações sobre o melhor uso da energia por parte deles.

Como resultados, o teste obteve uma redução em 48 das 53 unidades consumidoras em Cheongju, com redução média de 15,9%. Já em Seoul, houve uma redução em 22 das 24 residências, com redução média de 7,5%. A média de redução menor na capital se deve a fatos sociais, como o maior poder aquisitivo, que desincentiva uma mudança brusca nos hábitos cotidianos para diminuir uma pequena quantidade do consumo elétrico. A Figura 4 sintetiza as informações sobre a redução de consumo.

Figura 4 - Redução do consumo.



Fonte: CHOI et al., 2009.

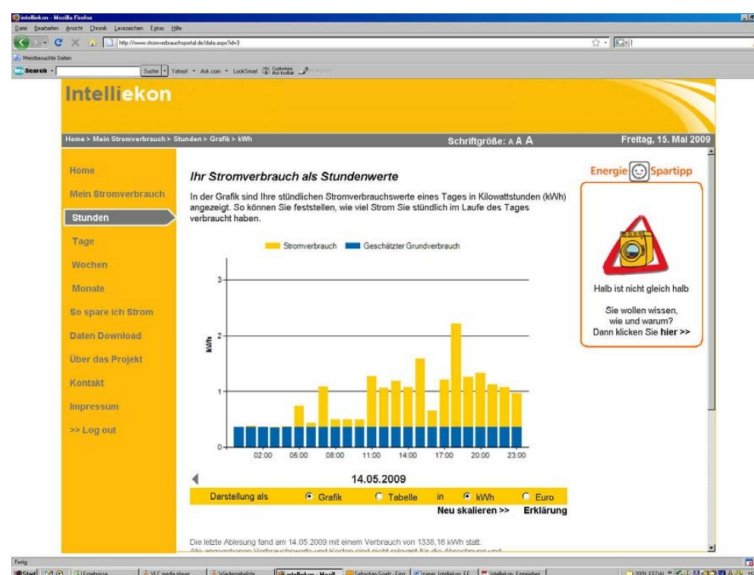
3.3.2 Alemanha

De acordo com a diretiva 2006/32/EC, todos os países da União Europeia devem instalar medidores inteligentes quando forem substituir um medidor convencional ou quando uma nova unidade consumidora for ligada na rede.

Tendo em vista essa diretiva, a Alemanha lançou em 2008 um projeto intitulado *Intelliekon* para avaliar os efeitos desses medidores. Esse projeto analisou o comportamento de unidades consumidoras através da disponibilidade de informação do próprio consumo usando medidores inteligentes.

O projeto dividiu várias unidades consumidoras em 2 grupos, sendo que um deles possuía informações sobre o consumo e medidas para diminuí-lo, enquanto outros não.

Figura 5 - Website usado para disponibilizar informações sobre o consumo.



Fonte: SCHLEICH et al., 2011.

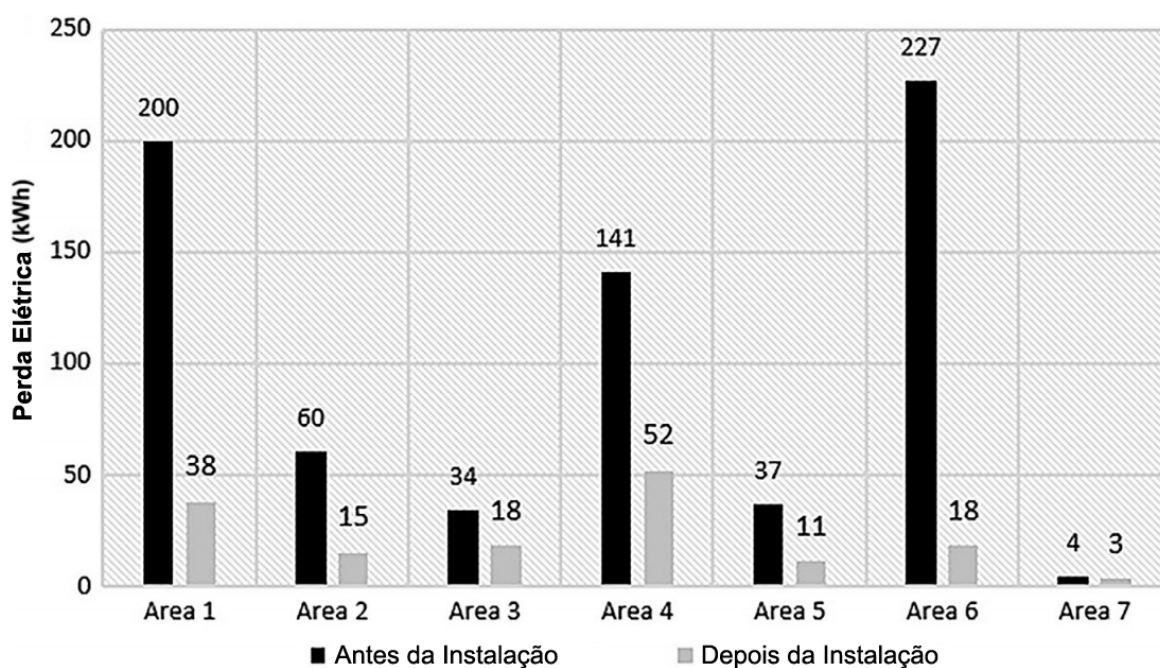
O teste durou 1 ano com mais de 900 unidades consumidoras. O resultado obtido foi uma média de 3,7% na redução média de consumo. Segundo o preço médio da energia da época na Alemanha, essa redução representa um valor de € 30,00 (30 euros) por ano.

3.3.3 Romênia

Em 2012, o Órgão Regulador de Energia da Romênia lançou a lei 123/2012, onde ficou estabelecido a implementação de medidores inteligentes em pelo menos 80% das unidades consumidoras até o final de 2020.

A partir de 2013, todas as concessionárias presentes no país começaram projetos pilotos para avaliar a eficácia do uso de medidores inteligentes na redução do consumo.

Figura 6 - Redução de perdas técnicas antes e depois dos medidores inteligentes.



Fonte: GRIGORAS, 2018.

Os resultados obtidos apontaram para uma redução de perda energética através da substituição de equipamentos da rede elétrica que estavam no fim de sua vida útil, como transformadores, através dos dados obtidos pelos transformadores. O estudo também previu que não será possível alcançar a meta de 80% das unidades consumidoras com medidores inteligentes até 2020.

3.3.4 Suécia

A Suécia foi um dos pioneiros no uso de medidores inteligentes na Europa. Em 2014 eles já tinham instalado esse tipo de medidor em mais de 90% das unidades consumidoras do país.

A Suécia realizou um estudo em um novo distrito que está em desenvolvimento em Estocolmo chamado *Stockholm Royal Seaport*. Eles instalaram medidores inteligentes em 154 novas residências com informação de consumo elétrico em tempo real. As casas também possuíam controle da luz, máquinas de lavar e tomadas a distância através de um aplicativo.

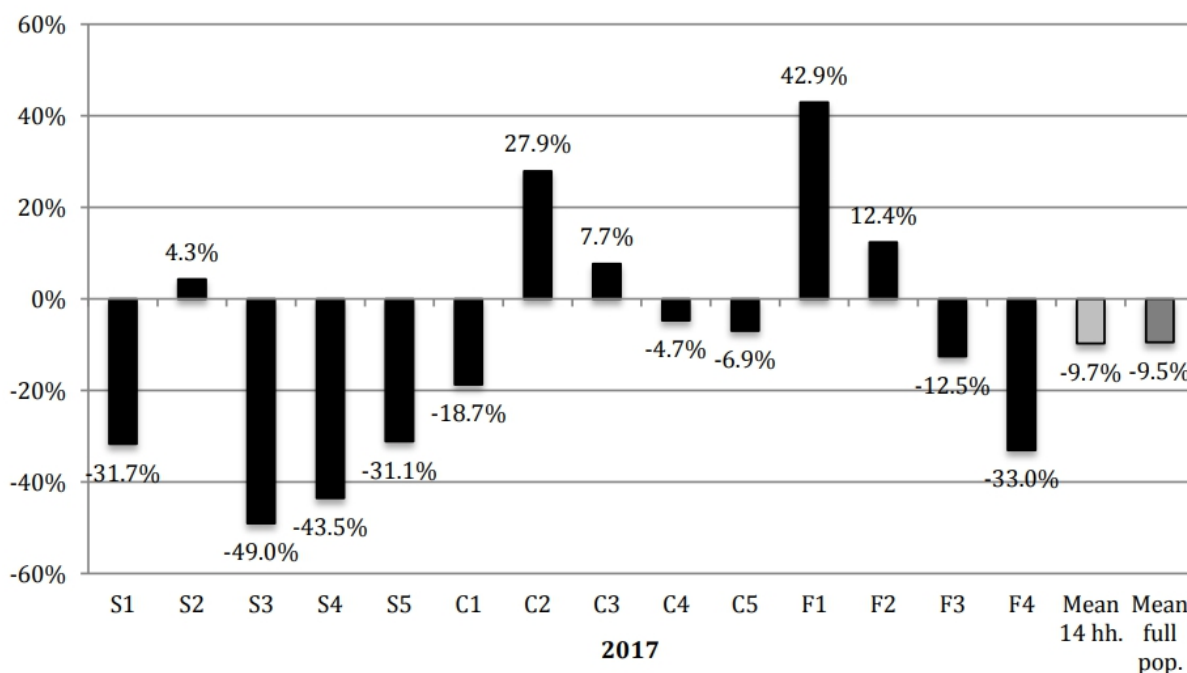
Figura 7 - Aplicativo usado para controle e monitoramento do consumo.



Fonte: NILSSON et al., 2018.

Das 154 residências, 14 foram selecionadas de acordo com idade, renda e família: 5 solteiros (S1 a S5), 5 casais (C1 a C5) e 4 famílias (F1 a F4). Esse grupo serviu como uma amostra para ser comparado com o todo. O teste teve duração de 1 ano, sendo de Janeiro à Dezembro de 2017.

Figura 8 - Resultados encontrados.



Fonte: NILSSON et al., 2018.

Como pode-se observar no grupo, o grupo com maior redução foi o dos solteiros, enquanto alguns casais e famílias tiveram até aumento. A média de redução da amostra foi 9,7%, bem próxima da média de redução do grupo total de 154 participantes, que foi de 9,5%.

3.3.5 Minas Gerais (Projeto Cidades do Futuro)

A CEMIG (Companhia Elétrica de Minas Gerais) lançou um projeto piloto de redes inteligentes no estado em que ela atua, Minas Gerais. O projeto primeiramente trocou os medidores eletromecânicos de 1200 unidades consumidoras por medidores inteligentes e modernizou o sistema de telecomunicações para realizar a comunicação da rede.

O projeto permitiu os consumidores gerarem sua própria energia através de células fotovoltaicas, já que os medidores são bidirecionais, e observar seu próprio consumo, aumentando a eficiência energética.

O projeto usava medidores com módulos de comunicação PLC e RF Mesh para enviar os dados para uma central e depois para a concessionária. O projeto foi lançado em 2009, finalizado em 2014 e teve um investimento de mais de R\$ 45 milhões (O SETOR ELÉTRICO, 2014).

3.3.6 Rio de Janeiro (Projeto Cidade Inteligente Búzios)

Outro projeto bastante interessante que já começou a ser desenvolvido em território nacional é um piloto lançado pela concessionária Enel em 2011 na cidade Armação de Búzios, no Rio de Janeiro.

Esse projeto visava, além da instalação de uma rede elétrica inteligente, criar uma infraestrutura com vários conceitos que abrangem o termo de cidade inteligente (*smart city*), como mobilidade elétrica e iluminação pública eficiente.

O projeto implantou mais de 9400 medidores inteligentes e mais de 130 luminárias de LED, ocasionando em uma redução de cerca de 80% do consumo anterior.

Para a implantação do projeto, foram investidos cerca de R\$ 40 milhões, sendo 54% provenientes da concessionária Ampla e o restante da ANEEL (O SETOR ELÉTRICO, 2014).

3.3.7 Paraná (Rede Elétrica Inteligente)

Quando se fala de projetos mais recentes no Brasil, não se pode deixar de falar do recém anunciado projeto pela COPEL (Companhia Paranaense de Energia) em Setembro de 2020, conforme mostrado na Figura 5.

Figura 9 - Apresentação de Divulgação do Projeto Rede Elétrica Inteligente da COPEL.



Fonte: copel.com

Na primeira fase do projeto, 151 cidades do Paraná serão contempladas com uma rede elétrica automatizada com medidores inteligentes. O projeto é o maior já

anunciado até o momento, já que o investimento nessa fase é de R\$ 820 milhões e vai beneficiar mais de 4,5 milhões de consumidores.

Esse projeto utilizará medidores eletrônicos inteligentes da fabricante cearense-chinesa Eletra Energy Solutions, demonstrado na Figura 6. A tecnologia permite controle a distância em casos de religamento da energia e saber exatamente onde ocorreu um problema na rede elétrica. Do lado do consumidor permitirá o acompanhamento de vários dados sobre o seu consumo e aumentará a qualidade da energia elétrica consumida.

Figura 10 - Medidor eletrônico inteligente Zeus da fabricante Eletra Energy Solutions.



Fonte: copel.com

O piloto desse projeto, lançado em 2018 na cidade de Ipiranga, beneficiou 5 mil consumidores e diminuiu a duração de desligamentos de energia em 52% comparado com o ano anterior.

3.4 Tendências Futuras

Uma grande tendência futura que podemos observar com esse último investimento da COPEL, citado no tópico 3.3.4, é a maior quantidade de uso de medidores inteligentes pelas concessionárias ao redor do Brasil. A COPEL deu um importante passo ao deixar claro seu projeto de substituir completamente todos os medidores do estado por outros inteligentes, mesmo sendo necessário um investimento tão elevado.

Outra tendência bem grande é a evolução dos medidores inteligentes para focarem cada vez mais no aumento da qualidade de energia elétrica, abrangendo mais ainda os indicadores que eles possam computar.

Também se mostra um investimento maior por parte das concessionárias no combate de pernas não técnicas, ou seja, o desvio clandestino de energia através de uma ligação ilegal na rede. Para isso, as fabricantes já estão lançando no mercado as caixas centralizadas de medição, que tiram os medidores das residências e agrupam no topo de postes, para, assim, dificultar o uso indevido ou danificar o medidor.

Outra importante evolução no meio se deve ao novo tipo de tarifação que provavelmente chegará no Brasil: a energia pré-paga. Já realidade em outros países, aqui já se discute a implantação dessa nova possibilidade através da PL 151 apresentada em 2019 e que já foi discutida desde 2012 na ANEEL através de consultas públicas.

4. Conclusão

Este trabalho de conclusão de curso apresentou, de formas gerais, o conceito de duas tecnologias que estão evoluindo bastante o setor de energia elétrica ao redor do mundo: os medidores inteligentes e as redes inteligentes. Além disso, demonstrou de forma teórica as principais funcionalidades desses tipos de medidores em prol de uma rede elétrica mais benéfica para concessionárias e clientes.

A utilização dos medidores como uma forma de auto gerenciamento de consumo, através da grande quantidade de dados que o mesmo disponibiliza para concessionária e consumidor, se mostrou eficaz para o aumento da eficiência energética em todas as localidades em que foi testado, como no caso da Coreia do Sul que teve reduções de até 15%.

Também foram explicadas as ferramentas de cálculo de indicadores de qualidade presentes nos principais modelos de medidores inteligentes, usadas pela ANEEL para fiscalizar as concessionárias em relação a qualidade do serviço que prestam para o consumidor brasileiro.

Além disso, analisando tendências e tecnologias já utilizadas em outros países, é provável que futuramente chegará no mercado nacional novas formas de tarifa, como a pré-paga, além da maior utilização de mecanismos de combate ao furto de energia, como as centrais de medição.

Por fim, a utilização dos medidores eletrônicos inteligentes de energia elétrica demonstraram, como mostrado nesse trabalho, serem eficazes para a modernização

de um setor fundamental na sociedade que é o setor energético, contribuindo para a melhor utilização do mesmo, diminuição de perdas e aumento da qualidade do serviço prestado.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR. Infográfico ABSOLAR. 2021. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/infografico-absolar-.html>>. Acessado em 14/02/2021.

AMIN S.M. MASSOUD WOLLENBERG, B. F. Toward a smart grid. IEEE Power and Energy Magazine, 2005.

ANEEL. Modulo 8 – Qualidade da Energia Eletrica. 2016.

ANEEL. Resolução Normativa Nº 414. 2010.

ANEEL. Resolução Normativa Nº 502. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14519: Medidores Eletrônicos de Energia Elétrica (Estáticos): Especificação. Rio de Janeiro. 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14520: Medidores Eletrônicos de Energia Elétrica (Estáticos): Método de Ensaio. Rio de Janeiro. 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14522: Intercâmbio de Informações para Sistemas de Medição de Energia Elétrica. Rio de Janeiro. 2008.

BARAI SRIDHAR KRISHNAN, B. V. G. Smart metering and functionalities of smart meters in smart grid - a review. 2015.

CAPUA GIANLUCA LIPARI, M. L. R. M. C. D. A smart energy meter for power grids. Conference Record - IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2014.

CANAVAGH, R.; HOWAT, J. Finding Common Ground Between Consumer and Environmental Advocates. Electricity Policy.com 2012.

CARVALHO, P. Smart metering deployment in brazil priscila. 7th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, Energy Procedia 83 p. 360 – 369, 2015.

CHOI, T.-S. et al. Analysis of energy savings using smart metering system and IHD (in-home display). Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific: 1-4 p. 2009.

COPEL. Copel Inicia implantação da Rede Elétrica Inteligente. 2020. Disponível em: <<https://www.copel.com/hpcweb/copel-inicia-implantacao-da-rede-eletrica-inteligente/>>. Acesso em 09/03/2021.

DAHLE, D. Watthour Meters: Dedicated to the history of the watthour meter in North America. 2010. Disponível em: < <http://watthourmeters.com> >. Acesso em: 09/03/2021.

EPE. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020 Ano Base 2019. Brasil: Ministério de Minas e Energia. 2020.

GRIGORAS, G. (2018). Impact of smart meter implementation on saving electricity in distribution networks in Romania. Application of Smart Grid Technologies, 313–346. doi:10.1016/b978-0-12-803128-5.00009-x

IDEC. Energia pré-paga traz riscos para o consumidor. 2018. Disponível em: <<https://idec.org.br/noticia/energia-pre-paga-traz-riscos-para-o-consumidor#:~:text=Está%20em%20vigor%20desde%202014,a%20implementação%20do%20medidor%20eletrônico.>>. Acessado em 14/02/2021.

FERREIRA, J. B. Análise de Formas de Medição de Consumo de Energia Elétrica no Setor Residencial. 2012. Centro de Informática, Universidade Federal de Pernambuco, Recife/PE.

LAMIN, H. Medição Eletrônica em Baixa Tensão: Aspectos Regulatórios e Recomendações para Implantação. 2009. 184 f.. (Mestrado). Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília - Faculdade de Tecnologia, Brasília/DF.

LEITE, D. R. V. Medidores Eletrônicos: Uma Análise da Viabilidade Econômica no Contexto das Redes Inteligentes. 2013. 81 f.. (Mestrado). Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília - Faculdade de Tecnologia, Brasília/DF.

NILSSON, A., WESTER, M., LAZAREVIC, D., & BRANDT, N. (2018). Smart homes, home energy management systems and real-time feedback: lessons for changing energy consumption behavior from a Swedish field study. *Energy and Buildings*. doi:10.1016/j.enbuild.2018.08.026

O Setor Elétrico. Cidades Inteligentes: o futuro do smart grid no Brasil. 2014. Disponível em: <<https://www.osetoreletrico.com.br/cidades-inteligentes-o-futuro-do-smart-grid-no-brasil/>>. Acesso em 09/03/2021.

OZOG, M. The Effect of Prepayment on Energy Use: DEFG 2013. Redes Inteligentes Brasil. Projetos Piloto. 2021. Disponível em: <<http://redesinteligentesbrasil.org.br/projetos-piloto-brasil.html>>. Acesso em 09/03/2021.

SCHLEICH, JOACHIM; KLOBASA, MARIAN; BRUNNER, MARC; GÖLZ, SEBASTIAN; GÖTZ, KONRAD (2011) : Smart metering in Germany and Austria: Results of providing feedback information in a field trial, Working Paper Sustainability and Innovation, No. S6/2011, Fraunhofer ISI, Karlsruhe

SUI, H.; SUN, Y.; LEE, W.-J. A demand side management model based on advanced metering infrastructure. *Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT)*, 2011 4th International Conference on: 1586-1589p. 2011.

UK POWER. Prepayment Meters. 2014. Disponível em: <http://www.ukpower.co.uk/home_energy/prepayment-meters>. Acesso em 09/03/2021.

US DEPARTMENT OF ENERGY. What the smart grid means to Americans. United States of America: United States of America. 1: 23 p. 2010.

USWITCH. Prepayment meters explained. 2014. Disponível em: <<http://www.uswitch.com/gas-electricity/guides/prepayment-meters/>>. Acesso em 09/03/2021.

WERANGA, K. S. K.; CHANDIMA, D. P.; KUMARAWADU, S. P. Smart metering for next generation energy efficiency & conservation. Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT Asia), 2012 IEEE: 1-8 p. 2012.