

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM TELEINFORMÁTICA E REDES DE
COMPUTADORES

JEAN MARIN MANGANELLI

TECNOLOGIAS DE REDES SEM FIO PARA SMART GRIDS

MONOGRAFIA

CURITIBA

2014

JEAN MARIN MANGANELLI

TECNOLOGIAS DE REDES SEM FIO PARA SMART GRIDS

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Teleinformática e Redes de Computadores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR. Orientador: Prof. Me. Christian Carlos Souza Mendes.

CURITIBA

2014

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho

Aos meus pais, Luiz e Marlei, e minha irmã, Jéssica, que amo muito e acreditaram em meu potencial. Sempre me apoiaram e ajudaram em todas as minhas decisões, principalmente quando decidi me mudar de cidade procurando por melhores oportunidades.

À minha esposa, Érica, que amo muito e é muito importante em minha vida. Sempre me apoiou em todas as decisões e sempre esteve ao meu lado me dando força, sendo muito mais do que companheira e amiga. Obrigado por cuidar de mim e por estar ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço

Ao meu orientador, Prof. Me. Christian Carlos Souza Mendes, pela orientação do trabalho, sugestões e revisões.

Aos meus colegas profissionais e de curso e amigos pessoais, Evaldo Fortunato Junior e Felipe Rechia, pela ajuda e companheirismo prestados durante todo o curso.

A todos os colegas e professores da pós-graduação em Teleinformática e Redes de Computadores pelo convívio e aprendizado.

Aos meus gestores da DATACOM, Luis Mauricio Trevisan e Silvio Favaro, pelo apoio e por ajudar a tornar possível a realização desse curso.

À Deus, por me amparar nos momentos difíceis e me dar força interior para superar as dificuldades.

RESUMO

MARIN MANGANELLI, Jean. **Tecnologias de redes sem fio para Smart Grids**. 52f. Monografia (Especialização em Teleinformática e Redes de Computadores) – Programa de Pós Graduação em Teleinformática e Redes de Computadores. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba 2014.

O sistema elétrico está, de alguns anos para cá, tendo a oportunidade de evoluir trazendo maior conforto tanto para as empresas fornecedoras quanto para os consumidores, permitindo até uma aproximação dos mesmos. Os smart grids ou redes inteligentes trazem um novo conceito em se tratando de fornecimento e consumo de energia utilizando as redes de comunicação para obter dados e informações e assim, antecipar problemas, evitar desperdícios, otimizar a transmissão, entre outros. Para isso, é necessário uma boa infraestrutura de comunicação e neste ponto entram as tecnologias de redes sem fio que podem se tornar uma importante aliada interligando a concessionária e o cliente evitando trabalhos e gastos com cabeamento e tornando o sistema mais flexível. São várias as tecnologias e topologias que podem ser adotadas e este trabalho apresenta as mais utilizadas e também onde podem ser aplicadas.

Palavras-chave: Sistema elétrico; redes inteligentes; redes de comunicação; redes sem fio; tecnologias; topologias.

ABSTRACT

MARIN MANGANELLI, Jean. **Technologies of wireless networks for Smart Grids**. 52f. Monografia (Especialização em Teleinformática e Redes de Computadores) – Programa de Pós Graduação em Teleinformática e Redes de Computadores. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba 2014.

The electrical system is, for some years now, having the opportunity to evolve bringing greater comfort for both the suppliers as to consumers, allowing even an approximation thereof. The smart grids bring a new concept when it comes to supply and energy consumption using communication networks to obtain data and information and thus, anticipate problems, avoid waste, optimize the transmission, among others. For this, you need a good communication infrastructure and here come the technologies of wireless networks that can become an important ally interconnecting the power utility and the client avoiding works and cable costs and making the system more flexible. There are several technologies and topologies that can be adopted and this work presents the most used and also where they can be applied.

Keywords: Eletric system; Smart grids; Communication networks; Wireless networks; technologies; topologies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura elétrica atual e inteligente.....	17
Figura 2 - Tecnologias sem fio.....	18
Figura 3 - Rede em malha e com um nó.....	21
Figura 4 - Exemplo de rede Mesh com equipamento Hotzone Duo.....	22
Figura 5 - Piconet e Scatternet.....	25
Figura 6 - Diferentes áreas de atuação do WiMAX.....	26
Figura 7 - Camadas pilha ZigBee.....	28
Figura 8 - Comunicação em uma rede NAN.....	29
Figura 9 - Neighborhood Area Network.....	30
Figura 10 - Medidores interconectados na rede.....	31
Figura 11 - Home Area Network.....	34
Figura 12 - Modelo de arquitetura para comunicação entre a concessionária e as residências.....	37
Figura 13 - Exemplo de medidor inteligente industrial.....	38
Figura 14 - Exemplo de medidor inteligente residencial.....	39
Figura 15 - Projeto de rede inteligente proposto pela AES Eletropaulo.....	41
Figura 16 - Regiões que adotaram as redes inteligentes.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tecnologias sem fio.....	19
Tabela 2 – Padrões Wi-fi.....	20
Tabela 3 – Padrões WiMAX.....	27
Tabela 4 – Tecnologias de comunicação sem fio para AMI.....	37

LISTA DE SIGLAS

HAN	Home Area Network
NAN	Neighborhood Area Network
PLC	Power Line Communication
PON	Passive Optical Network
LAN	Local Area Network
WAN	Wide Area Network
AMI	Advanced Metering Infraestructure
GSM	Global System for Mobile Communications
GPRS	General Packet Radio Service
WLAN	Wireless Local Area Network
ISM	Instrumental, Scientific and Medical
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
MIMO	Multiple-Input and Multiple-Output
FHSS	Frequency-Hopping Spread Spectrum
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletrônicos e Eletricistas
IBM	International Business Machines
<i>FH-CDMA</i>	Frequency-Hopping Code Division Multiple Access
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
<i>ITU</i>	International Telecommunication Union
<i>ETSI</i>	European Telecommunications Standards Institute
CPqD	Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying
QAM	Quadrature amplitude modulation
OFDMA	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
UTC	Utilities Telecom Council
QoS	Quality of Service
WPAN	Wireless Personal Area Network
IMS	Intex Management Service
AMR	Automatic Meter Reading
DMS	Distribution Management System
OMS	Outage Management System
MWM	Mobile Workforce Management
NTSC	<i>National Science and Technology Council</i>
EPRI	<i>Electric Power Research Institute</i>
GIS	Geographic Information System
LTE	Long Term Evolution

LISTA DE ACRÔNIMOS

Wi-fi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WiGig	Wireless Gigabit Alliance
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
SIG	Special Interest Group
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
FITEC	Fundação para Inovações Tecnológicas
DOE	U.S. Department of Energy

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....	11
1.2 JUSTIFICATIVAS.....	12
1.3 OBJETIVOS.....	13
1.3.1 Objetivos Gerais.....	13
1.3.2 Objetivos Específicos.....	13
1.4 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO.....	13
2 A REDE INTELIGENTE.....	15
2.1 ELETRICIDADE E AS REDES DE COMPUTADORES	15
2.2 OS PROBLEMAS DA REDE ELÉTRICA.....	15
2.3 O QUE É E O QUE PODE MELHORAR COM A REDE INTELIGENTE.....	16
3 TECNOLOGIAS SEM FIO UTILIZADAS NAS REDES INTELIGENTES.....	17
3.1 O PADRÃO 802.11.....	19
3.2 REDES MESH.....	21
3.3 BLUETOOTH.....	23
3.4 WIMAX.....	25
3.5 ZIGBEE.....	28
4 TIPOS DE REDES LOCAIS PARA UTILIZAÇÃO NAS REDES INTELIGENTES. 30	30
4.1 NAN.....	30
4.2 HAN.....	33
5 AMI E A CASA INTELIGENTE.....	35
6 PROJETOS NACIONAIS.....	39
6.1 PROGRAMA SMART GRID LIGHT.....	39
6.2 PROGRAMA SMART GRID DA AES ELETROPAULO.....	40
6.3 PROJETO CIDADES DO FUTURO.....	42
7 EXEMPLO DE PROJETOS INTERNACIONAIS.....	42
7.1 ESTADOS UNIDOS.....	43
7.2 EUROPA.....	44
7.3 CHINA.....	45
8 CONCLUSÕES.....	46
REFERÊNCIAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O ano de 2001 ficou marcado para a história dos brasileiros nas questões energéticas. Como esquecer do termo “racionamento” de energia que estava em todos os lugares e obrigou a todos reduzir seu consumo de energia elétrica. Por um lado, esse fato fez com que muitos revissem o desperdício e passassem a levar mais a sério as consequências desse ato, porém, por outro lado, uma nova abordagem poderia ser a solução para resolver esse tipo de situação. O apagão, não ocorreu somente aqui, outros países também passaram pelo mesmo. Em 2003, a região nordeste dos EUA e a região leste do Canadá sofreram com um apagão que atingiu 55 milhões de pessoas e causou uma série de transtornos; Em 2005, cerca de 100 milhões de pessoas foram afetadas com um apagão que atingiu as ilhas de Java e Bali na Indonésia; A Itália também teve um enorme problema quando em 2003, um blecaute apagou quase todo o país (ULTIMO SEGUNDO, 2009).

Em acontecimentos como esses é que novas pesquisas e abordagens se tornam necessárias para que essas situações não ocorram no futuro. Quem nunca reclamou da empresa de energia elétrica quando uma inesperada interrupção de energia tornou banhos quentes em frios, fez com que aquele importante gol não fosse assistido ou então estragou aquele delicioso jantar e além disso, em muitos dos casos, as empresas só se davam conta desse problema quando eram comunicadas pelos usuários. É surpreendente que situações como essas ocorram em tempos de tecnologias avançadas.

Durante anos, as redes de energia elétrica não sofreram grandes transformações e não acompanharam o ritmo da globalização. Podemos fazer essa comparação com a evolução das redes de computadores (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2010). Enquanto a primeira surgiu nos primórdios de 1888 e nos dias atuais ainda são utilizadas tecnologias dessa época, a segunda teve início por volta de 1960 com as primeiras tecnologias de comutação por pacotes e hoje temos uma rede mundialmente conectada onde através de bytes podemos estar em qualquer lugar do planeta no estalar dos dedos (CARVALHO, 2006).

Porém, unindo as duas redes é possível dar um importante passo rumo a eficiência na utilização das redes elétricas.

Tomando como exemplo os casos mencionados anteriormente, as redes inteligentes poderiam ter evitado todos os casos de blecaute. No caso do apagão dos EUA, chegou-se à conclusão que o problema foi uma falha em linhas de transmissão em uma área rural do estado de Ohio gerando uma sobrecarga no sistema; Já o apagão que atingiu duas ilhas da Indonésia foi causado pela falta de manutenção e investimentos por parte da empresa estatal de energia e; na Itália, o apagão foi causado por uma forte tempestade que atingiu a linha de transmissão que enviava energia elétrica da Suíça para a Itália (ULTIMO SEGUNDO, 2009). Em todos os casos, seria possível, com uma rede inteligente, detectar esses problemas de forma antecipada e tomar medidas rápidas para evitar que os blecautes ocorressem. Além de todos esses problemas, o prejuízo financeiro é um outro fator negativo gerado por esses blecautes. No caso brasileiro em 2001, o prejuízo levantado pelo Tribunal de Contas da União foi de R\$ 45,2 bilhões (TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO, 2009). Estudos conduzidos pelo laboratório do Departamento de Energia (*Berkley Lab*) que é gerenciado pela universidade da Califórnia apontam que podem chegar a \$80 bilhões anuais os prejuízos causados pelo blecaute (CHEN, 2005).

1.2 JUSTIFICATIVAS

Para evitar esses problemas, foram projetadas as redes inteligentes ou *smart grids* que tendem a transformar o mundo das redes de energia elétrica. Com essa tecnologia será possível solucionar muitos problemas enfrentados por empresas do ramo energético e trazer maior conforto para os usuários. Podem ser destacados como benefícios por parte das concessionárias, o monitoramento de todos os pontos da rede elétrica tornando mais rápida a solução de problemas, reduzir custos operacionais, reduzir perdas e inadimplências (como roubos de energia) e para os consumidores podemos destacar como benefícios o acompanhamento do consumo, maior privacidade sem a necessidades de técnicos para leituras de consumo, informações sobre serviços prestados, entre outros (LOPES et al, 2012). Tendo uma rede HAN (*Home Area Network*) que consiste em uma rede interconectando equipamentos de uma casa (mais detalhes no item 4.2), pode até ser possível controlar o consumo dos equipamentos da casa podendo programar desligamentos e acompanhar quais destes consomem mais energia e que possam estar apresentando problemas técnicos. Alguns profissionais até mencionam que essas redes podem ser inteligentes ao ponto de guardar energia prevendo possíveis quedas. Isso

pode até se tornar real quando a população tiver, por exemplo, carros elétricos na garagem que, caso estejam abastecidos, podem fornecer energia para os lares (MORGAN, 2012).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivos Gerais

Compreender, analisar e comparar as topologias de redes sem fio utilizadas nas redes inteligentes bem como os motivos de utilização das mesmas e onde podem ser aplicadas, no *backhal* da rede ou no acesso através das redes HAN (*Home Area Network*) e NAN (*Neighborhood Area Network*).

1.3.2 Objetivos Específicos

- Apresentar os principais conceitos das redes inteligentes;
- Levantar as topologias de rede sem fio que podem ser utilizadas;
- Pesquisar quais trabalhos estão sendo realizados no Brasil e no mundo;
- Identificar quais topologias se aplicam ao *backhal* e quais se aplicam como rede de acesso;
- Apresentar os novos conceitos de rede HAN (*Home Area Network*) e NAN (*Neighborhood Area Network*);
- Analisar como se dá a conexão com o cliente final e como funciona o sistema de AMI (*Advanced Metering Infrastructure*);
- Comparar as tecnologias de rede que podem ser utilizadas nas *smart grids*;
- Buscar notícias, artigos e pesquisas realizadas por empresas que estão implementando o sistema.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esse trabalho traz uma abordagem com relação às tecnologias de rede sem fio que podem ser utilizadas. Há uma parte conceitual sobre o que vem a ser as *smart grids* (redes inteligentes) e sobre as tecnologias de rede sem fio como *Wi-fi*, *WiMAX*, *Mesh* e

Zigbee. Além disso é apresentado o conceito de HAN (*Home Area Network*) e NAN (*Neighborhood Area Network*) onde serão inseridos os medidores inteligentes que são os equipamentos necessários para a comunicação com a central. O trabalho também mencionará outras tecnologias que podem ser utilizadas como PLC (*Power Line Communication*), fibras ópticas, redes móveis, entre outras. Essas tecnologias devem ser analisadas com cautela e levar em consideração alguns fatores como áreas metropolitanas e rurais, áreas com dificuldades de passagem de cabos ou com interferências magnéticas além de levar em consideração em que ponto da rede elas podem ser aplicadas (*backhal* e acesso). Por fim, será mencionado alguns projetos realizados por empresas tanto no Brasil quanto em alguns lugares do mundo.

2 A REDE INTELIGENTE

2.1 ELETRICIDADE E AS REDES DE COMPUTADORES

A descoberta da eletricidade foi um grande avanço para a humanidade. Com ela, o homem pode viver melhor e com mais conforto. É possível afirmar que havia uma vida antes e depois da eletricidade.

É difícil imaginar que nossos ancestrais conseguiam tomar banho sem chuveiros elétricos, ter lazer sem TV e cozinhar sem micro-ondas e fogões elétricos enquanto que hoje, a quantidade de aparelhos elétricos é imensa. Podemos citar aqueles que mudaram a vida do homem como o chuveiro elétrico, a geladeira e a TV e aqueles que hoje, não são essenciais mas cada vez mais entram na vida das pessoas como *home theater*, *dvd player*, micro-ondas entre outros. Além desses equipamentos, viu-se a descoberta dos primeiros computadores e a evolução que sofreram. Com isso veio a necessidade de fazer uma comunicação entre os mesmos, ou seja, criar uma rede e foi assim que começaram as primeiras redes de computadores que evoluíram ao ponto de poder interconectar todo o planeta.

Mas qual o motivo de toda essa explicação inicial? Mostrar a relação entre a internet e a eletricidade. O sociólogo Manuel Castells, diz em seu livro *Galáxia da internet* que “a tecnologia da informação é hoje o que a eletricidade foi na Era industrial, em razão de sua capacidade de distribuir a força da informação por todo o domínio da atividade humana”.

O que seria das telecomunicações se não fosse a eletricidade? Seria impossível o acesso à internet e o que seria da humanidade sem a internet? Porque não unir as duas áreas para facilitar a vida do homem?

2.2 OS PROBLEMAS DA REDE ELÉTRICA

Mesmo com a evolução dos computadores e das redes de computadores, pode-se dizer que o sistema elétrico não foi capaz de acompanhar. A população enfrenta sérios problemas com o sistema elétrico atual. É possível citar aquela que foi a maior crise energética vivida pelos brasileiros em 2001 quando o país aprendeu a racionar para economizar e ajudar o meio ambiente. No atual ano (2014), alguns estados estão

sofrendo com a escassez de chuvas e muito ouviu-se a respeito do racionamento porém as empresas de energia elétrica descartaram essa possibilidade até pelo menos no momento em que esse trabalho é escrito.

2.3 O QUE É E O QUE PODE MELHORAR COM A REDE INTELIGENTE

É difícil determinar um conceito para o termo *smart grid*. Pode-se afirmar como sendo a utilização de tecnologia de informação para auxiliar o sistema elétrico de potência porém a forma como isso pode ser feito remete a uma vasta área de aplicações tais quais residenciais, industriais, nos limites municipais tanto nas áreas urbanas quanto rurais, entre outras aplicações (LOPES et al, 2012). Nesse contexto pode-se exemplificar como aplicação principal uma central que possa receber todos os dados sobre a situação elétrica do local a ser gerenciado e possa agir conforme necessidade melhorando a qualidade do sistema elétrico e prevenindo possíveis problemas. Essa comunicação também pode ser duplex, ou seja, o consumidor também pode receber informações vindas da central e ter conhecimento por exemplo, do valor do seu consumo, acesso a histórico, características, informações aproximando cada vez mais os dois trazendo maior confiabilidade e participação do consumidor final. Pode-se ver na figura 1, um comparativo entre a estrutura atual e uma estrutura com a rede inteligente desde o consumidor em sua residência até uma central que pode ser a concessionária fornecedora do sistema elétrico.

No início dos anos 2000, a Itália desenvolveu um projeto chamado de *Telegestore Project*, onde o foco era a instalação de medição eletrônica através de uma comunicação PLC (Power Line communication). Com isso era possível analisar os comportamentos do uso de energia dos consumidores (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2010).

Esse novo conceito é excelente para melhorar e otimizar o uso da energia elétrica porém há um grande desafio pela frente que é modernizar a infraestrutura de telecomunicações atual (GUNGOR et al, 2011). Para modernizar a rede é necessário alguns pontos fundamentais (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2010):

- Confiabilidade;
- Eficiência;

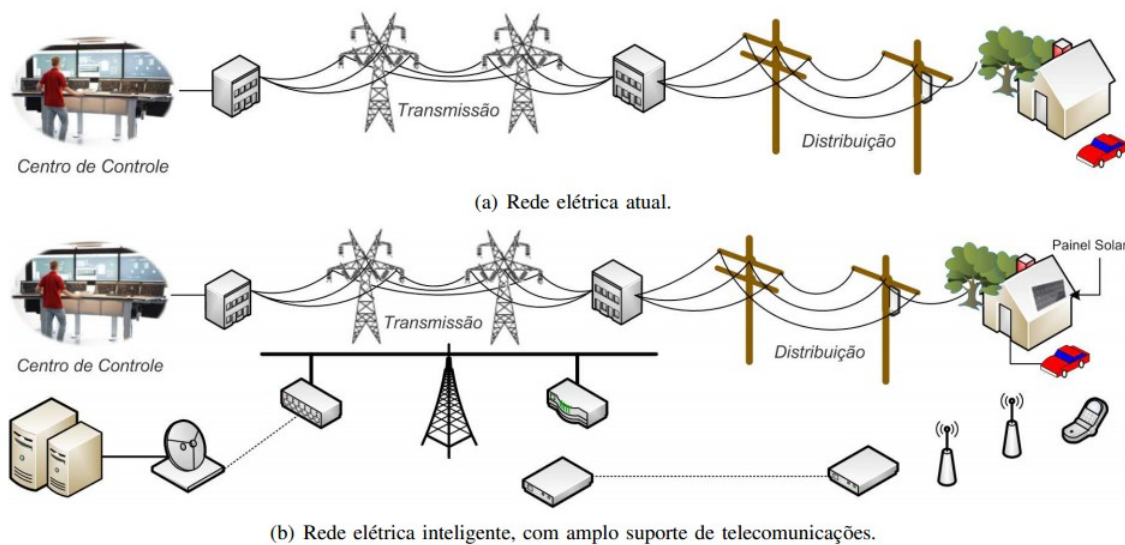


Figura 1 - Estrutura elétrica atual e inteligente
Fonte: (LOPES et al, 2012)

- Segurança;
- Competitividade;
- Questões ambientais.

Com a utilização dessa tecnologia nas redes elétricas atuais será mais fácil o controle e gerenciamento do mesmo, evitando interrupções por falhas mecânicas ou humanas ou desastres naturais, isolando locais com falta de energia e locais com possíveis problemas como desperdícios ou até mesmo uso indevido de eletricidade (roubos de energia) tornando o sistema mais seguro. Ou seja, no final, com a implantação e o correto uso do mesmo, tanto as concessionárias quanto os consumidores têm a ganhar com todos esses benefícios e é possível afirmar que outro afetado e que também agradece é o planeta.

3 TECNOLOGIAS SEM FIO UTILIZADAS NAS REDES INTELIGENTES

Para a construção de uma rede inteligente é necessário uma análise bem rigorosa dos pontos por onde essa rede irá passar, levantar possíveis problemas e características para que as tecnologias a serem empregadas sejam acertadas e evite um desperdício de dinheiro na implementação da mesma. Essas tecnologias de rede podem ser com ou sem fio tais como PLC, cabos ópticos, cabos elétricos, tecnologias PON, *Wi-fi*, *WiMax*, entre

várias outras (GUNGOR et al, 2011). O Engenheiro deve levar em consideração o relevo dos locais, clima, acessibilidade e também o ponto da rede, se será usado no *backhal* ou então no acesso. As alternativas são várias, portanto devem ser analisadas com cautela (LOPES et al, 2012). Nesse ponto podem também entrar entusiastas das duas áreas defendendo o uso tanto de tecnologias sem fio quanto o uso das tecnologias com fio. Para leigos nesse assunto é óbvio que o melhor a ser usada é aquela que possa propiciar qualidade, que não prejudique o meio ambiente e que exija menos recursos financeiros.

As tecnologias sem fio fornecem várias maneiras de aplicações para as redes inteligentes. É possível transportar as informações utilizando *WiMAX* atendendo assim uma rede WAN e utilizar ZigBee ou *Wi-fi* nas áreas urbanas e nas residências como tecnologias de acesso e também para a monitoração AMI (*Advanced Metering Infrastructure*). Essas podem ser utilizadas em uma topologia estrela ou até mesmo em malha (Mesh). A tabela 1 mostra um resumo sobre as tecnologias sem fio e suas aplicações nas redes inteligentes.

As redes sem fio podem operar em dois modos: ad-hoc e infra-estruturado. No caso deste, a rede possui uma espécie de central que cobre uma certa área geográfica e assim os equipamentos móveis se comunicam entre si através dessa central. Esse é o caso, por exemplo, da rede celular. Esse modo de operação possui uma desvantagem caso o equipamento central venha a falhar, deixando os outros equipamentos que se conectam a ele sem comunicação.

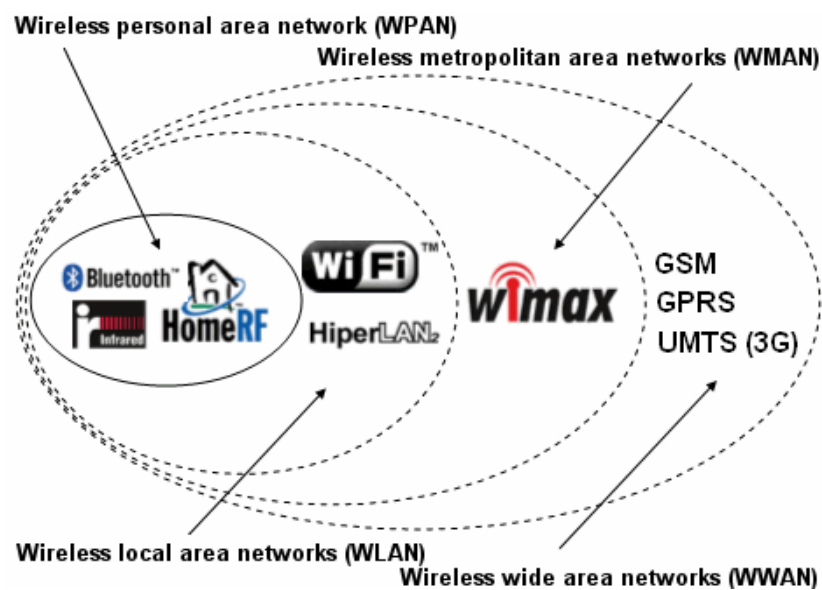


Figura 2 - Tecnologias sem fio

Fonte: kioskea.net

Tabela 1 – Tecnologias sem fio

Tecnologia	Espectro	Banda	Alcance	Aplicações	Limitações
GSM, GPRS	900-1800 MHz	Até 180 kbps	1-10 km	AMI, HAN	Baixa largura de banda
4G	2,5 GHz	Até 200 Mbps	1-50 km	AMI, HAN	Alto custo regulatório do espectro
Wi-fi	2,4-5,8 GHz (60 GHz)	Até 155 Mbps (5 Gbps)	1-300 m	AMI, HAN	Curto alcance
WiMax	2,5 GHz 3,5 GHz 5,8 GHz	Até 75 Mbps	1-5 km 1-5 km 10-50 km	AMI, WAN	Poucas implementações
ZigBee	2,4 GHz 868-915 MHz	Até 250 kbps	30-90 m	AMI, HAN	Curto alcance e baixa largura de banda
Bluetooth	2,4-2,4835 GHz	Até 721 kbps	1-10 m	HAN	Curto alcance e alto consumo de energia

Fonte: (LOPES et al, 2012)

Já nas redes ad-hoc, não há um equipamento central e os equipamentos se conectam e se comunicam entre si diretamente. Esse modo também é conhecido como peer-to-peer.

O importante é salientar que as tecnologias sem fio comparadas com as que utilizam fio ganham em relação à custo e também mobilidade podendo estes serem diferenciais no momento da escolha.

3.1 O PADRÃO 802.11

O padrão 802.11 é também conhecido como Wireless LAN (WLAN) ou simplesmente *Wi-fi* e consiste em uma tecnologia sem fio, terrestre, para comunicação de dados (TJENSVOLD, 2007). Hoje, é uma tecnologia utilizada muito para acesso à rede locais sendo uma solução mais barata e mais bonita esteticamente do que as redes com fio além de dar uma maior mobilidade a seus usuários. É bastante utilizada em centros comerciais que oferecem acessos a seus clientes, redes universitárias, ambientes públicos e nas residências. É muito difícil chegar a uma residência nos dias atuais e não ver um roteador wireless fornecendo acesso aos moradores.

O padrão WLAN opera na banda de frequências ISM (Industrial, Scientific and Medical) nas faixas de 2,4GHz e 5GHz e possui os padrões 802.11a/b/g/n/ac. A tabela 2 apresenta algumas diferenças entre esses padrões.

Tabela 2 – Padrões Wi-fi

Padrão	Frequência	Téc. modulação
802.11a	5 GHz	OFDM
802.11b	2,4 GHz	DSSS
802.11g	2,4 GHz	DSSS/OFDM
802.11n	2,4 GHz; 5 GHz	DSSS/OFDM/MIMO-OFDM
802.11ac	5 GHz	MIMO-OFDM

Fonte: Autoria Própria

Os padrões citados são os mais conhecidos sendo que ainda existem outros sendo especificados e analisados como o padrão 802.11ad também conhecido como WiGig que utiliza das mesmas faixas de frequência dos outros (2,4 e 5 GHz) e também opera na faixa de 60 GHz oferecendo taxas de transmissão de 5 Gbps.

Existem algumas técnicas de modulação que podem ser utilizadas tais como: (maiores detalhes em (ROCHA, 2006)):

- a) FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum);
- b) DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum);
- c) OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

Em 1999, foi fundada uma associação sem fins lucrativos, tendo algumas empresas como membros, para promover o protocolo sem fio mais utilizado no planeta. Segundo a organização, cerca de 2 bilhões de equipamentos *Wi-fi* foram comercializados no ano de 2013. Hoje, de acordo com o site da WI-FI ALLIANCE, a associação possui aproximadamente 600 membros em vários países fornecendo tecnologias, soluções e certificações de produtos.

Com os padrões mais conhecidos no mercado hoje (retirando o padrão 802.11ad), o *Wi-fi*, no contexto das redes inteligentes é uma solução que pode ser aplicada tanto para medições (AMI) quanto na formação de uma rede residencial (GUNGOR et al, 2011) (as chamadas HAN – *Home Area Network* - que é abordada no item 4.2). Por ser um padrão muito utilizado hoje, acaba se tornando mais fácil de manipular e existem diversos

equipamentos que suportam essa tecnologia, porém por não ter um longo alcance acaba ficando limitado à essas aplicações. Além disso, um outro ponto a ser observado é a interferência, já que o *Wi-fi* é uma realidade em muitos lares, pode ocorrer conflitos entre a rede residencial e a rede usada para internet.

3.2 REDES MESH

Uma das topologias que podem ser utilizadas para a criação de uma rede HAN ou até mesmo uma rede NAN (*Neighborhood Area Network*) é uma rede em malha também conhecida como redes Mesh. Essa topologia teve origem no *Defense Advanced Research Projects Agency* (DARPA) tendo como objetivo a busca de uma rede que permitisse uma comunicação fim a fim sem a necessidade de utilizar um nó central (TEIXEIRA, 2004). A figura 3 mostra um exemplo de uma rede em malha e uma rede com um nó central.



Figura 3 - Rede em malha e com um nó
Fonte: teleco

Cada equipamento corresponde a um nó na rede e pode atuar como um roteador para que cada equipamento possa se comunicar com todos na malha. Além disso, deve ser possível a inserção de um novo nó bem como a retirada de um. Com isso, caso um equipamento venha a falhar ele não prejudica o funcionamento da rede simplesmente é descartado e os outros nós continuam a comunicação.

A figura 4 apresenta um caso de uso de uma rede Mesh baseada no equipamento HotZone Duo da Motorola que tem por função permitir acesso à internet nas zonas urbanas (PRISMA). Cada equipamento é fixado em um poste formando uma malha entre todos os nós podendo interligar toda uma cidade.

A rede Mesh traz algumas vantagens em relação às redes tradicionais que possuem um nó central (TEIXEIRA, 2004):

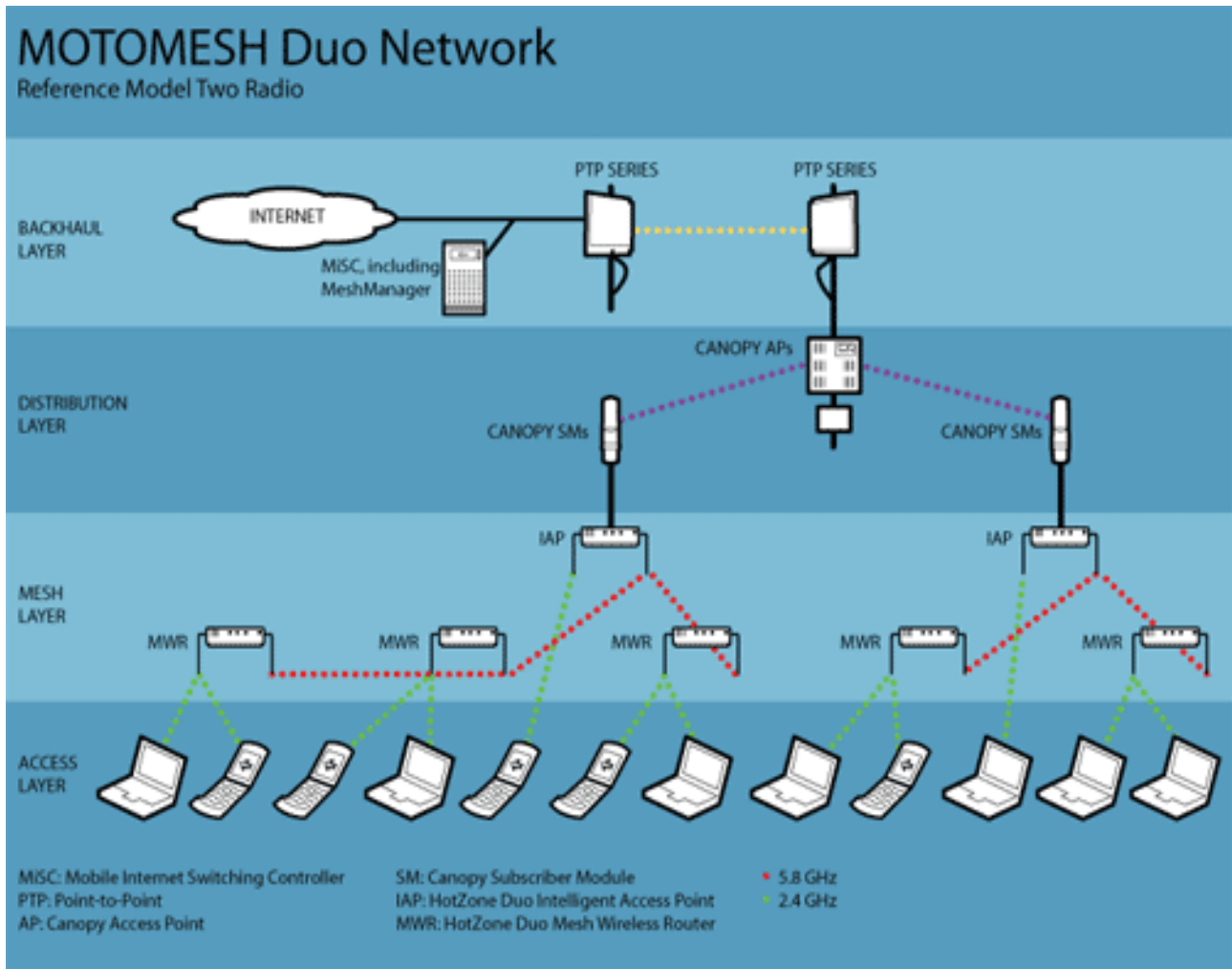


Figura 4 - Exemplo de rede Mesh com equipamento Hotzone Duo
Fonte: prismate.com.br

- Aumento da distância entre a origem e o destino, sem prejudicar a taxa de transmissão pois é possível sair de qualquer nó e chegar em outro sendo roteado pelos demais;
- Otimização do espectro de frequências pois tendo os nós uma maior proximidade, a potência do sinal é menor;
- Não necessidade de linha de visada já que em uma rede Mesh todos os nós se comunicam e também evitam obstáculos;
- Redução do custo da rede com a utilização de equipamentos considerados terminais como se fossem roteadores e/ou repetidores;
- Redução da necessidade de conexões entre os Access Points e a Internet devido à utilização de equipamentos que somente roteiam ou repetem a informação sendo necessário assim menos equipamentos que tenham acesso direto à internet;
- Robustez.

No caso das redes inteligentes é possível utilizar uma rede Mesh para interligar os equipamentos de uma residência, ou seja, medidores conectados nos aparelhos eletrônicos formando uma rede de comunicação onde os dados de todos os nós podem ser coletados por um medidor inteligente ligado diretamente com a concessionária. Além dessa aplicação também é possível utilizar interligando esses medidores inteligentes situados em cada residência montando assim uma malha na vizinhança.

Aproveitando o exemplo citado na figura 4 também é possível a utilização de equipamentos inteligentes que coletam as informações da rede de iluminação pública. Esses equipamentos são instalados nos postes e colhem dados do mesmo e com a utilização de uma rede em malha interligando todos com a concessionária, esta fica sabendo tudo que ocorre na rede podendo agir em casos de falhas, equipamentos danificados, ataques. E a aplicação pode ser ainda maior. Ao invés da iluminação pública, é possível também utilizar o mesmo sistema para obter a informação de semáforos e até aqueles que não possuem eletricidade como esgoto, gás, entre outros.

3.3 BLUETOOTH

O *bluetooth* é um padrão de rede sem fio que está diretamente ligado às redes pessoais sem fio, também conhecida como WPAN. É uma tecnologia de transmissão de dados em curtas distâncias e de baixo consumo de energia. Sua especificação pode ser encontrada no IEEE 802.15.1.

A história do *bluetooth* teve início em meados de 1994 com a Ericsson estudando uma forma de comunicação entre celulares e acessórios com sinais de rádio. A partir de 1998 outras empresas como Intel, IBM, Toshiba e Nokia (empresas em ramos diferentes: telecomunicações, processadores e computadores) aderiram ao projeto criando o *bluetooth-SIG (Special Interest Group)*. Essa união foi importante para tornar o padrão interoperável entre vários dispositivos.

Com a união desse grupo (outras empresas após 1998 também aderiram) o *bluetooth* virou realidade. Seu nome é uma homenagem a um rei dinamarquês chamado Harald Blåtand, conhecido como Harald *Bluetooth* e um de seus grandes feitos foi a unificação da Dinamarca e da Noruega. Dessa “unificação” foi que surgiu o nome da

tecnologia pois sugere-se que ela proporciona a unificação dos dispositivos (ALECRIM, 2013).

Sua velocidade gira em torno de 1Mb e seu alcance foi dividido em 3 classes :

- Classe 1: 100mW com alcance de até 100m;
- Classe 2: 2,5mW com alcance de até 10m;
- Classe 3: 1mW com alcance de até 1m.

Os dispositivos com *bluetooth* operam na frequência ISM (Industrial, Scientific, Medical) na mesma faixa do padrão 802.11x (2,4GHz). Por ser uma faixa aberta, interferência é o seu principal problema e deve ser contornado. Para isso é utilizado um esquema de salto em frequência chamado de *FH-CDMA* (*Frequency Hopping - Code-Division Multiple Access*) através de 79 portadoras espaçadas de 1MHz.

Quando dois ou mais dispositivos começam uma comunicação por *bluetooth*, foram uma rede denominada piconet que pode conter até 8 dispositivos sendo 1 mestre e os outros escravos conforme mostra a figura 5. Cada piconet ocupa um canal bluetooth onde um canal é identificado por uma sequência de frequências e pelo relógio do dispositivo mestre. É possível elevar o número de dispositivos na rede através de sobreposição de piconets. Esse esquema é chamado de Scatternet. Nesse contexto, somente o slave pode estar em mais de uma piconet enquanto que o master deve estar contido em somente um piconet.

Muitos equipamento são compatíveis com o *bluetooth* tais quais DVD plplayers , headphones, mouses, teclados, entre outros. Até mesmo um vaso sanitário pode conter a tecnologia. É o caso do projeto Numi Toilet onde é possível fazer streaming de músicas do celular para tocar nos auto-falantes do vaso sanitário (PORTERFIELD, 2013).

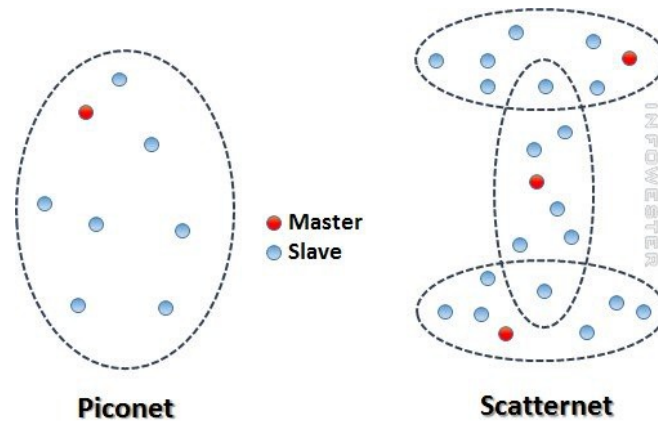


Figura 5 - Piconet e Scatternet
Fonte: (ALECRIM, 2013)

O SIG, através das empresas Broadcom e Emerson Eletric, formou um grupo especial para estudar possíveis aplicações do *bluetooth* para as redes inteligentes. De acordo com o diretor executivo do SIG, Michael Foley, “Tecnologia sem fio é um componente chave da batalha para melhorar as redes inteligentes” (MERRIT, 2010). Por ser uma tecnologia de curta distância, sua aplicação pode se dar nos medidores inteligente ou até mesmo no controle remoto de equipamentos podendo monitorar e ajustar o consumo de energia dos mesmos.

3.4 WIMAX

Descrito pelo padrão IEEE 802.16, o *WiMAX* é conhecido como uma solução sem fio para o acesso de broadband wireless e também como um padrão a ser utilizado em regiões metropolitanas com tecnologia sem fio (WMAN – *Wireless Metropolitan Area Network*). Porém sua utilização não se restringe somente às áreas metropolitanas podendo ser utilizada como WLAN (como hotspot), WWAN (como interconexão em uma cidade ou até mesmo backbone) (BARGOENA, 2011).

A figura 6 apresenta diferentes áreas de atuação do *WiMAX*.

A proposta inicial do padrão é a disponibilização de acesso banda larga à distâncias maiores visando ser uma forma mais econômica em relação ao uso de tecnologias com fio. Além disso desde o início pensou-se em tornar global o padrão para ser interoperável com os padrões ITU (International Telecommunication Union) e ETSI (European Telecommunication Standard Institute).

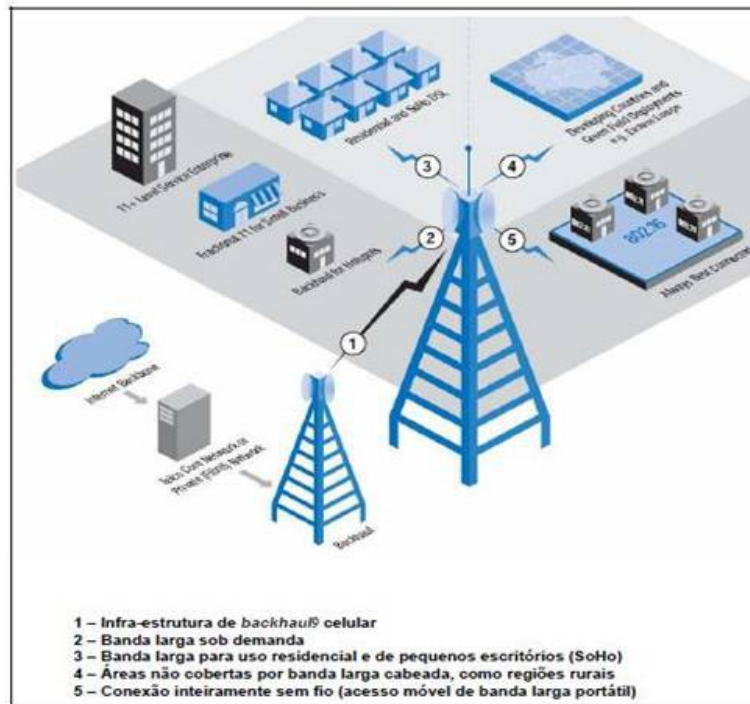


Figura 6 - Diferentes áreas de atuação do WiMAX
Fonte: (BARGOENA, 2011)

Da mesma forma que surgiu o *Wi-fi Alliance*, para o padrão 802.16 surgiu uma organização sem fins lucrativos chamada de *WiMAX FORUM* que é formada por fabricantes de equipamentos e componentes que promovem o padrão pelo mundo. A Intel, uma das maiores patrocinadoras, acredita que o 802.16 é “a coisa mais importante desde o advento da internet”. As empresas Siemens Mobile, Hitachi, Samsung, Panasonic são alguns membros do fórum além do representante brasileiro CPqD (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações).

A versão inicial do padrão, homologada em Dezembro de 2001 trazia as faixas situadas entre 10GHz e 66GHz a serem utilizadas por linha de visada. Já em 2003, surgiu uma variação do padrão, o 802,11a onde não havia mais necessidade da utilização por linha de visada e uma faixa de frequência entre 2GHz e 11GHz. A tabela 3 mostra as diferenças entre alguns dos principais padrões.

O *WiMAX FORUM* acredita que as redes inteligentes serão alimentadas por uma misturas de tecnologias de comunicação e estão trabalhando duro para ajudar operadoras e fornecedoras da tecnologia a entrarem nesse mercado.

Tabela 3 – Padrões WiMAX

Características	802.16	802.16a	802.16e
Homologação	Dezembro 2001	Janeiro 2003	4º trimestre 2004
Frequência	10 – 66GHz	2 – 11GHz	2 – 6GHz
Largura de banda	10, 25 e 28MHz	Entre 1,5 e 16MHz com até 16 sub-canais lógicos	Entre 1,5 e 16MHz com até 16 sub-canais lógicos
Taxa de transmissão	Entre 32 e 134Mbit/s	Até 75Mbit/s	Até 15Mbit/s
Modulação	QPSK, 16 QAM e 64 QAM	OFDM 256 sub-portadoras, OFDMA 64 QAM, 16 QAM, QPSK, BIT/SK	OFDM 256 sub-portadoras, OFDMA 64 QAM, 16 QAM, QPSK, BIT/SK
Raio	2 – 5km	5 – 10km Pode alcançar 50km dependendo de alguns fatores	2 – 5km
Propagação	Linha de visada	Sem linha de visada	Sem linha de visada

Fonte: (BARGOENA, 2011)

Para isso uma nova variação do 802.16 foi criada, o *WiGRID*. O perfil otimizado do padrão *WiMAX* inclui novos recursos permitindo comunicações de dados cêntricas de uplink, menor latência e novas faixas de frequência compatíveis com as faixas utilizadas por concessionárias, sendo elas 1.4 GHz, 1.8 GHz, 2.3 GHz, 3.65 GHz e 5.8 GHz.

De acordo com Eugene Crozier do UTC (Utilities Telecom Council Canadá) "A aprovação do documento com os requisitos do perfil do sistema do *WiMAX* para aplicativos *smart grid* estabelece o *WiMAX*, por meio do *WiGRID*, como uma tecnologia capaz de atender às demandas de aplicativos *smart grid* sem fio" (WIMAX FORUM, 2013). Além de representantes do *WiMAX FORUM*, concessionárias de energia elétrica também participaram da criação do padrão. "O documento foi desenvolvido por um trabalho conjunto de fabricantes e prestadores de serviços de utilidade pública, estabelecendo-se como uma etapa importante no caminho para a normalização e certificação de produtos IEEE 802.16 para uso em redes de serviços públicos", afirma Crozier que também lidera a equipe responsável pelos trabalhos envolvendo smart grids no *WiMAX FORUM* (COMPUTERWORLD, 2013).

3.5 ZIGBEE

O *Zigbee* é um protocolo de rede sem fio pertencente às redes WPAN (redes pessoais sem fio) utilizando a definição 802.15.4 do IEEE. É um protocolo definido por uma aliança de empresas e projetado como uma forma de comunicação confiável, de baixo consumo e baixas taxas de transmissão.

Foi projetado em 2002 quando a aliança contava com 25 membros e hoje são mais de 400 buscando ajudar na criação de produtos que possam trazer conforto, segurança, eficiência e confiabilidade. É um padrão bastante utilizado em:

- Automação e controle residencial e comercial;
- Controles remotos;
- Equipamentos na área de saúde;
- Equipamentos para computadores;
- Controle industrial.

Além de ser um padrão de baixo consumo de energia, é também de fácil implementação podendo ser utilizado em quase todos os lugares. A pilha tem requisitos simples, podendo ser implementada em microprocessadores de 8 bits (FRIAS, 2004). A figura 7 mostra as camadas da pilha.

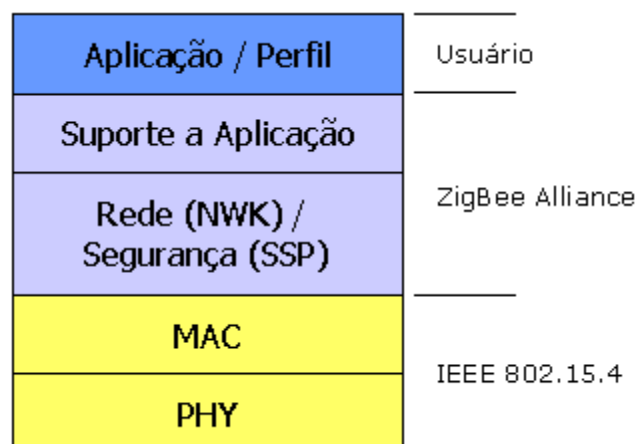


Figura 7 - Camadas pilha ZigBee
Fonte: (FRIAS, 2004)

É considerada como uma boa alternativa para medição e gerenciamento de energia principalmente pela integração que o mesmo pode oferecer com outros equipamentos presentes em uma residência ou indústria. Sua simplicidade, mobilidade, robustez, baixos requisitos de largura de banda, baixo custo de implantação, operação dentro de um espectro não licenciado, sendo um protocolo padronizado e baseado na norma IEEE 802.15.4 são fatores que contribuem para sua utilização. Vários fornecedores como Itron, Elster, and Landis Gyr preferem utilizar *Zigbee* em seus medidores (GUNGOR et al, 2011).

Por outro lado possui algumas restrições que devem ser levadas em consideração tais como baixas capacidades de processamento, pouca memória, pequenos atrasos e interferências com outros aparelhos, que compartilham o mesmo meio de transmissão e banda ISM de frequência como *Wi-Fi*, *Bluetooth* e Micro-ondas.

A figura 8 apresenta o desenvolvimento de um perfil de comunicação proposto pela *Zigbee Alliance* para tornar interoperável produtos e soluções a serem empregados em uma rede NAN (*Neighborhood Area Network*). Seria uma solução similar a funcionalidade plug-and-play onde os equipamentos ao serem inseridos na rede já pudessem se comunicar com os outros e enviar informações para os dispositivos de distribuição (MALEY; RENNER, 2014). Para um melhor aproveitamento do protocolo fica sendo necessário um levantamento de formas de detecção e prevenção de interferência além de um eficiente protocolo de roteamento.

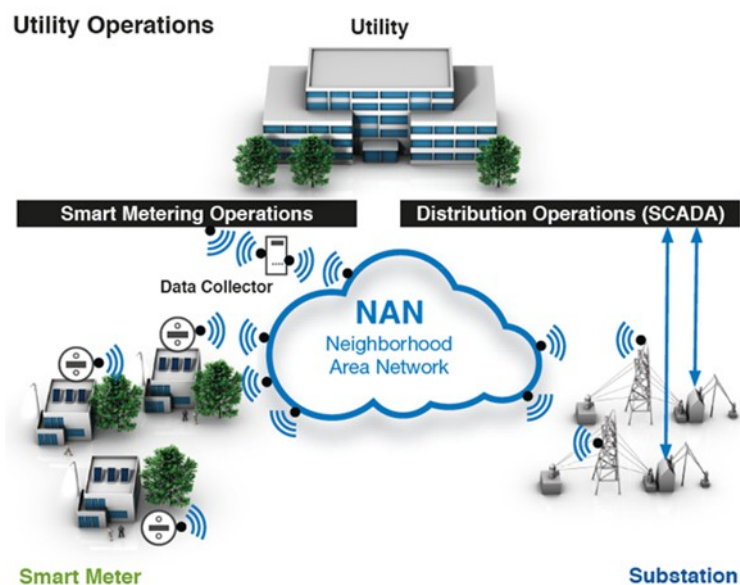


Figura 8 - Comunicação em uma rede NAN
Fonte: (MALEY; RENNER, 2014)

4 TIPOS DE REDES LOCAIS PARA UTILIZAÇÃO NAS REDES INTELIGENTES

Já é de conhecimentos de todas as topologias PAN, LAN, MAN e WAN, que são redes de computadores que abrangem uma certa área porém essas não são as únicas abordagens conhecidas hoje. Durante os capítulos anteriores foi possível observar, principalmente nos exemplos de aplicações das tecnologias sem fio, trechos mencionando novas abordagens de rede denominadas NAN (*Neighborhood Area Network*) e HAN (*Home Area Network*). Essas duas topologias ganharam ainda mais força depois dos estudos e trabalhos sobre as redes inteligentes. Podemos citar que as redes inteligentes desde as residências até as concessionárias precisam de cobertura onde a HAN é responsável por cobrir uma residência, NAN por cobrir uma pequena vizinhança e WAN por cobrir toda uma cidade. A figura 9 mostra a interação entre essas três topologias.

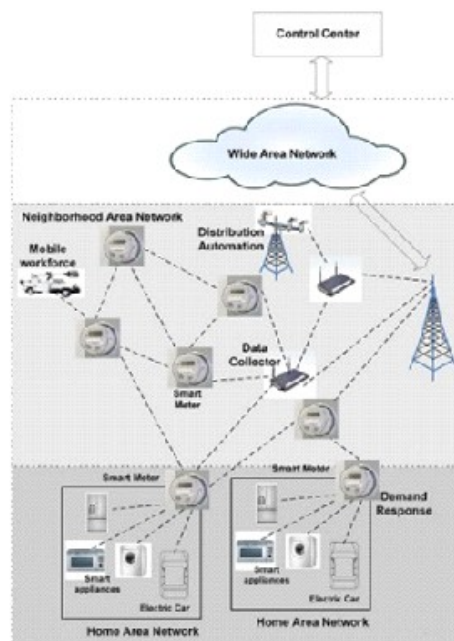


Figura 9 - Neighborhood Area Network
 Fonte: (MOHAMMADI, 2008)

4.1 NAN

A rede de área de vizinhança (ou também de bairro) é uma topologia de última milha que liga um conjunto de residências/indústrias à uma rede WAN.

Esse tipo de rede pode ter várias utilidades como por exemplo acesso à internet onde a tecnologia mais usada é a 802.11x. Além de acesso à internet, essa topologia

pode ser utilizada para interligar os medidores inteligentes à rede WAN que leva até as concessionárias de energia. Assim, uma rede Mesh pode ser feita com esses medidores e um roteador. A figura 10 aborda essa topologia mostrando os medidores interconectados ligados à equipamentos na topologia WAN que chegam até um equipamento que pode estar em uma central, uma concessionária, um órgão do governo entre outros.

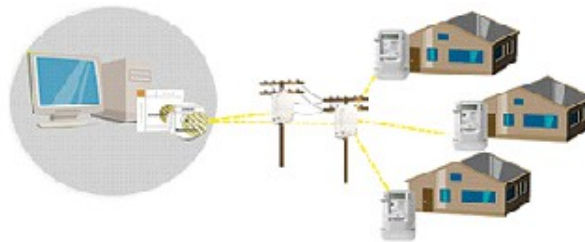


Figura 10 - Medidores interconectados na rede
Fonte: utilityproducts.com

Uma rede Mesh fornece várias vantagens sobre outros tipos de tecnologias (estrela, anel, árvore), incluindo a flexibilidade, infra-estrutura mínima, escalabilidade e baixo custo de configuração (ULTIMO SEGUNDO, 2009). Os medidores em uma rede NAN devem ter capacidade de roteamento para encontrar o melhor caminho para enviar as informações necessárias até a rede WAN. Conforme mencionado na seção 3.2 deste trabalho, caso um dos medidores (peer) falhe a rede deve possuir capacidade de modificar a rota e se adaptar à nova estrutura sem levar em consideração o medidor com falha. Caso esse equipamento volte a estar operacional ou um novo medidor seja inserido na rede, deve se adaptar modificando ou não a rede buscando novos caminhos ou garantindo que as informações destes sejam acessíveis.

Uma NAN consiste de diferentes componentes que são principalmente classificados a seguir (MOHAMMADI, 2008):

- Coletor: Consiste em um gateway de comunicação dentro da NAN. Ele é responsável por coletar e filtrar os dados obtidos na rede e enviar os mesmos para a rede WAN. É fundamental no desempenho da rede.
- Medidor inteligente: equipamento instalado nas residências e responsável por enviar as informações de leitura de consumo de energia tornando mais fácil a comunicação entre clientes e concessionárias. Através do equipamento é possível

analisar o perfil de uso de eletricidade bem como acessar a conta a ser paga. Mais informações podem ser visualizadas no item 5 deste trabalho.

- Aplicação de medição de leitura avançada: É a aplicação que registra o consumo e transmite as medidas sobre a NAN para os coletores em intervalos de 1h ou menos.

Além das funções de leitura, uma rede NAN deve ter capacidade de gerenciamento remoto (conectar e desconectar medidores), gravar e transmitir mensagens de logs dos medidores além de relatórios onde é possível obter informações da qualidade do equipamento.

Uma outra questão a respeito das redes NAN é com relação à segurança da informação. Caso a rede utilize uma tecnologia *Wi-fi*, é possível que qualquer pessoa que possua um equipamento compatível com a tecnologia possa identificar a troca de pacotes na rede. Tanto os medidores quanto os equipamentos geradores de energia podem ser alvos de ataques maliciosos e devem ser protegidos contra acessos não autorizados. Portanto é preciso prover mecanismos de autenticação para os equipamentos.

Outra preocupação é quanto as tabelas de roteamento que devem estar protegidas para que informações que trafegam na rede não vão parar em dispositivos desconhecidos e mal intencionados. Os protocolos de roteamento devem garantir essa proteção além da privacidade das informações pois nenhum cliente gostaria que informações sobre seus consumos caiam em mãos de pessoas não autorizadas. Os protocolos de roteamento também devem garantir autenticação, confidencialidade e integridade (MOHAMMADI, 2008).

Quanto às tecnologias, duas delas se destacam, o *Wi-fi* e o *Zigbee*. Essa se destaca por ser de baixo consumo, baixo custo e velocidade de até 250 kbps por canal além de ser um protocolo bastante utilizado entre os medidores inteligentes. Em contrapartida o padrão 802.11x tem maiores velocidades de transmissão, maiores áreas de cobertura e uma estrutura melhor de QoS podendo, a partir do padrão 802.11e, a possibilidade de classificar o tráfego em diferentes classes (YAZDI, 2013).

Mohammad Yazdi (2013), em sua dissertação, faz simulações envolvendo as duas tecnologias num cenário NAN. Foram analisados parâmetros como confiabilidade, atrasos (*delay*) e taxa de transferência (*throughput*). O autor conclui que os recursos de QoS

fornecidos pelo *Wi-fi* podem ser muito úteis mas que *Zigbee* tem mais recursos e é um melhor candidato a ser utilizados nas redes das vizinhanças interconectando medidores inteligentes e roteadores.

4.2 HAN

Uma HAN ou simplesmente rede de área residencial é um tipo de rede local implantada em uma pequena área geralmente em casas ou pequenos escritórios. Essa rede possibilita uma conexão entre os demais equipamentos presentes compartilhando dados e acessos à internet. Hoje, muitos lares já possuem redes domésticas bastando apenas um modem, um roteador e computadores para tal.

As redes residenciais surgiram no final dos anos 90, início de 2000, estimulado pelo crescimento da internet (PACIFIC NORTHWEST NATIONAL LABORATORY, 2011). A automação residencial é uma das principais aplicações para esse tipo de rede onde o usuário pode ter o controle de todas as funções encontradas no ambiente de seu lar, integrando seus acionamentos e focando em praticidade e conforto.

Alguns anos atrás, somente com a utilização de computadores era possível construir e acessar redes, porém hoje, já é possível fazer o mesmo com televisores, vídeo-games e até outros aparelhos como geladeiras por exemplo. Ir ao supermercado e esquecer a lista de compras pode não ser mais um problema, bastando somente ter acesso à internet e remotamente conectar-se à sua geladeira para saber o que é necessário comprar.

A interconexão dos aparelhos eletrônicos residenciais através de uma HAN, é uma importante aplicação das redes inteligentes onde o usuário pode ter ciência de todo o consumo de seus equipamentos.

A figura 11 apresenta um exemplo de utilização de uma rede doméstica onde é possível realizar uma comunicação entre um medidor inteligente e os demais eletrônicos de uma casa. Com isso o usuário pode ficar atento ao consumo de seus aparelhos gerenciando os mesmos e em caso de desperdício de energia, desligar automaticamente o aparelho que apresentar problemas ou até mesmo desligá-los remotamente para fins de economia de energia. Essa inteligência pode ajudar e muito o bolso do usuário pois

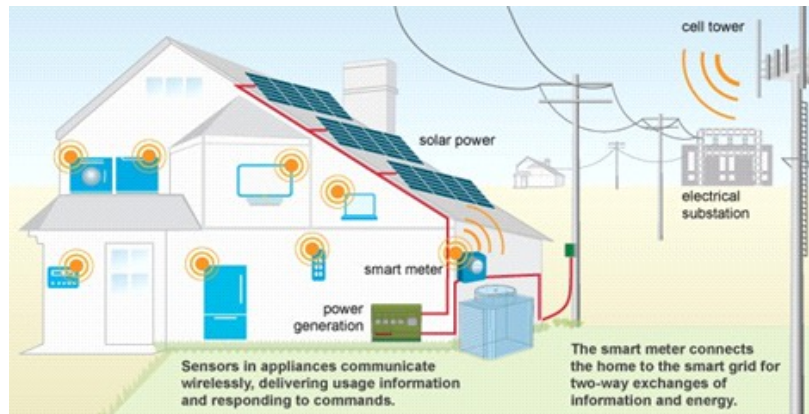


Figura 11 - Home Area Network
Fonte: research.att.com

através do medidor, alguns equipamentos podem entrar em modo de economia e outros, principalmente aqueles que consomem bastante energia podem só entrar em funcionamento quando a energia elétrica for mais barata.

Em uma arquitetura HAN, cada equipamento é um nó podendo ser utilizada uma topologia estrela onde todos os equipamento se conectam somente ao medidor quanto topologias em anel e até mesmo Mesh, fazendo com que alguns equipamentos, que precisem enviar informações para o medidor, se conectem a outros equipamentos enviando os dados para os mesmos.

Com relação a tecnologia para tal comunicação, podem ser utilizadas tecnologias sem fio como *Wi-fi*, *Zigbee* e até mesmo *bluetooth*. O padrão *Zigbee* é hoje, o mais utilizado para esse fim devido às suas características como simplicidade, baixo consumo, robustez, entre outras mencionadas nesse trabalho (ver item 3.5) e principalmente por ser adequado somente para troca de dados, não sendo necessário suporte à voz e vídeo como é no caso do *Wi-fi*.

No caso das empresas de energia elétrica, através de uma HAN, pode ser possível até mesmo, traçar o perfil de utilização dos equipamentos por parte dos usuários e também identificar problemas de utilização ilegal de energia elétrica.

De acordo com uma pesquisa da IMS, a base instalada de redes domésticas inteligentes que em 2009 estava em aproximadamente 1,5 milhões de lares, deve chegar a 14,7 milhões até o final de 2014 (PACIFIC NORTHWEST NATIONAL LABORATORY, 2012). Uma outra pesquisa, feita pela Pike, mostra que o número de casas com energia gerenciada por usuários chegará a 63 milhões em 2020 mostrando que o mercado nessa

área tende a crescer nos próximos anos trazendo muitas demandas por equipamentos, dentre eles os medidores inteligentes.

5 AMI E A CASA INTELIGENTE

Todas as residências, sendo apartamentos ou casas, comércios, indústrias entre outros possuem equipamentos que mensalmente são lidos para fins de tarifação, são eles os medidores que podem ser de água, luz, gás. Esses equipamentos foram evoluindo e hoje é possível fazer essa medição sem ter contato direto com o aparelho, através de telemetria por exemplo.

Esses medidores são aparelhos fundamentais para as empresas que fornecem os serviços terem controle do fornecimento e dos custos para a correta cobrança dos consumidores. Isso não é diferente no caso das redes inteligentes sendo o elemento fundamental entre o cliente e as concessionárias que fornecem o serviço de energia elétrica. As informações de consumo podem ser obtidas em tempo real, facilitando o serviço dos provedores através de medidores inteligentes e das AMR (*Automatic Meter Reading*) e AMI (*Advanced Metering Infrastructure*) modernizada. A diferença entre as duas formas de medição está na forma de comunicação onde na primeira a comunicação é unidirecional da residência para com a empresa enquanto que a segunda possui uma comunicação bidirecional.

Utilizando a AMI, que possui uma estrutura mais avançada e bidirecional é possível que a empresa possa, com as informações de consumo, traçar o perfil do consumidor. Por outro lado, o cliente pode, em tempo real, também ter acesso à algumas informações como o valor do kWh (kilowatt-hora) e estimativas de consumo.

Além da modernização, a implantação de uma AMI depende de vários fatores que devem ser analisados tais como a capacidade de informações e de comunicação e a segurança da informação, além da integração, auditoria e normatização (LOPES et al, 2012). Existe uma outra questão aliada à segurança que é a privacidade. Através das informações recolhidas pelo medidor é possível saber quantas pessoas moram na residência, que tipo de equipamentos são utilizados entre outras informações (NUNEZ, 2012). Muitos medidores não possuem qualquer segurança em seus equipamentos permitindo que qualquer pessoa possa, com a utilização de uma antena e um

amplificador, ter acesso aos dados facilmente. Com a utilização de uma AMI que criptografe os dados, os dados podem ser com segurança e garantindo a privacidade dos usuários (WILLIAMS, 2012).

Mas enfim, qual a ligação entre as tecnologias sem fio e o medidor inteligente? Simplesmente a de flexibilizar a comunicação evitando o uso de cabeamento. É possível utilizar o medidor para uma comunicação no interior da residência e também fora do mesmo. Viu-se na seção sobre NAN, que os medidores podem se comunicar entre si, formando uma rede Mesh interconectando com algum nó diretamente ligado à concessionária. Se cada vez mais, as pessoas querem evitar a utilização de fios em seus equipamentos, que demandam maiores custos e menor flexibilidade, não seriam os medidores que utilizariam dos mesmos.

Com a utilização de tecnologias sem fio também pode ser possível o desenvolvimento de automações residenciais envolvendo os medidores. Pode ser possível desligar equipamentos remotamente ou então que o próprio medidor, através de uma inteligência artificial, possa decidir se o equipamento deve ser ou não desligado, qual o melhor horário para isso, aprendendo assim como os equipamentos eletrônicos se comportam podendo disponibilizar para o usuário quais deles consomem mais.

O medidor inteligente traria maior comodidade para os usuários, que poderiam economizar sem se preocupar em retirar equipamentos da tomada além de poder desligar os mesmos de forma remota. Outro benefício a ser levantado é com relação aos carros elétricos onde a utilização desses quanto ao armazenamento de energia seria um ponto forte (RIVERA et al, 2013, p. 43-84). O medidor seria capaz de permitir a utilização da energia armazenada nos veículos para alimentar a residência em casos de quedas de energia ou até mesmo para aliviar algum problema encontrado na concessionária. Seria possível até abastecer o veículo a distância.

Os fabricantes de equipamentos em conjunto com as concessionárias é que devem analisar qual tecnologia seria mais viável e que apresente melhores resultados. Em (NETTO et al, 2013) levantou-se uma tabela com informações sobre as tecnologias sem fio a fim de decidir qual delas seria mais propícia à utilização em uma AMI. O trabalho propõe uma arquitetura envolvendo os medidores para que a concessionária possa ter acesso às informações. O sistema basicamente prevê uma comunicação entre os medidores que representam os nós da rede onde o mesmo deve mensurar os dados de

consumo e fornecer as informações através de um barramento conectado à um dispositivo de transmissão/recepção de comunicação sem fio. Toda a comunicação termina em um nó central que está ligado à empresa concessionária. A figura 12 apresenta a arquitetura proposta e a tabela 4 traz as informações levantadas.

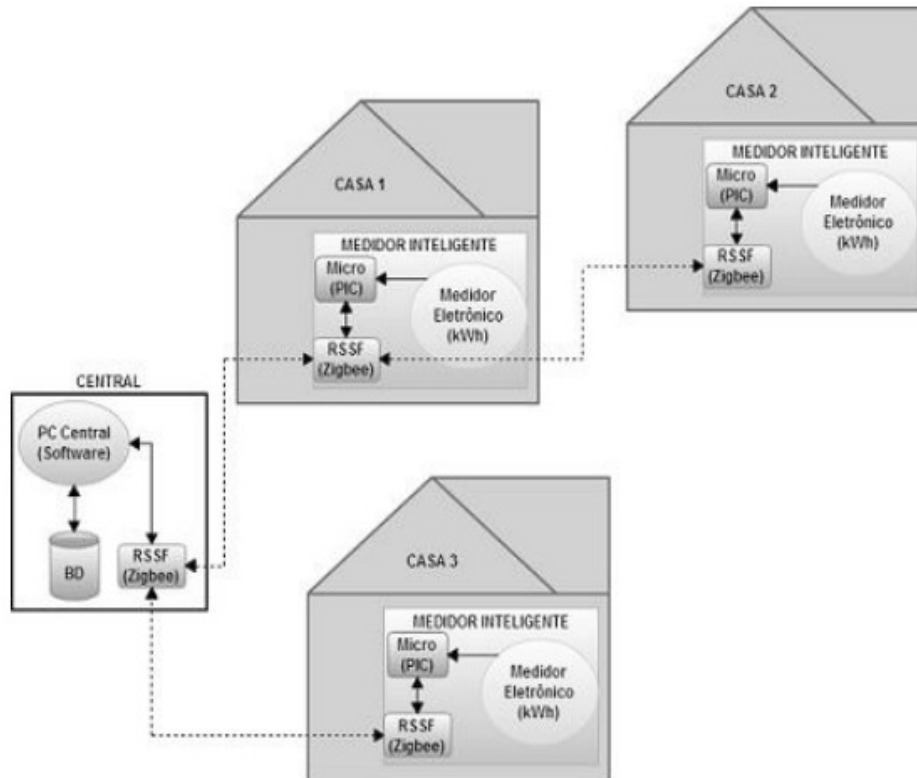


Figura 12 - Modelo de arquitetura para comunicação entre a concessionária e as residências

Fonte: (NETTO et al, 2013)

Tabela 4 – Tecnologias de comunicação sem fio para AMI

Norma	Tempo de detecção	Alcance	Consumo	Taxa de transf.
Wi-fi	30s	30m	Médio	54Mbps
Bluetooth 2.0	2,5ms – 10,2s	10m	Baixo	3 Mbps
MiWi	-	65m	Muito baixo	-
ZigBee	30ms	40 - 120m	Baixo	250Kbps
ZigBee PRO	30ms	90 - 3200m	Baixo	250Kbps

Fonte: (NETTO et al, 2013)

Conforme apresentado na tabela e concluído no trabalho, a tecnologia que apresentou um resultado melhor nesse caso foi o *ZigBee* devido à baixa taxa de

transferência de dados, alto alcance, economia e desempenho. O trabalho termina mencionando ainda sobre as vantagens de utilizar uma rede Mesh nesse contexto.

Em 7 de agosto de 2012, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) disponibilizou uma resolução normativa que regulamenta os sistemas de medição eletrônica de energia elétrica de unidades consumidoras do Grupo B (residencial, rural e demais classes, exceto baixa renda e iluminação pública) (ANEEL, 2012). Todos os medidores eletrônicos utilizados no país devem seguir essas normas havendo 2 tipos de medidores: o primeiro, a ser instalado sem ônus, fazendo com que o usuário faça adesão à tarifa branca (aquela que varia conforme faixas de horário de consumo) e; a segunda que seria um modelo mais completo, mais aderente ao serviço de medição inteligente, onde a concessionária poderia cobrar pela instalação.



Figura 13 - Exemplo de medidor inteligente industrial
Fonte: ecilenergia.com.br

A figura 13 apresenta um medidor inteligente da empresa Ecil para aplicações voltadas a indústrias e subestações. O equipamento possui suporte as tecnologias *Wi-fi*, GPRS, PLC, ETH e Mesh, podendo ser aplicado em AMR e AMI nas redes de distribuição comuns e também nas redes inteligentes. Já a figura 14 apresenta um medidor, da mesma empresa, para aplicações residências tendo suporte à tecnologia *ZigBee*, medição de energia ativa, corte e religamento remoto funcionando até como um roteador, permitindo a leitura de outros equipamentos via rede, como medidores de água e gás.



Figura 14 - Exemplo de medidor inteligente residencial
Fonte: ecilenergia.com.br

6 PROJETOS NACIONAIS

Diferentemente das telecomunicações onde o usuário pode decidir qual empresa contratar, a energia elétrica é fornecida por somente uma empresa dependendo da região da qual a residência pertence. A concessionária é responsável por toda infraestrutura abastecendo toda a região da qual tenha concessão. No Brasil, a tecnologia das redes inteligentes ainda é incipiente e algumas empresas já estão investindo nesse ramo. O primeiro passo da modernização foi a substituição de medidores eletromecânicos por medidores eletrônicos porém sem inteligência. A implantação do sistema no país demanda de muito estudo e análise pois a diversidade é muito grande entre as regiões atendidas pelas concessionárias, além de particularidades elétricas e sócio-econômicas. Um exemplo disso é a média de consumo na área de concessão da Sulgipe (Sergipe) que é de 68kWh/mês enquanto que na Eletropaulo (São Paulo) o consumo é em média de 225kWh/mês (CAMARGO et al, 2011, p. 11-13). Portanto, é possível afirmar que o país precisará de tempo para adotar essa nova arquitetura.

6.1 PROGRAMA SMART GRID LIGHT (LIGHT, 2010)

A concessionária Light, que atende a cidade do Rio de Janeiro, lançou, em Setembro de 2010, um programa de P&D (pesquisa e desenvolvimento) na área de redes inteligentes visando a automação e medição aplicadas desde as redes de distribuição até as residências dos clientes. Vencedor do prêmio *Metering Awards* 2011, na categoria *Smart Grid*, o projeto da Light foi considerado o melhor da América Latina.

A previsão inicial do projeto ficou na casa de 35 milhões de reais tendo como foco melhorias na qualidade do serviço e no atendimento com o cliente, detecção de fraudes e falhas no sistema, geração e armazenamento distribuído e até suporte à novos tipos de consumidores tais como os veículos elétricos, entre outros.

O programa não entra em detalhes sobre a infraestrutura de tecnologia adotada. Somente menciona que o projeto possui 5 fases que vão de L1 à L5 onde na primeira delas prevê o desenvolvimento da infraestrutura e de telecomunicações necessária para suporte ao programa. Também é prevista nessa fase as alterações necessárias para os medidores elétricos que segundo a empresa, serão de fornecedores diferentes porém padronizados para que sejam interoperáveis.

Os medidores possuirão certificados digitais e serão de dois tipos: o primeiro com um mostrador embutido onde o medidor é instalado na residência e outro com um mostrador remoto onde o medidor fica instalado fora da residência. A empresa ainda prevê que os consumidores terão outras formas de acessar os dados tais como smartphones, aplicativos web, redes sociais e televisores.

O site apresenta um link para o status do programa onde é mencionado que o programa está na finalização dos preparativos para projetos-piloto onde o primeiro seria implantado para 250 consumidores da comunidade do Morro da Formiga, na Tijuca.

6.2 PROGRAMA SMART GRID DA AES ELETROPAULO

A empresa AES Eletropaulo é responsável por distribuir energia elétrica para 24 municípios da região metropolitana de São Paulo incluindo a capital, atendendo assim mais de 17 milhões de pessoas. A concessionária previu um investimento de mais de 70 milhões de reais para transformar Barueri no primeiro município de região metropolitana a ter uma rede de transmissão de energia inteligente.

Os principais motivadores para a implantação são:

- Melhorar a qualidade dos serviços prestados;
- Reduzir perdas comerciais e inadimplências;
- Reduzir os custos operacionais;

- Otimizar os investimentos na rede elétrica;
- Melhorar a gestão dos ativos;
- Promover a eficiência energética;
- Estimular o uso de inovação nos investimentos da rede.

Os habitantes de Barueri poderão, através do visor do medidor digital, visualizar o consumo de energia, que também poderá ser consultado à distância, no site da AES Eletropaulo, permitindo assim que as famílias gerenciem o seu consumo e acompanhem o valor da conta de energia. Além de residências, o programa prevê instalação de medidores em comércios, indústrias e prédios públicos.

A empresa traz informações cronológicas do projeto que vão de 2010 até 2017 dentre os quais se destacam atividades como a implantação da rede *WiMax* e integração com os medidores na chamada última milha (2013-2014), instalações de medidores nos clientes em três etapas (2013-2017) e inauguração de um novo centro de medições (2014). A utilização de redes Mesh e PLC também é prevista. A figura 15 apresenta a arquitetura proposta pela empresa.

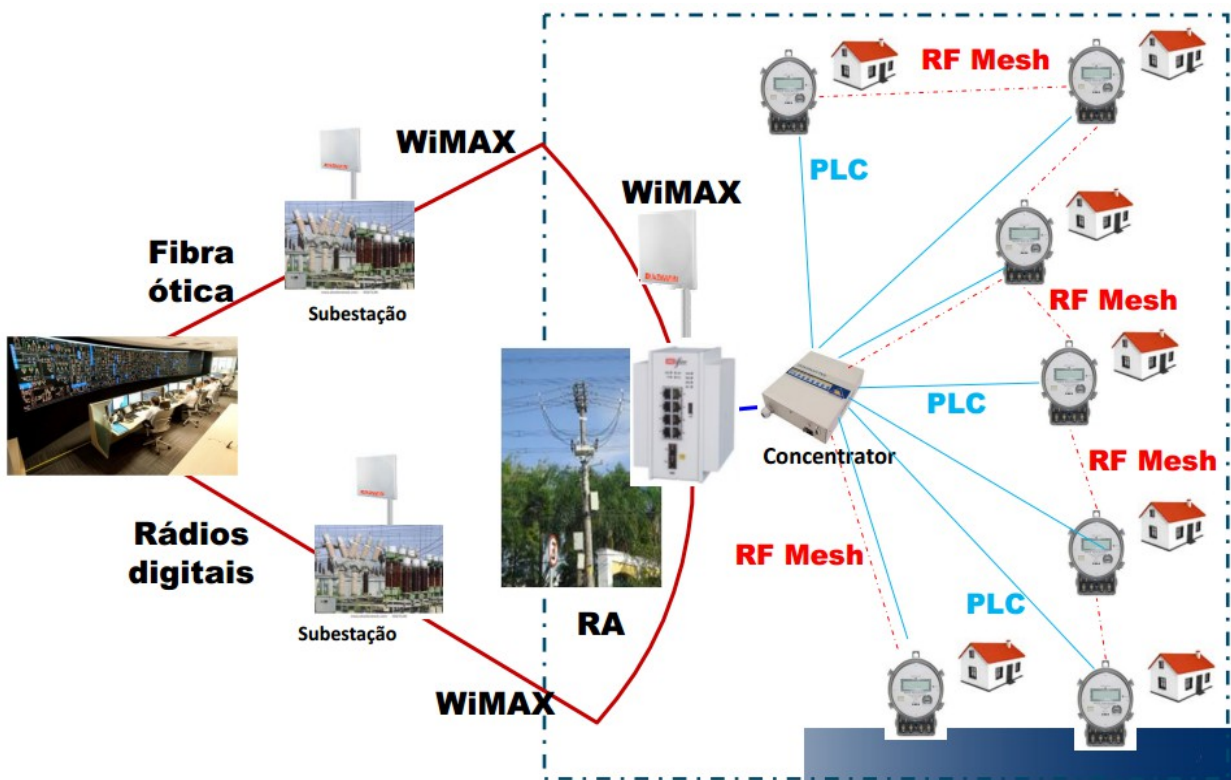


Figura 15 - Projeto de rede inteligente proposto pela AES Eletropaulo.
Fonte: (ELETROPAULO)

Três novos softwares denominados DMS (*Distribution Management System*), OMS (*Outage Management System*) e MWM (*Mobile Workforce Management*) foram descritos para auxiliar no sistema analisando as informações recebidas identificando local da ocorrência e o envio de equipes mais próximas para acompanhar e finalizar o processo. Além desses procedimentos, também é previsto a execução de comandos remotos.

O projeto conta com a parceria da USP/Enerq, Sinapsis Inovação em Energia, e a FITEC (Empresa que presta serviços de P&D).

6.3 PROJETO CIDADES DO FUTURO (CEMIG, 2012)

A Cemig, concessionária responsável pelo fornecimento de energia em 805 municípios em Minas Gerais e Rio de Janeiro (incluindo a Light). A concessionária propõe o projeto Cidades do futuro pretendendo investir mais de R\$ 20 milhões nas redes inteligentes, implantando o sistema em Sete Lagoas (MG).

O projeto prevê os mesmos benefícios que os outros programas tais como melhorias em qualidade e atendimento ao cliente, detecção de problemas de maneira mais veloz, além de fornecer informações como consumo e valores aos usuários. Além disso, poderá ser possível uma integração com outras formas alternativas de geração de energia como a solar por exemplo. Assim, o usuário poderia produzir sua própria energia.

A empresa realizou pesquisas e testes com tecnologias sem fio, estudando implantação de *WiMAX*, *Wi-fi*, *ZigBee* e *Bluetooth* em parcerias com a CPqD e a FITEC.

7 EXEMPLO DE PROJETOS INTERNACIONAIS

Em uma pesquisa no site de buscas google.com com as palavras chave “**Smart Metering Projects Map**”, é possível ver uma mapa apresentando todas as regiões que vêm adotando as redes inteligentes no mundo. A figura 16 mostra que os Estados Unidos e a Europa, são as regiões com maior utilização da nova tecnologia de distribuição de energia. Porém, é possível ver que vários outros países como Argentina, Malásia e África do Sul também possuem investimentos. O mapa traz em sua legenda símbolos com formas diferentes onde o círculo representa a realização de um projeto e triângulo

invertidos representam projetos piloto ou em fase de testes. Além disso, são usadas três cores onde vermelho significa eletricidade; azul, água e verde, gás.



Figura 16 - Regiões que adotaram as redes inteligentes
Fonte: google

7.1 ESTADOS UNIDOS

Em dezembro de 2007, o Ato de Independência de Energia e de Segurança, aprovado pelo congresso e pelo presidente dos EUA, apoiaram as atividades ligadas as redes inteligentes pelo departamento americano de energia (DOE). O departamento demonstrou liderança nessa questão e buscou parcerias com o setor de *smart grids* da NTSC (*National Science and Technology Council*) e com a *Federal Smart Grid Task Force* criada estabelecida pelo Ato descrito anteriormente que inclui especialistas de 11 agências federais. Essa força tarefa é composta de diversos órgãos que têm como missão a sensibilização, coordenação e integração das diversas atividades que envolvem as redes inteligentes (U.S DEPARTMENT OF ENERGY).

São vários os projetos sendo implantados nos Estados Unidos, dentre eles o projeto IntelliGrid da EPRI (*Electric Power Research Institute*). O instituto é responsável por pesquisas, desenvolvimentos e demonstrações relacionados à distribuição, geração e

uso da eletricidade e possui um projeto completo dividido em 4 subprojetos: Coordenação, Análise e Transferência de Tecnologia e tecnologias de informação e comunicação para sistemas de transmissão; sistemas de distribuição inteligente e integração com o cliente inclusive medição. Dentre as tecnologias que estão sendo estudadas estão o *ZigBee 2.0* para aplicações em HAN; *WiMax* e *Wi-fi* na área de comunicações de serviços públicos além de sistemas celulares e geoespaciais (GIS). Anualmente são disponibilizados documentos com o status do projeto (ELECTRONIC POWER RESEARCH INSTITUTE, 2012).

Outro grande projeto é o *Pacific Northwest Smart Grid Demonstration* que está sendo desenvolvido nos estados de Idaho, Montana, Oregon, Washington, and Wyoming por entidades públicas e privadas demandando inicialmente aproximadamente \$178 milhões. Da mesma forma que o projeto mencionado anteriormente, são divulgados boletins anuais contendo o status do projeto. Dentre os objetivos estão a validação da rede inteligente e modelos de negócio; prover uma comunicação bidirecional; geração distribuída; armazenamento de energia; aplicações inteligentes e integração com veículos elétricos. Uma das empresas envolvidas, a *Flathead Electric Cooperative* reportou trabalhos na área de comunicações e AMI envolvendo *Wi-fi* (PACIFIC NORTHWEAST).

7.2 EUROPA

São vários os trabalhos sendo realizados na Europa e em estado bastante avançado. Dentre eles está o projeto *PowerMatching City* da DNV KEMA Energy and Sustainability. Desde 2009, 25 residências da cidade de Groningen participaram dos testes e hoje são 42 residências. Com relação às aplicações na área de comunicações destacam-se:

- Obtenção remota de informações do medidor (inteligente);
- Gerenciamento dos produtores e consumidores de energia nos domicílios;
- Controle do processo de carregamento para carros elétricos;
- Coleta de dados em um banco de dados central;
- Disponibilização de aplicações web para os diversos grupos de usuários.

O projeto GRID4EU é considerado o maior projeto europeu na área das redes inteligentes apresentando um consórcio de 6 distribuidores energéticos (ERDF, Enel Distribuzione, Iberdrola, CEZ Distribuce, Vattenfall Eldistribution and RWE) e 27 empresas parceiras nas áreas de serviços públicos, fornecedores de energia, fabricantes e institutos de pesquisa. O projeto é previsto para uma duração de 51 meses tendo iniciado em 2011 com previsão de término em 2016. Atualmente está na fase de testes de campo e exploração de dados e funcionalidades. Entre as tecnologias de comunicação previstas para testes estão o *ZigBee* com aplicações residências devido ao baixo custo e as baixas taxas, GPRS, *WiMAX* e LTE (4G) (GRID4EU).

7.3 CHINA

A China enfrentou em 2005 sérios problemas energéticos que impactaram na operação de várias empresas e desde então o governo tem investido de forma agressiva no setor energético. O programa foi dividido em três estágios sendo eles: Planejamento e testes (2009-10), construção e desenvolvimento (2010-15) e atualização (2016-20). O país tem um grande desafio pois a demanda por energia tem crescido consideravelmente e por consequência a indústria energética também (LI, 2009, p. 1-10).

8 CONCLUSÕES

As *smart grids* ou redes inteligentes, que unem a rede elétrica e a rede de comunicações, estão trazendo modernidade para o sistema elétrico mundial. Muitos países estão investindo em pesquisas e desenvolvimento dessa tecnologia a fim de otimizar o sistema e evitar os problemas enfrentados pelo sistema atual.

As tecnologias de redes sem fio se fazem presentes nesse meio interligando as empresas fornecedoras e seus clientes. Os responsáveis pela implantação se deparam com várias tecnologias e topologias que podem ser implementadas e devem analisar as mesmas a fim de procurar soluções mais baratas, flexíveis e é claro, que atendam às necessidades. Uma outra preocupação que deve ser analisada é com relação à segurança das informações pois uma estrutura sem segurança pode fornecer informações úteis à estranhos e trazer problemas para os usuários. Dentre as tecnologias abordadas estão o *Zigbee*, *Bluetooth*, *Wi-fi* e *WiMAX* e suas aplicações que podem se fazer presentes na rede de transmissão e rede de acesso. O *WiMAX* por alcançar maiores distâncias pode ser implementado no transporte de dados e as demais mencionadas podem se fazer presentes nas redes de acesso. Dentre essas, se destaca o *Zigbee* por ser de fácil implementação, flexível, robusto, com baixos requisitos de largura de banda e baixo custo de implantação e operação dentro de um espectro não licenciado que tornam essa tecnologia aliada à uma topologia Mesh, uma boa alternativa a ser utilizada em redes HAN e NAN.

Portanto, são inúmeros os estudos e trabalhos necessários para aplicação das redes inteligentes. Esse trabalho apresentou algumas alternativas de tecnologias a serem empregadas para transmissão de dados porém ainda existem vários temas que permitem estudos como as tecnologias com fio para áreas em que não é viável a utilização de redes sem fio ou até mesmo por problemas com infraestruturas legadas, além de temas como segurança, gerência, controle e qualidade de serviço, sem mencionar os temas ligados à área de eletrônica.

REFERÊNCIAS

ULTIMO SEGUNDO. **Relembre os maiores blecautes das últimas décadas pelo mundo.** IG. 2009. Disponível em < <http://ultimosegundo.ig.com.br/apagao/relembre+os+maiores+blecautes+das+ultimas+decadas+pelo+mundo/n1237786435371.html> >. Acesso em 04 abr. 2014.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Smart Grid.** Grupo de Trabalho de Redes Elétricas Inteligentes. 2010, p. 228. Disponível em < http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/acoes/Energia/Relatxrio_GT_Smart_Grid_Portaria_440-2010.pdf >. Acesso em: 20 mai. 2014.

CARVALHO, Marcelo S. R. M. **A trajetória da Internet no Brasil: do surgimento das redes de computadores à instituição dos mecanismos de governança.** 2006. 259 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Engenharia de Sistemas de Computação) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. **Apagão elétrico custou R\$ 45 bilhões, aponta auditoria do TCU.** 2009. Disponível em < http://portal2.tcu.gov.br/portal/page/portal/TCU/imprensa/noticias/detalhes_noticias?noticia=1635570 >. Acesso em: 20 mai. 2014.

CHEN, Allan. **Berkeley Lab Study Estimates \$80 Billion Annual Cost of Power Interruptions.** Research News Berkeley Labs. 2005. Disponível em < <http://www.lbl.gov/Science-Articles/Archive/EETD-power-interruptions.html> >. Acesso em: 20 mai. 2014.

GUNGOR, Vehbi C. et al. **Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards.** Industrial Informatics, IEEE Transactions on. Vol. 7, 10 f. 2011.

LOPES, Yona et al. **Smart Grid e IEC 61850: Novos Desafios em Redes e Telecomunicações para o Sistema Elétrico.** Brasília, set. 2012. Disponível em < http://sbtr.org.br/sbtr2012/publicacoes/99346_1.pdf >. Acesso em: 20 mai. 2014.

TJENSVOLD, Jan. Magne **Comparison of the IEEE 802.11, 802.15.1, 802.15.4 and 802.15.6 wireless standards.** University of Stavanger Norway. 2007. Disponível em: < <http://janmagnet.files.wordpress.com/2008/07/comparison-ieee-802-standards.pdf> >. Acesso em: 20 mai. 2014.

ROCHA, João W. V. **Redes WLAN de Alta Velocidade,** tutorial do Portal Teleco. 2006. Disponível em: < http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredeswlanl/pagina_5.asp >. Acesso em: 20 mai. 2014.

WI-FI ALLIANCE. **Who We Are.** Disponível em: < <http://www.wi-fi.org/who-we-are> >. Acesso em: 20 mai. 2014.

TEIXEIRA, Edson Rodrigues D. **Wireless Mesh Networks**. Tutorial do Portal Teleco. 2004. Disponível em: < <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwmn> >. Acesso em: 20 mai. 2014.

ALECRIM, Emerson. **Tecnologia Bluetooth: o que é e como funciona?**. INFO WESTER. 2013. Disponível em: < <http://www.infowester.com/bluetooth.php> >. Acesso em: 20 mai. 2014.

PORTERFIELD, Deborah. **New products: Bluetooth-enabled toilet and more**. USA Today, 25 mai. 2013. Disponível em: < <http://www.usatoday.com/story/tech/columnist/2013/05/25/bluetooth-toilet-led-lamp-passport-data/2347663/> >. Acesso em 20 mai. 2014.

MERRIT, Rick. **Bluetooth group explores apps in smart grid**. EE Times, San Jose, 24 fev. 2010. Disponível em: < http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1173134 >. Acesso em: 20 mai. 2014.

BARGOENA, Rodrigo. **WiMax I: Estudo de Caso em Parauapebas – PA**. Tutorial do Portal Teleco. 2011. Disponível em: < <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutoriawimaxpa1/> >. Acesso em: 20 mai. 2014.

WiMAX Forum. **WiMAX Forum Member Companies**. Disponível em: < <http://www.wimaxforum.org/about/member-companies> >. Acesso em: 20. mai. 2014.

FORUM WiMax publica especificações para sistemas de smart grid. ComputerWorld. 25 jan. 2013. Disponível em: < <http://computerworld.com.br/tecnologia/2013/01/24/forum-wimax-publica-especificacoes-para-sistemas-de-smart-grid/> >. Acesso em: 20 mai. 2014.

FRIAS, Renato N. **ZigBee**. Tutorial do Portal Teleco. 2004. Disponível em: < <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialzigbee/default.asp> >. Acesso em: 20 mai. 2014.

MOHAMMADI, Nasim B. **An Intrusion Detection System For Smart Grid Neighborhood Area Network**. 2008. 141 f. Dissertação (Mestrado em Ciências no Programa de Ciências da Computação) – Universidade Ryerson, Toronto, 2008.

YAZDI, Mohammad S. **Optimal Resource Allocation For QoS Supports In Smart Grid Neighborhood Area Network**. 2013. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Aplicadas no Programa de Redes de Computadores) – Universidade Ryerson, Toronto, 2008.

PACIFIC NORTHWEST NATIONAL LABORATORY. **Home Area Networks and the Smart Grid**. U.S. Department of Energy, Richland, Washington. 18 f. 2011.

BALAKRISHNAN, Meera. **Smart Energy Solutions for Home Area Networks and Grid-End Applications**. Freescale. 2012. Disponível em: < <http://cache.freescale.com/files/32bit/doc/brochure/PWRARBYNDBITSSSES.pdf> >. Acesso em: 06 ago. 2014.

NUNEZ, Christina. **Who's Watching? Privacy Concerns Persist as Smart Meters Roll Out.** 2012. Disponível em: < <http://news.nationalgeographic.com/news/energy/2012/12/121212-smart-meter-privacy/> >. Acesso em 06 ago. 2014.

WILLIAMS, Martyn. **Medidores inteligentes oferecem risco à privacidade, avaliam pesquisadores.** ComputerWorld. 2012. Disponível em: < <http://computerworld.com.br/seguranca/2012/11/05/medidores-inteligentes-oferecem-risco-a-privacidade-avaliam-pesquisadores/> >. Acesso em: 06 ago. 2014.

RIVERA, Ricardo et al. Redes elétricas inteligentes (smart grid): oportunidade para adensamento produtivo e tecnológico local. **Revista do BNDES.** Rio de Janeiro. n. 40. p. 43–84. dez. 2013.

NETTO, Ezequiel de O. P et al. **Rede de Comunicação de Medidores Inteligentes Sem Fio.** 2013. Disponível em: < <http://www.bibliotekevirtual.org/index.php/2013-02-07-03-02-35/simposios/197-encom2013/997-encom2013-a18.html> >. Acesso em: 06 ago. 2014.

BRASIL. ANEEL. **Resolução ANEEL nº 502 de 7 de agosto de 2012.** Regulamenta sistemas de medição de energia elétrica de unidades consumidoras do Grupo B. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012502.pdf> >. Acesso em: 06 ago. 2014.

CAMARGO, Ivan et al. Os Motivadores Brasileiros para as Redes Inteligentes. **Metering International Latin America.** p. 11-13. 2011

LIGHT. **Programa Smart Grid Light.** Disponível em: < <http://smartgridlight.com.br/> >. Acesso em 06 ago. 2014.

AES ELETROPAULO. **AES Eletropaulo anuncia o maior projeto de Smart Grid do país.** Disponível em: < <https://www.aeseletropaulo.com.br/imprensa/nossos-releases/conteudo/aes-eletropaulo-anuncia-o-maior-projeto-de-smart-grid-do-pa%C3%ADs> >. Acesso em: 06 ago. 2014.

CEMIG. **Projeto Cidades do Futuro.** 2012. Disponível em: < http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/nossos_programas/Redes_Inteligentes/Paginas/default.aspx >. Acesso em: 06 ago. 2014.

U.S DEPARTMENT OF ENERGY. **Federal Smart Grid Task Force.** Disponível em: < <http://energy.gov/oe/technology-development/smart-grid/federal-smart-grid-task-force> >. Acesso em: 06 ago. 2014.

ELETRONIC POWER RESEARCH INSTITUTE. **IntelliGrid Program.** 2012 Disponível em: < <http://www.epri.com/abstracts/pages/productabstract.aspx?ProductID=000000003002000046> >. Acesso em: 06 ago. 2014.

PACIFIC NORTHWEAST. **Pacific Northwest Smart Grid Demonstration Project.** Disponível em: < <http://www.pnwsmartgrid.org/> >. Acesso em: 06 ago. 2014.

GRID4EU. Disponível em: < <http://www.grid4eu.eu/> >. Acesso em: 06 ago. 2014.

LI, Jerry. **From strong to smart: the chinese smart grid and its relation with the globe.** Asia Energy Platform News. Hongkong/Singapore, p. 1-10, set. 2009.

MALEY, Ryan. RENNER, Traci. **ZigBee Alliance Announces Standards Activity For Smart Grid Neighborhood Area Networks.** ZigBee Alliance. 2014. Disponível em: < <https://www.zigbee.org/default.aspx?Contenttype=ArticleDet&tabID=332&moduleId=&Aid=484&PR=PR> >. Acesso em: 20 mai. 2014.

PRISMA. **HotZone.** Disponível em: < www.prismate.com.br/hotzone.php >. Acesso em: 15 set. 2014.

WIMAX Forum® Publishes Smart Grid Utility Requirements Document for WiGRID Networks. **WiMAX FORUM.** 2013. Disponível em: < <http://www.wimaxforum.org/press-release/wimax-forum-publishes-smart-grid-utility-requirements-document-for-wigrig-networks> >. Acesso em: 20 mai. 2014.

MORGAN, Trevor. **Smart grids and electric vehicles:Made for each other?** International Transport Forum. 2012. Disponível em: < <http://www.internationaltransportforum.org/jtrc/DiscussionPapers/DP201202.pdf> >. Acesso em: 26 set. 2014.