

**DANIELA ROSA RIBEIRO**

**A PARTICIPAÇÃO DOS MEDIDORES ELETRÔNICOS NA REDE  
INTELIGENTE DE ENERGIA ELÉTRICA**

Guaratinguetá - SP

2015

DANIELA ROSA RIBEIRO

A PARTICIPAÇÃO DOS MEDIDORES ELETRÔNICOS NA REDE INTELIGENTE DE  
ENERGIA ELÉTRICA

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Rubens Alves Dias

Guaratinguetá

2015

Ribeiro, Daniela Rosa  
R484p A participação dos medidores eletrônicos na rede inteligente de energia elétrica / Daniela Rosa Ribeiro – Guaratinguetá, 2015.  
61 f. : il.  
Bibliografia : f. 58-61

Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015.  
Orientador: Prof. Dr. Rubens Alves Dias

1. Medidores elétricos 2. Redes inteligentes de energia 3. Energia elétrica -- Consumo I. Título

CDU 621.317.7

**DANIELA ROSA RIBEIRO**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE  
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE “GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA ELÉTRICA”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Prof. Dr. LEONARDO MESQUITA  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof. Dr. RUBENS ALVES DIAS  
Orientador/UNESP-FEG

  
Prof. Dr. JOSÉ FELICIANO ADAMI  
UNESP-FEG

  
Prof. Dr. TEÓFILO MIGUEL DE SOUZA  
UNESP-FEG

de modo especial, dedico este trabalho aos meus pais *Orlando e Rosa* pelo apoio e incentivo nos meus estudos e na minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela minha saúde, por me permitir levantar a cada manhã e por permitir a concretização deste sonho.

Agradeço aos meus pais *Orlando e Rosa* que me ensinaram o valor dos estudos e me incentivaram nas minhas escolhas.

Agradeço ao meu professor e orientador, *Prof. Dr. Rubens Alves Dias* que sempre cumpriu com louvor seu papel de professor, não apenas cumprindo com seu horário de trabalho, mas, realmente, almejando nosso concreto aprendizado. Por me orientar neste trabalho com disposição e compartilhar seu conhecimento.

Ao funcionário Antonio Carlos da S. Monteiro (*Formiga*) que sempre trabalhou com entusiasmo e transmitia alegria a quem o encontrasse.

Agradeço aos meus colegas de classe que dividiram seus conhecimentos e dificuldades, tornando as horas de estudo mais prazerosas.

“A educação é a arma mais poderosa que você pode usar para mudar o mundo.”

Nelson Mandela

RIBEIRO, D. R. **A participação dos medidores eletrônicos na rede inteligente de energia elétrica.** 2015. 61 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

## RESUMO

Desde que a eletricidade foi descoberta e o setor elétrico ganhou destaque a partir do século XVIII, nunca mais o homem pode se desvincular desta forma de energia. Durante muito tempo, o sistema de energia elétrica atuou sem grandes mudanças, necessitando de melhorias com o rápido desenvolvimento das tecnologias. Este trabalho aborda o atual conceito de rede elétrica de energia chamado de Rede Inteligente ou *Smart Grid*, através de um panorama de seu desenvolvimento no mundo por meio de projetos implantados em alguns países e o nível de desenvolvimento e interesse do Brasil nesta rede. Tem como foco um dos componentes que compõe a rede inteligente, o medidor de energia, que é o elemento essencial de interligação entre consumidores e a rede de energia. Traz uma breve explanação sobre os medidores convencionais e os medidores inteligentes, tais como modo de operação e capacidade de medição. Por fim, aborda a questão do lado do consumidor, quais são os meios de trazer aos consumidores as mudanças que vão ocorrer, pois até o presente momento a participação destes era de apenas pagar pela energia consumida. Com a nova rede, podem ser mais participativos, atuando como coadjuvantes e precisam estar informados de como vai ser o faturamento de energia elétrica e como podem se adaptar à nova estrutura, de modo a incitá-los ao uso racional de energia e ao interesse em contribuir no fornecimento de energia elétrica através de energias renováveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Redes Inteligentes. Medidores eletrônicos de energia elétrica. Consumo de energia elétrica.



RIBEIRO, D. R. **Le rôle des compteurs électroniques dans le reseau intelligent d'énergie électrique**. 2015. 61 f. Mémoire de licence en ingénierie électrique (Graduée en Ingénierie Électrique) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

## RESUMÉ

Depuis que l'électricité a été découverte et que le secteur électrique s'est considérablement développé dans le XVIIIe siècle, jamais l'homme n'a pu se détacher de cette énergie. Pendant longtemps le système d'énergie électrique a fonctionné sans grand changement, mais avec le développement rapide des technologies, de nouvelles améliorations apparaissent. Ce mémoire traite des nouveaux concepts de réseaux d'énergie électrique appelés Réseaux intelligents ou *Smart Grid*. À travers un panorama de leurs développements dans le monde, cette étude porte d'une part, sur l'avancée des projets dans quelques pays et d'autre part, du niveau de développement de ce réseau au Brésil et de son intérêt pour le pays. L'étude a comme point central un des composants de ce réseau intelligent, le compteur communicant, qui est l'élément essentiel des interconnexions entre consommateurs et producteurs. Ce rapport apporte un éclaircissement sur les compteurs conventionnels et les compteurs intelligents et sur leur mode de fonctionnement. Enfin il aborde la question des consommateurs : par quels moyens leur transmettre tous ces changements à venir, puisque jusqu'à présent, leur seule participation était de payer l'énergie consommée. Avec le nouveau réseau, ils deviendront de véritables acteurs puisqu'ils seront informés en temps réel de leur consommation d'énergie électrique. Pour terminer, le mémoire montrera comment ils pourront s'adapter à cette nouvelle façon de gérer leur consommation en espérant les inciter à une utilisation plus raisonnable de l'énergie et à modifier leur comportement en gérant de manière active leur consommation en intégrant notamment les énergies renouvelables.

**MOTS-CLÉS:** Réseau intelligent. Compteur intelligent d'énergie électrique. Consommation d'énergie électrique.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Mapa da França com número de projetos por região.....	20
Figura 2.2	Programa smart grid nos Estados Unidos .....	22
Figura 2.3	Projetos smart grid nos Estados Unidos.....	23
Figura 2.4	Participação das usinas na produção de energia no Brasil.....	25
Figura 2.5	Mapa do Brasil e as regiões com projeto smart grid.....	26
Figura 2.6	Rede de distribuição aérea Loadbreak Cemig.....	29
Figura 3.1	Estrutura interna de um medidor eletromecânico monofásico do tipo indução.....	32
Figura 3.2	Visores de medidores eletromecânicos: tipo ponteiro e ciclométrico.....	33
Figura 3.3	Leitura de um medidor eletromecânico com mostrador tipo ponteiro.....	34
Figura 3.4	Leitura de um medidor eletromecânico ciclométrico.....	34
Figura 3.5	Diagrama básico de um medidor eletrônico.....	35
Figura 3.6	Onda fundamental deformada pela presença do harmônico de ordem 2.....	37
Figura 3.7	Arquitetura básica do sistema em que o <i>smart meter</i> opera.....	38
Figura 3.8	Componentes internos de um medidor inteligente Elster.....	39
Figura 3.9	Display de um medidor de energia da EDP Bandeirante.....	40
Figura 3.10	Seção de um condutor para uma mesma carga e fatores de potência variados.....	43
Figura 3.11	Distorção na potência aparente devido à presença de harmônicos.....	44
Figura 4.1	Tarifa branca e convencional.....	49
Figura 4.2	Medidor Spectrum K Art .....	50
Figura 4.3	Medidor trifásico MD 3400 Ecil.....	51
Figura 4.4	Medidor de energia SMW 100 da WEG.....	52

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 Comparativo dos projetos/empresas .....	31
Quadro 2.2 Área de atuação em smart grid das empresas citadas .....	31

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2. 1 Usinas geradoras de energia elétrica em funcionamento no Brasil.....	25
Tabela 3. 1 Potência total de um transformador para uma carga de 800kW.....	43
Tabela 4. 1 Lâmpadas e suas características.....	53

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	<i>Alternating Current</i>
AMI	Infraestrutura de medição avançada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEA	<i>Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives</i>
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CMO	Custo Marginal de Operação
CRE	Commission de régulation de l'énergie
EDP	Energias de Portugal
ERDF	<i>Électricité Réseau Distribution France</i>
ESS_SE	Encargo de Serviço de Sistema por Segurança Energética
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FITEC	Fundação para Inovações Tecnológicas
FUPAI	Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria
INP	<i>Institut National Polytechnique de Grenoble</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LCD	<i>liquid crystal display</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
MAN	<i>Metropolitan Area Network</i>
NBR	Norma Brasileira
OG&E	<i>Oklahoma Gas &amp; Electric</i>
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PEE	Programa de Eficiência Energética
PLC	<i>Power Line Communication</i>
PMUs	<i>Phasor Measurement Units</i>
RF	Rádio Frequência
RMS	<i>root mean square</i>
SE	subestação
SGDP	<i>Smart Grid Demonstration Program</i>
SGIG	<i>Smart Grid Investment Grants</i>
SGP + M	Sistema de Gerenciamento de Perdas e Medição

SIGA	Sistema Integrado de Gerenciamento Automatizado
SIN	Sistema Interligado Nacional
TENERRDIS	<i>Technologies énergies nouvelles, énergies renouvelables Rhône-Alpes, Drome, Isère, Savoie</i>
UFER	Unidade de Faturamento de Energia Reativa Excedente
USP	Universidade de São Paulo
WAN	<i>Wide Area Network</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

$p(t)$	potencia instantânea	W
$v(t)$	tensão instantânea	V
$i(t)$	corrente instantânea	A
$V_m$	tensão de pico	V
$I_m$	corrente de pico	A
$w$	velocidade angular	rad/s
$\alpha$	ângulo de deslocamento da tensão	rad
$\beta$	ângulo de deslocamento da corrente	rad
$e(t)$	energia instantânea	Wh
FP	fator de potência	
P	potência elétrica ativa	W
Q	potência elétrica reativa	VA <sub>r</sub>
S	potência aparente total	VA
$I_1$	corrente fundamental	A
$I_n$	componentes harmônicas da corrente fundamental	A
FP <sub>D</sub>	fator de potência de deslocamento	
FP <sub>H</sub>	fator de potência de distorção devido aos harmônicos	
H	potência distorciva	
$\phi$	fluxo luminoso	lm

## SUMÁRIO

<b>1 A PARTICIPAÇÃO DOS MEDIDORES ELETRÔNICOS NA REDE INTELIGENTE DE ENERGIA ELÉTRICA .....</b>	<b>16</b>
1.1 INTRODUÇÃO .....	16
1.2 JUSTIFICATIVA .....	16
1.3 ASSUNTOS ABORDADOS .....	17
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>19</b>
2.1 INTRODUÇÃO .....	19
2.2 DESENVOLVIMENTO DO <i>SMART GRID</i> NO MUNDO .....	19
<b>2.2.1 <i>Smart grid</i> na França .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.2 <i>Smart grid</i> nos Estados Unidos .....</b>	<b>22</b>
2.3 DESENVOLVIMENTO DO SMART GRID NO BRASIL.....	24
<b>2.3.1 Estado de São Paulo .....</b>	<b>26</b>
2.3.1.1 Cidade de São Paulo .....	27
2.3.1.2 Cidade de Aparecida.....	27
<b>2.3.2 Estado de Minas Gerais .....</b>	<b>28</b>
2.3.2.1 Cidade de Sete Lagoas.....	28
<b>2.3.3 Estado do Rio de Janeiro .....</b>	<b>29</b>
2.3.3.1 Cidade de Rio de Janeiro .....	29
2.3.3.2 Cidade de Búzios .....	30
<b>3 ASPECTOS CONCEITUAIS.....</b>	<b>32</b>
3.1 MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA .....	32
<b>3.1.1 Medidores do tipo indução .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1.3 Medidores eletrônicos inteligentes .....</b>	<b>37</b>
3.2 CAUSAS, CONSEQUÊNCIAS E CORREÇÃO DO BAIXO FATOR DE POTÊNCIA ...	41
<b>3.2.1 Causas do baixo fator de potência .....</b>	<b>41</b>
<b>3.2.2 Consequências .....</b>	<b>42</b>
<b>3.2.3 Métodos para correção do fator de potência.....</b>	<b>44</b>
<b>4 APLICAÇÃO DOS MEDIDORES INTELIGENTES.....</b>	<b>46</b>
4.1 SISTEMAS DE TARIFICAÇÃO .....	46



<b>4.1.1 Tarifa Binômia</b> .....	<b>46</b>
<b>4.1.2 As Bandeiras Tarifárias</b> .....	<b>47</b>
<b>4.1.3 Tarifa Branca</b> .....	<b>48</b>
<b>4.2 MODELOS DE MEDIDORES</b> .....	<b>49</b>
<b>4.3 POSTURA DO CONSUMIDOR E DOS PROFISSIONAIS</b> .....	<b>52</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>56</b>

# 1 A PARTICIPAÇÃO DOS MEDIDORES ELETRÔNICOS NA REDE INTELIGENTE DE ENERGIA ELÉTRICA

## 1.1 INTRODUÇÃO

Face às exigências impostas pelo século XXI, busca-se um aprimoramento do sistema energético em todos os seus níveis.

A reestruturação do sistema elétrico visa proteger o meio ambiente e promover o suprimento de energia em um período de crescente demanda de maneira eficiente. Para isso, estão sendo implantadas soluções inovadoras como, por exemplo, a descentralização da geração de energia.

Deseja-se inserir pequenos geradores de fontes renováveis e tecnologias avançadas para medição e automação da rede, com o emprego das tecnologias de informação e comunicação de forma a contribuir para que a rede de energia elétrica se torne mais inteligente. Deste fato, vem o nome de Redes Inteligentes ou *Smart Grid*.

Esta aplicação de geração distribuída no sistema não é simples, pois as fontes renováveis, como a eólica, a qual depende dos ventos, são fontes intermitentes. As redes de distribuição precisam trabalhar com essa nova característica de forma a garantir continuidade na distribuição e qualidade no fornecimento de energia.

Diversos países têm investido em pesquisa e desenvolvimento na rede inteligente para oferecer uma energia de qualidade, que garanta a concorrência de suas indústrias no mercado mundial e o conforto dos consumidores. O Brasil também está inserido nestes países com projetos mais tímidos implantados pelas distribuidoras de energia. Essas têm desenvolvido ou contratado empresas pra projetar um novo medidor, com características semelhantes aos medidores eletrônicos existentes, porém com funcionalidades adicionais que vão atender às mudanças exigidas pelas redes inteligentes e será o elemento essencial para o sucesso da implantação dessa nova rede.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A rede de energia elétrica está passando por mudanças com o propósito de modernizá-la, pois, atualmente, os diversos equipamentos que são inseridos na rede trazem novos desafios e o sistema atual não é capaz de solucioná-los, ao menos que essas mudanças ocorram. Dentre eles, estão as perdas técnicas, que se devem, entre outros, a erros de medição,

as perdas não técnicas devidas a furtos de energia, a presença de cargas que não possuem características lineares e modificam o comportamento da energia elétrica nas residências e estabelecimentos e a preocupação em se tornar mais dinâmica a relação entre consumidor e concessionária, por meio da implantação de um medidor eletrônico de energia com uma nova interface.

Estes medidores vão passar a medir e a informar conceitos desconhecidos da maioria da população. Assim, o consumidor deve ser instruído quanto ao seu modo de funcionamento e espera-se que por meio dessas ações possam adquirir interesse em contribuir com o sistema elétrico por meio de um consumo consciente.

Os profissionais da área de energia precisam estar habilitados para entenderem o novo medidor e capacitados para auxiliarem no esclarecimento das mudanças que ainda não estão completamente estabelecidas, mas que passam a fazer parte do sistema elétrico nos próximos anos.

### 1.3 ASSUNTOS ABORDADOS

No segundo capítulo é dada uma visão geral do desenvolvimento das redes inteligentes no mundo e a maneira como os países têm trabalhado para a mudança do sistema de energia por meio de projetos em andamento.

O terceiro capítulo traz uma explanação sobre os tipos de medidores de energia existentes, seus componentes e o modo como operam. Aborda as informações que são adquiridas pelo novo medidor como, por exemplo, a energia reativa e assim é possível apontar as causas e consequências de um excesso deste tipo de energia e o que deve ser feito para corrigi-lo a fim de melhorar a energia do sistema, bem como a presença dos harmônicos causados pelas cargas não lineares conectadas à rede os quais também perturbam a qualidade da energia.

O quarto capítulo se refere aos modos de tarifação vigentes no Brasil e as tarifas que as concessionárias devem aplicar, futuramente, sendo necessário que os consumidores estejam devidamente informados para saberem no que a mudança vai acarretar na conta de energia elétrica e qual o melhor modelo de tarifa a ser escolhido em função de seus hábitos ou, ainda, que mudanças devem aplicar para se beneficiarem da tarifa escolhida. Mostra os modelos dos próximos medidores, bem como suas características e qual deve ser a ação de consumidores e profissionais diante da nova rede.

O quinto e último capítulo enfatiza os benefícios de se adicionar fontes alternativas de energia no sistema e a necessidade de mudanças frente ao uso cada vez maior de equipamentos não lineares pelos consumidores.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 INTRODUÇÃO

*Smart grid*, que em português significa Rede Elétrica Inteligente, é um novo conceito para a rede de energia elétrica, abrangendo a geração, transmissão e distribuição de energia.

Por não ter havido quase nenhuma mudança na estrutura básica da rede de energia elétrica ao longo dos anos, o sistema ficou defasado com o avanço da comunicação. Assim, além dos problemas já existentes, novos obstáculos surgiram, e por isso o sistema precisa se adaptar para atender às novas necessidades.

### 2.2 DESENVOLVIMENTO DO *SMART GRID* NO MUNDO

De acordo com a ANEEL (2010a), o aspecto motivador da Europa para a instalação do *smart grid* é o cumprimento da agenda ambiental para 2020 que prevê 20% na redução de emissões, 20% de geração renovável e 20% de economia de energia. Já para os Estados Unidos, os principais aspectos são a crise energética, vulnerabilidade do sistema a ataques terroristas, *hackers*, desastres naturais, riscos de blecaute, obsolescência dos ativos de distribuição, entre outros.

#### 2.2.1 *Smart grid* na França

A Figura 2.1 apresenta as regiões da França onde projetos *smart grid* foram implantados. Em branco, são regiões onde não há projetos e quanto mais escuro o mapa, mais projetos foram implantados.



Em 2014, 280 consumidores das cidades de Grenoble e Lyon já haviam começado a testar os novos serviços.

Participam desse projeto empresas como a *Électricité Réseau Distribution France* (ERDF), responsável pela distribuição de eletricidade de 95% do território francês, Alstom, Tenesol (ex-Total energia), *gaz - électricité - énergie renouvelable* (GDF Suez, nova ENGIE) que também atua no Brasil através de sua subsidiária Tractebel Energia, Schneider, três centros de pesquisas científicas e acadêmicas, a Universidade de Savoie, o *Institut National Polytechnique de Grenoble* (Grupo INP), o *Comissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives* (CEA) e o Conselho Geral de Savoie e de Rhône-Alpes.

Um equipamento instalado dentro da residência ligado à internet informa o morador do seu consumo, e envia alertas de consumo. À distância, o sistema pode desligar aparelhos como aquecedores quando verificado um aumento no pico da demanda, que permanecem desligados por pouco tempo para que a temperatura interna da casa não diminua drasticamente e o conforto do consumidor não seja prejudicado.

O consumidor pode através de uma conta *GreenLys* verificar se há previsão de desligamentos para sua região.

No caso do corte de algum equipamento, o consumidor é informado da ocorrência através de um sinal luminoso oriundo de um led localizado no equipamento instalado. Se o consumidor não quiser este desligamento poderá interrompê-lo a qualquer momento.

O consumidor ao acompanhar o uso de energia, através de sua conta, poderá diminuir seu consumo reduzindo sua fatura e através do uso de energias renováveis diminuir a emissão de CO<sub>2</sub>.

Outro projeto implantado na cidade de Lyon é uma estação de veículos elétricos de livre-serviço (GRANDLYON, 2014) instalado em junho de 2014 na estação de trem *Lyon Part-Dieu* pela *Wattmobile*, uma sociedade especializada em livre-serviço de veículos elétricos urbanos. São ao todo sete veículos, de duas e quatro rodas. O usuário se inscreve no site da empresa e paga uma taxa mensal, além de um valor adicional a cada aluguel. Ele pode reservar um dos veículos disponíveis pelo site ou através de postos instalados na estação e pegá-lo ao sair do trem. O objetivo é proporcionar aos clientes mais rapidez em curtos trajetos.

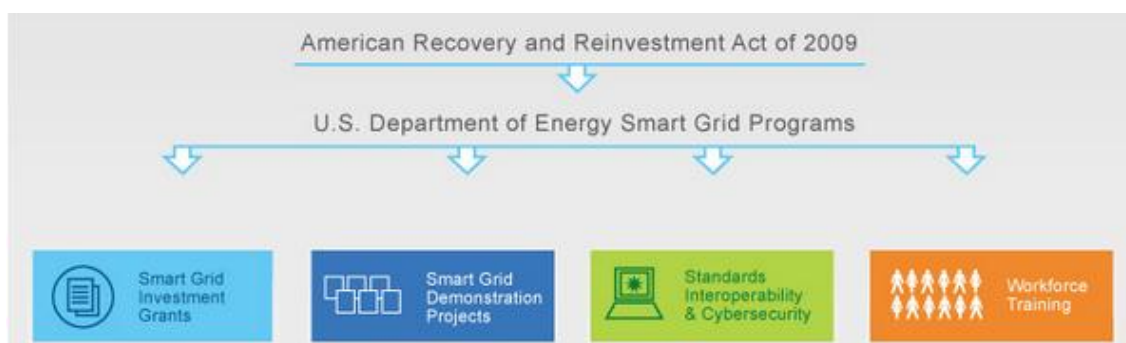
### 2.2.2 *Smart grid* nos Estados Unidos

Em seis de janeiro de 2009, foi realizado o 111º congresso, na cidade de Washington, citado como Ato de Recuperação e Reinvestimento Americano de 2009. Neste congresso, segundo U.S. Department of Energy (2014), foram disponibilizados nove bilhões de dólares de investimentos público-privado em projetos de *smart grid* comprometidos até 2015.

O número estimado de medidores inteligentes a serem instalados até 2015 é de 65 milhões em todo o país.

O programa americano de *smart grid* foi dividido em quatro frentes: *Smart Grid Investment Grants* (SGIG), *Smart Grid Demonstration Program* (SGDP), *Standards Interoperability & Cybersecurity* e *Workforce Training*, conforme Figura 2.2, sendo as duas primeiras as maiores.

Figura2. 2Programa *smart grid* nos Estados Unidos



Fonte: (U. S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2015).

- *Smart Grid Investment Grant* (SGIG): finalidade de acelerar a modernização na transmissão e distribuição de energia elétrica, investir em tecnologia, ferramentas e técnicas em *smart grid* para fornecer uma energia mais eficiente, segura e flexível;
- *Smart Grid Demonstration Program* (SGDP): dividido em dois tipos de projetos. Um de demonstração de *smart grid* regional para tratar custos, benefícios e viabilidade. O segundo trata de tecnologias de armazenamento de energia como baterias, ar comprimido e a inserção de energias renováveis como eólica e solar na rede. Ao todo são trinta e dois projetos, divididos igualmente para cada uma dessas duas frentes;
- *Standards Interoperability and Cybersecurity*: trata da interoperabilidade, que é a capacidade de sistemas, redes e demais componentes compartilharem dados entre si de



maneira segura e o *Cybersecurity*, que são medidas para evitar que ataques cibernéticos causem interrupções de energia ou tenham acesso a dados do sistema;

- *Workforce Training*: visa ao treinamento de cerca de trinta mil trabalhadores em tecnologia *smart grid*, desde a geração até a distribuição de energia elétrica que integra o uso de energias renováveis no sistema e a fabricação de equipamentos elétricos aumentando a formação de técnicos e engenheiros capacitados para suprir este mercado em expansão e preencher vagas de trabalhadores que estão se aposentando.

Os projetos em andamento nos Estados Unidos podem ser observados na Figura 2.3.

Figura 2.3 Projetos smart grid nos Estados Unidos



Fonte: (U. S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2015).

A *Oklahoma Gas & Electric (OG&E)*, empresa concessionária de energia elétrica e gás natural, conseguiu reduzir o pico de demanda e assim adiar a construção de uma usina de energia com pico de 170 MW com uso de infraestrutura de medição avançada (AMI) que consiste em um sistema integrado de medidores inteligentes, os *smart meters*, redes de comunicação e sistema de gestão de dados que permite uma transmissão de dados bidirecional entre consumidores e fornecedores (U. S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2015).

A empresa implantou, em parceria com cerca de seis mil consumidores, o programa *Positive Energy® Smart Grid Integration Program* oferecendo comunicação sem fio segura

para que os usuários do medidor inteligente em conjunto com termostatos programáveis tenham acesso ao seu consumo em tempo real, podendo, se desejarem, reduzir seu pico de energia e consumo, para que a empresa possa verificar e reduzir o pico de demanda, oferecer pacotes de energia com preços diferenciados para os consumidores, entre outros.

Este projeto possibilita um sistema de gerenciamento mais dinâmico, comutação automatizada, tensão integrada e controle de potência reativa, reduzindo perdas na linha, custos e aumentando a confiabilidade do sistema.

A universidade de Oklahoma também participa do programa implementando projetos para redução do consumo e gastos em 46 prédios de seu campus.

O relatório da U.S. Department of Energy (2014) também cita o uso de sincrofasores, que são números sincronizados no tempo os quais representam, de maneira precisa, tanto a magnitude quanto o ângulo de fase das ondas elétricas senoidais. Eles são medidos através de monitores de alta velocidade chamados de *Phasor Measurement Units* (PMUs) que são 100 vezes mais velozes que os sincrofasores.

Um estudo feito pelo Conselho Coordenativo de Eletricidade do Oeste mostra que com a utilização dos sincrofasores, pode-se aumentar em mais de 100 MW o fluxo de energia ao longo da Califórnia-Oregon sem que haja novos investimentos e assim reduzir os gastos em energia em torno de 35 a 75 milhões de dólares ao longo de 40 anos.

### 2.3 DESENVOLVIMENTO DO SMART GRID NO BRASIL

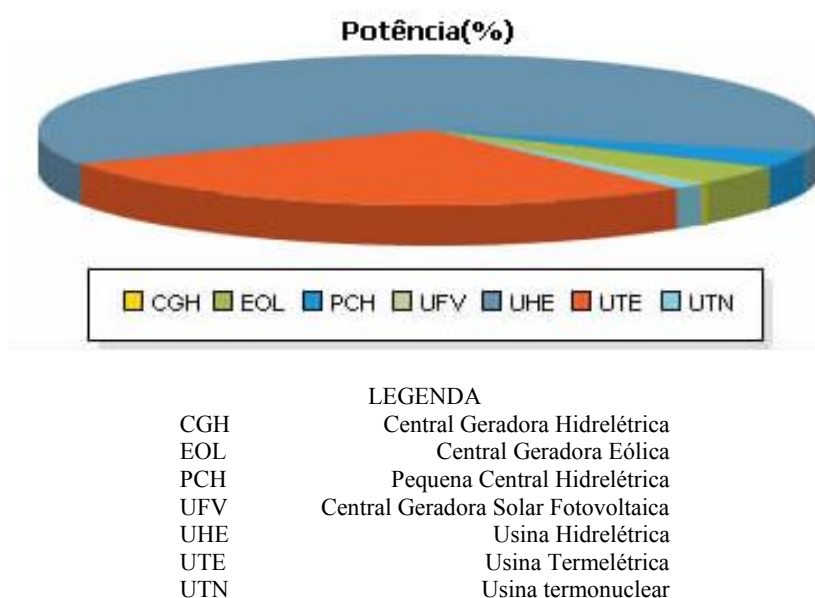
A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) publicou em julho de 2010 a Chamada nº 011/2010 Projeto Estratégico: Programa Brasileiro de Rede Elétrica Inteligente:

A ANEEL reconhece que a tendência mundial de substituição da tradicional infraestrutura do sistema de energia elétrica por uma configuração associada às recentes tecnologias de informação e comunicação irá proporcionar importantes mudanças na forma de relacionamento entre regulador e concessionária de energia e entre esta e seus consumidores. [...]. (ANEEL, 2010a, p. 4)

A “nova” rede será mais eficiente e segura, adaptativa, interativa, capaz de gerar novas oportunidades de negócios, operada com foco na qualidade e de menor impacto ambiental (ANEEL, 2010a, p.4).

O Brasil possui, atualmente, uma potência instalada de 136.232,1 MW (ANEEL, 2015a), sendo a maior parte devida às usinas hidrelétricas, seguida das usinas térmicas, conforme pode ser observado na Figura 2.4.

Figura 2.4 Participação das usinas na produção de energia no Brasil.



Fonte: (ANEEL, 2015a).

A porcentagem da potência fiscalizada de cada usina geradora de energia elétrica na matriz elétrica brasileira, bem como a potência outorgada e fiscalizada<sup>1</sup>, a quantidade de cada uma em funcionamento são mostradas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 Usinas geradoras de energia elétrica em funcionamento no Brasil.

Empreendimentos em operação				
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (MW)	Potência Fiscalizada (MW)	%
CGH	496	324,546	326,443	0,24
EOL	266	5.966,761	5.862,249	4,3
PCH	476	4.797,820	4.783,058	3,51
UFV	317	19,179	15,179	0,01
UHE	201	87.308,965	84.778,838	62,23
UTE	2.404	39.969,759	38.476,340	28,24
UTN	2	1.990,000	1.990,000	1,46
<b>Total</b>	<b>4.162</b>	<b>140.377,030</b>	<b>136.232,107</b>	<b>100</b>

<sup>1</sup> A Potência Outorgada é igual à considerada no Ato de Outorga. A Potência Fiscalizada é aquela considerada quando a primeira unidade geradora entra em operação comercial.

Estima-se que 15% de toda a energia produzida é perdida (INSTITUTO ACENDE BRASIL, 2015), em forma de efeito Joule, perdas nos núcleos dos transformadores, entre outros, classificados como Perdas Técnicas e devido a furtos, erros de medição, entre outros, classificados como Perdas não Técnicas.

A modernização do sistema de energia elétrica visa diminuir tais perdas, aumentar o respeito ao meio ambiente e melhorar a confiabilidade do sistema para que blecautes como o de 2009 e mais, recentemente, o de 19 de janeiro de 2015 (ONS, 2015), não voltem a se repetir. Este último derrubou unidades geradoras nas usinas de Angra I, Volta Grande, Amador Aguiar II, Sá Carvalho, Guilman Amorim, Canoas II, Viana e Linhares (Sudeste); Cana Brava e São Salvador (Centro-Oeste); Governador Ney Braga (Sul).

A Figura 2.5 apresenta, em amarelo, as regiões do Brasil onde projetos piloto foram implantados.

Figura2. 5 Mapa do Brasil e as regiões com projeto smart grid.



Fonte: (CRUZ, 2015).

### 2.3.1 Estado de São Paulo

Os projetos piloto no Estado de São Paulo encontram-se nas cidades de São Paulo, no bairro do Ipiranga, e na cidade de Aparecida do Norte.

### 2.3.1.1 Cidade de São Paulo

A AES Eletropaulo criou o projeto Programa Smart Grid - Projeto Eletropaulo Digital que abrange os municípios de Barueri, Vargem Grande e Caucaia do Alto.

A cidade de Barueri foi escolhida por ser uma área metropolitana de alto consumo e com uma rede elétrica com alimentadores curtos. Já Vargem Grande e Caucaia do Alto por serem uma área rural, de proteção ambiental e com circuitos longos (AES Eletropaulo, 2015).

A empresa está implantando mudanças na rede elétrica de Barueri em parceria com a Universidade de São Paulo (USP), Sinapsis Inovação em Energia e a Fundação para Inovações Tecnológicas (FITEC).

O orçamento previsto é de cerca de R\$ 72 milhões com investimentos distribuídos de 2013 até 2017 financiados pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP). As empresas contratadas para a fabricação dos medidores inteligentes são a Siemens, ITRON e WEG, e espera-se que cerca de 62 mil medidores sejam instalados nas residências, comunidades de baixa renda, comércio e indústria.

A WEG optou pelo uso de tecnologia de comunicação sem fio por rádio frequência em conjunto com *Power Line Communication* (PLC) o qual utiliza a rede elétrica para transmitir dados. Ela também fabricará os displays que ficarão dentro das residências como uma das alternativas para consulta do consumo em tempo real.

### 2.3.1.2 Cidade de Aparecida

O projeto InovCity Aparecida foi criado pelo Grupo Energias de Portugal (EDP) em parceria com a Ecil Energia.

A cidade foi escolhida por possuir um perfil variado de cliente com uma população urbana e rural, e por estar localizada entre os dois maiores centros urbanos do Brasil, São Paulo e Rio de Janeiro (MARCONDES, 2012).

A primeira fase do projeto se deu com a troca dos medidores eletromecânicos por medidores eletrônicos inteligentes totalmente nacionais desenvolvidos pela Ecil Energia em parceria com a EDP Bandeirante. Estes medidores trabalham com medição em quatro <sup>2</sup>quadrantes o que permite a detecção de fraudes e o recebimento de microgeração de fontes

---

<sup>2</sup> Energia ativa entregue pela concessionária ao consumidor no 1º e 4º quadrantes e do consumidor para a concessionária no 2º e 3º quadrantes (fluxo bidirecional);  
Energia reativa indutiva no 1º e 2º quadrantes e energia reativa capacitiva no 3º e 4º quadrantes.

alternativas de energia. Foram instalados aproximadamente 15,4 mil medidores eletrônicos inteligentes dentre os quais, 2.200 monofásicos, 12.600 bifásicos e seiscentos trifásicos, abrangendo 100 % da cidade.

O projeto está distribuindo à população lâmpadas compactas eficientes e substituiu quatrocentos e sessenta geladeiras de consumidores cadastrados como sendo de baixa renda. Para estes mesmos clientes, foram doados chuveiros híbridos que possuem um sistema de aquecimento solar e permitem ajustes como configurar o tempo de banho, estabelecer potência específica em dias e horários indicados e comunicação com um software gerenciador.

Para melhorar a iluminação pública, cerca de 200 luminárias convencionais à vapor de sódio foram substituídas por luminárias LED, que são mais eficientes, possuem qualidade de iluminação superior à convencional, maior vida útil e redução no consumo de cerca de 40%.

No quesito mobilidade elétrica, foram instalados cinco pontos de recarga de veículos elétricos juntamente com a doação de duas bicicletas elétricas e 17 *scooters*.

Em conjunto com a USP, o projeto está desenvolvendo a geração distribuída através da instalação de painéis solares fotovoltaicos para a microgeração.

### **2.3.2 Estado de Minas Gerais**

#### **2.3.2.1 Cidade de Sete Lagoas**

A Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) é responsável pelo projeto Cidades do Futuro.

A empresa possui, nesta cidade, a Universidade Corporativa da Cemig, UniverCemig, que conta com laboratórios e uma rede modelo, sendo um local propício para testes e capacitação de funcionários.

A Cemig criou um sistema interativo via TV digital: um conversor digital customizado que é conectado à televisão e integra os sistemas controlados pela empresa, permitindo que o consumidor tenha acesso ao seu consumo, possa solicitar serviços, entre outros.

O dispositivo Sistema Integrado de Gerenciamento Automatizado (SIGA) é outro recurso implantado. Sensores instalados nas residências ou indústrias monitoram os equipamentos e enviam para o SIGA dados contendo quais equipamentos estão consumindo mais em tempo real e, assim, permitir ao cliente reduzir gastos.

Em 2013, iniciou-se um projeto piloto para modernizar parte da rede elétrica da cidade de Teófilo Otoni (MG), com a segunda etapa implantada em 2014 em Uberaba (MG). Trata-se de um novo padrão de rede de distribuição aérea isolada, conforme Figura 2.6, para média tensão, que utiliza cabos blindados de 15 kV e acessórios desconectáveis sob cargas também conhecidos como *Loadbreak*, que permitem o manuseio de circuitos energizados com cargas e oferece flexibilidade de operação, pois somente a estrutura em manutenção é desligada.

Figura 2.6 Rede de distribuição aérea *Loadbreak* Cemig



Fonte: (CEMIG, 2014).

### 2.3.3 Estado do Rio de Janeiro

#### 2.3.3.1 Cidade de Rio de Janeiro

A LIGHT Serviços de Eletricidade S.A. desenvolveu o Projeto Smart Grid.

A concessionária obteve com o seu Projeto Automação das Câmaras Transformadoras Subterrâneas o Prêmio *Metering Latin America 2012* na categoria *smart grid*, no evento realizado em São Paulo nos dias 21 e 23 de agosto de 2012.

A empresa fechou, em 2014, contrato com a *Landis+Gyr* (LANDIS+GYR, 2015), empresa Suíça que foi adquirida pela Toshiba Corporation em 2011. A *Landis+Gyr* se instalou em Curitiba para fabricar e fornecer equipamentos inteligentes como medidores, contadores com função antifraude e serviços para a automação da rede no projeto *smart grid*. Estima-se que duzentos mil medidores do tipo Sistema de Gerenciamento de Perdas e Medição (SGP + M) serão instalados por ano tendo início em 2014 até 2019. A *Landis+Gyr* também ficará encarregada da instalação, manutenção e operação do sistema.

A Light inaugurou em seu museu, Museu Light de Energia, o projeto Circuito Cidade Inteligente em março deste ano (LIGHT, 2015). É um espaço de quatrocentos metros quadrados com investimentos oriundos da ANEEL e do Programa de Eficiência Energética (PEE).

O espaço é uma demonstração de *smart grid* e eficiência energética que reproduz uma casa, lojas, transformadores, um bairro e partes da cidade do Rio de Janeiro e simula situações cotidianas como sobrecarga e oscilações de tensão.

A casa possui um medidor inteligente e tomadas que permitem verificar o consumo de aparelhos nelas ligadas, placas fotovoltaicas, um terminal de recarga para veículos elétricos instalado na garagem da casa e usa lâmpadas LED.

O objetivo do espaço é fazer com que as pessoas aprendam mais sobre energia elétrica e conheçam as novas tecnologias que estão chegando com o *smart grid* e adquiram um uso mais consciente de energia elétrica.

#### 2.3.3.2 Cidade de Búzios

O projeto Cidade Inteligente Búzios foi implantado pela AMPLA Energia e Serviços S.A.

A cidade substituiu 150 lâmpadas convencionais da iluminação pública por lâmpadas LED, o que permitiu reduzir o consumo em 60 %. Os medidores convencionais também foram substituídos por medidores eletrônicos.

Com o objetivo de reduzir a curva de carga nos horários de 18h às 21h, a AMPLA criou o projeto chamado Sistema de Bônus pela Medição Horária com vigência de 01 de novembro de 2014 a 30 de junho de 2015 e que abrange em torno de 10 mil clientes na cidade de Armação dos Búzios (AMPLA, 2015). O projeto consiste em conceder pontos (um ponto equivale a R\$0,19) aos clientes que tiverem redução do consumo no horário de ponta (18h às 21h). Para isto, terão acesso aos seus consumos através de um sistema de medição inteligente. Estes pontos não fornecem descontos na conta, mas poderão ser trocados por produtos como sacolas *Ecobag*, lâmpadas, entre outros ou receber descontos em produtos como bicicleta elétrica, kit de bombeamento solar, entre outros.

Participam do projeto clientes da categoria “B”, ou seja, aqueles atendidos em baixa tensão e com corrente de alimentação inferior a 120 ampères, que tiveram seus medidores substituídos, cujas casas estão ligadas a transformadores que possuem fibra óptica e que aceitaram fazer parte da pesquisa. Estes clientes serão monitorados por três meses e em três



faixas horárias: Fora de ponta (das 22h de um dia às 17h do outro dia); intermediário (das 17 às 18h e das 21 às 22h) e horário de ponta (das 18h às 21h).

Será feita uma média do consumo do cliente em cada uma das faixas levantando o seu perfil e fazendo-se o cálculo dos pontos, mensalmente, através de regras estabelecidas pela AMPLA, durante o período de vigência do projeto.

Em síntese, dados complementares e a área de atuação das empresas citadas podem ser observados pelos Quadros 2.1 e 2.2, respectivamente.

Quadro 2.1 Comparativo dos projetos/empresas

Empresa	Cidade do projeto	Nº consumidores	km de rede	Quantidade de subestação (SE)	Quantidade de alimentadores
AES Eletropaulo	São Paulo/SP	84.000	678	5	38
EDP Bandeirantes	Aparecida/SP	35.000	137	1	6
Cemig	Sete Lagoas/MG	8.000	2328,49	2	8
LIGHT	Rio de Janeiro/RJ	400.000	Não informado	100	2.200
Ampla	Búzios/RJ	10.000	72	1	4

Fonte: adaptado de (CRUZ, 2015).

Quadro 2.2 Área de atuação em *smart grid* das empresas citadas.

Concessionária	AES Eletropaulo	EDP Bandeirantes	Cemig	LIGHT	Ampla
Medição Inteligente	x	x	x	x	x
Automação de distribuição	x	x	x	x	x
Geração distribuída	x	x	x	x	x
Armazenamento de energia			x	x	x
Veículos elétricos	x	x	x	x	x
Telecom	x	x	x	x	x
Tecnologia de Informação	x	x	x	x	x
Edifícios Inteligentes	x			x	x
Novos Serviços	x		x	x	x
Outros	x	x	x	x	x
Projeto Demonstrativo	x	x	x	x	x

Fonte: adaptado do (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO, 2014).

### 3 ASPECTOS CONCEITUAIS

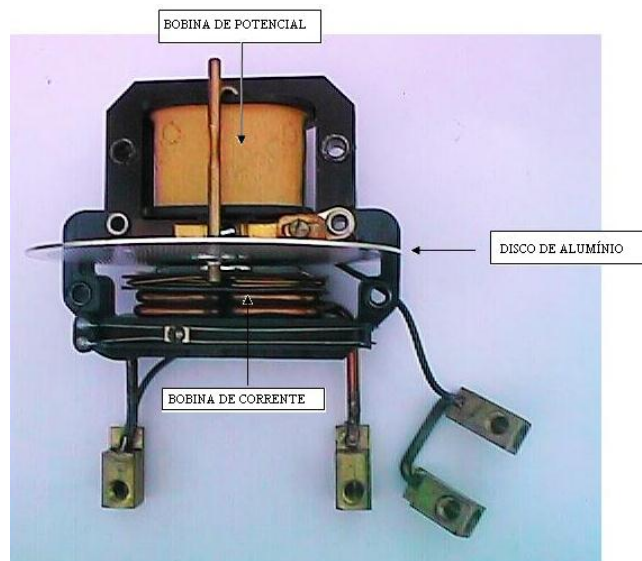
#### 3.1 MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA

São equipamentos eletromecânicos ou eletrônicos que medem o consumo de energia elétrica.

##### 3.1.1 Medidores do tipo indução

A Figura 3.1 apresenta um medidor eletromecânico em corte longitudinal vertical, onde os principais elementos que compõem o medidor podem ser vistos, como bobina de corrente, bobina de tensão e disco.

Figura3.1 Estrutura interna de um medidor eletromecânico monofásico do tipo indução.



Fonte: (OLIVEIRA, 2015).

O funcionamento é dado pelo princípio da indução eletromagnética.

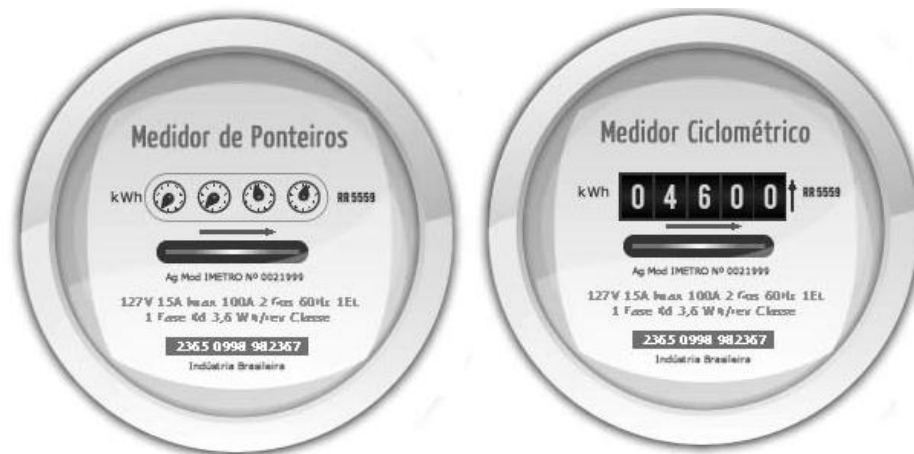
A bobina de potencial está ligada em paralelo com a carga e produz um fluxo magnético que induz correntes parasitas no disco de alumínio.

A bobina de corrente está ligada em série com a carga e também produz um fluxo magnético que induz correntes parasitas, de modo que as correntes se interagem e dão origem a uma força que fará o disco girar.

O disco está acoplado a um registrador, que pode ser do tipo ponteiro ou ciclométrico, através de um eixo e um sistema de engrenagens. Assim, quando há carga, o disco gira a uma velocidade angular que é proporcional à potência que está sendo solicitada. Esta potência é medida através do registrador que conta o número de rotações que o disco executou e o mostrador exibe a quantidade de energia absorvida pela carga em kWh.

Quando a potência requerida diminui, dois ímãs permanentes, localizados na borda do disco em lados opostos, amortecem o movimento provocando um torque de frenagem e, com isso, diminuindo sua velocidade angular. A Figura 3.2 apresenta a interface de dois modelos de medidores eletromecânicos.

Figura3. 2 Visores de medidores eletromecânicos: tipo ponteiro e ciclométrico.



Fonte: (COELBA, 2015).

Para o modelo ponteiro a leitura é feita da seguinte forma: da direita para a esquerda, anota-se o valor do número que foi ultrapassado pelo ponteiro. Se o ponteiro estiver entre dois números, deve-se observar o sentido em que os números crescem e anotar o de menor valor. No caso do ponteiro crescer em sentido anti-horário, observar que se ponteiro estiver entre os números nove e zero, o número nove será o menor, pois neste caso o zero estará valendo dez. Um exemplo de leitura pode ser observado na Figura 3.3 onde o valor correto a ser lido é 1496 kWh.

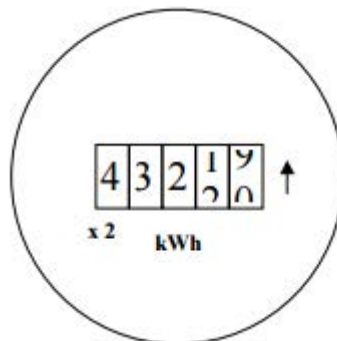
Figura3. 3 Leitura de um medidor eletromecânico com mostrador tipo ponteiro.



Fonte: (EDP, 2012).

Para o modelo ciclométrico, basta anotar os números que aparecem em formato digital em cada casa no visor, da esquerda para a direita. Caso apareçam, parcialmente, dois números em uma mesma casa, conforme Figura 3.4, observa-se o sentido de rotação da casa e anota-se o número que está saindo da mesma. Neste exemplo, o valor correto a ser lido é 43219 kWh.

Figura3. 4 Leitura de um medidor eletromecânico ciclométrico.



Fonte: (BIZARRIA, 2006).

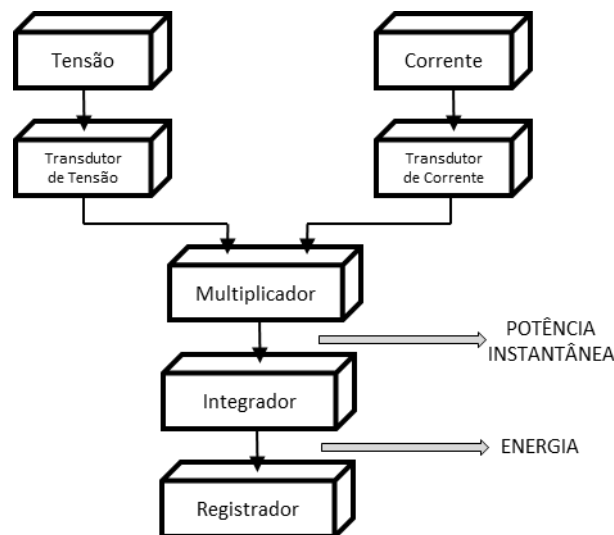
Nos dois modelos, o valor anotado deve ser subtraído do valor lido no mês anterior e assim obter o consumo real do mês atual. Dependendo do fabricante e modelo do medidor, existe um valor que aparece no canto esquerdo do equipamento, conforme Figura 3.4, que é o fator multiplicativo. Quando diferente de um, o valor obtido da subtração entre as leituras deve ser, então, multiplicado por esse fator para se obter o consumo do mês correspondente.

### 3.1.2 Medidores do tipo eletrônico

São dispositivos formados por circuitos integrados dedicados e a norma que rege este tipo de medidor é a NBR 14519 que, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (2015), está em processo de revisão.

São basicamente compostos por transdutores<sup>3</sup>, multiplicadores, integradores e registradores, conforme Figura 3.5.

Figura3. 5 Diagrama básico de um medidor eletrônico.



Fonte: (O SETOR ELÉTRICO, 2011).

Os transdutores captam os sinais de tensão e corrente e os tornam apropriados para o multiplicador que multiplica os sinais de tensão e corrente fornecendo a potência instantânea [W], que pode ser observada através da equação (3.1).

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) \quad (3.1)$$

Para um circuito em corrente alternada (AC), as equações (3.2) e (3.3) fornecem a tensão [V] e corrente [A] instantâneas, respectivamente:

$$v(t) = V_m \text{sen}(wt + \alpha) \quad (3.2)$$

<sup>3</sup> Transdutor é um dispositivo que transforma um tipo de energia em outro, como por exemplo, um microfone que transforma o som (energia mecânica) em energia elétrica.

$$i(t) = I_m \text{sen}(wt + \beta) \quad (3.3)$$

Sendo

$V_m$  e  $I_m$  os valores de pico da tensão [V] e corrente [A], respectivamente;

$w$  a velocidade angular [rad/s];

$\alpha$  e  $\beta$  os ângulos [rad] de deslocamento da tensão e corrente, respectivamente.

Resultando na equação (3.4) da potência instantânea [W]:

$$p(t) = V_m I_m \text{sen}(wt + \alpha) \text{sen}(wt + \beta) \quad (3.4)$$

Em seguida, o integrador soma todas as potências instantâneas, que é apresentada pela equação (3.5), fornecendo a energia consumida e que será mostrada pelo registrador.

$$e(t) = \int_0^t p(t) dt = \int_0^t v(t) \cdot i(t) dt \quad (3.5)$$

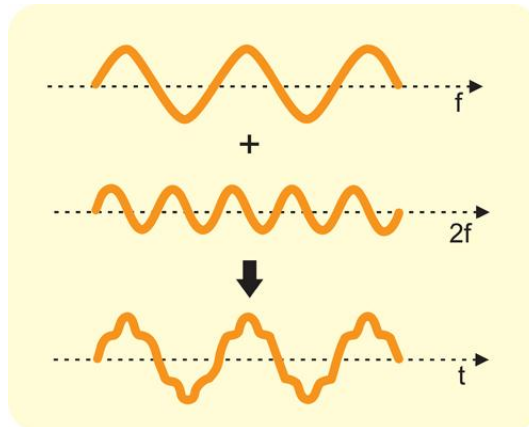
Os medidores eletromecânicos e eletrônicos foram projetados para operar em sistemas lineares<sup>4</sup>, ou seja, em condições puramente senoidais dos sinais de tensão e corrente.

Um estudo publicado em abril de 2011 pela Revista o Setor Elétrico (2011) mostrou que as medições feitas por um medidor eletromecânico e por um eletrônico deram resultados muito próximos, mostrando bom funcionamento de ambos. Todavia, quando em presença de cargas não<sup>5</sup> lineares houve um erro maior na medição devido, sobretudo, ao baixo fator de potência. Isto se deve ao fato de cada vez mais ter-se o uso de cargas não lineares conectadas à rede como condicionadores de ar, computadores, motores de indução (elevadores, bombas, compressores, entre outros) que provocam distorções harmônicas nos sinais de corrente e tensão. A Figura 3.6 apresenta um exemplo destas distorções, na qual uma onda fundamental ao somar-se ao harmônico de segunda ordem torna-se distorcida.

<sup>4</sup> Sistemas lineares são aqueles compostos por resistores, indutores e capacitores e cuja corrente tem a mesma forma da tensão aplicada;

<sup>5</sup> Sistemas não lineares são aqueles compostos por semicondutores, como diodos e transistores, cuja forma de onda da corrente não é senoidal mesmo quando alimentada por tensões senoidais.

Figura3. 6 Onda fundamental deformada pela presença do harmônico de ordem 2.



Fonte: (DMESG, 2015).

### 3.1.3 Medidores eletrônicos inteligentes

Diferente dos medidores citados, anteriormente, que apenas fornecem a energia ativa em kWh, os medidores inteligentes oferecem muitos outros recursos.

Além da capacidade de medir a energia ativa em kWh, eles são capazes de fornecer a energia reativa em kVAr, o fator de potência, a tensão, a corrente e entre outras grandezas, conforme o modelo.

A energia ativa é aquela responsável pelo funcionamento dos equipamentos e que efetivamente realiza trabalho.

A energia reativa, apesar de não realizar trabalho é fundamental nos equipamentos que necessitam da ação de campos magnéticos para funcionar, como é o caso de equipamentos dotados de bobinas e os que operam em formação de arco elétrico.

Apesar da energia reativa ser essencial para o funcionamento dos equipamentos citados, o seu valor deve ser mínimo para não causar uma redução no fator de potência.

O fator de potência (FP) indica o quanto da potência total está sendo utilizada para realizar trabalho, por isso deseja-se que seu valor seja o mais próximo de um, e pode ser calculado segundo a equação (3.6).

$$FP = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (3.6)$$

Sendo

$P$  a potência elétrica ativa [W];

$Q$  a potência elétrica reativa [VAr];

$\sqrt{P^2 + Q^2}$  a potência aparente total (S) [VA].

Segundo a Resolução Normativa nº 414, de nove de setembro de 2010 da ANEEL (2010b), o fator de potência deve ser de no mínimo 0,92 indutivo ou capacitivo para os consumidores do grupo A<sup>6</sup>. O valor de referência para o fator de potência é o 0,92.

Outros recursos são disponibilizados ao medidor inteligente, através das tecnologias de comunicação e informação usadas nos sistemas de AMI, como é o caso da leitura remota.

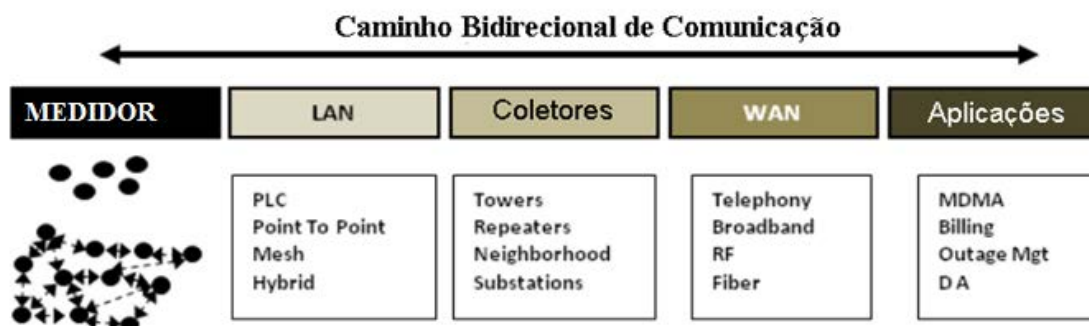
Nos medidores convencionais, para se fazer a medição do consumo de energia, um funcionário vai até o local, anota o valor da energia consumida e o repassa para um banco de dados.

Nos eletrônicos, o funcionário também precisa ir até o local, mas o valor é lido através de um dispositivo móvel via *bluetooth* e passado diretamente para o banco de dados da concessionária.

Nos medidores inteligentes, os dados serão fornecidos para a concessionária através da coleta remota em tempo real, em intervalos de tempo pré-determinados, sem a necessidade do deslocamento de um funcionário até as residências.

A arquitetura básica de um sistema em que os *smart meters* operam são mostrados na Figura 3.7.

Figura3. 7 Arquitetura básica do sistema em que o *smart meter* opera.



Fonte: (EDISON ELECTRIC INSTITUTE, 2011).

<sup>6</sup> Os consumidores do grupo A são, geralmente, as indústrias e estabelecimentos comerciais de médio e grande porte que recebem energia em tensão igual ou superior a 2,3 kV.



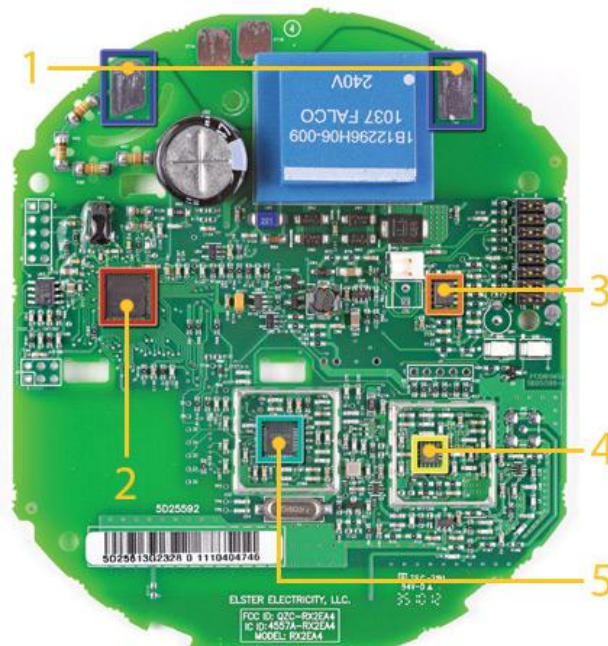
Os medidores enviam os dados a um concentrador, ou coletor, através de uma rede local *LAN*, podendo ou não fazer algum processamento dos dados. Este os envia a um computador central (CCM) da concessionária, através de uma rede Metropolitana *MAN* ou de longa distância *WAN*. As tecnologias usadas para a transmissão podem ser variadas como rádio frequência RF, redes *Mesh*, *Power Line Carrier* (PLC), as quais possuem vantagens e desvantagens de acordo com as características demográficas e infraestrutura já instalada na região em que irão operar.

A grande vantagem deste medidor para os convencionais é a medição em sentido bidirecional, pois o *smart grid* permite a rede de comunicação bidirecional em que o cliente passa a fornecer energia, através de fontes renováveis como células fotovoltaicas, entre outros, podendo disponibilizar o excedente para a rede de distribuição. Esta capacidade do cliente passar a fornecer energia permitirá que as concessionárias reduzam seus picos de demanda e possam postergar custosos investimentos.

Os medidores inteligentes são compostos basicamente por um microprocessador, uma memória não volátil do tipo *flash*, amplificadores e reguladores de tensão.

A Figura 3.8 mostra uma placa interna do medidor REX2 do Grupo alemão *Elster*.

Figura3. 8 Componentes internos de um medidor inteligente Elster.



Fonte: (EDN NETWORK, 2015).

Os componentes indicados em 1 são reguladores de tensão que abaixam a tensão de entrada em corrente alternada da rede de duzentos e quarenta volts para dez volts. Esta tensão é regulada para fornecer potência aos microcontroladores e aos circuitos de comunicação;

O componente em 2 possui um núcleo de um microprocessador, um *clock* em tempo real, uma memória flash e um driver de um display de LCD;

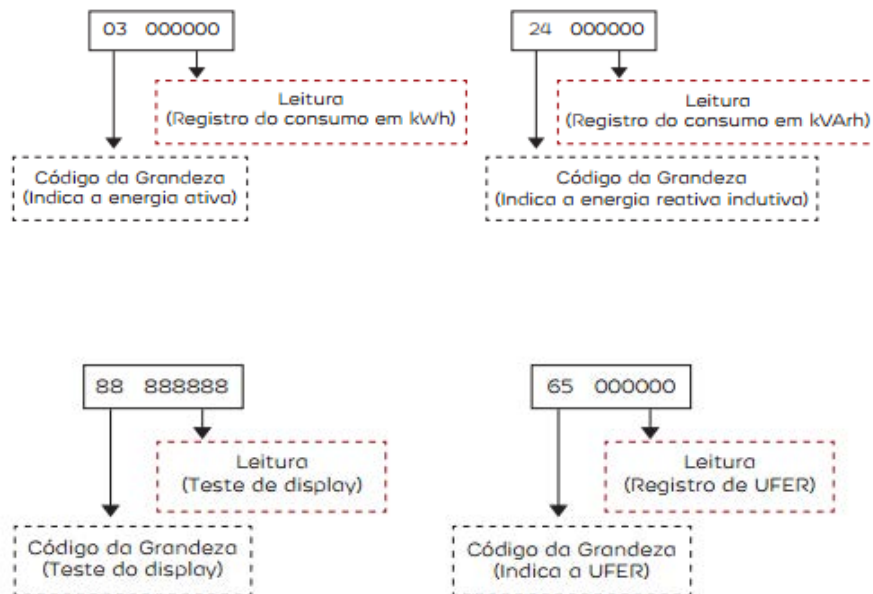
O item 3 é um duplo amplificador operacional de baixa potência;

O item 4 é um circuito integrado amplificador de média potência;

Por fim, em 5, um circuito oscilador menor que 1 *GHz* com microcontrolador e trinta e dois *kbytes* de memória flash.

Externamente, o visor, que pode ser de cristal líquido (LCD), apresenta o consumo das energias ativa e reativa e outros dados como testes do display e a Unidade de Faturamento de Energia Reativa Excedente (UFER) que poderão ser identificados pelos seus respectivos códigos como é exemplificado pelo modelo de um medidor da EDP (2011) através da Figura 3.9.

Figura3. 9 Display de um medidor de energia da EDP Bandeirante.



Fonte: (EDP, 2011).

O código 03 se refere à energia ativa, o código 24 à energia reativa, o código 88 ao teste do display e o código 65 à UFER.

O consumo de energia do mês tanto ativo como reativo é calculado pela subtração do valor lido e do valor anotado no mês anterior, procedimento semelhante aos outros modelos citados.

Com os valores das energias ativa e reativa pode-se calcular o fator de potência através da equação (3.6) fornecida, anteriormente, e então obter-se o valor da UFER através da equação (3.7).

$$UFER = \left[ \left( \frac{FP \text{ referência}}{FP \text{ calculado}} \right) - 1 \right] \cdot \text{consumo ativo} \quad (3.7)$$

Caso o fator de potência esteja abaixo do valor referência, haverá cobrança de UFER. Atualmente, essa cobrança é feita apenas para os clientes do grupo A, porém passarão a ser cobradas, também para os clientes do grupo B.

Diante do exposto, é necessário descobrir as causas e buscar soluções para sanar o baixo fator de potência.

## 3.2 CAUSAS, CONSEQUÊNCIAS E CORREÇÃO DO BAIXO FATOR DE POTÊNCIA

### 3.2.1 Causas do baixo fator de potência

O baixo fator de potência é causado por um excesso de energias reativa e distorciva na rede elétrica. Algumas das causas são:

Devido ao excesso de energia reativa:

- Motores operando em vazio ou superdimensionados: A energia ativa é proporcional à carga mecânica aplicada ao motor, porém a energia reativa é basicamente a mesma quando o motor elétrico opera à plena carga ou em vazio. Assim, se o motor estiver operando em vazio ou com pouca carga, a potência ativa será menor, e conseqüentemente o fator de potência será reduzido.
- Transformadores em vazio ou com pouco carregamento provocam redução no fator de potência.
- Motores de pequenas potências em grande quantidade: motores pequenos possuem, geralmente, um fator de potência menor; a soma destes motores acarreta em um baixo fator de potência que passa a ser significativo.

Devido ao excesso de energia distorciva (presença de harmônicos):

- Lâmpadas de descarga: Lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio ou mercúrio que são comumente usadas em iluminação pública, entre outros, que possuem reatores eletrônicos.
- Equipamentos que possuem inversores como motores elétricos com controle de velocidade, computadores, televisores, ventiladores, máquinas de solda, entre outros.

A presença de harmônicos na rede precisa ser levada em conta para o cálculo do fator de potência, pois o fator de potência é o produto do fator de deslocamento (defasagem entre a tensão e a corrente, também chamado de  $\cos \varphi$ ) e o fator de distorção (devido aos harmônicos de tensão e corrente).

### **3.2.2 Consequências**

A principal consequência de um baixo fator de potência é o sobredimensionamento de sistemas.

O excesso de energias reativa e distorciva faz com que a corrente total em um sistema aumente. Dessa forma, os condutores e equipamentos se aquecem mais e precisam ser redimensionados.

A Figura 3.10 ilustra como a seção de um condutor deve ser aumentada na medida em que o fator de potência diminui para uma mesma quantidade de energia ativa fornecida e a Tabela 3.1 mostra o aumento da potência total de um transformador para uma carga de 800 kW em decorrência da diminuição do fator de potência, o que acarreta em redução do aproveitamento da capacidade do transformador.

Figura3. 10 Seção de um condutor para uma mesma carga e fatores de potência variados.

Seção relativa	Fator de Potência
1,00	1,00
1,23	0,90
1,56	0,80
2,04	0,70
2,78	0,60
1,00	0,50
6,25	0,40
11,10	0,30

Fonte: (WEG, 2009).

Tabela 3. 1 Potência total de um transformador para uma carga de 800kW.

Potência útil absorvida pela carga (kW)	Fator de Potência	Potência necessária do transformador (kVA)
800	1,00	800
	0,80	1.000
	0,50	1600

Fonte: (WEG, 2009).

O baixo fator de potência, como exemplificado, acarreta em um aumento no custo do investimento de um sistema, em perdas na rede elétrica, aumento das perdas nos estatores e rotores de máquinas rotativas, redução no tempo de vida útil dos equipamentos ligados à rede, ocorrência de variações de tensão que podem danificar e queimar equipamentos ligados à rede elétrica e, conseqüentemente, diminuição na qualidade de energia elétrica.

Com a correção do fator de potência, novos investimentos podem ser postergados, as correntes diminuem, diminuindo as perdas, já que estas são proporcionais ao quadrado da corrente.

### 3.2.3 Métodos para correção do fator de potência

Na presença de harmônicos, o fator de potência não pode ser calculado pela equação (3.6), pois a potência aparente total (S) sofre uma distorção que é denominada potência distorciva (H), conforme Figura 3.11, devendo ser considerados os valores das componentes harmônicas de tensão ou corrente em seu cálculo. Assim, detectados quais harmônicos estão presentes, o cálculo deve ser feito através da equação (3.8):

$$FP = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \cdot \frac{I_1}{\sqrt{I_1^2 + I_n^2}} = FP_D \cdot FP_H \quad (3.8)$$

Sendo

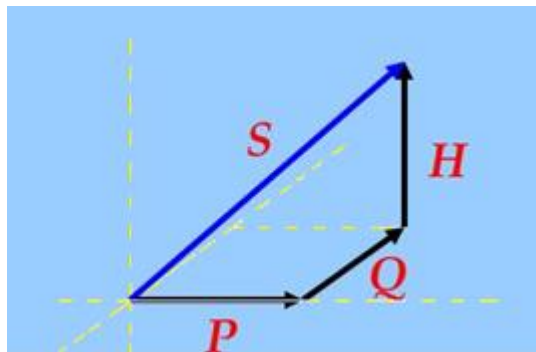
$I_1$  a corrente fundamental;

$I_n$  as componentes harmônicas da corrente fundamental;

$FP_D$  o fator de potência de deslocamento;

$FP_H$  o fator de potência de distorção devido aos harmônicos.

Figura3. 11 Distorção na potência aparente devido à presença de harmônicos.



Fonte: adaptado de UFMG (2015).

Alguns métodos que podem ser empregados para correção do FP são:

- Filtro Passivo: uso de um circuito LC para cada frequência de harmônico a filtrar.
- Filtro ativo: são sistemas eletrônicos de potência que podem ser instalados em série ou paralelo com as cargas não-lineares.
- Inserção de capacitores: inserção que pode ser localizada juntamente à carga que se deseja corrigir o fator de potência, junto ao quadro de distribuição quando se deseja corrigir um

grupo de cargas ou ainda na entrada de energia de baixa tensão. Este método deve ser empregado quando não há a presença de harmônicos.

- Reagrupar as cargas não lineares e coloca-las à montante da rede.
- Alimentar as cargas não lineares por um transformador separado.
- Inserção de indutâncias na instalação: Aumentar a impedância do circuito de alimentação pode limitar correntes harmônicas para o caso de alimentação de inversores de frequência.

Os métodos citados devem ser escolhidos após criteriosa análise dos parâmetros elétricos, quer seja de instalações já em operação ou de instalações em projeto com parâmetros presumidos.

## 4 APLICAÇÃO DOS MEDIDORES INTELIGENTES

### 4.1 SISTEMAS DE TARIFICAÇÃO

De acordo com a unidade consumidora, grupo A ou B, existe um modelo para faturamento de energia.

A conta de energia elétrica passou a contar com uma nova tarifa, em 2015, denominada Bandeiras Tarifárias e, posteriormente, passará a contar com a denominada Tarifa Branca.

Com a capacidade dos medidores inteligentes em operar com essas tarifas, em obter outras medidas além do consumo de energia, faz-se necessário que consumidores e profissionais entendam e se adaptem aos novos parâmetros os quais passarão a fazer parte da conta de energia elétrica.

#### 4.1.1 Tarifa Binômia

O grupo A, no qual as indústrias de médio e grande porte fazem parte, é faturado pelo sistema de tarifa binomial o qual é composto pelas grandezas de consumo (kWh) e demanda<sup>7</sup> (kW).

A tarifa é dividida em três modelos: Convencional Binômia, horo-sazonal azul e horo-sazonal verde que são aplicados conforme a tensão de fornecimento e a demanda contratada.

Segundo a ANEEL (2010b), a Convencional Binômia é caracterizada pelo faturamento do consumo de energia elétrica e demanda de potência, independente das horas de utilização do dia.

A horo-sazonal verde é caracterizada por tarifas de consumo de energia diferenciadas segundo as horas de utilização do dia e uma tarifa fixa de demanda de potência. A tarifa de consumo varia em função dos horários<sup>8</sup> de ponta e fora de ponta e dos períodos<sup>9</sup> seco e úmido.

---

<sup>7</sup> Demanda é a média das potências elétricas ativas e reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da carga instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo. No Brasil, este intervalo é de quinze minutos.

<sup>8</sup> Horário de ponta é o período de três horas diárias consecutivas, em dias úteis, definidos em função das características do sistema elétrico, geralmente das 18 horas às 21 horas. Os horários fora de ponta para a indústria são as demais 21 horas do dia.

<sup>9</sup> O período seco é o período compreendido entre os meses de maio a novembro. O período úmido é o período compreendido entre os meses de dezembro a abril.



A horo-sazonal azul é caracterizada por tarifas de consumo e demanda de potência diferenciadas, segundo as horas de utilização do dia. Neste caso, a demanda diferenciada depende do horário de ponta e fora de ponta e a tarifa de consumo depende dos horários de ponta e fora de ponta e dos períodos seco e úmido.

#### **4.1.2 As Bandeiras Tarifárias**

A Resolução Normativa nº 547, de 16 de abril de 2013 da ANEEL (2013) estabelece os procedimentos comerciais para aplicação das Bandeiras Tarifárias. “A aplicação das bandeiras tarifárias deve ser efetivamente operacionalizada pelas distribuidoras a partir de janeiro de 2015 (ANEEL, 2013, p.3).”

O sistema de Bandeiras Tarifárias é constituído de três bandeiras nas cores verde, amarela e vermelha, as quais se referem à variação dos custos de geração de energia elétrica em função das condições hidrológicas, demanda de energia, entre outros e que serão divulgadas, mensalmente, pela ANEEL, através das bandeiras, para cada região, com base nos dados fornecidos pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

Para escolha da bandeira, os custos são baseados em dois parâmetros:

- O Custo Marginal de Operação (CMO) que é calculado pelo ONS. Se refere ao custo para atender, a 1 MWh adicional, com a capacidade de geração existente.

- Encargo de Serviço de Sistema por Segurança Energética (ESS\_SE) que é o encargo devido a despesas com usinas acionadas fora da ordem de mérito<sup>10</sup> de modo a manter a confiabilidade do Sistema Interligado Nacional (SIN).

A bandeira verde se refere a boas condições de geração, onde os reservatórios estão em nível normal de abastecimento. Por isso, o custo não aumenta e nenhum acréscimo será efetuado ao consumidor.

A bandeira amarela se refere a condições menos favoráveis à geração, onde o nível dos reservatórios está em queda e as termelétricas terão de ser ativadas, aumentando o custo da geração já que a energia produzida por elas é mais cara que nas usinas hidrelétricas. Assim, este aumento é repassado ao consumidor. Para cada quilowatt-hora (kWh) consumido a tarifa de energia terá um acréscimo de R\$ 0,025 (valor sem tributos).

---

<sup>10</sup> A ordem de mérito é o acionamento de usinas de menor custo econômico (no caso brasileiro, as hidrelétricas) para as de maior custo.

A bandeira vermelha se refere a más condições de geração, como é o caso de períodos de seca em que mais usinas termelétricas precisam entrar em operação. Neste caso, para cada quilowatt-hora consumido a tarifa de energia terá um acréscimo de R\$ 0,055 (valor sem tributos). Por exemplo, de janeiro de 2015 a julho de 2015 a bandeira vigente foi a vermelha.

#### **4.1.3 Tarifa Branca**

A Tarifa Branca será outra opção à tarifa convencional que, hoje, é aplicada e será oferecida para consumidores em baixa tensão (127, 220, 380 e 440 volts) a qual funcionará em conjunto com as bandeiras.

Ao invés de sinalizar os meses em que a energia está mais cara ou mais barata, como é o caso das bandeiras, esta sinalizará o valor da energia de acordo com os horários do dia.

O objetivo é reduzir a demanda nos horários de ponta. Para as concessionárias, a redução da demanda nesses horários permitirá melhorar a distribuição de energia ao longo do dia, que tem capacidade ociosa em certos horários e assim postergar custosos investimentos.

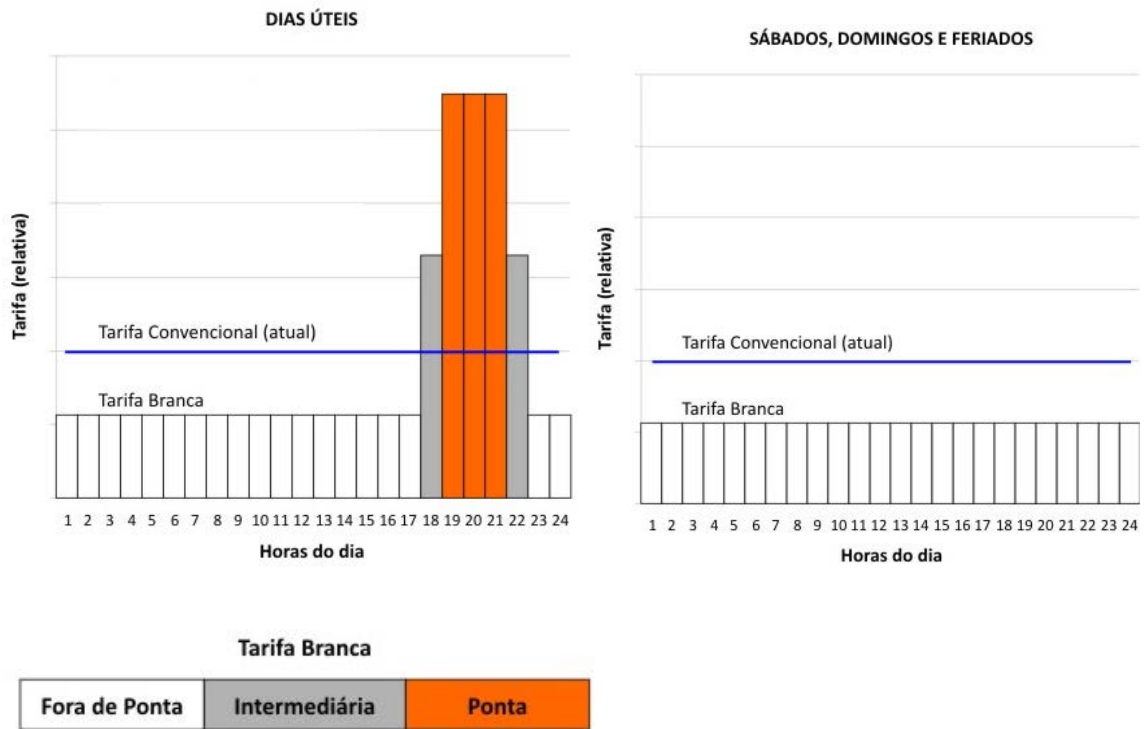
A energia terá três valores distintos ao longo do dia que funcionarão nos dias úteis.

No horário de ponta, ou seja, das 18 horas às 21 horas, o custo de energia será mais caro; no horário intermediário, das 17 horas às 18 horas e das 22 horas às 23 horas, a tarifa será um pouco menor; e o horário fora de ponta, ou seja, nos demais horários, será a tarifa mais barata, conforme Figura 4.1.

Os fins de semana e feriados serão sempre considerados como fora de ponta.

O consumidor poderá optar pela tarifa branca ou continuar com a tarifa convencional já existente, onde o valor é o mesmo ao longo do dia. A escolha pela tarifa mais conveniente será discutida no item 4.3.

Figura4. 1 Tarifa branca e convencional



Fonte: (ANEEL, 2015b).

## 4.2 MODELOS DE MEDIDORES

Existem vários equipamentos de medição no mercado. Por exemplo, o grupo brasileiro Nansen (2015) detém tecnologia 100% nacional para fabricação dos medidores inteligentes e está sendo empregado em diversos projetos de medição dentre os quais se pode destacar o projeto da ELEKTRO em São Luiz do Paraitinga-SP. O modelo *Spectrum K Art* pode ser visto na Figura 4.2.

Figura4. 2 Medidor Spectrum K Art



Fonte: (NANSEN, 2015).

As principais grandezas apresentadas no display são:

- Data e hora;
- Energia ativa nos três horários (ponta, intermediário e fora de ponta);
- Energia reativa capacitiva e indutiva nos três horários;
- Energia ativa total e reativa total (capacitiva e indutiva);
- UFER nos três horários;
- UFER total;
- Teste do display;
- Número de série.

Este modelo utiliza o protocolo de comunicação serial RS 232 ou RS 485. Possui um sensor que detecta a abertura da tampa principal e detecta fraudes mesmo quando o medidor está desligado.

Mede tensões, correntes e seus respectivos ângulos em cada fase e a frequência da rede.

O modelo trifásico MD 3400 da Ecil também detém tecnologia 100% nacional e pode ser visto pela Figura 4.3. Foram instalados 600 unidades deste modelo na cidade de Aparecida-SP.

Figura4. 3 Medidor trifásico MD 3400 Ecil.



Fonte: (MARCONDES, 2012).

Possui como características:

- Comunicação sem fio;
- Medição de energia ativa e reativa;
- Monitoramento de corrente de neutro;
- Suporte à fatura de medição pré-paga;
- Corte e religamento remotos;
- Alertas de fraudes como inversão de quadrante;
- Controle de demanda e fator de potência;
- Utiliza o protocolo de comunicação RS485.

O modelo SMW 100 da WEG está sendo utilizado no projeto da AES Eletropaulo em Barueri-SP e pode ser observado na Figura 4.4.

Figura4. 4 Medidor de energia SMW 100 da WEG.



Fonte: (WEG, 2015).

Disponível nas versões monofásica e polifásica possui comunicação *Dual-phy* que permite o uso da comunicação por rádio frequência RF Mesh e/ou PLC. Realiza a medição tanto pela tarifa branca quanto pela tarifa convencional, possui relé de corte e religamento integrado e memória de massa de até 37 dias de informações.

#### 4.3 POSTURA DO CONSUMIDOR E DOS PROFISSIONAIS

O consumidor terá que verificar qual modelo de tarifa se encaixa melhor ao seu perfil de consumo.

Se ele tem a possibilidade de deslocar a maior parte de seu consumo nos horário fora de ponta, pagará, segundo a ANEEL (2015b), valor menor que o que pagaria na tarifa convencional, como demonstrado na Figura 4.1.

Numa residência, por exemplo, os aparelhos que mais consomem energia são o chuveiro, ar condicionado e aquecedor.

Uma forma de economizar na conta de energia, é reduzir o tempo de banho, usar o chuveiro no modo verão nos meses de calor e caso o consumidor opte pela tarifa branca, deslocar os banhos para os horários mais baratos.

Fazer a substituição de lâmpadas é outra medida a ser tomada. Fazendo-se uma comparação com alguns modelos de lâmpadas, têm-se os valores apresentados na Tabela 4.1.

As lâmpadas comparadas possuem mesmo fluxo luminoso<sup>11</sup> e são equivalentes.

Tabela 4. 1 Lâmpadas e suas características

Comparativo de lâmpadas					
Tipo	Fluxo luminoso (lm)	Potência (W)	Durabilidade (horas)	Eficiência energética (lm/W)	Economia de energia em relação à incandescente (%)
Incandescente	800	60	1.000	13	--
Halógena	600	42	1.500	14	30
Eletrônica	900	15	6.000	60	75
LED	1000	10	15.000	100	83

Fonte: adaptado de (COELBA, 2015).

Dessa forma, se uma lâmpada incandescente de 60 W ficar acesa pelo período de 1 hora consumirá, neste exemplo, uma energia de 60 Wh, enquanto a lâmpada LED consumirá apenas 10 Wh, ambas fornecendo a mesma iluminação para o local em que foram instaladas.

As empresas de energia dão dicas de economia, tais como acumular roupas para passar, ou para lavar, já que o consumo de energia de uma máquina de lavar roupas será o mesmo com muita ou pouca roupa.

Com o medidor informando o fator de potência e, futuramente, as concessionárias de energia cobrando pelo baixo fator, o consumidor deve estar atento a esta nova variável em sua residência. Assim, é importante dar preferência para produtos de boa qualidade, pois, lâmpadas de mesma potência podem ter diferentes fatores de potência, dependendo da marca.

Os profissionais eletricitistas como técnicos e engenheiros, os quais irão atuar no setor de instalações, precisam ter conhecimento dos conceitos de fator de potência, pois ao serem contratados pelos consumidores deverão descobrir as causas do baixo fator de potência que pode ser devido ao fator de deslocamento ou ao fator de distorção e buscar a melhor solução para resolvê-lo. Estes precisam estar atualizados quanto à NBR 5410, norma que rege as

---

<sup>11</sup> Fluxo luminoso é a quantidade de luz emitida a cada segundo por uma fonte luminosa e é medida em lúmens (lm).

instalações elétricas de baixa tensão, bem como outras normas a fim de garantir um desempenho satisfatório de suas funções.

Em circuitos trifásicos com neutro, o profissional deverá estar atento à corrente no neutro, pois havendo a presença dos harmônicos de 3ª ordem e seus múltiplos, os quais possuem sequência zero, a corrente no neutro não será mais aproximadamente zero, pois as correntes harmônicas de cada fase serão somadas no condutor neutro podendo ser até três vezes o valor da fundamental da corrente de fase. Neste caso, a seção do condutor neutro deverá ser maior do que a dos condutores de fase para não permitir sobreaquecimento dos condutores ou eliminar o harmônico de 3ª ordem e seus múltiplos.

A presença de harmônicos na rede aumenta o erro de instrumentos de medição de energia. É necessário o uso de instrumentos *True RMS*, que trabalham com correntes não senoidais.

As concessionárias de energia deverão capacitar seus profissionais a fim de que possam trabalhar com essa nova maneira de operar o sistema de distribuição de energia.

A AES Eletropaulo criou um programa de capacitação em redes inteligentes para cerca de mil funcionários abrangendo eletricitistas, técnicos, engenheiros e gestores.

As concessionárias de energia também podem contratar empresas para realizarem treinamentos. Um exemplo é o curso denominado “Harmônicos e desequilíbrios em sistemas industriais” que é oferecido pela Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria (FUPAI), que pode ser feito por qualquer pessoa física ou jurídica.

Além da capacitação dos profissionais para operarem no sistema de energia, as concessionárias precisam se preocupar em como informar a mudança aos consumidores. A maioria deles não tem conhecimento das informações descritas em sua conta de energia elétrica, dos conceitos de potência e energia, apenas verificam o valor total que deve ser pago na data de vencimento.

Com a implantação dos *smart meters* o consumidor terá ainda maior dificuldade em compreender os dados que serão visualizados no medidor, pois terão acesso a dados como energia ativa e reativa, UFER e os dados descritos em sua conta de luz.

As concessionárias terão um papel fundamental em esclarecer as mudanças na medição de energia, bem como proporcionar segurança e confiança aos consumidores. Faz-se necessário um programa para educar o consumidor, através da distribuição de cartilhas, reuniões explicativas em associações de bairro, e/ou através dos meios de comunicação como rádio e televisão.



Outra forma de levar este conhecimento é através das escolas, promovendo uma ação entre concessionárias e professores, para que os alunos possam transmitir as informações recebidas aos pais, parentes e vizinhos, de forma a tornar o assunto mais difundido.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observa-se a importância em se capacitar profissionais que atuam na área de energia a fim de promover o desenvolvimento e a implantação do sistema inteligente em todo o mundo e para que se mantenha um constante aperfeiçoamento do mesmo.

Com a existência da real possibilidade em se vender o excedente de energia gerada por pequenas fontes de energias renováveis como, por exemplo, a solar, cria-se um estímulo à pesquisa e à produção de painéis fotovoltaicos com tecnologia nacional, reduzindo o custo de tais equipamentos, o qual ainda é alto. As geradoras e concessionárias de energia elétrica podem se beneficiar reduzindo gastos desnecessários na ampliação da capacidade de geração e transmissão em virtude de elevadas perdas, hoje, existentes, podendo aplicar investimentos em tecnologia de forma a melhorar a qualidade da energia que é fornecida. Para a sociedade, o uso de fontes alternativas renováveis implica na redução de custos com energia, a longo prazo, e na melhoria da qualidade de vida, pois, hoje, muito se fala na redução do impacto ambiental, na redução da emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera por organizações internacionais e governos de todo o mundo.

A implantação da tarifa branca vai trazer melhorias no aproveitamento do sistema elétrico através das tarifas mais caras nos horários na qual a demanda é maior. Porém, o incentivo à redução do consumo de energia não deve se abster apenas neste tópico, são de suma importância programas de incentivo ao consumo racional de energia elétrica através das mídias e programas educacionais. Para que o conceito de *smart* “aconteça” é necessário que, além das novas tecnologias empregadas, os consumidores sejam “*smarts*” no consumo, podendo obter resultados satisfatórios a partir de pequenas ações como o uso de lâmpadas mais eficientes.

O medidor de energia possui, aparentemente, um papel menor no desenvolvimento da inteligência das redes, porém é o elo entre o consumidor e todo o sistema.

Os novos modelos deste equipamento vão permitir um tráfego bidirecional de informações e aquisição de dados decorrentes das medições das grandezas elétricas, como por exemplo, o fator de potência, o qual está relacionado com cargas reativas e não lineares. Neste contexto, havendo a detecção de um baixo fator de potência um profissional deverá intervir e este deve distinguir a necessidade desde um banco de capacitores até a instalação de filtros para resolver o problema.

As empresas de energia passam a ter um melhor entendimento do perfil de consumo e flexibilidade para a implementação da geração distribuída, principalmente as baseadas em fontes alternativas.

Por fim, os consumidores necessitam ser devidamente instruídos, a fim de que possam fazer uma melhor gestão de suas cargas e com isso, diminuam o consumo de energia.

Será um caminho longo para avaliar se as mudanças trarão os resultados desejados, porém tudo indica, através dos projetos implantados, que pode ser ofertada uma eletricidade de melhor qualidade e a custos aceitáveis não havendo, portanto, motivos para se manter atrelado ao sistema de outrora.

## REFERÊNCIAS

- AES ELETROPAULO. **Smart grid**. 2015. Disponível em: <<http://www.aeseletropaulo.com.br/>>. Acesso em: 18 abril 2015.
- AMPLA. **Cidade inteligente Búzios**. Disponível em: <<http://www.cidadeinteligentebuzios.com.br/>>. Acesso em: 10 maio 2015.
- ANEEL. **Banco de informações de geração**. 2015a. Atualizado em 11/05/2015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 11 maio 2015.
- ANEEL. **Programa brasileiro de rede elétrica inteligente**. 2010a. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/PeD\\_2008-ChamadaPE11-2010.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/PeD_2008-ChamadaPE11-2010.pdf)>. Acesso em: 18 abr. 2015.
- ANEEL. **Resolução Normativa N° 414**. 2010b. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414comp.pdf>>. Acesso em: 09 jun. 2015.
- ANEEL. **Resolução Normativa nº 547, de 16 de abril de 2013**. 2013. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2013547.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2015.
- ANEEL. **Tarifa branca**. 2015b. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=781>>. Acesso em: 24 jun. 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14519**: Medidores eletrônicos de energia elétrica. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/>>. Acesso em: 02 jun. 2015.
- BIZARRIA, J. W. P. **Leitura automatizada de medidores de consumo de energia elétrica eletromecânicos**. 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-05092006-134012/publico/JoseWalterParquetBizarria.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2015.

CEMIG. **Programas sistemas projetos**. 2014. Disponível em: <<http://www.cemig.com.br/>>. Acesso em: 19 abr. 2015.

COELBA. **Medidor**. Disponível em: <<http://servicos.coelba.com.br/>>. Acesso em: 27 maio 2015.

COMMISSION DE RÉGULATION DE L'ÉNERGIE (CRE) . **L'annuaire des projets smart grids en France**. Disponível em: <<http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=france> >. Acesso em: 03 maio 2015.

CRUZ, E. **Projeto estratégico de P&D**. Disponível em: <<http://redesinteligentesbrasil.org.br/>>. Acesso em: 29 abr. 2015.

DMESG. **Tipos de Nobreak, formas de onda e suas aplicações**. Disponível em: <<http://www.dmesg.com.br/tipos-de-nobreak/>>. Acesso em: 28 maio 2015.

EDISON ELECTRIC INSTITUTE. **Smart meters and smart meter systems: A metering industry perspective**. 2011. Disponível em: <<http://www.eei.org/issuesandpolicy/grid-enhancements/documents/smartmeters.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2015.

EDN NETWORK. **What's inside a smart meter?** Disponível em: <<http://www.edn.com/design/power-management/4368353/What-s-inside-a-smart-meter-iFixit-tears-it-down>>. Acesso em: 10 jun. 2015.

ENERGIAS DE PORTUGAL S.A.(EDP). **Medidores analógicos**. 2012. Disponível em: <<http://www.edp.com.br/>>. Acesso em: 28 maio 2015.

ENERGIAS DE PORTUGAL S.A.(EDP). **Novo medidor eletrônico**. 2011. Disponível em: <[http://www.edp.com.br/distribuicao/edp-bandeirante/informacoes/comerciais/Documents/EDP\\_Novo\\_Medidor\\_Eletronico\\_Bandeirante.pdf](http://www.edp.com.br/distribuicao/edp-bandeirante/informacoes/comerciais/Documents/EDP_Novo_Medidor_Eletronico_Bandeirante.pdf)>. Acesso em: 11 jun. 2015.

GRANDLYON. **Wattmobile**. 2014. Disponível em: <<http://www.economie.grandlyon.com/>>. Acesso em: 02 maio 2015.

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE (INP). **Le pôle de compétitivité TENERRDIS**. 2014. Grenoble. Disponível em: <<http://www.grenoble-inp.fr/presentation/le-pole-de-competitivite-tene.kjsp>>. Acesso em: 04 maio 2015.

INSTITUTO ACENDE BRASIL. **Política tarifária: perdas e inadimplência**. Disponível em: <[http://www.acendebrasil.com.br/br/sala-de-imprensa/politica\\_tarifaria\\_perdas\\_e\\_inadimplencia](http://www.acendebrasil.com.br/br/sala-de-imprensa/politica_tarifaria_perdas_e_inadimplencia)>. Acesso em: 12 maio 2015.

LANDIS+GYR. **Light and Landis+Gyr unveil largest smart grid partnership in South America**. Disponível em: <<http://www.landisgyr.com.br/>>. Acesso em: 22 abr. 2015.

LIGHT. **Cidade inteligente**. Disponível em: <<http://www.museulight.com.br/>>. Acesso em: 12 maio 2015.

MARCONDES, J. **InovCity Aparecida**. Disponível em: <<http://www.tec.abinee.org.br/2012/arquivos/s2g.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2015.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. **Redes elétricas inteligentes**. 2014. Disponível em: <<http://www.mcti.gov.br>>. Acesso em: 12 maio 2015.

NANSEN. **Medidores eletrônicos**. Disponível em: <[http://www.nansen.com.br/produtos\\_medidores\\_eletronicos\\_polifasicos\\_kart.php](http://www.nansen.com.br/produtos_medidores_eletronicos_polifasicos_kart.php)>. Acesso em: 05 jun. 2015.

O SETOR ELÉTRICO. **Desempenho dos medidores monofásicos de energia dos tipos eletrônico e de indução**. São Paulo, v. 01, n. 63, p.124-129, abr. 2011. Disponível em: <[http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/Outros/Ed63\\_aula\\_pratica\\_medicao.pdf](http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/Outros/Ed63_aula_pratica_medicao.pdf)>. Acesso em: 28 maio 2015.

OLIVEIRA, P. B. A. **Medidor de kWh**. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/punarobley/home>>. Acesso em: 28 maio 2015.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). **Boletim diário da operação**. Disponível em: <[http://www.ons.org.br/resultados\\_operacao/boletim\\_diario/](http://www.ons.org.br/resultados_operacao/boletim_diario/)>. Acesso em: 15 maio 2015.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Recovery act smart grid investments.2015**. Washington. Disponível em: <<https://www.smartgrid.gov/>>. Acesso em: 05 maio 2015.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Smart grid system report. 2014**. Washington. Disponível em: <<https://www.smartgrid.gov/sites/default/files/doc/files/2014-Smart-Grid-System-Report.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2015.

UFMG. Departamento de engenharia elétrica. **Tetraedro de potência**. Disponível em: <[http://images.slideplayer.com.br/1/45079/slides/slide\\_9.jpg](http://images.slideplayer.com.br/1/45079/slides/slide_9.jpg)>. Acesso em: 18 jun. 2015.

WEG. **Manual para correção do fator de potência**. 2009. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-correcao-do-fator-de-potencia-958-manual-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 15 junho 2015.

WEG. **Medidores inteligentes de energia**. 2015. Disponível em: <<http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Controls/Medidores-Inteligentes-de-Energia/SMW100>>. Acesso em: 20 jul. 2015.