

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO

LUCAS BORTOLASO TORRI

**Uma Proposta de Arquitetura Extensível
para Micro Medição em Smart Appliances**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para a obtenção do grau de Mestre em Ciência
da Computação

Prof. Dr. Carlos Eduardo Pereira
Orientador

Porto Alegre, março de 2012.

CIP – CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

Torri, Lucas Bortolaso

Uma Proposta de Arquitetura Extensível para Micro Medição em Smart Appliances / Lucas Bortolaso Torri – Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Computação, 2011.

117 f.:il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Computação. Porto Alegre, BR – RS, 2011. Orientador: Carlos Eduardo Pereira.

1.Smart Grid. 2. Smart Appliances 3. Eletrodomésticos inteligentes. 4. Micro medição. I. Pereira, Carlos Eduardo. II. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Prof. Rui Vicente Oppermann

Pró-Reitor de Pós-Graduação: Prof. Aldo Bolten Lucion

Diretor do Instituto de Informática: Prof. Luís da Cunha Lamb

Coordenador do PPGC: Prof. Álvaro Freitas Moreira

Bibliotecária-Chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

Agradecimentos

Esta é a parte que deixei para escrever por último neste projeto. Não porque é a menos importante, mas provavelmente porque é a mais difícil. Muito esforço foi despendido para chegar a esta, mas não seria possível escrevê-la se não fosse pela ajuda das pessoas que, diretamente ou não, me passaram a força, conhecimentos, bons e maus momentos necessários para fazê-lo. E não há nada mais justo do que reconhecer e ser grato àqueles que lhe propiciaram mais uma conquista.

Primeiramente, gostaria de agradecer a todos os professores e colegas da UFRGS que fizeram parte deste processo, em especial a Professora Érika, que me deu um grande voto de confiança e me aceitou no programa, e o Professor Carlos Eduardo, que me auxiliou a escolher e desenvolver o projeto. Não poderia esquecer o pessoal do Lab, que sempre estiveram dispostos a ajudar. Também o colega Victor, um cara solícito, dedicado e muito competente, que foi parte fundamental do funcionamento do projeto.

Em segundo, o pessoal do escritório pelas ótimas discussões e risadas.

Em terceiro, minha família. Aos primos e tios que me trouxeram bons momentos e que sempre foram muito prestativos, mas principalmente as tias Gêni e Féia, por terem me adotado nesta vinda para Porto Alegre. Pai e Mãe, os quais são sempre o meu maior exemplo de valores e ideais. Meu irmão Bruno, que é meu grande amigo e motivo de felicidade desde que nasceu. Fico extremamente orgulhoso de ter vocês por perto me apoiando.

Por último, talvez a pessoa mais fundamental de tudo isto, minha Isa, companheira que a cada dia me deixa mais admirado. Não há como não amar uma pessoa tão corajosa como ela, que me mostra que sempre é possível conseguir aquilo que se quer, não importa quão difícil seja ou quanto medo se tenha.

Por favor, tomem esta pequena nota como demonstração pela gratidão e admiração que tenho por todos vocês. Muito obrigado.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	8
LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE TABELAS.....	14
RESUMO.....	16
ABSTRACT.....	18
1 INTRODUÇÃO	20
1.1 Motivação	21
1.2 Objetivos.....	21
1.3 Organização do Trabalho.....	21
2 SMART GRID	23
2.1 Conceitos do Smart Grid	24
2.1.1 Advanced Metering Infrastructure.....	25
2.1.2 Transmissão e Distribuição	29
2.1.3 Geração.....	30
2.1.4 Armazenamento de Energia.....	30
2.1.5 Mercado	31
2.2 Padronização do Smart Grid.....	33
2.2.1 Austrália.....	33
2.2.2 Brasil.....	35
2.2.3 China.....	36
2.2.4 Coreia do Sul	37
2.2.5 Estados Unidos da América.....	40
2.2.6 União Europeia.....	45
3 SMART APPLIANCES.....	49

3.1	Trabalhos Acadêmicos	51
3.2	Iniciativas Privadas.....	54
3.3	Tecnologias Relacionadas	58
3.3.1	Serviços	58
3.3.2	Busca e Anúncio de Serviços	61
4	PROPOSTA DE ARQUITETURA PARA SMART APPLIANCES	64
4.1	Serviços	66
4.2	Serviços de Micro Medição.....	69
4.3	Mecanismo de Busca e Anúncio de Serviços.....	70
4.4	Pilha de Protocolos	73
5	IMPLEMENTAÇÃO DA ARQUITETURA PROPOSTA	74
5.1	Plataforma de Hardware	75
5.2.1	Placa de Extensão	76
5.3	Plataforma de Software	77
5.4	Modelagem da Arquitetura.....	79
5.5	Protocolo HTTP.....	82
5.6	Serviços RESTful	84
5.7	EMSYSDP.....	85
5.8	Componentes e Serviços para Micro Medição.....	86
5.9	Visão Geral da Implementação.....	88
6	VALIDAÇÃO E RESULTADOS	90
6.1	Experimentos	90
6.1.1	Agregador de Dados de Micro Medição.....	90
6.1.2	Google PowerMeter.....	95
6.1.3	Controle de Custo	96
6.1.4	Gestão de Energia.....	98
6.2	Resultados e Funcionamento da Implementação.....	99
6.2.1	Linhas de Código.....	99
6.2.2	API REST	100
6.2.3	Notificação EMSYSDP	101
6.2.4	Busca EMSYSDP	102
6.2.5	Energia.....	102
6.2.6	Funcionalidades	103

7 CONCLUSÃO.....	105
7.1 Trabalhos Futuros.....	107
REFERÊNCIAS.....	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

6LoWPAN	IPv6 over Low Power Wireless Persona Area Networks
Aneel	Agência Nacional de Energia Elétrica
ADC	Analog-to-Digital Converter
AHAM	Association of Home Appliance Manufacturers
AMI	Advanced Metering Infrastructure
AMR	Automated Meter Reading
AMT	Amorphous Metal Transformer
API	Application Programming Interface
CEEE	Companhia Estadual de Energia Elétrica
CLDC	Connected Limited Device Configuration
CPU	Central Processing Unit
DCP	Device Control Protocol
DDC	Dynamic Demand Control
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DHCPv6	DHCP version 6
DNP3	Distributed Network Protocol
DNS	Domain Name System
DNS-SD	DNS Service Discovery
DOE	Department of Energy
DPWS	Devices Profile for Web Services
EMD	Energy Device Management
EMSYSDP	Even More Simple Yet Service Discovery Protocol
ETP	European Technology Platform
EUA	Estados Unidos da América
FERC	Federal Energy Regulatory Commission
FPGA	Field-Programmable Gate Array
HTML	HyperText Markup Language

IANA	Internet Assigned Numbers Authority
ICMP	Internet Control Message Protocol
ICMPv6	ICMP version 6
IDE	Integrated Development Environment
IEA	International Energy Agency
Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IP	Internet Protocol
IPv6	IP version 6
JSON	JavaScript Object Notation
JVM	Java Virtual Machine
LAN	Local Area Networks
LR-WPAN	Low-Rate Wireless Personal Area Networks
mDNS	Multicast DNS
MIDP	Mobile Information Device Profile
NIST	National Institute of Standards and Technology
OSGi	Open Service Gateway interface
PAP	Priority Action Plans
PLC	Power Line Communication
RAM	Random-Access Memory
REST	Representative State Transfer
RMI	Remote Method Invocation
RPC	Remote Procedure Call
SAA	Source Address Autoconfiguration
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SDD	Strategic Deployment Document
SO	Sistema Operacional
SOA	Service Oriented Architectures
SOAP	Simple Object Access Protocol
SOCRADES	Service-Oriented Cross-layer Infrastructure for Distributed Smart Embedded Devices
SPOT	Small Programmable Object Technology
SRA	Strategic Research Agenda
SSDP	Simple Service Discovery Protocol
TCP	Transmission Control Protocol
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação

UDP	User Datagram Protocol
UE	União Europeia
UHV	Ultra High Voltagem
UML	Unified Modeling Language
UPnP	Universal Plug and Play
URI	Uniform Resource Identifier
URL	Uniform Resource Locator
USB	Universal Serial Bus
USN	Unique Service Name
VM	Virtual Machine
W3C	World Wide Web Consortium
WLAN	Wireless Local Area Network
XML	Extensible Markup Language

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1: CENÁRIO DE ABRANGÊNCIA DO SMART GRID.....	24
FIGURA 2.2: EXEMPLO DE UMA MICRO REDE (ETP, 2006).	25
FIGURA 2.3: ESTRUTURA DO AMI.	26
FIGURA 2.4: DEMANDA DE ENERGIA DO SUBSISTEMA SUDESTE/CENTRO-OESTE (ONS, 2009).....	31
FIGURA 2.5: RESUMO DAS OPORTUNIDADES DE MERCADO NO SMART GRID (ETP, 2008).	32
FIGURA 2.6: TAXONOMIA DO SMART GRID AUSTRALIANO (COMMONWEALTH OF AUSTRALIA, 2009).	34
FIGURA 2.7: MAPA DO CENÁRIO DE TESTES DO SMART GRID EM JUJU, COREIA DO SUL.....	40
FIGURA 2.8: DIAGRAMA CONCEITUAL DE REFERÊNCIA PARA O SMART GRID PROPOSTO PELO NIST.	42
FIGURA 2.9: FATORES DE INFLUÊNCIA NA CRIAÇÃO DO SMART GRID EUROPEU (ETP, 2006).	47
FIGURA 3.1: CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA POR SETOR NO BRASIL EM 2007.	50
FIGURA 3.2: PROPOSTA DE ELETRODOMÉSTICOS INTELIGENTES DA G.E. (GE, 2011).	54
FIGURA 3.3: DISPOSITIVOS PARA MICRO MEDIÇÃO. (A) KILL-A-WATT P4400, (B) CENT-A-METER, (C) GREENWAVE, (D) THE ENERGY DETECTIVE, (E) PICOWATT.	55
FIGURA 3.4: COMPONENTES DO SISTEMA JINI.	62

FIGURA 4.1: MODELO ARQUITETURAL DA ARQUITETURA PROPOSTA.	65
FIGURA 4.2: MODOS DE FUNCIONAMENTO DO EMSYSDP.	71
FIGURA 4.3: PILHA DE PROTOCOLOS DA ARQUITETURA PROPOSTA.	73
FIGURA 5.1: ARQUITETURA PROPOSTA E IMPLEMENTADA NO TRABALHO.	74
FIGURA 5.2: CONEXÃO ENTRE IMPLEMENTAÇÃO DA PLATAFORMA E ELETRODOMÉSTICO.	75
FIGURA 5.4: COMPARAÇÃO ENTRE A SQUAWK JAVA VM E MÁQUINAS JAVA PADRÃO (ARSENEAU <i>ET AL.</i>, 2007).	78
FIGURA 5.5: EMULADOR DA PLATAFORMA SUN SPOT.	79
FIGURA 5.6: MODELO DE CLASSES PARA DEFINIÇÃO DE MÓDULOS E SERVIÇOS.	80
FIGURA 5.7: CLASSES QUE IMPLEMENTAM O CLIENTE HTTP.	82
FIGURA 5.8: CLASSES DO SERVIDOR HTTP IMPLEMENTADO.	83
FIGURA 5.9: CLASSES COMUNS AO SERVIDOR E CLIENTE HTTP.	83
FIGURA 5.10: SERVLETS EMBARCADAS UTILIZADAS PARA PROVER A API REST.	84
FIGURA 5.11: CLASSES QUE IMPLEMENTAM O PROTOCOLO EMSYSDP.	86
FIGURA 5.12: IMPLEMENTAÇÃO EM SOFTWARE DO MÓDULO DE MICRO MEDIÇÃO.	87
FIGURA 5.13: SISTEMA EMBARCADO IMPLEMENTANDO A ARQUITETURA PROPOSTA.	88
FIGURA 5.14: BLOCOS QUE COMPÕEM A IMPLEMENTAÇÃO DA ARQUITETURA.	88
FIGURA 5.15: VISÃO GERAL DA PLATAFORMA DE SOFTWARE.	89

FIGURA 6.1: EXPERIMENTO DE VALIDAÇÃO: AGREGADOR CENTRALIZADO DE LEITURAS.....	91
FIGURA 6.3: INFORMAÇÕES DE MICRO MEDIÇÃO COLETADAS DE UMA LÂMPADA INCANDESCENTE.	93
FIGURA 6.4: INFORMAÇÕES DE MICRO MEDIÇÃO COLETADAS DE UM LAPTOP.....	94
FIGURA 6.5: INFORMAÇÕES DE MICRO MEDIÇÃO COLETADAS DE UM APARELHO TELEVISOR.....	94
FIGURA 6.6: INFORMAÇÕES COLETADAS EXIBIDAS EM UM DISPOSITIVO MÓVEL.....	95
FIGURA 6.8: GOOGLE POWER METER COM INFORMAÇÕES ENVIADAS PELO MODULO AGREGADOR.....	96
FIGURA 6.9: EXPERIMENTO DE VALIDAÇÃO: NOTIFICAÇÃO DO USUÁRIO DE CUSTO EXCEDIDO.	96
FIGURA 6.11: NOTIFICAÇÃO AO USUÁRIO DE CONSUMO EXCEDIDO....	97
FIGURA 6.12: GESTÃO DE ENERGIA DE APARELHO UTILIZANDO A PLATAFORMA (FONSECA, 2011).	99
FIGURA 6.13: COMPARAÇÃO ENTRE OS TEMPOS MÉDIOS DE REQUISIÇÃO/RESPOSTA DA API REST.	101
FIGURA 6.14: TEMPO PARA RECONHECIMENTO DE UM NOVO APARELHO NA REDE (EMSYSDP NOTIFY).....	102
FIGURA 6.15: TEMPOS DE BUSCA E RESPOSTA DE UM SERVIÇO ESPECÍFICO (EMSYSDP M-SEARCH E OK).	102
FIGURA 6.16: RELAÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA ENTRE ELETRODOMÉSTICOS E IMPLEMENTAÇÃO.	103

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1: COMPARAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE MEDIDORES (KING, 2004).	27
TABELA 2.2: COMPARAÇÃO DAS APLICAÇÕES DE SISTEMAS AMI E AMR (KING, 2004).	28
TABELA 2.3: PLANO DE IMPLEMENTAÇÃO DO SMART GRID SUL COREANO.	38
TABELA 3.1: RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DOS TRABALHOS RELACIONADOS.	53
TABELA 3.2: COMPARAÇÃO DAS FUNCIONALIDADES DOS APARELHOS DE MICRO MEDIÇÃO.	56
TABELA 3.3: EXEMPLO DE UMA REQUISIÇÃO SOAP.	59
TABELA 3.4: EXEMPLO DE UMA RESPOSTA SOAP.	59
TABELA 3.5: MÉTODOS HTTP DE UM SERVIÇO WEB RESTFUL.	60
TABELA 3.6: ESTRUTURA DE IDENTIFICAÇÃO DE UM SERVIÇO EM DNS-SD.	61
TABELA 4.2: CORPO DE UMA REQUISIÇÃO PUT ALTERANDO PROPRIEDADES DE UM MÓDULO.	68
TABELA 4.3: RESPOSTAS DA API REST DE UM DISPOSITIVO FICTÍCIO.	68
TABELA 4.4: API REST PARA ACESSO AO MÓDULO DE MICRO MEDIÇÃO.	70
TABELA 4.5: RESPOSTA XML DO SERVIÇO DE STATUS DO MÓDULO DE MICRO MEDIÇÃO.	70

TABELA 4.6: REQUISIÇÃO E RESPOSTA PARA BUSCA DE SERVIÇOS NO EMSYSDP.....	72
TABELA 4.7: MENSAGENS DE ANÚNCIO DE ENTRADA E SAÍDA DO DISPOSITIVO NA REDE.	72
TABELA 5.1: CARACTERÍSTICAS DE HARDWARE DO SUN SPOT.	76
TABELA 5.2: EXEMPLO DE CÓDIGO PARA INICIALIZAÇÃO DA PLATAFORMA.	81
TABELA 6.1: ALGORITMO SIMPLES PARA OBTENÇÃO DO STATUS DOS MICRO MEDIDORES DA REDE.	92
TABELA 6.2: <i>SERVLET</i> EMBARCADA QUE RETORNA O PREÇO MAIS RECENTE DA ENERGIA.....	97
TABELA 6.3: API REST PARA CONTROLE DO ELETRODOMÉSTICO.....	98
TABELA 6.4: LINHAS DE CÓDIGO NECESSÁRIAS PARA IMPLEMENTAR A ARQUITETURA PROPOSTA.	100
TABELA 6.5: TEMPOS MÉDIOS DE ACESSO AO SERVIÇO REST DE TENSÃO.	101
TABELA 6.7: CONSUMO DE ENERGIA DE ELETRODOMÉSTICOS.....	103
TABELA 6.8: RESUMO DAS FUNCIONALIDADES DA ARQUITETURA PROPOSTA E SUA IMPLEMENTAÇÃO.	104

RESUMO

O sistema de energia atual passou por poucas alterações desde sua concepção original, há mais de 100 anos. No entanto, a crescente complexidade da infraestrutura e da demanda global por energia vem criando diversos desafios que a sua constituição original não previa, culminando em problemas como apagões e outras falhas no seu fornecimento. Além disso, nota-se nos últimos anos, principalmente nos países desenvolvidos, uma certa diversificação na matriz energética, incentivando a utilização de fontes de energia renováveis e distribuídas. Isto se deve não apenas ao potencial energético das, mas também visando uma menor utilização de combustíveis fósseis, devido tanto a volatilidade e tendência de alta dos preços do petróleo, mas também pela necessidade de contenção do volume de emissões de gases causadores do efeito estufa.

Apesar desta defasagem do sistema de energia contemporâneo, avanços nas áreas de informática, eletrônica embarcada, além das tecnologias empregadas na construção de sensores e atuadores, têm possibilitado a criação de uma rede de energia moderna, automatizada e distribuída. Esta rede, conhecida como Smart Grid, traz novas perspectivas no gerenciamento e na operação dos sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, inserindo propostas que visam melhorar diversos fatores da rede de energia atual, aumentando sua eficiência, segurança e confiabilidade de transmissão, além da eliminação de obstáculos para a integração em larga escala de fontes de energia distribuídas e renováveis. Este novo paradigma é caracterizado por um fluxo bidirecional de eletricidade e de informações, afim de criar uma rede automatizada e distribuída de energia. Ele incorpora à grade os benefícios da computação distribuída e de comunicações para fornecer informações em tempo real e permitir o equilíbrio quase instantâneo da oferta e da procura dos bens energéticos.

Dentro do contexto de Smart Grids, Smart Appliances são uma modernização dos aparelhos eletrodomésticos quanto a sua utilização de energia, de forma que estes sejam capazes de monitorar, proteger e ajustar automaticamente o seu funcionamento às necessidades do proprietário e a disponibilidade deste recurso. Ou seja, estes possuem não apenas características de inteligência, mas também a capacidade de utilizarem as informações disponibilizados no Smart Grid para adaptar seu funcionamento.

Apesar do grande interesse despertado em torno destes conceitos, há ainda uma enorme carência de padrões e tecnologias que permitam a criação de tais aparelhos inteligentes inseridos nos ambientes domésticos e prediais. Este trabalho tem por objetivo estudar e conceituar o Smart Grid, pesquisando os grupos existentes que buscam uma padronização deste, bem como conceituar Smart Appliances, avaliando projetos e pesquisas existentes, e, principalmente, propondo uma arquitetura que permita a construção de tais dispositivos.

Os requisitos necessários para a criação desta arquitetura são discutidos ao longo da dissertação, bem como as tecnologias necessárias e existentes para permitir sua proposta. Finalmente, o funcionamento bem sucedido, através de uma implementação da mesma, é demonstrado através de diferentes experimentos, avaliando como as características do Smart Grid podem ser utilizadas para criar aparelhos eletrodomésticos capazes de usarem as informações disponíveis para melhorar seu funcionamento.

Palavras-Chave: Smart Grid, Smart Appliances, Eletrodomésticos Inteligentes, Micro Medição, Infraestrutura Avançada de Medição.

An Extensible Architecture Proposal for Micro Metering in Smart Appliances

ABSTRACT

Since its original conception, for over 100 years, the current energy system has experienced little changes. However, the increasing complexity of the infrastructure, together with the growing global demand for energy, have imposed many challenges that its original constitution did not foresee, which has resulted in problems such as blackouts along with other energy supply failures. Moreover, over the last few years, some diversification in energy generation has been seen, especially in developed countries, encouraging the use of distributed and renewable energy sources. Apart from the energetic potential offered by those sources, it aims to decrease the greenhouse gases emission volume, in addition to reduce dependency on fossil fuels, which tend to increase in price.

Despite the lack of upgrades, improvements in the areas of computing, embedded electronics, and technologies employed in sensors and actuators assembly have enabled the creation of a modern automated and distributed power grid. This grid, better known as Smart Grid, enhances several factors of the current power network, bringing new perspectives in electricity management, operation, generation, transmission and distribution. That result in increased efficiency, transmission safety and reliability, additionally eliminating obstacles in large-scale integration of renewable and distributed energy sources. This new paradigm also features a bi-directional electricity and information flow, enabling an automated and distributed energy network that incorporates the grid benefits of distributed computing and communications to provide real-time information and allowing almost instantaneous supply and demand balance of energy goods.

Within the context of Smart Grids, Smart Appliances proposes an extension of regular appliances with intelligence and self-awareness of their energy use, so that they are able to monitor, protect and automatically adjust its operation according to the owner's needs and availability of this resource. That is, besides of being smart, they feature ability to use the information available on the Smart Grid to adapt its running behavior.

Even though the increased interest around these concepts, there is still a gap of standards and technologies enabling the creation and embedding of intelligent devices in residences and buildings. The present projects attempts to study and conceptualize Smart Grid, surveying existing standardization groups, as well as conceptualize Smart Appliances, evaluating existing projects and research, proposing an architecture allowing the building of such devices.

The requirements for this architecture, together with the required and existing technologies to make the implementation feasible, are discussed throughout the project development. Finally, the architecture's successful functioning is demonstrated through

an implementation of it, together with different experiments, relying on them to evaluate the Smart Grid characteristics and how appliances can improve their operation based on the information shared throughout the Smart Grid.

Keywords: Smart Grid, Smart Appliances, Micro Metering, And Advanced Metering Infrastructure.

1 INTRODUÇÃO

Segundo o Atlas de energia elétrica do Brasil (CANGUSSU, 2008), “o consumo de energia é um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e do nível de qualidade de vida de qualquer sociedade. Ele reflete tanto o ritmo de atividade dos setores industrial, comercial e de serviços, quanto a capacidade da população para adquirir bens e serviços tecnologicamente mais avançados, como automóveis (que demandam combustíveis), eletrodomésticos e eletroeletrônicos (que exigem acesso à rede elétrica e pressionam o consumo de energia elétrica)”.

Devido a crescente demanda global por energia, o uso eficiente deste recurso tornou-se um dos temas de maior destaque da atualidade (AGÊNCIA BRASIL, 2010). Nota-se nos últimos anos, principalmente nos países desenvolvidos, uma certa diversificação na matriz energética, consequência de políticas de redução da utilização dos combustíveis fósseis, em função tanto da volatilidade e tendência de alta dos preços do petróleo quanto da necessidade de contenção do volume de emissões de gases causadores do efeito estufa a partir dos compromissos assumidos no protocolo de Kyoto, em 1992 (CANGUSSU, 2008). Além disso, a crescente complexidade da infraestrutura de energia atual, vem criando diversos desafios que a sua constituição original não previa (MASSOUD AMIN; WOLLENBERG, 2005), culminando em problemas como o apagão ocorrido em 18 estados brasileiros durante o final do ano de 2009 (REDAÇÃO TERRA, 2009).

Apesar desta defasagem do sistema de energia contemporâneo, avanços nas áreas de informática, eletrônica embarcada, além das tecnologias empregadas na construção de sensores e atuadores, têm possibilitado a criação de uma rede de energia moderna, automatizada e distribuída. Esta rede, conhecida como Rede Elétrica Inteligente (Smart Grid) (MASSOUD AMIN; WOLLENBERG, 2005), traz novas perspectivas no gerenciamento e na operação dos sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, inserindo propostas que visam melhorar diversos fatores da rede de energia atual, aumentando sua eficiência, segurança e confiabilidade de transmissão, além da eliminação de obstáculos para a integração em larga escala de fontes de energia distribuídas e renováveis.

Entre as características desta nova rede de energia inclui-se a viabilidade de uma participação muito mais ativa do usuário dentro do processo, já que este passa a receber uma série de novas informações sobre a rede elétrica, como tarifação dinâmica determinado pela demanda ou até mesmo notificações sobre futuras quedas no fornecimento de energia. Utilizando estas informações, juntamente daquelas provenientes dos aparelhos eletrodomésticos do próprio usuário, cria-se uma grande oportunidade para a utilização e integração de sistemas de automação predial/residencial capazes de lidar com as informações do Smart Grid e resultar em vantagens ao usuário. Através da utilização de tais sistemas, é possível a criação de equipamentos inteligentes,

assim como a interligação destes a sistemas de gestão de energia em edifícios e casas inteligentes, permitindo aos consumidores gerenciar melhor o uso de energia e reduzir custos relativos a utilização deste recurso.

1.1 Motivação

As vantagens apresentadas por esta nova rede de energia resultaram em uma imensa corrida industrial. A mudança para uma rede mais inteligente promete mudar o modelo de negócios da indústria e toda a sua relação com aqueles envolvidos na área de energia elétrica, do produtor até o consumidor.

Os aparelhos eletrodomésticos possuem cada vez mais capacidade de processamento, além de assumirem uma grande parcela na tarefa de economia de energia doméstica e predial. Entre as necessidades apresentadas por estes novos eletrodomésticos, as Smart Appliances, inclui-se a capacidade de micro medição, que assume um papel fundamental dentro do Smart Grid, já que permite isolar e detalhar o consumo de energia de certos aparelhos dentro do ambiente.

Entretanto, ainda há uma enorme carência de padrões e tecnologias que permitam a criação de tais sistemas de automação, voltados às necessidades do Smart Grid e de aparelhos inteligentes inseridos nos ambientes domésticos e prediais.

1.2 Objetivos

- Estudar e conceituar o Smart Grid;
- Pesquisar os grupos existentes para padronização do Smart Grid e os trabalhos realizados por estes;
- Conceituar Smart Appliances e avaliar projetos e pesquisas existentes;
- Avaliar os projetos e tecnologias existentes que objetivam micro medição e criação de Smart Appliances;
- Propor uma arquitetura para construção de Smart Appliances que permita a micro medição em aparelhos eletrodomésticos, funcionamento distribuído, processamento local e flexibilidade para ser implementada e utilizada em diferentes plataformas e dispositivos.

1.3 Organização do Trabalho

O trabalho está organizado da seguinte maneira:

- Capítulo 2 – Smart Grid – detalha a arquitetura do Smart Grid, bem como as tecnologias que compõem cada uma de suas partes, além da motivação para sua criação. Também mostra as iniciativas e caminhos adotados pelos grupos de padronização de Smart Grid dos principais países envolvidos, expondo os resultados obtidos por estes até o presente momento.
- Capítulo 3 – Smart Appliances – define o que é um eletrodoméstico inteligente dentro do contexto dos Smart Grids, também conhecidos como Smart Appliances. Apresenta também as iniciativas da indústria que já foram feitas nesta área, bem como os estudos realizados pela academia. Discute também as tecnologias existentes que auxiliam na construção destes eletrodomésticos inteligentes.

- Capítulo 4 – Proposta de Arquitetura para Smart Appliances – utilizando as informações expostas no capítulo 4, propõe uma arquitetura que permita a construção de Smart Appliances, juntamente com as tecnologias/padrões utilizados para poder implementar estas funcionalidades.
- Capítulo 5 – Implementação da Arquitetura Proposta – utilizando o capítulo 4 como referência, apresenta uma possível implementação da arquitetura, detalhando as particularidades técnicas e detalhes de implementação da plataforma proposta.
- Capítulo 6 – Validação e Resultados – determina cenários de testes que colocam em funcionamento as funcionalidades e características da plataforma, mostrando como esta pode ser utilizada na criação de Smart Appliances. Finalmente, discute os resultados obtidos com estes experimentos e acerca da implementação efetuada.
- Capítulo 7 – Conclusão – apresenta as considerações finais do trabalho, compilando e resumindo as discussões apresentadas no seu decorrer, bem como os aprendizados deste trabalho e suas contribuições científicas.

2 SMART GRID

O modelo das redes de energia elétrica atuais se baseia fortemente em fontes geradoras centralizadas, o que cria uma enorme dependência nestas, já que a falha de apenas uma destas fontes pode comprometer o abastecimento de toda a rede elétrica. Além disso, analisando os números do sistema nacional, é possível verificar outros problemas do modelo. De acordo com um estudo divulgado no ano de 2007 pelo instituto Acende Brasil, “as perdas totais na distribuição de energia elétrica representam em média 15% da energia requerida pelas distribuidoras para o atendimento do seu mercado consumidor”. Só o furto de energia, conhecido popularmente como “gato”, é responsável por 5% de toda energia comprada pelas distribuidoras, o que equivale a um ônus anual de R\$ 5 bilhões e um impacto tarifário que varia entre 4 e 17%, dependendo da concessionária. Estima-se também que a inadimplência no setor de energia, resultante de contas vencidas e irrecuperáveis, correspondam a 1,2% do faturamento, totalizando aproximadamente R\$ 1 bilhão ao ano (ACENDE BRASIL, 2007).

Outro fator não previsto pela rede elétrica contemporânea é a forte tendência de utilização de veículos elétricos e híbridos, já que a mesma provavelmente não será capaz de lidar com esta nova carga (KING, 2004). Sem uma infraestrutura correspondente, a manipulação do aumento de carga causado por estes veículos seria extremamente difícil e ineficiente (LITOS STRATEGIC COMMUNICATION, 2009).

Todos estes aspectos levam a necessidade de criação de uma nova rede de energia, voltada a trabalhar com os problemas e requisitos atualmente apresentados. A esta rede moderna e inteligente de eletricidade, na qual é possível monitorar e atuar sobre a geração, distribuição e utilização da energia provida pela mesma, dá-se o nome de Smart Grid. Este novo paradigma é caracterizado por um fluxo bidirecional de eletricidade e de informações, afim de criar uma rede automatizada e distribuída de energia. Ela incorpora à grade os benefícios da computação distribuída e de comunicações para fornecer informações em tempo real e busca permitir o equilíbrio quase instantâneo da oferta e da procura dos bens energéticos.

De acordo com a definição da *European Technology Platform* (ETP, 2006), “o Smart Grid é uma rede elétrica inteligente que pode integrar as ações de todos os usuários conectados a ela - produtores, consumidores e aqueles que fazem as duas coisas - afim de entregar eficientemente um fornecimento de eletricidade sustentável, econômico e seguro”.

O Smart Grid abrange todos os aspectos relacionados à energia. Esta rede moderna é capaz de monitorar, proteger e otimizar de maneira automática a operação dos elementos interligados à rede, sejam eles geradores centrais ou distribuídos, a rede de transmissão e distribuição de alta tensão, os sistemas industriais e de automação residencial, instalações de armazenamento de energia, ou mesmo os consumidores finais

e seus equipamentos de uso doméstico e veículos elétricos. A Figura 2.1 exemplifica o cenário de abrangência do Smart Grid.

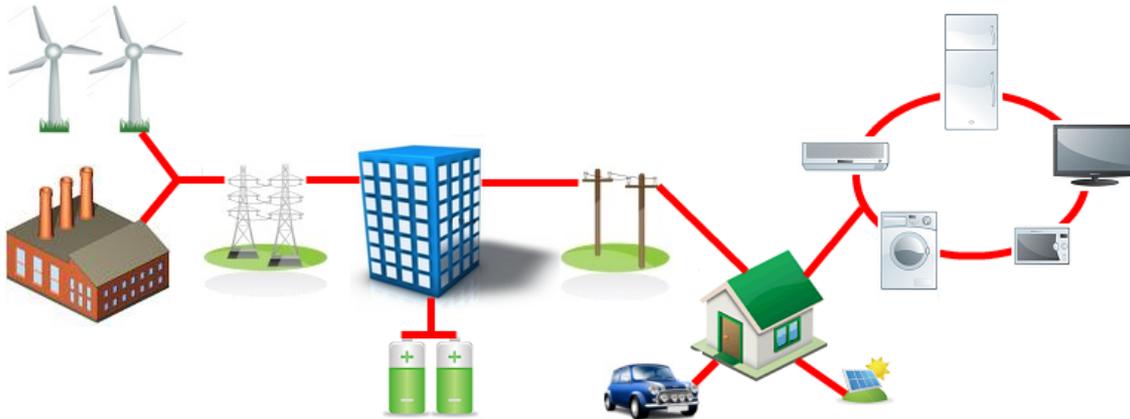


Figura 2.1: Cenário de abrangência do Smart Grid.

2.1 Conceitos do Smart Grid

O Smart Grid não é derivado de apenas uma tecnologia, mas sim da soma de várias partes. Cada uma destas partes componentes é responsável por adicionar mais inteligência à rede. Apesar de uma pequena diferença no foco em cada um dos grupos existentes para padronização, que serão descritos no próximo capítulo, os conceitos, em geral, são os mesmos para todos eles, enquanto as soluções empregadas serão relativas às necessidades e circunstâncias.

O Departamento de Energia estadunidense (DOE) enumera cinco tecnologias fundamentais que nortearão o Smart Grid (LITOS STRATEGIC COMMUNICATION, 2009):

- Comunicação integrada, que interliga os diferentes componentes da arquitetura, permitindo que um intercâmbio de informações em tempo real;
- Tecnologias de detecção e medição para permitir monitoramento e gestão remota, apoiando respostas mais rápidas e precisas, e para também permitir definição de preço da energia conforme a demanda;
- Componentes avançados permitindo aplicar as últimas pesquisas em supercondutividade, armazenamento, eletrônica de potência e diagnóstico;
- Métodos de controle avançado para monitorar os componentes essenciais, permitindo um diagnóstico rápido e soluções específicas adequadas a qualquer evento;
- Melhoria das interfaces e de apoio à decisão, para amplificar a tomada de decisão humana.

Estas tecnologias permitem também que o Smart Grid funcione no chamado “modo ilhado”, através de um conceito chamado de micro redes (*microgrid*) (ETP, 2006). Os microgrids são geralmente definidos como redes de baixa tensão com capacidade de geração de energia, juntamente de dispositivos de armazenamento, atendendo uma parte menor, autossustentável, de toda a rede de energia. A Figura 2.2 exemplifica uma dessas micro redes.

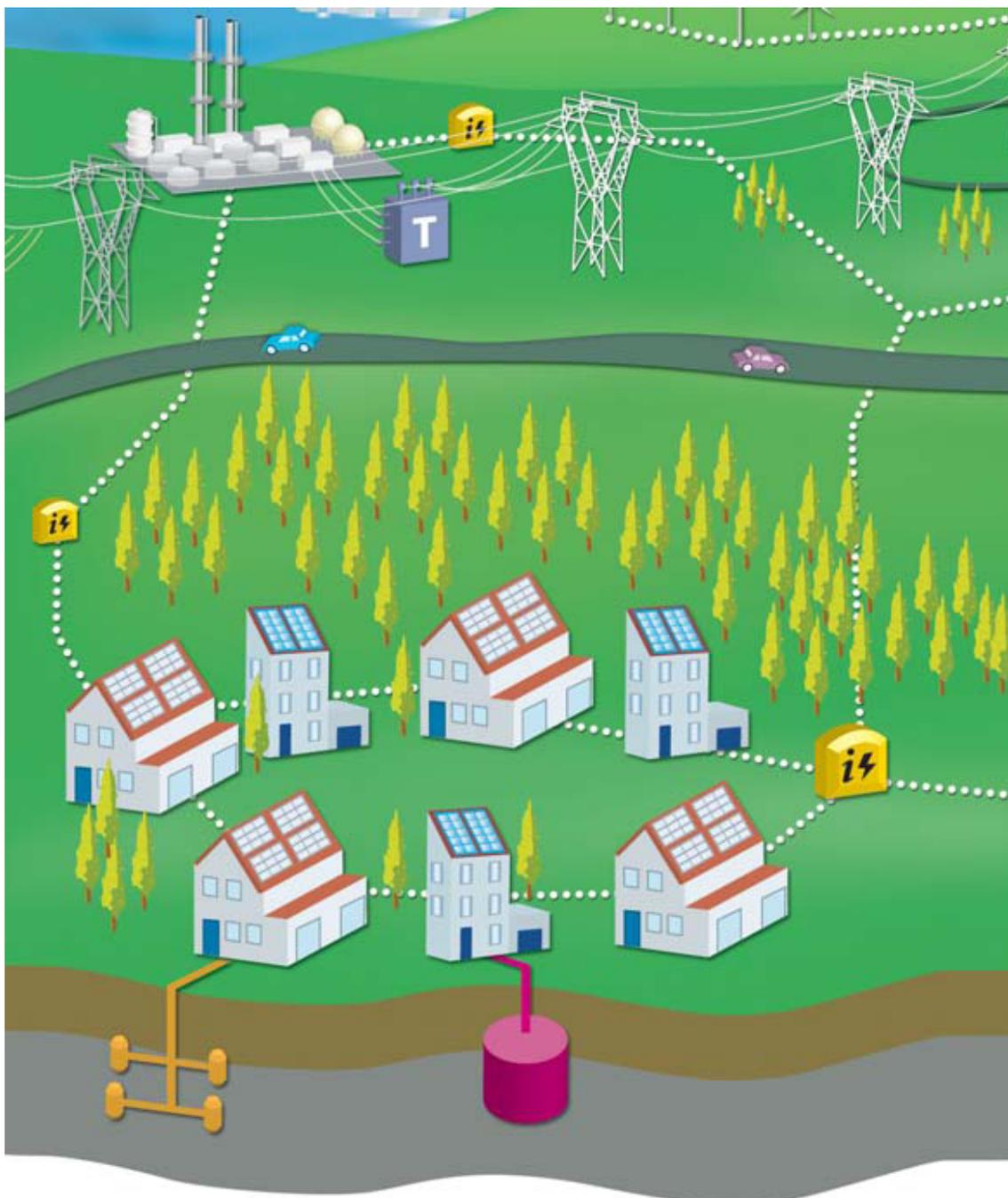


Figura 2.2: Exemplo de uma micro rede (ETP, 2006).

As próximas seções explanam estas tecnologias dentro de cada um das partes do setor elétrico: geração, transmissão e distribuição, infraestrutura de medição e o mercado de energia.

2.1.1 Advanced Metering Infrastructure

A infraestrutura avançada de medição, do inglês *Advanced Metering Infrastructure* (AMI), é considerada por muitos como a base fundamental do Smart Grid. O AMI provê um elo essencial entre a rede de energia, os consumidores e suas demandas, a geração e armazenamento destes recursos energéticos, e a rede de comunicação doméstica que interliga os aparelhos inteligentes da casa. Enquanto ela é capaz de fornecer as informações que possibilitam os usuários tomarem decisões inteligentes

quanto a sua utilização de energia, esta infraestrutura também permite aos operadores do sistema de energia melhorar o serviço prestado aos seus clientes, baseando-se no processamento das informações obtidas da rede. A Figura 2.3 apresenta a estrutura do AMI.

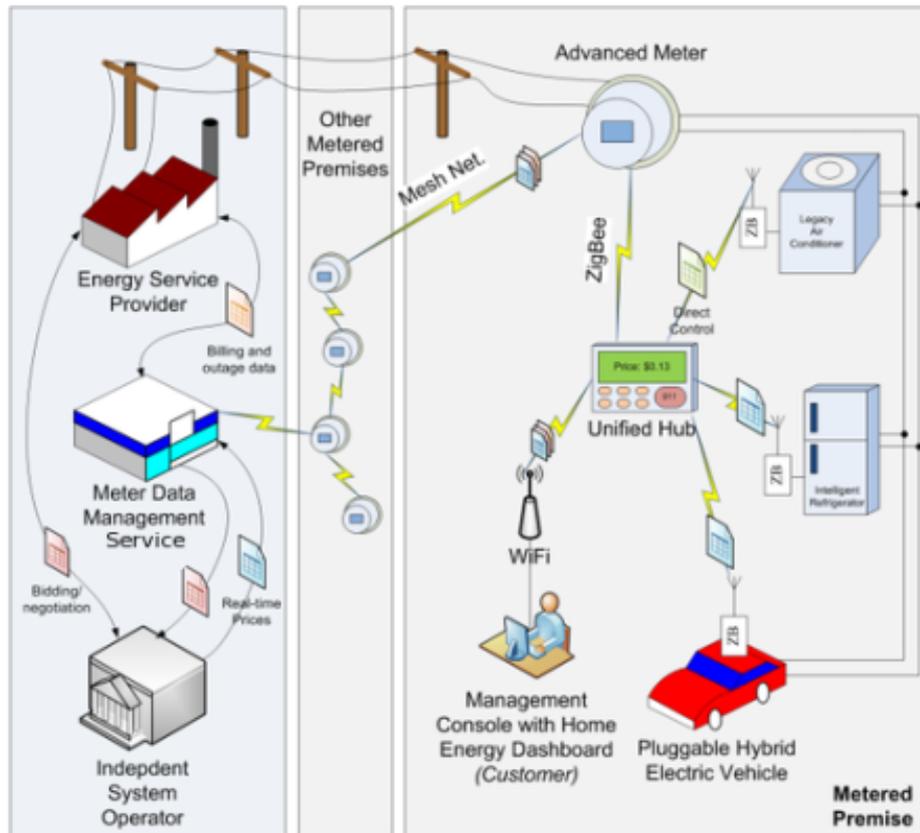


Figura 2.3: Estrutura do AMI.

Os progressos iniciais neste segmento foram dados pelas tecnologias de medição automatizada, ou *Automated Meter Reading* (AMR) (NETL, 2008). As tecnologias de AMR foram utilizadas para reduzir custos e melhorar a precisão dos medidores de energia. Porém, a necessidade dos benefícios de uma comunicação completa entre o cliente, fornecedores, distribuidores, e demais envolvidos da rede, alavancou a transformação do AMR em AMI. Um dos componentes fundamentais do AMI é o medidor inteligente. Diferentemente dos medidores convencionais, o medidor inteligente é dotado de uma série de novas funções. Ele passa não só a ser responsável por registrar a quantidade de energia utilizada pelo usuário, como os outros medidores, mas também é capaz de reportar estes valores, quedas e a qualidade da energia, realizar tarefas de ligamento e desligamento remoto, assim como evitar possíveis furtos de energia. A Tabela 2.1 e a

Tabela 2.2 comparam os medidores inteligentes AMI com os medidores precursores.

Tabela 2.1: Comparação de tecnologias de medidores (KING, 2004).

Funcionalidade/ Elemento do Sistema	Operação Manual	Medição Automática (Automatic Meter Reading - AMR)	Medição Avançada (Advanced Metering Infrastructure - AMI)
Medidores	Eletromecânicos	Híbrido	Híbrido ou eletrônica de estado sólido
Coleta de Dados	Manual, mensal	Descarga de leituras, mensal	Remoto via rede de comunicações, diariamente ou mais frequentemente
Gravação das informações	Total consumido	Total consumido	Baseado na utilização a cada hora, ou intervalos ainda mais frequentes
Aplicações Primárias	Cobrança por consumo total	Cobrança por consumo total	Opções de preços; Opções de escolha para o cliente; Operações da companhia de energia; Resposta à demanda de emergência
Principais Interfaces de Software	Faturamento e sistema de informação de clientes	Faturamento e sistema de informação de clientes	Faturamento e sistema de informação de clientes; Displays de consumo de energia; Gerenciamento de interrupções; Resposta à demanda de emergência

Tabela 2.1: Comparação de tecnologias de medidores (KING, 2004). (Cont.)

Funcionalidade/Elemento do Sistema	Operação Manual	Medição Automática (Automatic Meter Reading - AMR)	Medição Avançada (Advanced Metering Infrastructure - AMI)
Dispositivos adicionais habilitados	Nenhum	Nenhum	Termostatos inteligentes; Displays de consumo de energia; Controle de eletrodomésticos
Penetração atual no estado da Califórnia (EUA), residencial e comercial	>95%	<5%	Nenhuma (apenas em programas pilotos)

Tabela 2.2: Comparação das aplicações de sistemas AMI e AMR (KING, 2004).

	Manual/AMR	AMI
Preços	Apenas total consumido	Consumo total; Por tempo de uso; Utilização em horário de pico; Variação de preço em tempo real
Outras respostas à demanda	Nenhuma	Controle de carga; Licitação para demanda; Reservas de demanda; Descontos para utilização fora do horário de pico
Feedback aos clientes	Fatura mensal	Fatura mensal; Relatório mensal detalhado; Acompanhamento via Internet; Display de consumo de energia

Tabela 2.2: Comparação das aplicações de sistemas AMI e AMR (KING, 2004). (Cont.)

	Manual/AMR	AMI
Economia do cliente	Desligamento manual dos aparelhos	Desligamento dos aparelhos; Desligamento dos aparelhos no horário de pico; Controle manual ou automático da funcionalidade
Interrupções de fornecimento	Ligações telefônicas ao cliente	Detecção automática Verificação da restauração a nível de cada residência
Operações de distribuição	Uso modelos de engenharia	Dinâmico, com operações em tempo real

O AMI também depende de uma forte infraestrutura de comunicação, responsável por fazer o medidor inteligente se comunicar tanto com a concessionária de energia, quanto o consumidor e seus aparelhos, sempre de maneira bidirecional, passando as leituras feitas do medidor para todas as partes, assim como informar as tarifas vigentes e demais avisos da concessionária de energia. Ela pode ser dividida em duas partes: uma rede de longa distância, responsável por interligar o medidor à concessionária, e uma rede doméstica, que interliga o medidor aos dispositivos inteligentes da casa. Cada uma delas pode utilizar tecnologias diferentes, e meios de comunicação diferentes, tais quais redes sem fio, fibra ótica, ou Power Line Communication (PLC).

De acordo com (NETL, 2008), um sistema AMI pode ainda ser composto de outras tecnologias integradas. Isto inclui um sistema para gestão das informações do medidor e um gateway operacional, que juntos fornecem uma base de dados e ferramentas para analisar estas informações, bem como interagir com outros sistemas de informação. Exemplos destes outros sistemas são sistema de cobrança e manutenção das concessionárias, ou para gestão de demandas geográficas de energia.

2.1.2 Transmissão e Distribuição

Conforme (MASSOUD AMIN; WOLLENBERG, 2005), para adicionar inteligência a um sistema de transmissão de energia elétrica, é preciso ter processadores independentes em cada um dos componentes da rede, sejam eles estações, subestações, torres de transmissão, postes, etc., além de conterem seus próprios sensores para que possam avaliar o seu funcionamento e condições. (MASSOUD AMIN; WOLLENBERG, 2005) também sugere que os componentes devam ter características plug-and-play e comunicar estas informações aos seus vizinhos, fazendo com que cada componente da rede seja não só capaz de trabalhar de forma independente, mas também estar consciente e cooperar com os demais componentes inseridos na rede.

Prevê-se também a utilização de sistema do tipo SCADA, habilitando os operadores a acessarem, em tempo real, todas as informações acerca da rede, e permitindo-lhes tomar ações rápidas sobre eventuais problemas ou decisões estratégicas.

Desta forma, um destes componentes, ao saber que está sob algum tipo de risco que atrapalhe o seu funcionamento, pode avisar aos demais componentes e operadores da rede, de forma que soluções sejam propostas pelos operadores ou até mesmo que os componentes encontrem automaticamente uma solução secundária afim de resolver a situação. Estas características fazem com que muitos autores comparem o Smart Grid com a Internet, no sentido de que o processo decisório é distribuído e que os fluxos de informação são bidirecionais (MAZZA, 2002).

2.1.3 Geração

Os problemas climáticos recentemente experimentados estão forçando cada vez mais a adoção de novas fontes de geração de energia, especialmente aquelas consideradas renováveis. Além disso, estas novas opções de geração têm sido uma opção de economia para o usuário, já que este pode empregar, por exemplo, painéis solares para geração local, seja em sua casa, prédio ou escritório.

No ano de 2003, os Estados Unidos passaram pelo maior blackout de sua história. Segundo (LITOS STRATEGIC COMMUNICATION, 2009), os cidadãos chegaram a voltar seus pensamentos para a incidência de atos terroristas, já que este é um dos problemas de uma arquitetura de geração centralizada utilizada pelos EUA e muitos outros países do mundo. (LITOS STRATEGIC COMMUNICATION, 2009) ainda ressalva que “de fato, a interdependência dos vários componentes da rede pode trazer um efeito dominó - uma série de falhas em cascata que poderia trazer sistemas bancários [...], de comunicações, tráfego, de segurança, entre outros, para uma paralisação completa”.

O Smart Grid propõe-se a adotar o modelo distribuído de geração, que capacita os consumidores a se tornar participantes ativos em suas escolhas de energia, tornando-os tanto compradores quanto vendedores de eletricidade. Ademais, a possibilidade de trazer a geração de energia para próximo ao consumidor, torna a distribuição de energia muito mais eficiente, evitando perdas resultantes da transmissão, quando esta ocorre por vias de longa distância.

2.1.4 Armazenamento de Energia

Um dos grandes fatores determinantes da capacidade de geração de energia é o horário de pico, já que é nesta faixa de horário que costuma ocorrer o maior consumo de energia. Isto fica melhor evidenciado através da Figura 2.4, que mostra a demanda de energia das regiões sudeste e centro-oeste do Brasil ao decorrer do dia, tanto com e sem o horário de verão. Entretanto, a eletricidade obedece à máxima de que tem de ser usado no momento em que ela é gerada, limitando a utilização em horário de pico a capacidade de geração momentânea da rede.

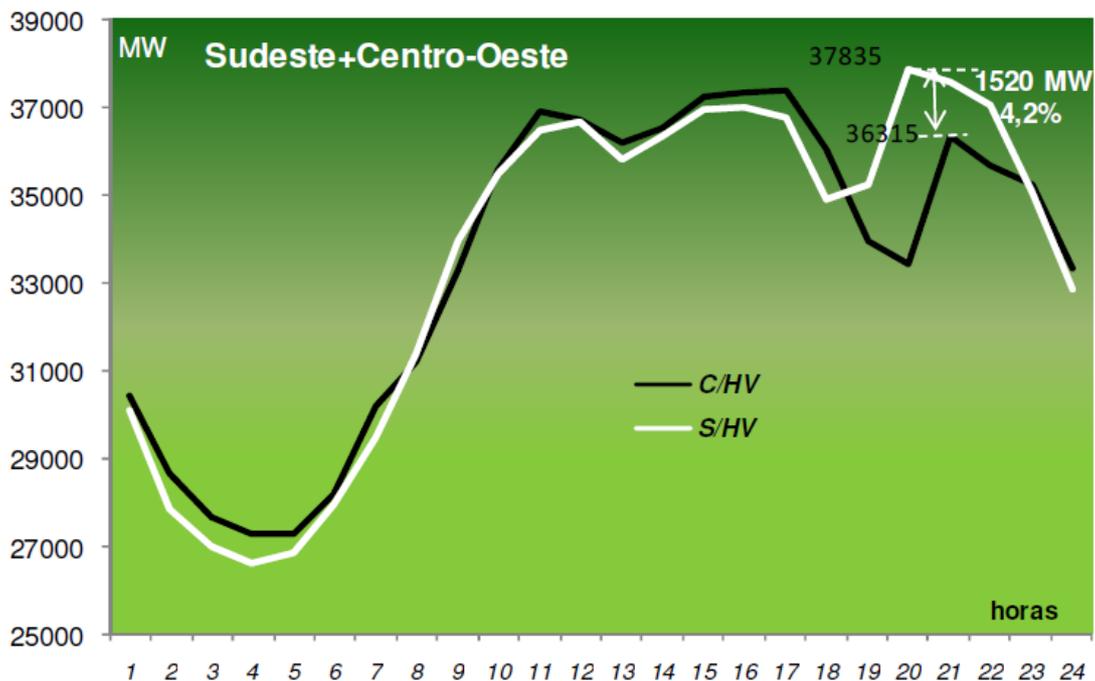


Figura 2.4: Demanda de energia do Subsistema Sudeste/Centro-Oeste (ONS, 2009).

Dentre as vantagens que o Smart Grid proporciona, está a de promover uma planificação deste consumo de energia, equilibrando a procura e capacidade de geração através do armazenamento de energia em momentos de menor utilização e/ou maior oferta de geração, disponibilizando-a posteriormente em períodos de maior demanda.

Há uma série de tecnologias para o armazenamento de energia já existentes (LINDLEY, 2010). Esta pode ser efetuada de diversas maneiras. Por exemplo, através da movimentação de recursos naturais, como o bombeamento de água para reservatórios de modo que ela possa ser explorada mais tarde na forma de hidroeletricidade, ou ainda no armazenamento de ar comprimido, podendo movimentar geradores quando novamente liberado. Há ainda outras formas de armazenamento em forma de energia mecânica. Uma das mais simples é a utilização de um volante em movimento. A energia elétrica é convertida em energia cinética de rotação através de um motor que o acelera. Quando necessária, a energia é extraída pelo acoplamento do volante a um gerador, o que diminui a rotação da roda e produz eletricidade. Um último exemplo é a utilização de reações eletroquímicas, valendo-se do armazenamento em larga escala através de baterias.

Cada tecnologia tem características únicas. A hidroeletricidade, por exemplo, tem uma eficiência de armazenamento de 70-85%, e é a tecnologia mais madura e generalizada a ser utilizado em armazenamento de larga escala de eletricidade. O desafio é tornar estas tecnologias suficientemente robustas, confiáveis e economicamente competitivas.

2.1.5 Mercado

As vantagens apresentadas pelo Smart Grid já têm gerado diversos investimentos no setor de eletricidade. De acordo com um estudo realizado pela empresa de consultoria ZPryme (ZPRYME RESEARCH & CONSULTING, 2010a), só na China e nos Estados Unidos os investimentos são da ordem de 7.323 e 7.092 milhões de dólares, respectivamente. Estes recursos são aplicados em estudos e incentivos a áreas como

sistemas de distribuição de energia, sistema de relacionamento com o consumidor, sistemas de processamento de dados e monitoramento da rede, fabricação de equipamentos, além de toda a infraestrutura do setor elétrico. A Figura 2.5 apresenta um resumo, segundo a plataforma europeia de Smart Grid, de oportunidades relativas ao Smart Grid.

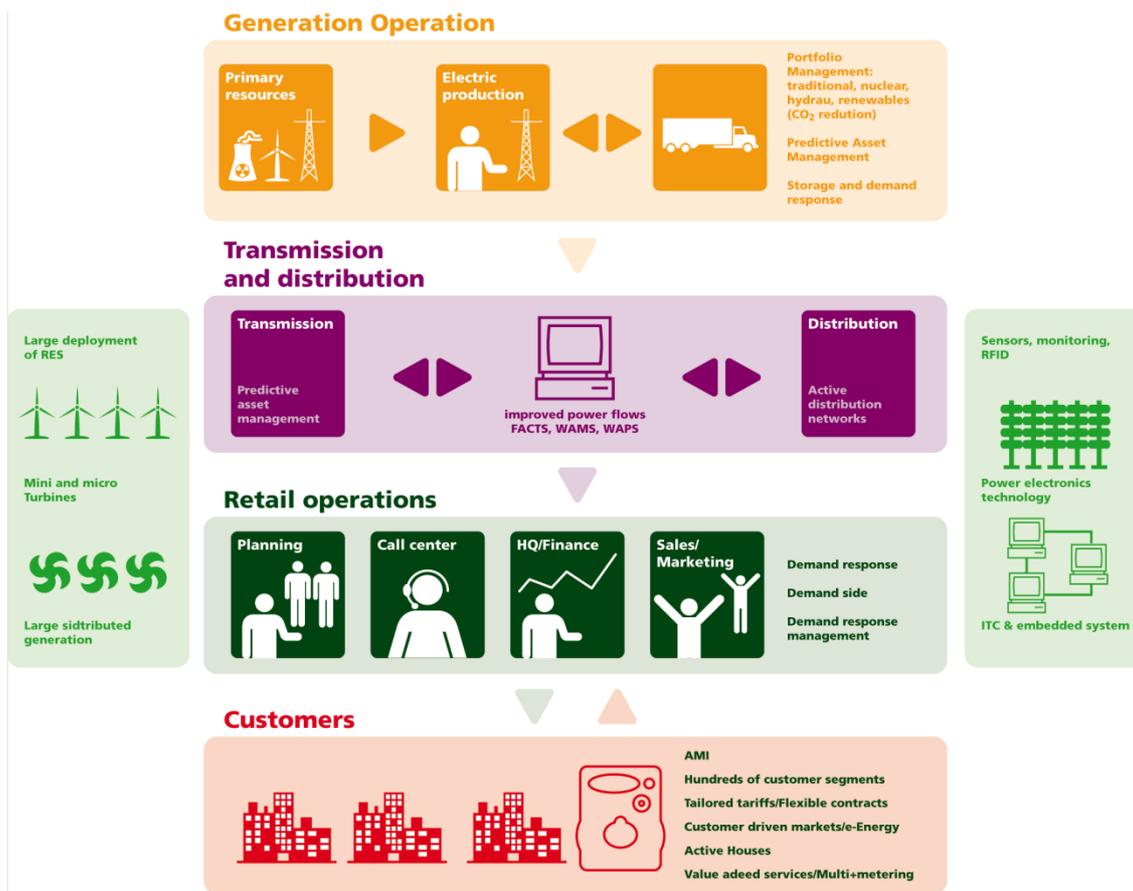


Figura 2.5: Resumo das oportunidades de mercado no Smart Grid (ETP, 2008).

Esta renovação do mercado de energia elétrica reflete em mudanças semelhante ao que foi visto em outros mercados, ao exemplo dos setores de telecomunicações e até mesmo no de entretenimento (LITOS STRATEGIC COMMUNICATION, 2009). Nestes mercados citados, cada vez mais os consumidores passam a ter possibilidade de escolha e há também um crescente interesse nas possíveis oportunidades no mercado de eletricidade junto a este novo paradigma, começando por serviços de valor agregado, a demanda flexível de energia, até oportunidades de micro-geração, tornando este um mercado cada vez mais focado nas necessidades e preferências do usuário (ETP, 2006). Além disso, a liberalização que o Smart Grid permite separa a responsabilidade para diferentes tarefas/interessados, como a transmissão segura de informações e a operação do negócio de distribuição de eletricidade.

Este novo mercado fomentado pelo Smart Grid tem uma característica muito maior de dinamismo, contanto com uma participação bastante ativa do usuário, onde ele passa não só a comprar energia, mas podendo vendê-la também. Ademais, ele começa a ser informado em tempo real sobre seus gastos de energia, permitindo que ele esteja ainda mais envolvido na forma que sua utilização de energia reflete em seu orçamento, permitindo-lhe variar sua demanda e uso em resposta à variação dos preços, e gerenciar

seus custos de energia, deslocando o uso para um período de menor custo, ou a redução do consumo global.

Além disto, o Smart Grid permite e incentiva uma grande troca de informações entre os agentes do mercado, já que cada um destes necessita de informações para diversos fins, como, por exemplo, emissão de contas, faturamento dos fornecedores, acompanhamento da carga de rede, entre outros. Oportunidade esta que têm levantado o interesse de diversas empresas do setor de Tecnologia da Informação (LAMONICA, 2010a; LOMBARDI, 2010).

2.2 Padronização do Smart Grid

As vantagens apresentadas por esta nova rede de energia resultaram em uma imensa corrida industrial e de pesquisa. A mudança para uma rede mais inteligente promete mudar o modelo de negócios da indústria e toda a sua relação com aqueles envolvidos na área de energia elétrica, do produtor até o consumidor. Isto culminou na criação de diversos projetos pilotos para estudar o funcionamento dos Smart Grids, na sua grande maioria através da implantação de medidores inteligentes (SWEET, 2010). Projeta-se que a instalação de medidores inteligentes, até 2012, vá alcançar 89% e 41%, respectivamente, das casas americanas e europeias (VOJDANI, 2008).

Entretanto, como dito por Vojdani, um dos mais sérios obstáculos do Smart Grid é que “a simples instalação de aparelhos sofisticados [...] não vai trazer qualquer benefício se todas as partes do sistema não estiverem integradas e trabalharem em uníssono”, e a definição de uma solução definitiva para Smart Grid ainda não está disponível, já que existe uma enorme carência por padronizações neste setor. Além disso, a adoção de tais tecnologias vai além do âmbito do setor privado, demandando uma grande atuação dos setores governamentais. Isto faz com que este seja um ótimo momento para estudos nesta área, levando muitos países a investirem em estudos e na padronização na busca dos seus Smart Grids. Os trabalhos e atual situação de alguns destes países encontram-se melhores descritos nas seções abaixo, detalhando seus envolvimento com esta nova rede inteligente de eletricidade.

2.2.1 Austrália

Junto a seu compromisso com o protocolo de Kyoto, a Austrália tem como meta reduzir o crescimento de suas emissões de carbono a 108 por cento dos níveis de 1990. Além disso, o governo fixou metas ambiciosas para inverter esta tendência e baixar as emissões de carbono da Austrália a partir de 2010, onde seu objetivo é reduzir as emissões em 25 por cento abaixo dos níveis de 2000 até 2020 (DEPARTMENT OF CLIMATE CHANGE AND ENERGY EFFICIENCY, 2010a).

Para tanto, o governo australiano está comprometido com o desenvolvimento de programas e iniciativas para apoiar os agregados familiares, a indústria e a comunidade para economizar energia e reduzir as emissões. Entre estas iniciativas está o programa *Smart Grid, Smart City* (DEPARTMENT OF CLIMATE CHANGE AND ENERGY EFFICIENCY, 2010b), que pretende investir mais de US\$ 100 milhões para desenvolver um piloto Smart Grid na cidade de Newcastle. Há sete objetivos sugeridos para a implantação do *Smart Grid, Smart City* (COMMONWEALTH OF AUSTRALIA, 2009):

- Otimizar os benefícios sociais, priorizando aplicações;

- Realizar uma implantação em escala comercial que testa o case de negócios e as principais tecnologias;
- Investigar as sinergias com outros programas do governo australiano e projetos de infraestrutura;
- Conscientizar clientes dos benefícios e obter feedback da indústria;
- Superar as barreiras-chave;
- Informar a população australiana sobre a adoção de tecnologias de Smart Grid;
- Desenvolver uma solução inovadora que pode servir como um caso de referência global.

Esta iniciativa objetiva reunir informações sólidas sobre os custos e benefícios das redes inteligentes para direcionar decisões futuras sobre as tecnologias relacionadas. A região escolhida para esta demonstração inclui áreas urbanas, suburbanas e rurais e contém diversidade geográficas, de redes, climáticas e características dos clientes.

O sistema de Smart Grid a ser implementado em Newcastle foca principalmente nos elementos de valor da cadeia de varejo, embora a transmissão e geração, ambas distribuída e centralizada, também estejam englobadas. Em geral, as principais tecnologias consideradas como parte do estudo australiano residem na rede de distribuição, dentro de e em torno das residências, com as informações sendo processadas em um centro de processamentos de dados. Exemplos das categorias que estão organizadas as aplicações para o *Smart Grid*, *Smart City* podem ser vistas na Figura 2.6.

Transmission, distribution and customer environment

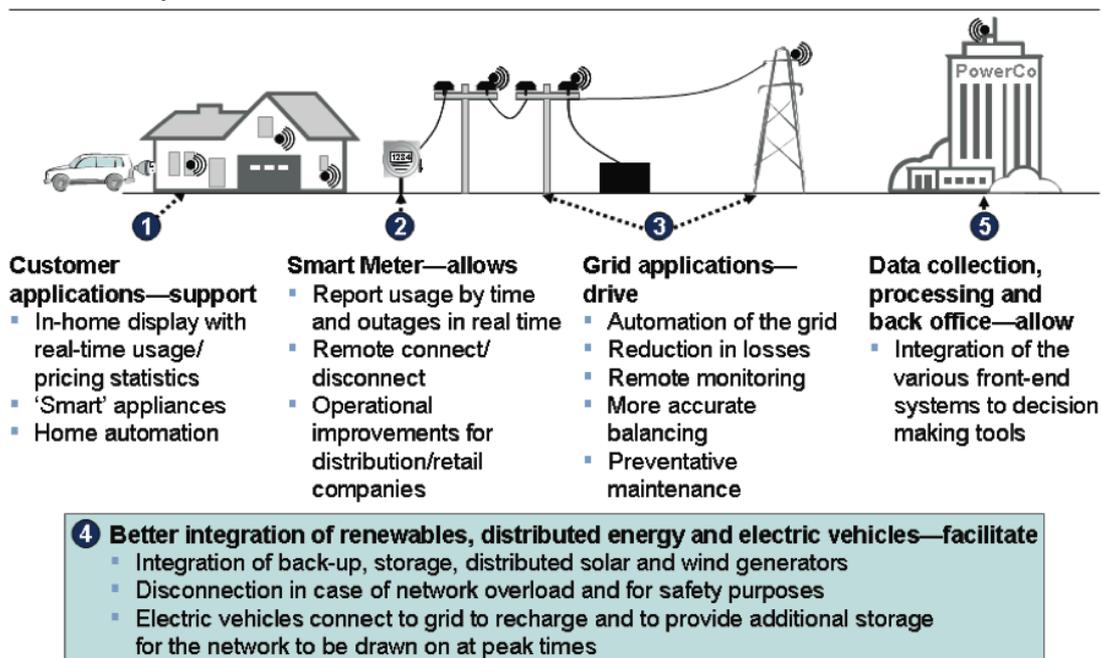


Figura 2.6: Taxonomia do Smart Grid australiano (COMMONWEALTH OF AUSTRALIA, 2009).

Aplicações junto ao cliente, tais como displays em sua casa, vão permitir aos envolvidos no projeto de demonstração acompanhar e controlar facilmente, em tempo real, seu consumo de eletricidade, podendo gerenciar e programar aparelhos inteligentes, como condicionadores de ar ou aquecedores. Outra proposta do *Smart Grid*, *Smart City* é o armazenamento de energia distribuído, podendo fornecer energia elétrica para uso residencial ou pequenos estabelecimentos comerciais durante quedas ou demanda excessiva. Outras funcionalidades do programa, tais como detecção de falhas, possibilitarão a redução do tempo na indisponibilidade do fornecimento e do impacto causado por esta no sistema, permitindo um maior grau de auto recuperação da rede elétrica. O monitoramento automático auxiliará ainda a gerenciar interrupções e identificar as infraestruturas que requerem manutenção.

O protótipo da rede inteligente australiana teve seu início em 2010 e estima-se que, uma vez finalizada esta etapa de seleção e negociação do acordo final, serão necessários de 2 a 3 anos para produzir os primeiros resultados.

Além das iniciativas do governo, há mais um projeto de grande importância para o Smart Grid no país: o Smart Grid Austrália (SGA, 2011). O Smart Grid Austrália é uma aliança apartidária e sem fins lucrativos dedicada à modernização do sistema elétrico. Esta aliança organiza comitês, reúne interessados, auxilia nas iniciativas do governo e nas questões para acelerar o progresso, sendo uma importante fonte de ideias, inspiração e influência para qualquer empresa interessada neste setor. Entre os membros estão nomes de peso como Siemens, IBM, Oracle, SAP, GE, Ericsson, CISCO e Accenture.

2.2.2 Brasil

Apesar de não haver ainda nenhum setor focado especificamente na padronização do Smart Grid, há um grupo do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro), órgão responsável pela metrologia no Brasil, que está trabalhando em uma revisão do regulamento que aprova instrumentos de medição em energia elétrica no país, incluindo a verificação da integridade dos softwares embarcados nestes medidores (AMBIENTE ENERGIA, 2010).

Além do Inmetro, o assunto vem levantando uma série de interesses de outros participantes do próprio governo e da indústria, principalmente pelas vantagens da tecnologia, como detecção de furto de energia, bem como por problemas recentes no fornecimento de energia e pelo acontecimento de dois grandes eventos no país: as olimpíadas e a copa do mundo de futebol.

Um destes interesses ficou demonstrado através da consulta pública iniciada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) para colher contribuições sobre a implantação de medidores eletrônicos em unidades consumidoras ligadas em baixa tensão, tais como residências, escolas, hospitais e lojas (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2009). Segundo a Aneel, “a consulta é necessária em razão da evolução da tecnologia de medição e da tendência mundial de substituir o sistema de medidores convencional (eletromecânicos) pelos eletrônicos. A Agência iniciou os estudos acerca do tema para analisar a viabilidade técnica e econômica do uso em massa da medição eletrônica em unidades consumidoras com instalações conectadas em baixa tensão”.

Outra iniciativa foi a aprovação, em agosto de 2010, da regulamentação para o uso da tecnologia PLC. A tecnologia é um sistema de telecomunicações que utiliza a rede elétrica como meio de transporte para a comunicação digital ou analógica de sinais,

fornecendo, entre outras possibilidades, uma alternativa de comunicação para futuras implementações de um Smart Grid.

Ao mesmo tempo, o Brasil apresenta uma grande presença de energia elétrica proveniente de recursos hídricos em sua matriz energética, diferentemente de Estados Unidos e Europa, que são fortemente baseadas em combustíveis fósseis, fazendo com que o país tenha necessidades diferentes em alguns dos setores de um Smart Grid nacional.

2.2.3 China

Atualmente a indústria chinesa é um das maiores contribuintes do mundo em relação a emissões de CO₂ e SO₂ e o consumo de eletricidade do país tem crescido a um ritmo sem precedentes devido ao rápido desenvolvimento do setor industrial. O país também conta com um grande plano de eficiência de energia, planejando a construção de 75 postos públicos de carga e 6209 pontos de carregamento para veículos elétricos (SGCC, 2010). Porém, em 2005, sérios problemas no fornecimento de energia fizeram com que a China, desde então passasse a investir de forma muito agressiva no fornecimento de eletricidade, a fim de atender a demanda das indústrias e, conseqüentemente, garantir o crescimento econômico (LI, 2009).

Assim, em maio de 2009, após Estados Unidos e Europa, a China anunciou também um quadro intenso rumo a implantação de um Smart Grid, sendo atualmente o país com o maior número de investimentos na área (ZPRYME RESEARCH & CONSULTING, 2010a). Como destacado por (LI, 2009), a China conta com um plano bastante agressivo para o desenvolvimento de seu Smart Grid, sendo dividido em 3 etapas:

- Planejamento e Testes (2009-2010): as principais tarefas nesta fase inicial são estabelecer o plano de desenvolvimento, a criação de normas técnicas e operacionais, desenvolvimento de tecnologias e equipamentos, assim como a realização de testes de avaliação;
- Construção e Desenvolvimento (2011-2015): esta segunda fase centra-se na construção de redes urbanas e rurais, estabelecendo a estrutura básica para o funcionamento e interação com o Smart Grid;
- Atualização (2016-2020): etapa onde a rede será completada com as tecnologias e equipamentos mais avançados.

O projeto é fortemente baseado em duas tecnologias: as redes de transmissão *Ultra High Voltage* (UHV) e a tecnologia de transformadores de energia *Amorphous Metal Transformer* (AMT). De acordo com Li, “enquanto o nível de integração dos serviços e interação com o usuário são desejáveis, é pelo menos tão importante ter um plano de rede inteligente que pode, de forma harmonizada, realizar plenamente o potencial de transmissão UHV. Além disso, os usuários finais e redes de distribuição na China não são tão maduros quanto os países mais desenvolvidos, e a taxa de penetração de energias renováveis em pequena escala são relativamente baixas no momento. [...] Dadas estas condições, espera-se que as fases iniciais do plano chinês de Smart Grid focarão na capacidade de transferência eficiente de grande quantidade de eletricidade, e então se tornar-se para os usuários finais e integração dos serviços nas próximas fases, quando os usuários estão se tornando mais preparados”. Assim, os esforços chineses de construção de seu Smart Grid mostrarão diferenças consideráveis em relação aos projetos europeu e americano, já que ele começará focando na parte de transmissão e,

gradualmente, incorporará capacidades de serviços de distribuição voltadas ao usuário final.

Entretanto, o Smart Grid chinês tem despertado o interesse de várias empresas privadas, principalmente nas áreas de serviços e voltadas a interação com o usuário (BHANOO, 2010). Exemplo disso é que, em janeiro de 2010, a G.E.¹ anunciou uma parceria com a cidade de Yangzhou para construir um centro de demonstração Smart Grid, onde pretende demonstrar seus produtos para o mercado chinês.

2.2.4 Coréia do Sul

Na Coréia do Sul, a adoção e discussão do Smart Grid é controlada pelo *Korea Smart Grid Institute*, criado em agosto de 2009 com os objetivos de gerenciar de forma abrangente o plano de Smart Grid do governo e reduzir em 4,6% a emissão de gases causadores do efeito estufa no país (KSIGI, 2010).

O governo sul coreano definiu um roteiro em cinco setores para implementar o Smart Grid na Coréia. O plano definido pelo instituto está resumido na Tabela 2.3. Estes cinco setores são a rede de energia, o consumidor, transporte, energias renováveis e serviços relacionados a eletricidade, permitindo adicionar inteligência a cada um deles. O primeiro setor visa construir uma rede de energia capaz de permitir vários tipos de interconexões entre o consumo e as fontes de geração. O segundo tem por objetivo incentivar os consumidores a economizar energia usando informação em tempo real e eletrodomésticos inteligentes, que operam em resposta às taxas de energia elétrica. O de transporte procura uma infraestrutura que permitirá veículos elétricos serem recarregado em qualquer lugar, além de usá-los para armazenamento de energia e uso nos horários de pico. O quarta pretende construir estruturas de microgrid, permitindo exploração de energia renovável e permitindo pequenos consumidores serem autossuficientes em geração de energia. Por último, o de serviços, propõe o lançamento de uma variedade de planos de taxa de poupança de energia elétrica de como forma melhorar o direito dos consumidores para a escolha de que melhor satisfaz suas diferentes necessidades.

Há ainda, junto ao *Korea Smart Grid Institute*, dez projetos de tecnologia da informação e de comunicação (TIC) para a área de energia que visam criar sistemas para áreas como a gestão do sistema de energia, automação e controle de subestações, adoção da tecnologia PLC e equipamentos de monitoramento da rede de energia.

¹ Sítio da empresa General Electric – <http://www.ge.com/>

Tabela 2.3: Plano de implementação do Smart Grid Sul Coreano.

	Primeira etapa (2010–2012)	Segunda etapa (2012–2020)	Terceira etapa (2020–2030)
Direções na implementação	Construção, operação e validação técnica de um cenário de testes	Expansão para áreas metropolitanas	Conclusão de uma rede elétrica nacional
Rede de energia inteligente	Monitoramento da rede elétrica em tempo real; Transmissão de energia com controle digital; Operar um sistema de distribuição ideal	Prever possíveis falhas em redes de energia; Conectar o sistema de energia com o de outros países; Integrar o sistema de fornecimento com sistemas de geração distribuída e dispositivos de armazenamento	Rede de energia auto-recuperável; Operar um sistema integrado de Smart Grid
Consumidor inteligente	Gerenciamento de energia para casas inteligentes; Opções para os consumidores, incluindo de taxas	Gerenciamento inteligente de energia para fábricas e edifícios; Incentivar a geração de energia pelos consumidores	Residências e edifícios com balanço zero no consumo/geração de energia.
Transporte inteligente	Construir e testar instalações para carga de veículos elétricos	Ampliar as facilidades de carga de veículos elétricos por todo o país; Manutenção e gestão eficaz dos veículos elétricos	Fazer com que a presença de estações de recarga de veículos elétricos seja algo comum no país; Diversificar métodos de cobrança; Utilizar dispositivos de armazenamento portáteis

Tabela 2.3: Plano de implementação do Smart Grid Sul Coreano. (Cont.)

	Primeira etapa (2010–2012)	Segunda etapa (2012–2020)	Terceira etapa (2020–2030)
Renováveis inteligentes	Operar microgrids, interligando geração distribuída, dispositivos de armazenamento e veículos elétricos; Utilização ampla de dispositivos de armazenagem e geração distribuída por todo o país	Operação otimizada do sistema de alimentação utilizando os microgrids; Expandir a aplicação dos dispositivos de armazenamento de energia	Tornar a energia renovável disponível universalmente
Serviço de Eletricidade inteligente	Opções de tarifa de energia para os clientes; Venda de energia renovável pelos consumidores	Promover transações de energia; Implementar sistemas de preço em tempo real por todo o país; Fomentar participantes no mercado voluntário	Promover vários tipos de transações de energia elétrica; Promover a convergência para o mercado de eletricidade baseado em setores; Fomentar o mercado de energia no nordeste do continente asiático

Entre as iniciativas do governo coreano para a adoção do Smart Grid, está a implementação de um local de testes na ilha de Jeju, tarefa integrante do primeiro estágio do plano. Este cenário de testes, que busca ser o maior do mundo, permitirá o uso das diferentes tecnologias de Smart Grid, proporcionando resultados de pesquisa e desenvolvimento, bem como a criação de modelos de negócios. O mapa das estruturas a serem construídas pode ser encontrado na Figura 2.7.

9. Desenvolvimento de padrões para a comunicação e interoperabilidade de aparelhos e equipamentos conectados à rede elétrica, incluindo a infraestrutura que serve à mesma;
10. Identificação e redução das barreiras injustificadas ou desnecessárias para a adoção de tecnologias de redes inteligentes, práticas e serviços.

Com a responsabilidade de elaborar o Smart Grid a ser utilizado pelos Estados Unidos, o NIST estabeleceu um plano de três fases para o desenvolvimento do Smart Grid norte-americano (NIST, 2009). Estas três fases são:

1. Com o apoio de peritos técnicos que trabalham sob contrato, bem como contribuições técnicas de outros grupos, envolver as partes interessadas em um processo participativo público para identificar um conjunto inicial de requisitos e normas existentes aplicáveis, bem como desenvolver um roteiro para preencher possíveis lacunas e priorizar as atividades de normalização adicional;
2. Estabelecer um painel com a finalidade de dar contribuições permanentes para o roteiro de novas ou a revisão de normas e para sustentar o desenvolvimento contínuo dos padrões de interoperabilidade;
3. Desenvolver e implementar um quadro de certificação, onde testes e avaliações de conformidade de como as normas são aplicadas em dispositivos de Smart Grid possam garantir a interoperabilidade e a segurança em condições de funcionamento realista.

Na visão do NIST, a arquitetura do Smart Grid é como a da Internet, um sistema flexível formado por outros sistemas, onde um sistema único, englobando toda a arquitetura, não é prático. Para eles, a arquitetura será uma combinação de sistemas e muitos subsistemas desenvolvidos de forma independente ou em conjunto com outros sistemas, permitindo a máxima flexibilidade durante a execução e simplificando a interface com outros sistemas. Para unificar a visão do Smart Grid a ser criado, o NIST desenvolveu um modelo de referência conceitual de arquitetura, apresentado na Figura 2.8. O modelo conceitual descrito fornece uma perspectiva global do sistema, não apenas identificando os participantes, mas também permite identificar potenciais interações entre os diferentes domínios. Nele, são apresentados 7 domínios e atores participantes do sistema:

- Clientes: os usuários finais de energia elétrica. Também pode gerar, armazenar e gerenciar o uso de energia. Tradicionalmente, três tipos de clientes são discutidos, cada um com seu próprio domínio: residencial, comercial e industrial.
- Mercados: os operadores e os participantes nos mercados de eletricidade.
- Provedores de serviços: as organizações que prestam serviços aos clientes elétrica e utilidades.
- Operações: os gestores do movimento de eletricidade.
- Geração de larga escala: geradores de eletricidade em grandes quantidades. Também pode armazenar energia para posterior distribuição.
- Transporte: os responsáveis por transportar eletricidade em larga quantidade e para longas distâncias. Também podem armazenar e gerar eletricidade.

- Distribuição: as distribuidoras de energia elétrica para e de clientes. Também pode armazenar e gerar eletricidade.

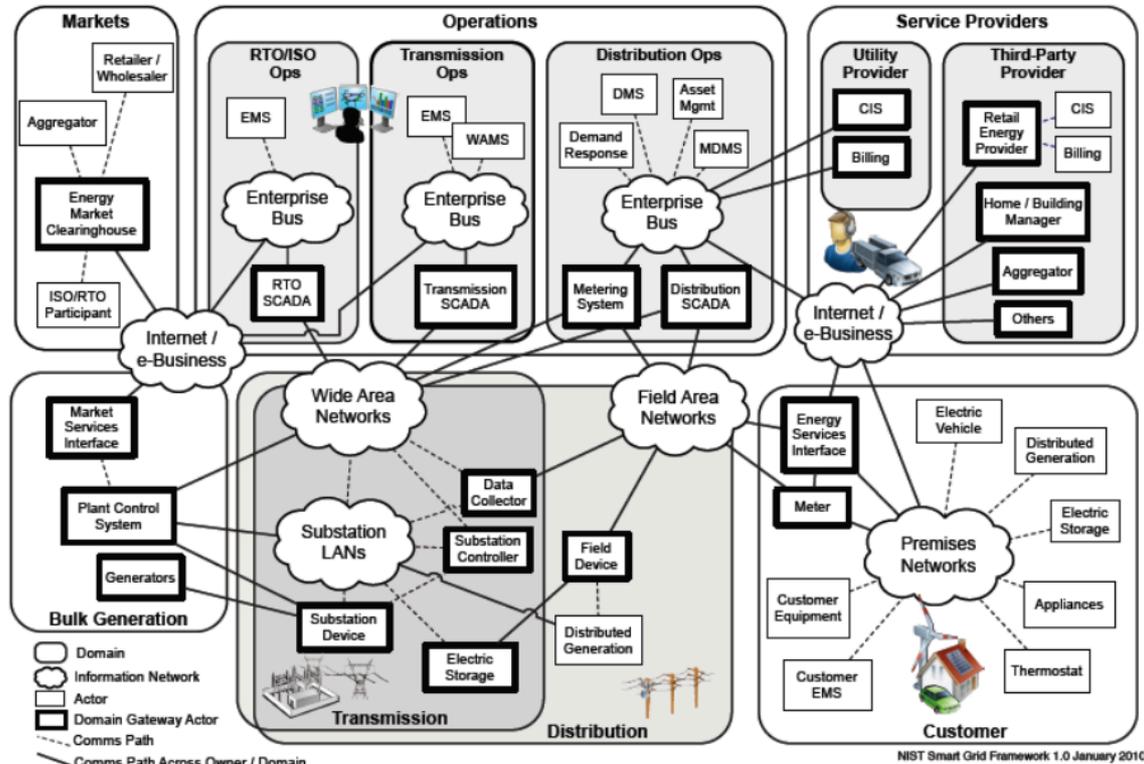


Figura 2.8: Diagrama conceitual de referência para o Smart Grid proposto pelo NIST.

Para a primeira fase do plano, um conjunto inicial de 75 padrões foram identificados. Entre eles estão protocolos e interfaces ópticas para dispositivos de medição, padrões para controle de subestações, normas de interligações físicas e elétricas, padrões para gerenciamento de tempo e sincronização do relógio, controle e gestão de equipamentos residenciais para os produtos domésticos, e até mesmo um catálogo de algoritmos de cálculo que podem ser utilizados em medidores de energia.

Segundo o NIST, há uma grande expectativa de que o *Internet Protocol* (IP) servirá como um elemento fundamental para as redes de informação do Smart Grid. Entre os benefícios do uso de redes baseadas em IP incluem a maturidade de um grande número de normas do grupo, a disponibilidade de ferramentas e aplicativos que podem ser aplicados a ambientes de Smart Grid, a utilização já generalizada das tecnologias IP em redes privadas e públicas, e a capacidade de permitir que os aplicativos sejam desenvolvidos de maneira independente da infraestrutura de comunicação e as diversas tecnologias de comunicação a serem utilizadas, sejam eles com ou sem fio.

Entre as características apontadas no projeto, para evitar gastos indevidos e complexidade para o consumidor, a interface com o cliente deve ser capaz de se comunicar com dispositivos Smart Grid com ou sem uma rede de dados separada da casa, e tal comunicação deve ser *plug and play* e autoconfigurável, não necessitando que o usuário tenha qualquer experiência técnica.

Como regra geral, porém, o NIST considera que os padrões de interoperabilidade de Smart Grid devem ser abertos, ou seja, desenvolvidos e mantidos através de um processo colaborativo e consensual, que está aberto à participação de todos, assim como

informações relevantes, e não dominada ou sob o controle de uma única organização ou grupo de organizações.

Ao longo do processo de criação do framework de Smart Grid do NIST foram identificados e definidos planos de ações prioritárias, chamados *Priority Action Plans* (PAP). Os planos de ações prioritárias visam estabelecer objetivos, identificar organismos suscetíveis, normas pertinentes e as associações de usuários para as alterações de normas, melhorias ou harmonização necessária. Especificamente, um PAP trata de uma lacuna em um padrão ou uma extensão necessária para o mesmo ou de uma sobreposição onde duas normas complementares abordam algumas informações que são comuns, mas diferentes para o mesmo âmbito de uma aplicação. Ao todo, são 18 os PAPs existentes (NIST, 2011), estando a conclusão da grande maioria dos mesmos ainda em aberto:

1. Meter Upgradeability Standard: define os requisitos que incluem atualizações local e remota, de forma segura, de medidores inteligentes;
2. Role of IP in the Smart Grid: investiga a capacidade dos protocolos e tecnologias da suíte Internet Protocol para determinar as características de cada protocolo na aplicação dos mesmos em Smart Grids;
3. Wireless Communications for the Smart Grid: investiga e avalia padrões para comunicações sem fio existentes e emergentes para determinar os requisitos de comunicação de aplicações de Smart Grid e como eles podem ser suportados por tecnologias sem fio;
4. Common Price Communication Model: tem como objetivo sintetizar características de qualidade que afetam o preço, a disponibilidade e demanda de energia e definir um padrão de comunicação destas características entre os mercados, distribuidores, instalações e equipamentos.;
5. Common Schedule Communication Mechanism: realizará um levantamento das especificações existentes para o agendamento digital de eventos e desenvolver um padrão para agendar estes eventos e como são transmitidos entre e dentro dos serviços;
6. Standard Meter Data Profiles: visa simplificar um padrão existente para transmissão de dados de um medidor de energia, a fim de desenvolver um conjunto menor de tabelas de dados que vão ao encontro das necessidades da maioria dos provedores de serviços e simplificar o processo de aquisição do medidor;
7. Common Semantic Model for Meter Data Tables: objetiva criar um mecanismo de tradução sem perda de dados de um padrão já existente para representações sintáticas prevalentes em cada domínio diferente;
8. Electric Storage Interconnection Guidelines: procura suprir diretrizes de interconexão elétrica e padrões de armazenamento de energia;
9. CIM for Distribution Grid Management: este trabalho desenvolve uma abordagem para comunicar três padrões que servem como base para a integração eficaz de equipamentos de monitoramento com operações em tempo real, permitindo a rápida integração da energia eólica, solar e outras

fontes renováveis, e para alcançar uma maior confiabilidade e estabilidade da rede;

10. Standard DR and DER Signals: definir um framework e terminologia comum para comunicação de preços, a segurança da rede ou sinais de integridade, e extensibilidade para integrar sinais de outros mecanismo;
11. Standard Energy Usage Information: Este plano de ação definirá padrões de troca de informações sobre o uso de energia. Estes padrões vão apoiar o acesso a informações de consumo mensal, bem como informações quase em tempo real;
12. Common Object Models for Electric Transportation: este PAP resultou na adoção de padrões de interoperabilidade para o *Plug-in Electric Vehicles* (PEV) que irão incentivar a ampla adoção de veículos elétricos na sociedade. Ele também garante que a rede pode suportar a carga maciça de carros e ajudar a popularizar a adoção de PEVs e suporta a integração de armazenamento de energia com a rede de distribuição;
13. IEC 61850 Objects/DNP3 Mapping: o Distributed Network Protocol (DNP3) é padrão de fato para comunicação utilizado a nível de distribuição e da transmissão na rede elétrica norte-americana. No entanto, o DNP3 não suporta todas as funções previstas para o Smart Grid. Assim, as tarefas deste PAP incluem o desenvolvimento de orientações para a realização da integração dos equipamentos legados que utilizam o DNP3 com equipamentos que utilizam os protocolos mais recentes;
14. Time Synchronization, IEC 61850 Objects/IEEE C37.118 Harmonization: este plano de ação se concentra em assegurar que as implantações de Smart Grid possam usar um formato comum para a sincronização de tempo e sejam facilmente interoperáveis. Entre as utilizações estão as medições de sincrofasores utilizadas para monitorar as condições da rede de transmissão. Além disso, as tarefas de plano de cobertura harmonizar as diferenças nos formatos de dados em tempo usado pelos padrões de Smart Grid;
15. Transmission and Distribution Power Systems Model Mapping: este plano define estratégias para integrar normas utilizadas em ambientes diferentes para o suporte de aplicações de tempo real e avaliar os padrões disponíveis para satisfazer as necessidades de tais aplicações;
16. Harmonize Power Line Carrier Standards for Appliance Communications in the Home: eletrodomésticos inteligentes representam uma parte importante da visão de Smart Grid que visa aumentar a eficiência energética e, para atingir esse objetivo, eletrodomésticos precisam se comunicar com as entidades e outros atores do Smart Grid através de redes domésticas. A comunicação via rede elétrica, do inglês Power Line Communication (PLC), é uma tecnologia em potencial que é usada hoje em redes domésticas e também poderia ser usado para comunicações aparelho para aplicações de Smart Grid. Este PAP irá abordar esta questão e incidirá sobre a harmonização da PLC para comunicações residenciais;
17. Wind Plant Communications: o objetivo do PAP 16 é o desenvolvimento de um padrão de comunicação a ser utilizado em geradores de energia eólica;

18. Facility Smart Grid Information Standard: levará ao desenvolvimento de um modelo de dados padrão para permitir que dispositivos que consomem energia e sistemas de controle nas instalações do cliente gerenciem cargas elétricas e fontes de geração, em resposta à comunicação com o Smart Grid. Será possível transmitir informações sobre as cargas elétricas para concessionárias de energia, outros prestadores de serviços elétricos, e os operadores de mercado.

Além das iniciativas do governo e do NIST, o setor privado de energia tem iniciado muitos esforços nesta área (ANDREW NUSCA, 2010). Muitas empresas do setor elétrico dos EUA têm criado e utilizado dispositivos próprios para este fim. Tão grande é esta movimentação que a comissão regulatória de energia americana, a *Federal Energy Regulatory Commission* (FERC), decidiu em 2009 estender a lei criada em 2007 e iniciar um processo de regulamentação para adotar as normas e protocolos relacionados com a funcionalidade e interoperabilidade do Smart Grid (ENERGY, 2009). Desta maneira, a FERC, ao observar o avanço do setor com as tecnologias, procura estabelecer alguns princípios gerais que o Smart Grid deve seguir.

Em outubro do mesmo ano, o presidente americano Barack Obama anunciou um grande investimento financeiro, totalizando 8 bilhões de dólares, para a modernização da rede elétrica do país, sendo 3,4 bilhões de dólares provenientes do governo e o restante da iniciativa privada (PRESS SECRETARY, 2009). A maior parte deste dinheiro provido pelo governo dos EUA deve ser empregado na ampliação do acesso aos medidores inteligentes e outros sistemas voltados aos clientes, para que estes sejam capazes de acessar informações de preços e ajudando a reduzir demanda de energia, e na integração dos diferentes componentes do Smart Grid, como medidores inteligentes, eletrodomésticos, subestações automatizadas, veículos híbridos e elétricos, fontes de energia renováveis, etc.

Segundo as estimativas, dentre os benefícios a serem obtidos com este plano de fomento estão a criação de dezenas de milhares de empregos em todo o país, tornar a rede elétrica mais confiável e ajudar os usuários a economizar dinheiro através de aparelhos eletrodomésticos inteligentes.

2.2.6 União Europeia

A União Europeia (UE) conta hoje com 27 países membros, tornando este um dos maiores e mais importantes mercados consumidores do mundo. No contexto, há um consenso sobre a defasagem da atual rede de energia europeia, além de existir uma aspiração política para que as redes dos diferentes países passem a ser interligadas (HARRIS, 2009), o que dificulta ainda mais o debate, devido ao envolvimento político de diversas forças.

Segundo a *International Energy Agency* (IEA), projeta-se que o consumo de eletricidade europeia aumente a uma taxa média anual de 1,4% até 2030, e a quota de energias renováveis na geração de eletricidade da Europa duplicará, passando de 13% agora e 26% em 2030 (ETP, 2006). Muito disto se deve ao comprometimento da UE com o Protocolo de Kyoto, onde há uma meta para diminuir em 20% as emissões de gases causadores do efeito estufa até o ano de 2020. Entretanto, apesar de existirem diferentes possibilidades para o uso destas fontes pelos países membros do grupo, muitas delas estão afastadas dos centros consumidores (HARRIS, 2009).

Estes fatores levaram em 2005 à criação de um grupo, dentro da *European Technology Platform* (ETP), de desenvolvimento de tecnologias para o Smart Grid, cujo objetivo é o de formular e promover uma visão para o desenvolvimento de redes de eletricidade da Europa², com uma visão de longo prazo para o ano 2020 e além. A plataforma inclui representantes da indústria, operadores do sistema de transporte e distribuição, os organismos de pesquisa e dos órgãos reguladores e visa atividades de pesquisa, desenvolvimento e demonstração, traçando um curso para a criação de uma rede de abastecimento de energia elétrica que atende às necessidades do futuro da Europa. O escopo inicial da plataforma visa aumentar a eficiência, segurança e confiabilidade de transmissão de energia elétrica das redes europeias de distribuição, além da eliminação de obstáculos para a integração em larga escala de fontes de energia distribuídas e renováveis, em consonância com a prioridade proposta para as redes inteligentes de energia.

Em abril de 2006, o grupo europeu apresentou um documento inicial, intitulado *Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future* (ETP, 2006), no qual foram definidos os objetivos e estratégias para o desenvolvimento do projeto de Smart Grid europeu e discutidas as necessidades e exigências tanto para redes de transmissão e distribuição, de modo a conduzir efeitos para liberalização do mercado e acomodar novas tecnologias de geração para cumprir os objetivos ambientais e de uso futuro da eletricidade. Estes objetivos são:

- Desenvolver uma visão compartilhada de futuro que incentiva o envolvimento de múltiplas partes independentes;
- Identificar as necessidades de pesquisa e prover suporte para um aumento no esforço de pesquisas publicas e privadas sobre redes de eletricidade;
- Alinhar os projetos de pesquisa e desenvolvimento de tecnologia em curso, assim como novos programas europeus, nacionais e regionais, sobre transmissão e distribuição de eletricidade;
- Extrair conclusões, recomendações para ações subsequentes de acompanhamento, implementação de uma agenda de pesquisa estratégica e um plano de implantação.

Ainda segundo o documento de 2006 e a Figura 2.9, existem três fatores que norteiam a criação desta nova plataforma:

- Mercado interno, já que uma evolução deste porte torna-o mais competitivo, aumentando a concorrência, promovendo eficiência e estimulando evoluções e inovações tecnológicas;
- Segurança e qualidade no fornecimento, visto que a sociedade moderna depende crucialmente de um sistema seguro de fornecimento de energia;
- Meio ambiente, não só pelo fato de que este, atualmente, sofre com emissões causados pelos combustíveis fósseis, mas devido ao surgimento de novas tecnologias de geração que não são contempladas no sistema de fornecimento atual.

² Smart Grid na *European Technology Platform* – <http://www.smartgrids.eu/>

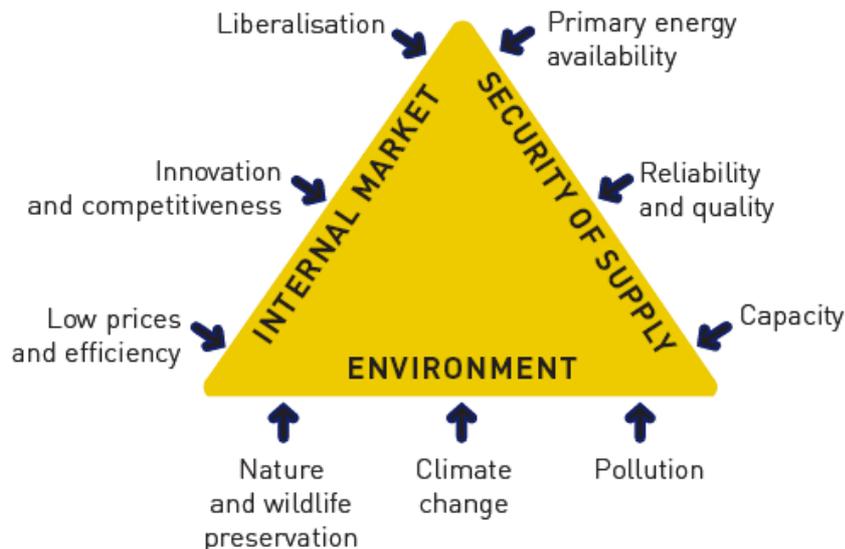


Figura 2.9: Fatores de influência na criação do Smart Grid europeu (ETP, 2006).

Além disso, as seguintes exigências foram propostas para esta nova rede:

- Flexibilidade: cumprir necessidades dos clientes e ao mesmo tempo responder às mudanças e desafios;
- Acesso: conceder acesso a todos os usuários da rede, especialmente para fontes renováveis de energia e alta eficiência de geração local com zero ou baixas emissões de carbono;
- Confiança: garantir e melhorar a segurança e a qualidade da oferta, de acordo com as exigências da era digital com capacidade de resistência a riscos e incertezas;
- Economia: proporcionar melhor valor através de inovação, gestão eficiente da energia, regulamentação e igualdade de concorrência.

Já em 2007, um novo documento foi publicado, a *Strategic Research Agenda* (SRA), na qual foram descritas as principais áreas, técnicas e não técnicas, a serem investigadas (ETP, 2007). Este é um documento estratégico, que visa o alinhamento dos programas de investigação dentro da UE e seus países membros, servindo como guia primário para diversas pesquisas e programas de desenvolvimento.

Apesar da SRA propor pesquisas e desenvolvimentos necessários para suprir os conhecimentos faltantes para a realização do Smart Grid europeu, nenhum cronograma para esta realização havia sido explicitado. Assim, no final de 2008, uma primeira versão do *Strategic Deployment Document* (SDD) foi divulgado (ETP, 2008). Este descreve as prioridades e um cronograma para a implantação da nova rede de eletricidade, além de esclarecer os benefícios que essa inovação vai apresentar a todos os interessados. Foram destacadas 6 atividades de alta prioridade a serem implementadas até 2020:

- Otimização da rede de operação;
- Otimização da infraestrutura da rede;
- Integração de geração intermitente de larga escala;

- Tecnologia de informação e comunicação;
- Redes de distribuição ativas;
- Novo mercado, usuários e eficiência energética.

Como ressalta o SDD, o sistema elétrico de cada nação pertencente a União Europeia tem uma posição única em termos de idade, design e funcionalidade. Portanto, a implantação em cada um destes terá um conjunto diferente de desafios e exigências, tornando o roteiro apresentado no documento apenas para orientação e informações iniciais, enquanto que para cada uma das prioridades de implantação será necessário um planejamento mais detalhado quando se trata de aplicação prática real.

Apesar de todo o trabalho já realizado pela plataforma, nenhum tipo de padronização foi definido. Propõe-se que uma associação seja formada com membros representantes da comunidade interessados em alcançar os objetivos da plataforma, bem como envolver outros grupos de padronização existentes dentro da Europa (ETP, 2008).

3 SMART APPLIANCES

Segundo (BADAMI; CHBAT, 1998), um aparelho inteligente é aquele que incorpora sensores e algoritmos de controle, tanto para automatizar alguma função manual (como estimar a carga de roupas em uma máquina de lavar), quanto para economizar no consumo de energia, ou a introdução de algo completamente novo, como, por exemplo, detectar que a água está fervendo em um fogão elétrico. Em (SCHMIDT; LAERHOVEN, VAN, 2001) menciona-se que os dispositivos inteligentes são dispositivos que não são ignorantes sobre o seu ambiente e contexto, sugerindo que, de alguma forma, o eletrodoméstico é capaz de se comunicar com os demais dispositivos que estão inseridos no mesmo meio.

A ideia de uma casa inteligente originou-se do conceito de automação residencial, baseando-se na disponibilidade de uma rede inteligente de dispositivos de comunicação. A miniaturização dos microprocessadores, juntamente com o aumento de sua capacidade computacional e da redução dos seus custos de fabricação, permitiu que os mesmos pudessem ser integrados a diversos tipos de dispositivos. Entre eles, os aparelhos domésticos. Mesmo que diferentes soluções para tal casa tenham sido discutidas há anos, bem como tecnologias para a rede de comunicação, as aplicações de casa inteligente se popularizaram. Isso ocorre porque há uma lacuna remanescente entre os usuários e os benefícios proporcionados por esses aparelhos inteligentes. No entanto, o Smart Grid é capaz de fornecer uma nova gama de vantagens para os usuários além de um volume de informações muito grande acerca da rede elétrica, fazendo com que a utilização de aparelhos inteligentes conectados à rede de abastecimento de energia possam resultar em vantagens econômicas para os usuários a partir destas novas capacidades.

Conforme, a AHAM (*Association of Home Appliance Manufacturers*), associação formada por representantes de 150 fabricantes de aparelhos domésticos, os quais são responsáveis pela produção de mais de 95% dos aparelhos domésticos vendidos nos Estados Unidos, o termo Smart Appliance, com relação ao Smart Grid, refere-se a uma modernização dos aparelhos eletrodomésticos quanto a sua utilização de energia, de forma que estes sejam capazes de monitorar, proteger e ajustar automaticamente o seu funcionamento às necessidades do proprietário e a disponibilidade de energia (AHAM, 2009). Assim, o aparelho pode prover funcionalidades como ajustar a demanda do consumo de energia elétrica conforme informações de preço da eletricidade e escolhas do usuário, responder a sinais da concessionária de energia requisitando economia de energia, sempre mantendo a sua integridade de sua operação, para poder responder a situações de emergência e ajudar a prevenir apagões.

Segundo (CANGUSSU, 2008), o setor residencial assume a segunda posição no país no consumo de energia elétrica, seguido, em sequência, pelo setor comercial. Juntos, eles correspondem a aproximadamente 36,25% do total consumido em 2007, como

pode ser visto na Figura 3.1. Isso quer dizer que boa parte da energia produzida no país é destinada a usuários domésticos e empresas comerciais, ou mais precisamente, a seus eletrodomésticos e aparelhos elétricos. Enquanto isso, nos países membros da União Europeia, só o consumo residencial representa 42% de toda a energia consumida pelo bloco (TOMPROS *et al.*, 2008).

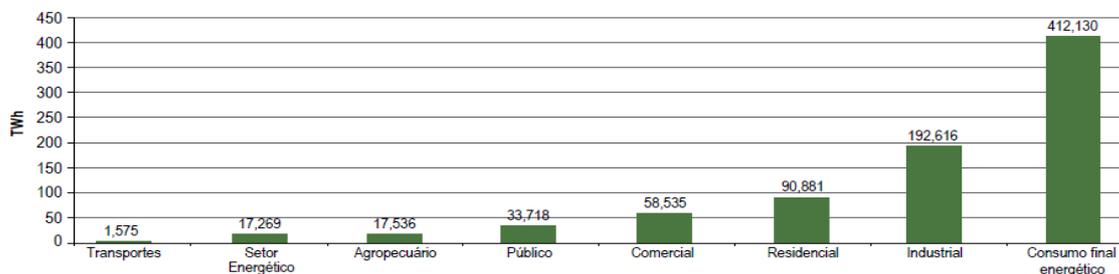


Figura 3.1: Consumo de energia elétrica por setor no Brasil em 2007.

De acordo com um estudo da ZPryme, estima-se que de 2011 a 2015, o mercado mundial de aparelhos domésticos inteligentes crescerá de 3,06 bilhões dólares para 15,12 bilhões dólares (ZPRYME RESEARCH & CONSULTING, 2010b). Em 2015, o tamanho do mercado global para lavadoras e refrigeradores inteligentes atingirá 3,54 bilhões dólar e 2,69 bilhões dólares, respectivamente.

Uma vez que a demanda por energia ira aumentar consideravelmente, considerando apenas as expectativas do mercado de eletrodomésticos, cabe a estes uma parcela cada vez maior na economia de energia. Além disso, o preço da energia elétrica tem sofrido inflação a cada ano (DIEESE, 2007). Cabe aí a grande vantagem de uma rede de automação formada pelos aparelhos domésticos e comerciais de um mesmo ambiente, fazendo com que estes sejam capazes de auto-gerenciar o seu consumo de energia. A AHAM acredita que existem três requisitos essenciais para a interação do Smart Grid com os consumidores e, conseqüentemente, seu sucesso:

- Deve-se fornecer incentivos para gerenciar o uso de energia e, assim, permitir aos consumidores poupar dinheiro;
- Os padrões utilizados para comunicação devem ser abertos, flexíveis, seguros e em número limitado;
- A escolha do consumidor e sua privacidade devem ser respeitadas, já que é ele quem toma as decisões de escolha.

Entretanto, a entidade também destaca a necessidade de uma movimentação rápida para a definição de padrões abertos para o setor. Como se pode notar, apesar destes passos iniciais, há ainda muito a ser discutido sobre a aceitação de um padrão comum para a comunicação dos aparelhos.

Tratando-se do design de um protocolo ou padrão a ser utilizado em Smart Appliances, existe uma série de pontos a ponderar, de forma a criá-lo de maneira efetiva. De acordo com (EUSTIS *et al.*, 2007), existem inúmeros padrões e protocolos de interoperabilidade funcionais, competindo entre si, que não são utilizados, enquanto que poucos daqueles que são utilizados são praticados pelos concorrentes sem a evolução dos proprietários. Portanto, a interface de comunicação ideal dos aparelhos deve ser não apenas interoperáveis, o que significa que possuem uma interconexão física definida, utilizam uma linguagem comum conhecida, etc., mas que também seja um padrão aberto, manutenível de forma comum.

Ainda conforme (EUSTIS *et al.*, 2007), muitas vezes, os aparelhos são vendidos para mais de uma região ou país, cada uma com diversas diferenças culturais. Portanto, é importante que o padrão criado seja capaz de contemplar todas estas diferenças sem maiores dificuldades. A obsolescência dos produtos também é uma preocupação válida, uma vez o equipamento na casa do consumidor pode durar anos e, em alguns casos, até décadas. Há também a própria questão da instalação do equipamento no usuário final, onde poucos tipos de aparelhos podem justificar o custo de uso de mão de obra especializada. Não obstante a todos os fatores anteriores, existe também o fator de usabilidade, determinando a dificuldade de utilização do aparelho pelo usuário. Um ponto importante a discutir sobre a interação entre usuário e aparelho é que o usuário comum apresenta grandes dificuldades para usar tecnologias complexas, onde muitos ainda encontram problemas até mesmo para ajustar o relógio de um micro-ondas. Esse problema apenas se agrava quando deparado com a integração de diversas tecnologias (GREENFIELD, 2006). Uma das questões principais é determinar a medida de controle que os consumidores querem manter sobre o funcionamento dos seus aparelhos e a que nível de flexibilidade eles estão dispostos a aceitar, já que a aceitação do consumidor é a chave principal para o sucesso das Smart Appliances.

3.1 Trabalhos Acadêmicos

Uma das linhas de pesquisa que se intersecciona com os conceitos de aparelhos eletrodomésticos inteligentes é a de automação residencial e industrial. Existem diversos trabalhos nesta área que não levam em consideração as informações dispostas pelo Smart Grid acerca da rede elétrica. São exemplos destes estudos o trabalho de (LIN *et al.*, 2009) e (CANNATA *et al.*, 2008), propondo os sistemas *Zeus* e *SOCRADES*, respectivamente. *Zeus* é uma plataforma para integração de serviços para uma vida digital inteligente, focando no desenvolvimento e integração de vários tipos de tecnologias de rede e equipamentos de rede para alcançar isto. *SOCRADES* (*Service-Oriented Cross-layer Infrastructure for Distributed smart Embedded devices*), um projeto europeu de investigação abordando o paradigma de *Service Oriented Architectures* (SOA) em sistemas de automação industrial, implementa protótipos de dispositivos que usam o protocolo DPWS, onde a inteligência do sistema é implementada por agentes inteligentes físicos incorporados em dispositivos inteligentes. Estas entidades são capazes de trabalhar de forma proativa, iniciando ações de colaboração e de forma dinâmica, uns com os outros, alcançar os objetivos locais e globais, sendo isto a partir do nível físico do controle de automação industrial, até os níveis mais elevados do sistema de gestão de processos de negócios.

Alguns dos estudos disponíveis discutem os hábitos dos usuários e como é feita sua utilização energia e a percepção que estes usuários têm sobre seu consumo, assim como a aceitação destes dispositivos inteligentes (MARTISKAINEN, 2008; MERT *et al.*, 2008; WOOD, 2003). Estas pesquisas demonstram que o feedback direto (através de um monitor do consumo de energia) geralmente resulta em 5-15% de poupanças energéticas, enquanto que feedbacks indiretos (uma conta de energia, por exemplo) é normalmente visto uma poupança de 0-10% (BOARDMAN, 2007).

Finalmente, existem os trabalhos voltados especificamente para a utilização das informações dispostas no Smart Grid, principalmente dentro da rede domestica de comunicação, e como os eletrodomésticos e demais aparelhos podem utilizá-las para alterar o seu funcionamento.

O trabalho apresentado por (TOMPROS *et al.*, 2008) demonstra uma arquitetura que busca poupar energia em residências. A parte principal da arquitetura é fornecida por um gateway residencial otimizado, que contém as interfaces de rede necessárias e a lógica de serviço para permitir aos usuários executar uma programação personalizada de consumo de energia dos aparelhos domésticos, permitindo que estes sejam capazes de definir os limites de consumo de energia em casa e, assim, racionalizar o consumo desta. Neste o monitoramento dos aparelhos é feito através de uma entidade dedicada funcional, chamado *Energy Device Management (EMD)*, que implementa, de forma genérica e para todos os tipos de aparelho, as funções de gestão e acompanhamento do gasto de energia.

(BARBATO *et al.*, 2009) definiu uma arquitetura baseada em redes de sensores sem fio que permite reduzir o consumo de energia dos dispositivos em casa através de uma gestão inteligente. Em particular, monitoram-se os hábitos do usuário dentro do ambiente para então utilizar estas informações para controlar automaticamente os eletrodomésticos, principalmente os dispositivos utilizados para o aquecimento/arrefecimento e iluminação. De maneira similar, (LEE, M. *et al.*, 2009) apresenta o design e implementação de um sistema de gerenciamento de energia usando a localização do usuário, detecção de movimento do usuário e padrão de vida do usuário em redes domésticas para reduzir eficientemente o consumo de energia, ativando os dispositivos necessários levando em consideração os padrões de hábitos do usuário.

(SON; MOON, 2010) utiliza comunicação PLC para criar um sistema residencial para gestão de energia. O sistema baseia-se em uma gestão baseada no preço de energia determinado em tempo real conforme a demanda para planejar de maneira automática o funcionamento dos aparelhos. Um dos objetivos do trabalho também é o de facilitar o monitoramento do ambiente pelo usuário. (SONG, G. *et al.*, 2008) propôs uma tomada digital para controlar os aparelhos domésticos com comandos, através de uma rede sem fio Zigbee, para ligar/desligar o fornecimento de eletricidade para a tomadas em que um aparelho está ligado. No trabalho de (SHAH *et al.*, 2009), o foco é a questão da monitoramento do consumo de energia em eletrodomésticos em geral e especificamente sobre a emissão de CO₂ causadas por estes aparelhos, onde através das informações coletadas dos aparelhos, mensagens de feedback são disponibilizadas ao usuário provendo dicas para tornar mais eficiente seu consumo de energia.

(RICCI *et al.*, 2008) estuda a utilização da tecnologia de *Dynamic Demand Control (DDC)*, na qual a redução da frequência pode ser correlacionada a um aumento da carga da rede elétrica, de modo que um monitor de frequência pode ser explorada para avaliar o estado de tensão da rede. Assim, através da exploração do equilíbrio atual da capacidade da rede, permitindo que os aparelhos sejam capazes de escalonar seu funcionamento para momentos em que a disponibilidade de energia é maior, garantindo uma carga mais estável sobre a rede.

A Tabela 3.1 resume as características de funcionamento de alguns dos trabalhos discutidos. Estão sintetizadas as características de comunicação em rede, se têm seu funcionamento baseado em um modelo centralizado, que tipo de flexibilidade os mesmos apresentam, os protocolos de rede utilizados, se possuem integração e/ou controle dos dispositivos que estão interligados, se há alguma forma de inteligência embarcada ou simplesmente apresentam funcionalidades de controle remoto ou coleta de informações, e se existe alguma maneira automática para que diferentes dispositivos sejam capaz de descobrir uns aos outros e as funcionalidades providas por estes.

3.2 Iniciativas Privadas

Além das iniciativas acadêmicas, há uma série de desenvolvimentos na indústria sobre o assunto. Encabeçadas por empresas como a G.E., que possui em seus laboratórios um projeto de pesquisa para eficiência no uso de energia dos aparelhos (LAMONICA, 2009a), e a Whirlpool, que chegou a anunciar a produção de 1 milhão de secadores inteligentes de roupa até o final de 2011 (LOMBARDI, 2009), as empresas de eletrodomésticos vêm trabalhando nesta ideia. Porém, esse compromisso fixado pela segunda empresa baseava-se na premissa de que até o término de 2010 existiriam padrões disponíveis para o setor, além de alterações nos regulamentos de eletricidade para premiar os consumidores e os fabricantes de equipamentos e utilitários capazes de fazer cortes de energia nos horários de pico (LAMONICA, 2009b), o que ainda não ocorreu. A Figura 3.2 apresenta as propostas de aparelhos inteligentes inseridas pela G.E. na sua linha de eletrodomésticos.

Appliances with Brillion Technology can help you make smarter decisions, so you are better able to...

	... save money	...save energy	...control your energy use
Dishwasher 	Run the dishwasher during low-cost hours with Delay Start Cycle.	Avoid the energy-zapping dry cycles. This dishwasher automatically sets to Air-Dry during high-cost hours.	Need to wash that load of dishes before your guests arrive? Simply override the Delay settings and select your preferred cycle.
Double-Oven Range 	Self-clean feature is temporarily disabled during high-cost times.	Cooktop surface automatically reduces power use by 20% during high-cost hours. This double-oven range automatically defaults to the smaller, less energy-consuming upper oven during peak use times.	If you're on the hook for cookies and a casserole for the school fundrasier, just bypass the power-saver settings to use both ovens.
Front-Load Washer & Dryer 	Both the washer and dryer automatically delay start until energy rates go down, so you can set them to run during low-cost hours.	Clothes washer During high-cost periods, the washer automatically defaults to the Low Energy wash cycle. Clothes dryer Select Low Energy setting during peak use hours.	You can always override the automatic settings. Need your favorite jeans in time for a night out? No worries.
Refrigerator 	Defrosting cycles are automatically delayed until low-cost times of day.	Quick Chill and Quick Defrost features are disabled during high-cost hours, but only until the peak-use period is over.	These power-saving settings happen automatically, with no inconvenience or risk to your food storage. But if you need that wine chilled or steak defrosted in a snap, you can easily enable the features with the press of a button.
GeoSpring™ hybrid water heater 	Automatically sets to use the lowest amount of energy during high-cost hours.	Conserve energy using eHeat™ mode, when the Geospring water heater operates using just 550 watts (vs. 4500 watts in standard electric mode).	These power-saving settings happen automatically, with no disruption to your hot water needs. But if family visits for the weekend and extra hot water is needed for morning showers, simply set the water heater to standard electric mode.
Programmable Thermostat 	Set different temperature levels for different times of the day and week. Programming your thermostat is one of the easiest and most effective ways to reduce your energy bill.	Programmed thermostats can automatically raise or lower home temperatures at night while you sleep, or when you leave the house.	Program your thermostat from your computer using Nucleus software. You can customize the thermostat to fit your lifestyle, whether it be a normal week or an extended absence such as a vacation.

Figura 3.2: Proposta de eletrodomésticos inteligentes da G.E. (GE, 2011).

Dentre as iniciativas existentes no mercado está o aparecimento de diversos medidores de energia ligados à tomada de alimentação dos aparelhos (*Smart Plugs*), que permitem um acompanhamento em tempo real do consumo de energia destes,

tecnologia que chegou a ser apontada como uma promessa para o ano de 2011 (JWT INTELLIGENCE, 2010). Os dispositivos trabalham com a premissa apresentada anteriormente, de que uma vez que o usuário sabe o quanto esta consumindo de energia, este passa a adotar atitudes que levam a uma economia do recurso. Exemplos destes dispositivos são o *Kill-A-Watt*³, *Cent-a-meter*⁴, *GreenWave*⁵, *PICOWatt*⁶ e *TED*⁷, que permitem tarefas como o armazenamento das leituras efetuadas, acompanhamento dos valores pelo display do aparelho ou remotamente, e até mesmo exportar as informações para serviços na Internet, como o *Google Power Meter*⁸. A Figura 3.3 apresenta um dos modelos existentes do *Kill-a-Watt*, enquanto a Tabela 3.2 compara a funcionalidade dos dispositivos similares vendidos comercialmente.



Figura 3.3: Dispositivos para micro medição. (a) Kill-a-Watt P4400, (b) Cent-a-meter, (c) GreenWave, (d) The Energy Detective, (e) PICOWatt.

³ Sítio do fabricante do Kill-a-Watt – <http://www.p3international.com/>

⁴ Sítio do fabricante do Cent-a-meter – <http://www.centameter.com.au/>

⁵ Sítio do fabricante do GreenWave – <http://www.greenwavereality.com/>

⁶ Sítio do fabricante do PICOWatt – <http://www.tenrehte.com/products/>

⁷ Sítio do fabricante do TED – <http://www.theenergydetective.com/>

⁸ Sítio do Google Power Meter – <http://www.google.com/powermeter/about/>

Tabela 3.2: Comparação das funcionalidades dos aparelhos de micro medição.

Características / Aparelho	Kill-a-Watt (P3 INTERNATIONAL, 2007)	Cent-a-meter (CENT-A-METER, 2010)	GreenWave (GREENWAVE, 2010)	PICOWatt (TENRENTE, 2010)	TED (TED, 2010)
Disponibilidade	Venda comercial.	Venda comercial.	Em desenvolvimento.	Em desenvolvimento.	Venda comercial.
Variáveis mensuradas e apresentadas	Tensão, corrente, potencia, frequência, energia, tempo de operação, previsão de gastos de energia.	Temperatura, umidade, nível de conforto, emissão de CO ₂ relativa, gasto em dinheiro, corrente, tensão e energia.	Energia, status dos aparelhos ligados.	Energia.	Gasto em dinheiro, energia, previsão de gastos de energia, emissão de CO ₂ , disponibilidade de energia solar e/ou eólica.
Acompanhamento das informações	Display LCD.	Monitor remoto.	Monitor remoto e através da Internet (SIEGER, 2010).	Sítio na Internet.	Monitor remoto, além de sítios e dispositivos através da Internet, incluindo Google Power Meter.
Controle de eletrodomésticos	Nenhum, apenas monitoramento.	Alarme avisando que o limite de energia estabelecido foi excedido.	Controle de lâmpadas LED vendidas pelo fabricante e outros aparelhos que utilizam os protocolos do produto.	Liga/Desliga remoto, podendo ser controlado por intervalo agendado ou baseado no preço da energia [79].	Nenhum, apenas monitoramento.

Tabela 3.2: Comparação das funcionalidades dos aparelhos de micro medição. (Cont.)

Características / Aparelho	Kill-a-Watt (P3 INTERNATIONAL, 2007)	Cent-a-meter (CENT-A-METER, 2010)	GreenWave (GREENWAVE, 2010)	PICOWatt (TENRENTE, 2010)	TED (TED, 2010)
Funcionamento	Acoplado entre a tomada e o eletrodoméstico.	Utiliza um sensor junto ao fio de energia, que é ligado a um transmissor sem fio para enviar as informações ao monitor.	Os medidores ou régua de medição se comunicam com um gateway através dos protocolos ZigBee e Z-Wave, que por sua vez faz uma ponte com o Monitor.	Acoplado entre a tomada e o eletrodoméstico, utilizando rede Wi-Fi para comunicação.	Sensores são acoplados na caixa de energia e transmitem pela rede elétrica as informações para um gateway. Este gateway armazena e repassa os dados para o Monitor remoto e para a rede IP da casa.
Outras características	O modelo P4460 possui bateria interna para salvar as medições e pode ser informado manualmente do preço da tarifa.	Monitor funciona com mais de uma unidade de leitura ao mesmo tempo. Tarifa ajustada manualmente.	Utiliza redes IP para a comunicação com o gateway.	Pode acessar o sítio das companhias de energia para obter o preço da tarifa.	Permite criar aplicações que utilizem os dados coletados e armazenados no gateway. Um pacote adicional permite determinar disponibilidade de energia renovável.
Preço	~US\$20,00 (P4400)	A\$199,00 (~US\$179,00)	Não disponível.	Não disponível.	US\$199,95 (TED 5000-G)

3.3 Tecnologias Relacionadas

Baseado nos trabalhos apresentados nas seções anteriores, detalhando pesquisas acadêmicas e iniciativas privadas, discutem-se aqui algumas das tecnologias relacionadas para obter as funcionalidades providas em Smart Appliances e plataformas que permitem a criação desta classe de dispositivos.

3.3.1 Serviços

Para disponibilizar as funcionalidades de um aparelho utilizando a plataforma para os demais dispositivos presentes na rede de comunicação, empregou-se o conceito de serviço, onde um aparelho é capaz de interagir com as funcionalidades dos demais através dos mesmos. Segundo a W3C, “um serviço Web é um sistema de software projetado para suportar interação máquina-máquina interoperável sobre uma rede” (HAAS; BROWN, ALLEN, 2004). Atualmente, três são os mecanismos mais comuns para implementação de chamadas de serviços: *Remote Procedure Call* (RPC), *Simple Object Access Protocol* (SOAP) e *Representative State Transfer* (REST). Os três mecanismos são discutidos nas subseções seguintes.

3.3.1.1 Remote Procedure Call

RPC é um técnica permite que um programa de computador possa executar uma sub-rotina ou procedimento em um outro espaço de endereçamento. É uma forma de intercomunicação que está intrinsecamente ligada às abstrações de uma linguagem de programação. Como visto por (VINOSKI, 2005), ainda que muitos sistemas distribuídos de sucesso tenham sido construídos usando RPC, reconhece-se há algum tempo que ele é imperfeito, uma vez que ignora a possibilidade de falhas parciais, como problemas de comunicação em rede, tentando torná-lo apenas mais uma parte do ambiente local, assim introduzindo a necessidade da aplicação lidar com condições de erro que simplesmente não podem surgir com chamadas de procedimento local.

No trabalho de (JURIC *et al.*, 2006), que compara Web Services com *Remote Method Invocation* (RMI), uma implementação de RPC para a plataforma Java, pode se observar como chamadas remotas de métodos apresentam um desempenho (memória, tempo de resposta) melhor que serviços web.

3.3.1.2 Simple Object Access Protocol

SOAP, sigla originada do acrônimo inglês *Simple Object Access Protocol*, é um protocolo para troca de informações estruturadas em uma plataforma descentralizada e distribuída utilizando tecnologias baseadas em XML (GUDGIN *et al.*, 2007). Este depende ainda de protocolos da camada de aplicação para a transmissão e negociação das mensagens, sendo mais comumente utilizados para efetuar chamadas remotas, conhecidas como *Remote Procedure Call* (RPC). Uma das opções é a utilização do protocolo HTTP para a construção de Web Services.

SOAP fornece uma estrutura básica de mensagens em que os serviços web podem ser construídos e é composto de um elemento envelope, representado pela tag XML *Envelope*, que identifica o documento XML como uma mensagem SOAP, um elemento de cabeçalho, chamado *Header*, que contém informações da mensagem, um elemento de corpo, *Body*, que contém informações da chamada ou resposta e, por último, um elemento *Fault* que contém erros e informações de status. Juntamente com requisições

HTTP, esta mensagem se torna uma maneira de invocar procedimentos ou métodos no servidor. **Error! Reference source not found.** e **Error! Reference source not found.** mostram respectivamente o exemplo de uma requisição e resposta SOAP sobre HTTP.

Tabela 3.3: Exemplo de uma requisição SOAP.

```
POST /InStock HTTP/1.1
Host: www.example.org
Content-Type: application/soap+xml; charset=utf-8
Content-Length: nnn

<?xml version="1.0"?>
<soap:Envelope
xmlns:soap="http://www.w3.org/2001/12/soap-envelope"
soap:encodingStyle="http://www.w3.org/2001/12/soap-encoding">

  <soap:Body xmlns:m="http://www.example.org/stock">
    <m:GetStockPrice>
      <m:StockName>IBM</m:StockName>
    </m:GetStockPrice>
  </soap:Body>

</soap:Envelope>
```

Tabela 3.4: Exemplo de uma resposta SOAP.

```
HTTP/1.1 200 OK
Content-Type: application/soap+xml; charset=utf-8
Content-Length: nnn

<?xml version="1.0"?>
<soap:Envelope
xmlns:soap="http://www.w3.org/2001/12/soap-envelope"
soap:encodingStyle="http://www.w3.org/2001/12/soap-encoding">

  <soap:Body xmlns:m="http://www.example.org/stock">
    <m:GetStockPriceResponse>
      <m:Price>34.5</m:Price>
    </m:GetStockPriceResponse>
  </soap:Body>

</soap:Envelope>
```

Uma das principais vantagens do protocolo é a interoperabilidade entre diferentes sistemas e linguagens de programação. As diferentes linguagens geralmente provêm bibliotecas de alto nível para que se possa invocar as chamadas remotas, sem que seja necessário trabalhar diretamente com as mensagens XML.

3.3.1.3 RESTful

O termo *Representative State Transfer* (REST) foi cunhado por Roy T. Fielding em sua tese de doutorado, na qual descreve um novo estilo arquitetural, com base em recursos, para sistemas distribuídos de hipermídia (FIELDING, 2000). A arquitetura consiste em clientes e servidores. Clientes fazem requisições a servidores a fim de acessar/utilizar os recursos disponíveis, enquanto os servidores processam e retornam respostas adequadas com as representações desses recursos. Estes recursos são um alvo conceitual pretendido de algo que está no servidor. Para seu acesso, este deve possuir um identificador.

Um princípio importante é que todas as interações com o servidor REST não possuem estado, de tal forma que cada pedido do cliente para o servidor deve conter todas as informações necessárias para compreender o pedido, sem utilizar de qualquer contexto armazenado no servidor.

REST não é uma API, nem uma plataforma de programação ou mesmo um kit de ferramentas. É apenas uma filosofia de design para aplicações distribuídas e um conjunto específico de orientações para criar aplicativos web. Ele em si é um estilo de alto nível que pode ser implementado usando várias tecnologias diferentes e instanciado usando diferentes valores para suas propriedades abstratas. Entre estas tecnologias está a possibilidade de criar serviços web através do protocolo *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP). A denominação utilizada para serviços web utilizando REST é de RESTful Web Service (RICHARDSON; RUBY, 2007).

Um serviço web RESTful é um serviço simples implementado sobre o protocolo HTTP e que utiliza os princípios de REST. É uma coleção de recursos com três aspectos definidos: o identificador base para acessar o serviço web, ou *Uniform Resource Identifier* (URI), o conjunto de operações suportadas pelo serviço usando métodos HTTP (POST, GET, PUT ou DELETE) e o tipo de dados (*Internet media type*) suportados pelo mesmo para representar o recurso. Desta maneira, por exemplo, um recurso ou uma coleção de recursos poderiam ser acessados respectivamente pelas URIs *http://example.com/resources/* ou *http://example.com/resources/xpto* através de um dos quatro métodos HTTP citados anteriormente, onde o servidor devolveria uma representação destes em um formato apropriado, seja ela em formatos tais como XML, JSON e/ou mesmo HTML. O tipo de interação sobre o recurso é dado pelo método HTTP utilizado, que usualmente seguem a convenção disposta na **Error! Reference source not found.**

Tabela 3.5: Métodos HTTP de um serviço web RESTful.

Resource	GET	PUT	POST	DELETE
URI de uma coleção, como <i>http://example.com/resources/</i>	Lista as URIs e talvez outros detalhes dos membros da coleção	Substitui a coleção inteira com outra coleção	Cria uma nova entrada na coleção. A URL da nova entrada é atribuído automaticamente e normalmente é devolvida pela operação	Elimina toda a coleção
URI de um recurso, como <i>http://example.com/resources/xpto</i>	Obtém uma representação do membro da coleção dirigida, expressa de forma adequada pelo media type informado	Substitui o membro da coleção dirigida, ou se ele não existir, criá-lo	Trata o recurso como uma coleção e cria uma nova entrada no mesmo	Exclui o recurso

3.3.2 Busca e Anúncio de Serviços

Ao longo dos anos, muitas maneiras foram propostas para fazer descoberta de serviços de rede no protocolo IP, mas nenhum deles apresenta ubiquidade no mercado. Esta seção discute algumas delas, focando principalmente naqueles que operam de maneira distribuída.

3.3.2.1 *Apple Bonjour (mDNS e DNS-SD)*

Zero configuration networking (zeroconf) é um conjunto de técnicas que cria, automaticamente, uma rede utilizando o protocolo IP sem a intervenção manual do operador ou servidores de configuração especial. Entre as funcionalidades providas por estas técnicas, esta a de localização automática de serviços de rede, tais como dispositivos de impressão. Entre as implementações existentes esta o Bonjour, criado pela Apple, que utiliza dois protocolos, ambos em fase de draft, para fazer a busca de serviços dentro de uma rede de maneira distribuída.

O primeiro, o multicast DNS (mDNS), emprega uma API similar ao do Domain Name System (DNS) para descoberta de dispositivos, mas enviando mensagens através de um protocolo multicast (CHESHIRE; KROCHMAL, 2011a). O mDNS permite que os computadores em uma rede local, como residência ou pequeno escritório, procurem nomes, sem a necessidade de um servidor DNS centralizado. Cada computador conhece o seu próprio nome e responde automaticamente a pedidos via multicast IP.

O segundo, o DNS Service Discovery (DNS-SD), pode ser utilizando em conjunto ao mDNS, embora esta estrutura não seja obrigatória. O DNS-SD é uma maneira de usar as interfaces de programação, servidores e formatos de pacotes do protocolo DNS para procurar serviços dentro da rede (CHESHIRE; KROCHMAL, 2011b). No DNS-SD, um serviço dentro da rede é identificado pela estrutura exposta na Tabela 5.5. O campo Instance é o mesmo utilizado pelo protocolo DNS. Já o campo Service indica o nome do serviço em si, seguido por “_tcp” ou “_udp”, indicando o protocolo de transporte utilizado por aquela aplicação. Por último, o campo Domain indica o subdomínio DNS, mas podendo ser referenciado como “.local”, apontando para o dispositivo local.

Tabela 3.6: Estrutura de identificação de um serviço em DNS-SD.

Service Instance Name = <Instance>.<Service>.<Domain>

3.3.2.2 *Jini*

Jini é uma arquitetura de rede para a construção de sistemas distribuídos sob a forma de serviços modulares que trabalham em colaboração. Sua implementação é feita em Java, dependendo de uma máquina virtual para sua utilização (NEWMARCH, 2006).

No sistema Jini existem três tipos de componentes, como pode ser visto na Figura 5.6. Existe um serviço, tal como uma impressora, uma torradeira, etc., e, claro, há um cliente que gostaria de fazer uso deste serviço. Em terceiro lugar, há um serviço de pesquisa, chamado *lookup service*, que atua como um intermediador entre serviços e clientes. Apesar da especificação Jini ser bastante independente do protocolo de rede, a atual implementação utiliza apenas o TCP/IP.

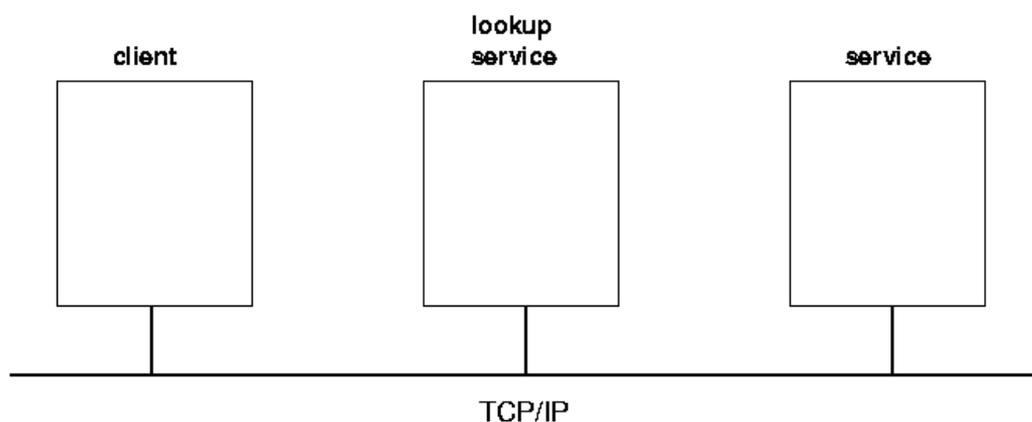


Figura 3.4: Componentes do sistema Jini.

Para que o prestador de serviços registre o seu serviço com um *lookup service*, primeiramente o *lookup service* deve ser encontrado. Isso pode ser feito de duas maneiras: se o local do *lookup service* é conhecido, então o provedor de serviços pode utilizar uma mensagem TCP para conectar-se diretamente a ele. Se a localização não é conhecida, o prestador do serviço fará pedidos UDP multicast, e os *lookup services* podem responder a essas solicitações. De maneira semelhante, o cliente pode requisitar serviços ao *lookup service*.

3.3.2.3 Simple Service Discovery Protocol

O *Simple Service Discovery Protocol* (SSDP) fornece um mecanismo aonde os clientes de uma rede, com pouca ou nenhuma configuração estática, podem descobrir serviços existentes na rede (GOLAND *et al.*, 1999). O SSDP faz isso através de mensagens multicast para apoiar a descoberta, bem como notificação com base em servidor e descoberta de roteamento. Criado originalmente pela Microsoft e HP, atualmente a especificação encontra-se em fase de *draft* e já está expirada. Entretanto, é utilizado como base para o protocolo de descoberta de serviços dentro do *Universal Plug and Play* (UPnP) (GOLAND *et al.*, 1999).

A criação do protocolo surgiu com a necessidade de um mecanismo onde clientes HTTP pudessem encontrar recursos HTTP em uma rede de área local que ofereçam um serviço necessário. Ou seja, um cliente HTTP pode precisar de um serviço particular que pode ser prestado por um ou mais recursos HTTP. Assim, o cliente precisa de um mecanismo para descobrir quais recursos HTTP prestam o serviço que o cliente deseja.

Para tanto, o SSDP utiliza *multicast* dentro da rede IP, onde três tipos de mensagens são utilizadas:

- *ssdp:discover* – é uma mensagem para descoberta de serviços na rede enviada pelo cliente. Uma vez que um serviço compatível recebe a resposta, ele a responde diretamente ao cliente, incluindo as informações de como localizar aquele serviço dentro da rede;
- *ssdp:alive* – utilizada para que os serviços possam declarar sua presença dentro da rede, ao enviar este tipo de mensagem;
- *ssdp:byebye* – complementar ao *ssdp:alive*, esta mensagem tem o propósito de declarar a intenção de um serviço em cessar sua operação;

Os serviços são identificados por um par com a URI do serviço e o *Unique Name Service* (USN) URI. Os tipos de serviço identificam diversas funcionalidades, seja de uma geladeira, relógio/rádio, ou outros. O significado exato de um tipo de serviço é fora do escopo desta especificação. Para os efeitos desta especificação, um tipo de serviço é um identificador opaco que identifica um determinado tipo de serviço. O protocolo também define o mecanismo de *cache* para os serviços anunciados.

3.3.2.4 *Devices Profile for Web Services*

O *Devices Profile for Web Services* (DPWS) é um perfil de Web Services que permite *plug-and-play* para dispositivos de rede (BOBEK *et al.*, 2008). Um PC ou outro dispositivo pode detectar outros dispositivos DPWS em uma rede e, em seguida, descobrir e invocar um serviço Web que este dispositivo fornece. Este perfil apresenta funcionalidades tais como envio de mensagens seguras de e para um serviço Web, descoberta dinâmica de serviços Web, descrição de um serviço Web e a capacidade de inscrever-se e receber eventos de um serviço Web. Em cada uma dessas áreas de alcance, o DPWS define os requisitos mínimos para execução de serviços compatíveis com as demais implementações.

Segundo (MORITZ *et al.*, 2010), “as especificações do DPWS implicam em uma alta curva de aprendizado e os leitores frequentemente chegam a conclusões diferentes do que os autores das especificações. Isto leva muitas vezes a uma representação errada do DPWS”.

4 PROPOSTA DE ARQUITETURA PARA SMART APPLIANCES

Os eletrodomésticos inteligentes representam uma parte importante da visão do Smart Grid, possuindo cada vez mais capacidade de processamento e passando a assumir uma grande parcela na tarefa de economia de energia doméstica e predial. Uma vez que os eletrodomésticos existentes possuem funcionalidades e características diversas, assim como são distintas as necessidades apresentadas por cada tipo de usuário sobre estes aparelhos, torna-se importante a existência de um sistema adaptável que permita-lhes conferir as capacidades necessárias para torná-los Smart Appliances.

Como visto no capítulo anterior, apesar da existência de diversas normas que possam atender as necessidades de uma rede de eletrodomésticos inteligentes, não existe ainda uma definição de um protocolo unificando-as para a criação de Smart Appliances, o que envolve protocolos tanto para comunicação, exposição de funcionalidades, ou mesmo para descoberta destas funcionalidades e dos dispositivos dentro da rede. Muitos dos trabalhos apresentados também adicionam um sistema embarcado com a capacidade apenas de medição remota e mantendo toda a informação e processamento do ambiente doméstico em um sistema centralizado, ao invés de conferir-lhes a capacidade de processamento local com coordenação e funcionamento distribuído dentro da rede. Sobretudo, há poucas discussões sobre a flexibilidade da arquitetura, de forma que ela possa ser implementada em diferentes plataformas de hardware e ainda assim mantendo a interoperabilidade das funcionalidades expostas entre os diferentes dispositivos embarcados, tornando este um momento propício para a devida discussão e proposta de padrões que possam atender estas necessidades.

Como citado anteriormente, muitos autores acreditam que o modelo a ser utilizado na construção do Smart Grid será semelhante ao utilizado pela Internet, com componentes atuando de maneira distribuída e com a possibilidade de expansão durante o funcionamento da mesma. A base da rede mundial de computadores, o *Internet Protocol* (IP), é não só um protocolo muito bem testado e utilizado, mas também já é suportado por uma série de meios físicos de comunicação, além de contar com uma vasta quantidade de fabricantes e dispositivos existentes, o que faz deste um mercado competitivo e atraente economicamente (DUNKELS; VASSEUR, 2008). Entre a vasta quantidade de meios físicos suportados atualmente pelo protocolo IP destacam-se:

- PLC – provê uma rede de dados sobre a infraestrutura de redes elétricas, permitindo então a utilização do protocolo IP sobre a mesma;
- IEEE 802.15.4 – protocolo criado para redes com baixa taxa de transmissão, conhecidas como *Low-Rate Wireless Personal Area Networks* (LR-WPANs), que através da utilização do protocolo *IPv6 over Low Power Wireless*

Personal Area Networks (6LowPan) permite utilizar pacotes IPv6 sobre o protocolo (HUI *et al.*, 2009);

- IEEE 802.11 – protocolo para transmissão em redes sem fio, ou *Wireless Local Area Network* (WLAN), que também serve de base para a tecnologia Wi-Fi;
- IEEE 802.3 – conhecido também como Ethernet, é um famoso protocolo utilizado para a criação de *Local Area Networks* (LAN).

Apesar dos aparelhos eletrodomésticos estarem inseridos dentro de uma rede de comunicação doméstica, não tendo a mesma extensão que a rede mundial de computadores, destacam-se as vantagens da utilização do protocolo IP, não só pelas vantagens da Internet citadas anteriormente, mas também por uma integração mais fácil destes junto aos sistemas de comunicação atuais, uma vez que muitas dos ambientes residenciais e comerciais hoje contam com redes IP, utilizando principalmente redes Wi-Fi ou Ethernet. De maneira geral, as redes IP comportam a participação de, virtualmente, qualquer tipo de dispositivo na rede.

Portanto, esta arquitetura define a pilha IP como recurso básico para a comunicação em rede e, com isto em mente, propõe-se a arquitetura disposta na Figura 4.1. A plataforma implementada é embarcada ao aparelho eletrodoméstico, aonde pode ser comunicar com os demais aparelhos dentro da rede doméstica utilizando o protocolo IPv6 e, possivelmente, acessando redes IP externas a este ambiente. Desta maneira, o eletrodoméstico passa a ter não apenas capacidade de comunicação, mas de processamento local.

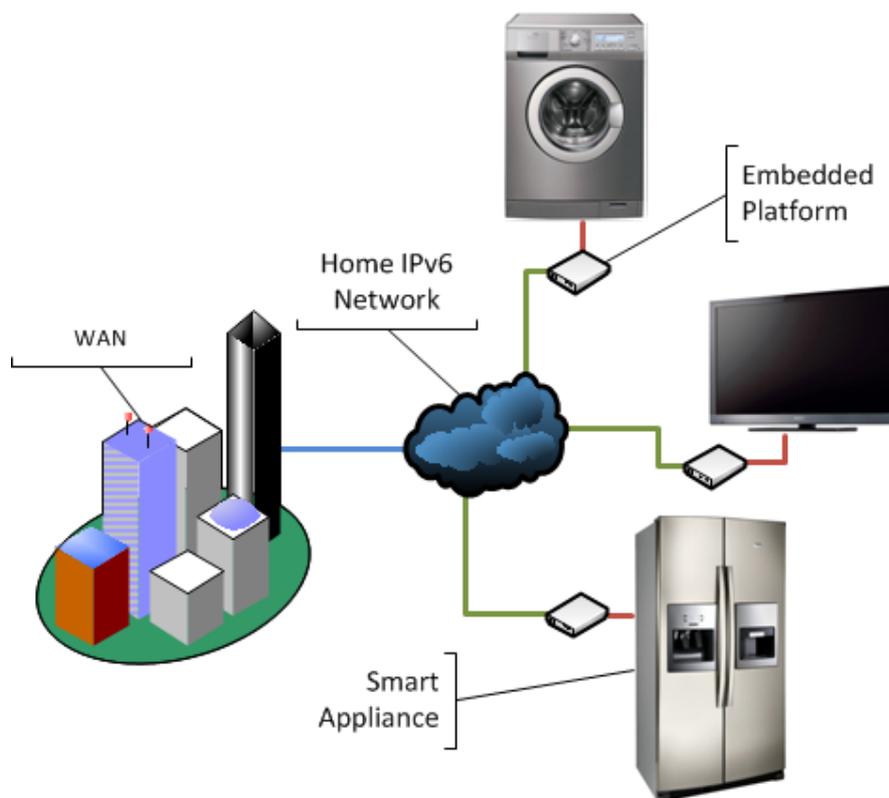


Figura 4.1: Modelo arquitetural da arquitetura proposta.

4.1 Serviços

O termo serviço, no contexto de arquiteturas orientadas a serviços, refere-se a um conjunto de funcionalidades de software relacionados que podem ser reutilizados para diferentes fins, juntamente com as políticas que devem controlar o seu uso. Este conceito é mais amplo e oferece menos restrições do que os sistemas que definem os recursos expostos como atuadores e sensores (TORRI, L. B., 2008), por exemplo, adequando-se melhor às necessidades dos eletrodomésticos inteligentes dentro de um Smart Grid. Um exemplo desta limitação seria no caso de um aparelho televisor, que poderia ofertar ao usuário um serviço de buscas de vídeo na Internet, o que não seria passível de mapear de forma simples dentro de um modelo contendo sensores e atuadores.

Uma das principais vantagens dos serviços Web (*Web services*) é a sua capacidade de interoperabilidade, pois estes utilizam mensagens baseadas em formatos como JSON e XML, independentes de tecnologia, plataforma e de linguagem de programação. Estas características permitem que um usuário usando a plataforma diferente ou tecnologia para se comunicar eficientemente com elementos heterogêneos pertencentes a uma mesma rede, como é o caso dos aparelhos eletrodomésticos inteligentes dentro de uma rede de comunicação doméstica. Em cada um desses dispositivos, a complexidade interna necessária para prover uma certa funcionalidade pode ser abstraída de forma que os demais aparelhos possam usar um mesmo padrão para acessá-las de maneira simplificada. Além disso, os serviços Web fazem uso de protocolos de comunicação como, entre outros, o HTTP, que por sua vez utilizam a bem difundida e estabelecida pilha de protocolos IP, tornando os serviços Web baratos e fáceis de implementar.

Ainda que tenha uma maior complexidade, os formatos de mensagem SOAP e WSDL ganharam adoção generalizada como tecnologias capazes de fornecer interoperabilidade entre sistemas heterogêneos. Entre uma de suas vantagens está a independência de camada de transporte, sendo uma das opções o protocolo HTTP. Em contrapartida, serviços Web RESTful são simples porque aproveitam padrões existentes e bem conhecidos, que fazem parte de uma infraestrutura já amplamente utilizada. Como demonstrado por (PAUTASSO *et al.*, 2008), a escolha de REST elimina a necessidade de uma série de decisões de arquitetura relacionadas com as várias camadas da pilha de SOAP Web Services e faz com que tal complexidade seja supérflua. Além disso, REST atua melhor com relação à flexibilidade e controle dentro de uma aplicação pequena, sendo melhor apropriado para projetos de menor complexidade e que necessitam maior flexibilidade, como é o caso desta arquitetura. (MULLIGAN; GRACANIN, 2009) e (YAZAR; DUNKELS, 2009) fizeram comparações implementando um mesmo serviço web utilizando REST e SOAP. Como resultado dos testes feitos no primeiro trabalho, pode-se ver que a implementação de REST se mostrou mais eficiente tanto em termos de largura de banda de rede utilizada na transmissão de pedidos de serviços através da Internet, quanto da latência de ida e volta realizadas durante estas requisições, produzindo resultados muito melhores quando o componente foi testado em diferentes cenários de domínio específico. Já o segundo apresenta uma menor *footprint* de memória, assim como uma menor quantidade total de código para a implementação de REST.

Desta maneira, serviços RESTful foram escolhidos para representar as funcionalidades da arquitetura, fazendo com que cada dispositivo implementando-a deva possuir um servidor HTTP em funcionamento. Através da utilização de um API

REST sobre o protocolo HTTP, todo serviço provido pela plataforma deve expor, automaticamente, URIs que exibem as informações deste e as funcionalidades providas por estes. Serviços são agrupados logicamente em módulos, dispondo serviços com funcionalidades/recursos semelhantes dentro de um mesmo módulo. As informações do dispositivo, dos módulos nele instalados e, finalmente, o conjunto de todos os serviços prestados, podem ser acessados ou mesmo ter suas configurações alteradas através desta API, que é descrita na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: API RESTful para acesso ao dispositivo implementando a arquitetura.

URI	Função da URI	Métodos HTTP aceitos	Função do método
/	Informações do aparelho.	GET	Exibe as informações do aparelho.
/ < módulo >	Detalhes de um módulo específico, identificado pela variável módulo .	GET	Retorna o status atual e detalhes do módulo.
		PUT	Altera as configurações do módulo.
		POST	Ativa o funcionamento do módulo.
		DELETE	Desativa o funcionamento do módulo.
/ < módulo > / < serviço >	Detalhes de um serviço identificado pela variável serviço e exposto pelo módulo identificado em módulo .	GET	Lista informações e status do serviço em questão.
/ < módulo > / < serviço > /*	Uso específico das funcionalidades expostas por um serviço, podendo * ser qualquer URL válida.	GET	Funcionamento conforme o protocolo estabelecido pelo serviço.
		PUT	
		POST	
		DELETE	

Quando a raiz do servidor HTTP é endereçada, as informações do dispositivo são retornadas. Além do nome que é usado para identificá-lo, constam também outras propriedades em formato livre (neste caso, uma pequena descrição do aparelho), assim como os módulos que estão registrados no dispositivo. Ao acessar um destes módulos, são retornadas as informações do mesmo. Além de propriedades específicas ao módulo,

constam seu nome, os serviços que este módulo expõe, e seu status: “on” para ligado, e “off” para desligado. Por último, ao acessar um serviço dentro deste módulo, obtêm-se seu protocolo principal de funcionamento e um identificador único deste serviço dentro da rede. Através desse identificador, o Unique Service Name (USN), e sua presença na rede, é sempre possível localizá-lo dentro da rede que ele se encontra.

Entretanto, a forma de configuração destes é dada através de uma API REST. Os módulos devem ser passíveis de reconfiguração. Para tanto, como mostrado anteriormente, é necessário fazer uma requisição do tipo PUT para o módulo, juntamente com o parâmetro a ser alterado e o seu novo valor. O formato do corpo está na Tabela 4.2. Como pode ser visto, chave e valor são separados por um sinal de igual, enquanto as tuplas são separadas por “&”.

Tabela 4.2: Corpo de uma requisição PUT alterando propriedades de um módulo.

updateRate=1000&numberOfSamples=30&...
--

O protocolo utilizado para um certo serviço expor suas funcionalidades, apresentado na última parte da tabela, foge ao escopo do trabalho, sendo que o mesmo é específico a implementação do mesmo. Estes serviços não necessariamente devem expor suas funcionalidades através da arquitetura REST definida, embora isto seja reforçado pela arquitetura. Os serviços disponibilizados por cada módulo têm a capacidade de expor suas funcionalidades em uma rede de comunicação, utilizando como base o protocolo IPv6 e escolhendo, dentro da pilha, aquele mais apropriado, permitindo que sejam utilizadas conexões TCP ou UDP, por exemplo, desde que as portas já utilizadas pela plataforma não estejam comprometidas.

Exemplos das mensagens a serem retornadas por estes serviços estão apresentadas na Tabela 4.3. Detalhes das URIs específicas de um serviço serão discutidos na próxima seção, apresentando os serviços de micro medição em detalhes.

Tabela 4.3: Respostas da API REST de um dispositivo fictício.

URI	Resposta XML
/	<pre><device> <name>Refrigerator</name> <properties> <property> <key>description</key> <value>kitchen's refrigerator</value> </property> </properties> <modules> <module>micro-metering</module> </modules> </device></pre>

Tabela 4.3: Respostas da API REST de um dispositivo fictício. (Cont.)

URI	Resposta XML
/micro-metering	<pre> <module> <name>micro-metering</name> <status>on</status> <properties> <property> <key>updateRate</key> <value>1000</value> </property> </properties> <services> <service>voltage</service> <service>current</service> <service>power</service> <service>energy</service> </services> </module> </pre>
/micro-metering/voltage	<pre> <service> <name>voltage</name> <module>micro-metering</module> <protocol>http</protocol> <usn>fe80:0:0:0:214:4f01:0:4464:micro- metering:http:voltage</usn> </service> </pre>

4.2 Serviços de Micro Medição

Como discutido até então, os aparelhos passam a ter uma importância ainda maior na tarefa de economia de energia. Isto faz com que seja importante que o aparelho conheça o seu próprio consumo e possa utilizar estas informações para alterar o seu modo de funcionamento.

Por consequência, um dos módulos, e seus respectivos serviços, que deve ser disponibilizado pela plataforma é o de micro medição. O módulo deve se chamar *micro-metering* e dispor 5 serviços, *power*, *energy*, *voltage*, *current* e *status*, que permitem acessar, respectivamente, as informações de potencia, energia utilizada, tensão, corrente, e as informações anteriores agrupadas em um documento XML. A API REST para acesso a estes serviços está apresentada na Tabela 4.4. As unidades de medida são respectivamente volts, ampère, watt e quilowatt-hora para tensão, corrente, potencia e energia.

Os primeiros quatro serviços devem retornar o valor que representa as leituras destas informações, utilizando o Internet *media type plain/text*, enquanto o serviço status retorna o documento no formato mostrado na Tabela 4.5, que exemplifica uma requisição ao serviço, com Internet *media type text/xml*.

Tabela 4.4: API REST para acesso ao módulo de micro medição.

URL	Métodos HTTP aceitos	Função
/micro-metering/power/present	GET	Retorna a atual potência que esta se Retorna o atual consumo de potência.
/micro-metering/energy/present	GET	Retorna o total de energia consumido até o momento.
/micro-metering/voltage/present	GET	Retorna a tensão atual.
/micro-metering/current/present	GET	Retorna a corrente atual.
/micro-metering/status/all	GET	Retorna todas as leituras em XML.

Tabela 4.5: Resposta XML do serviço de status do módulo de micro medição.

```

GET /micro-metering/status/all HTTP/1.1

HTTP/1.1 200 OK
Content-Type: text/xml; charset=UTF-8
<microMeter>
  <voltage>124.65449495685127</voltage>
  <current>0.5164389397076101</current>
  <power>35.625491335643794</power>
  <energy>0.011878654073490423</energy>
</microMeter>

```

É importante ressaltar que a utilização ou não destes serviços na plataforma alvo é opcional.

4.3 Mecanismo de Busca e Anúncio de Serviços

Os protocolos estudados anteriormente para busca/anúncio de serviços apresentam complexidade que vai além da requerida por este trabalho. Em busca de um mecanismo simples, uma versão baseada no SSDP é proposta nesta dissertação, abrindo mão de mecanismos como, por exemplo, cache. Este protocolo, chamado *Even More Simple Yet Service Discovery Protocol* (EMSYSDP), procura ser o mais simples possível, ainda suprimindo os requisitos apresentados pela arquitetura e mantendo as mesmas características de funcionamento distribuído encontradas no SSDP

Existem dois modos de funcionamento do protocolo, que são apresentados na Figura 4.2. O primeiro, demonstrado em Figura 4.2a, acontece quando um dispositivo com o protocolo junta-se à rede de comunicação. Neste instante, uma mensagem é enviada para os outros dispositivos da rede, informando os serviços prestados pelo recém entrado aparelho. Ao perceber a presença de um serviço de interesse, um segundo

aparelho pode começar a utilizá-lo. Na Figura 4.2b, é demonstrado a busca por um serviço, na qual o dispositivo antes passivo, esperando receber notificações dos aparelhos entrando na rede, passa a enviar uma mensagem para os demais, acintosamente, esperando que os aparelhos que tenham o serviço buscado retornem informações acerca dos mesmos.

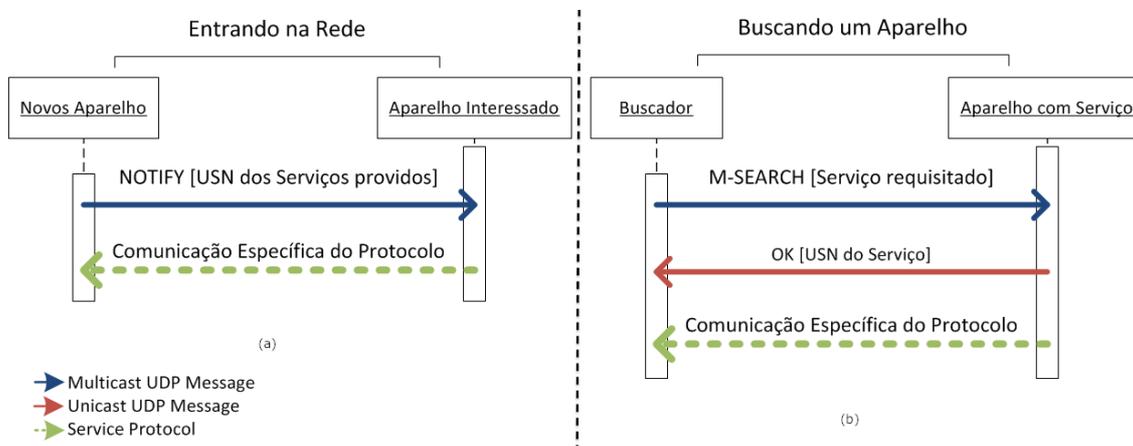


Figura 4.2: Modos de funcionamento do EMSYSDP.

Assim, como o SSDP, são utilizados cabeçalhos HTTP nas mensagens enviadas entre os diferentes aparelhos implementando a arquitetura, com a adição de alguns campos no cabeçalho da mesma. Comparado ao SSDP, estas modificações visam unificar as propriedades semelhantes nas diferentes mensagens, utilizando um identificador comum aos serviços, e também prover a capacidade para anunciar mais de um serviço na mesma mensagem.

Diferentemente do protocolo HTTP original, o protocolo UDP é usado sob estas. Foram definidos as seguintes atributos para as mensagens UDP enviadas pelo EMSYSDP:

- Endereço multicast IPv6: ff02::1
- Porta UDP: 42291

Desta forma, os dispositivos implementando o EMSYSDP esperam mensagens no canal multicast e na porta definidas, a fim de ouvir pedidos de descoberta ou anúncios dos serviços na rede. Caso o aparelho receba uma mensagem que obedece o protocolo, o mesmo pode agir de acordo, notificar interessados ou responder com novas mensagens.

Existem 3 tipos de mensagens trocadas: NOTIFY, utilizadas para que um dispositivo notifique sua entrada ou saída da rede; M-SEARCH, que permite buscar por serviços; OK, que são usadas para responder mensagens M-SEARCH com serviços encontrados. Estabeleceram-se os seguintes campos para serem utilizados nos cabeçalhos das mesmas:

- NTS: quando necessário, identifica o tipo da requisição feita;
- ST: define o tipo de serviço relacionado à mensagem;
- USN: informa o identificador único do serviço relacionado ao campo ST;
- SVS: indica o número de serviços anunciados na mensagem.

A Tabela 4.6 mostra uma requisição e resposta para busca de um serviço, utilizando as mensagens NOTIFY e OK. A primeira linha da requisição indica o método, para que URI está endereçada a mensagem e a versão do protocolo, em seguida o tipo de mensagem e, por último, o tipo do serviço buscado. Caso alguma das plataformas na rede contenha o serviço buscado, esta então envia a resposta. Ela contém inicialmente o cabeçalho com um comando OK, seguido do tipo do serviço e seu identificador único.

Tabela 4.6: Requisição e resposta para busca de serviços no EMSYSDP.

Requisição	Resposta
M-SEARCH * HTTP/1.1	HTTP/1.1 200 OK
NTS: emsysdp:discover	ST: tipoDoServiçoEncontrado
ST: tipoDoServiçoSendoBuscado	USN: idÚnicoDoServiço

De maneira similar, a

Tabela 4.7 **Error! Reference source not found.** mostra o formato das mensagens para anunciar a entrada e saída do dispositivo na rede. Em comparação com o SSDP, o EMSYSDP passa a oferecer a capacidade de anunciar mais de um serviço que é provido pela mesma plataforma. A quantidade total de serviços providos fica evidenciado no campo SVS e os campos seguintes fornecem as informações acerca destes. A mensagem de saída é muito mais simples, apenas colocando a notificação correspondente.

Tabela 4.7: Mensagens de anúncio de entrada e saída do dispositivo na rede.

Entrada	Saída
NOTIFY * HTTP/1.1	NOTIFY * HTTP/1.1
NTS: emsysdp:alive	NTS: emsysdp:byebye
SVS: numeroDeServiçosOferecidos	
ST-1: tipoDoServiçoOferecido_1	
USN-1: idÚnicoDoServico_1	
ST-n: tipoDoServiçoOferecido_n	
USN-n: idÚnicoDoServico_n	

Para cada serviço prestado devem ser definidos a USN e o tipo do serviço (*service type*). Como diz o SSDP, o *Unique Service Name* (USN) é o identificador de uma instância específica de um serviço, sendo usados para diferenciar dois serviços de um mesmo tipo que podem existir em diferentes plataformas. O EMSYSDP define o seguinte formato para estes identificadores:

- Tipo de serviço: <protocoloUtilizado>:<nomeDoServiço>
 - Ex.: http:power
- USN: <endereçoIP>:<nomeDoMóduloResponsável>:<tipoDeServiço>
 - Ex.: 2001:db8:85a3:0:0:8a2e:370:7334:micro-metering:http:power

4.4 Pilha de Protocolos

Dentro de um ambiente doméstico, muitas vezes, pode ser necessário a adoção de não apenas um meio de comunicação físico, mas vários, dependendo de fatores como a condição atual da rede ou a disponibilidade, capacidade e disposição dos recursos disponíveis dentro de tal ambiente. Portanto, é importante que se possa trocar de meio físico para comunicação de dados, o que ocorre com a utilização do protocolo IP e é demonstrado através da Figura 4.3. Da mesma maneira, não se discute nenhum mecanismo de segurança e criptografia que pode ser utilizado junto da pilha IP. Fazem partes da mesma pilha os protocolos TCP e UDP, usados, respectivamente, pela API REST da plataforma, além de outras APIs do tipo REST que podem ser oferecidas, e o mecanismo de busca e anúncio de serviços. Ambos utilizam os cabeçalhos das mensagens HTTP. Estes protocolos podem então ser utilizados para prover os serviços expostos pelas implementações da arquitetura.

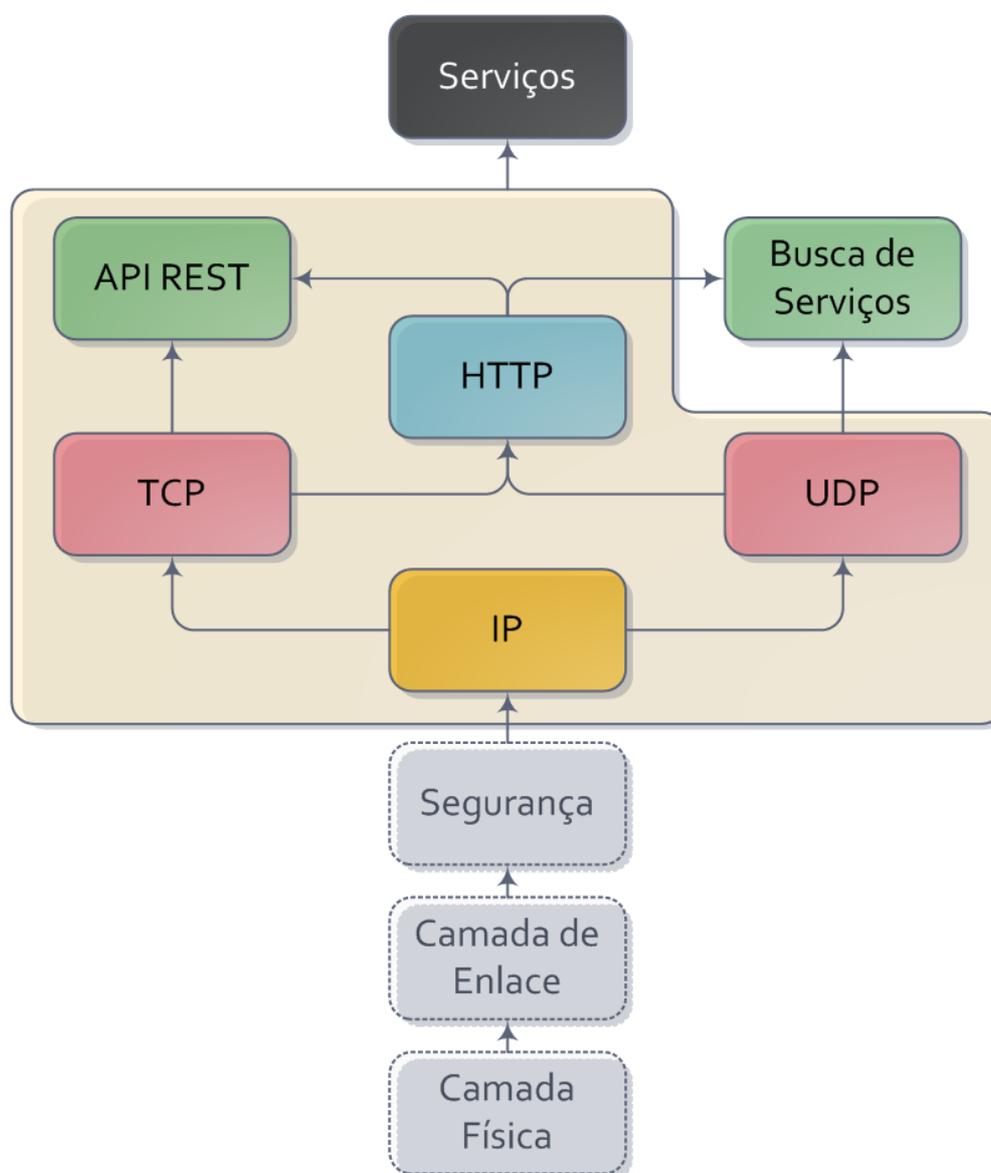


Figura 4.3: Pilha de protocolos da arquitetura proposta.

5 IMPLEMENTAÇÃO DA ARQUITETURA PROPOSTA

A fim de demonstrar o funcionamento da arquitetura proposta, juntamente às características necessárias para implementação da mesma, uma implementação da mesma foi efetuada. A Figura 5.1 apresenta a implementação da arquitetura, contendo o protocolo de busca de serviços EMSYSDP, a API RESTful para serviços, módulos e descrição da plataforma e o módulo/serviços de micro medição.

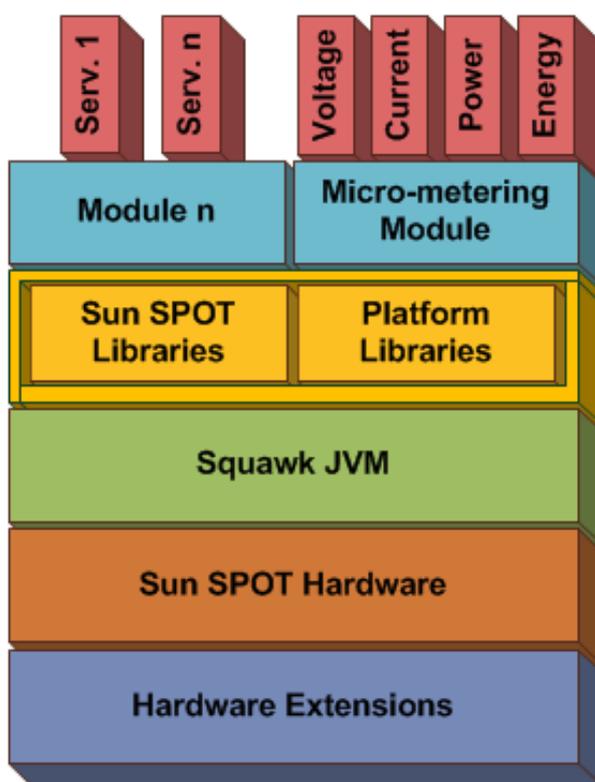


Figura 5.1: Arquitetura proposta e implementada no trabalho.

A implementação utiliza a plataforma de hardware Sun SPOT, que provê a máquina virtual Java (JVM) Squawk. A escolha desta se deve pela disponibilidade do dispositivo. Como pode ser visto na Figura 5.2, a implementação é conectada à rede elétrica e então embarcada junto ao aparelho eletrodoméstico, fornecendo energia elétrica a ele. A plataforma se conecta a rede doméstica IPv6 e, possivelmente, pode trocar informações com o aparelho conectado. Por fim, as informações de potência e outras variáveis mensuradas são obtidas através do Kill-a-Watt. Desta forma, quando embarcada ao aparelho, a plataforma pode adicionar recursos de computação e comunicação e ser utilizada para transformá-lo em uma Smart Appliance.

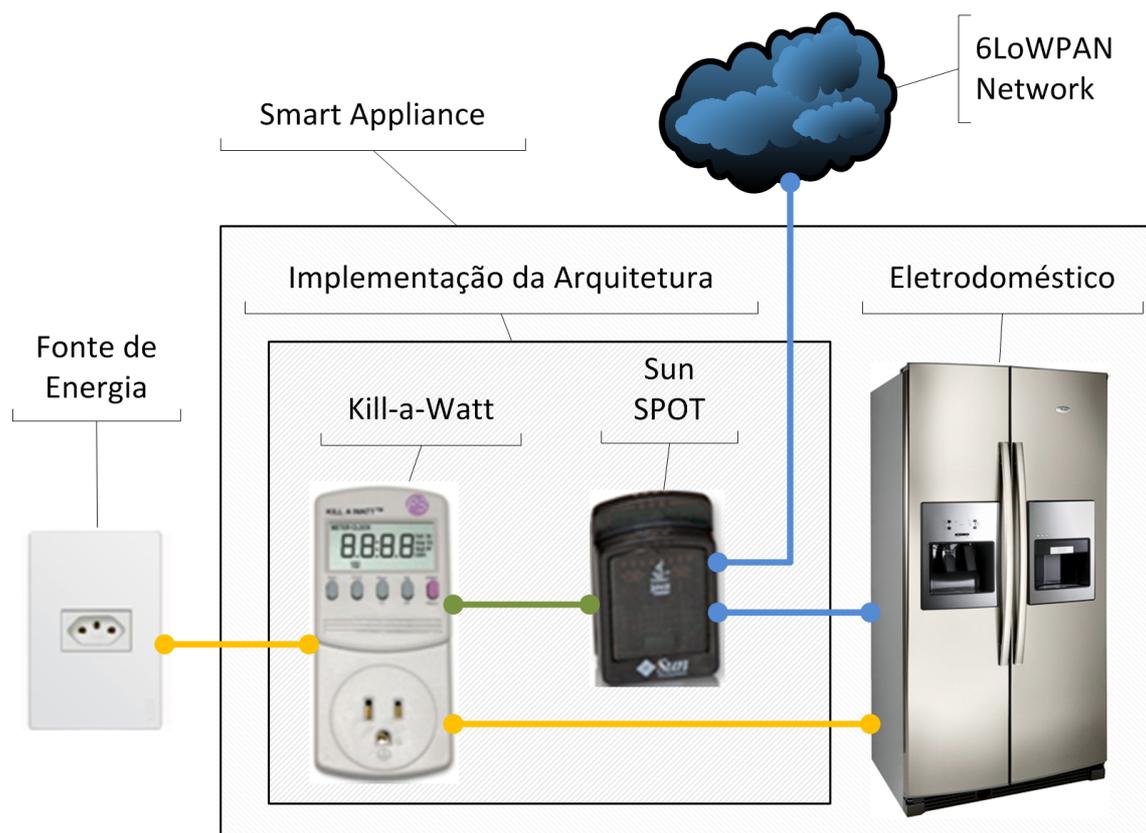


Figura 5.2: Conexão entre implementação da plataforma e eletrodoméstico.

Ambas as plataformas de hardware e software são apresentadas nas seções seguintes, que também detalham o funcionamento de cada uma das partes que implementam a plataforma.

5.1 Plataforma de Hardware

O SPOT, acrônimo de *Small Programmable Object Technology*, é uma plataforma de hardware desenvolvida e comercializada pela Sun Microsystems. O mesmo pode ser observado na Figura 5.3.



Figura 5.3: Plataforma para dispositivos embarcados SPOT.

O dispositivo está disponível nos laboratórios da Universidade, o que influenciou a decisão na sua escolha como plataforma de hardware base para a implementação da arquitetura proposta. Ela utiliza a JVM Squawk como plataforma de software e juntos, Squawk e o SPOT, provêm uma máquina virtual Java visando aparelhos com restrições de recursos, oferecendo ainda um conjunto de hardware que fornece os recursos computacionais necessários para a implementação da arquitetura, além de ser uma plataforma aberta e *open source*. A **Error! Reference source not found.** resume as características de hardware do Sun SPOT. A plataforma de hardware oferece recursos e capacidades suficientes para permitir aos desenvolvedores construir e experimentar aplicativos sem a preocupação de limitações e/ou expansão de capacidades. O dispositivo é equipado com uma bateria que pode ser recarregada através da porta USB.

Tabela 5.1: Características de hardware do Sun SPOT.

Nome	SPOT
Processador	ARM920T 180 MHz 32-bit CPU
Memória Flash	4 MB
Memória RAM	512 KB
Rádio	CC2420 2.4 GHz IEEE 802.15.4
Bateria	5.2 3.7V 720mAh rechargeable lithium-ion
Consumo em sleep	32 μ A
Funcionamento, sem rádio	80 mA
Funcionamento, com rádio	98 mA

5.2.1 Placa de Extensão

Para facilitar o desenvolvimento, junto ao Sun SPOT é distribuída uma placa externa demonstrativa chamada *eDemo Board*, juntamente com a biblioteca Java que permitem controlar os componentes da placa. A *eDemo* possui firmware pré-instalado e vários componentes de hardware que a acompanham. Estes são:

- Acelerômetro de 3 eixos;
- Sensor de luz;
- Sensor de temperatura;
- Conversor analógico-digital (ADC);
- 8 LEDs de 3 cores;
- Interruptores (switches);
- Entradas analógicas;
- Pinos de I/O digital;
- Saídas de alta corrente.

Ademais, através de conexões físicas é possível acoplar até duas placas externas ao SPOT, encaixadas uma acima da outra, ampliando a capacidade do dispositivo. O

projeto das placas pode ser privado ou ainda obtido dos modelos disponibilizados pelo projeto, onde inclusive pode se obter uma com interface Ethernet (ALKIRE; GOLDMAN, 2010).

5.3 Plataforma de Software

Na construção de sistemas embarcados costumam se avaliar a utilização de apenas um pequeno conjunto de linguagem, considerando-se principalmente C, C++ e, nos últimos anos, a introdução da linguagem Java (BARR; MASSA, 2006). C e C++, apesar de sua utilização histórica no desenvolvimento de tais sistemas, não contam com uma série de recursos que hoje são populares entre desenvolvedores de aplicações, como, por exemplo, o mecanismo de *garbage collection*, que retira do programador a obrigação de liberar espaços de memória utilizada, e a bibliotecas de threads. Estes recursos facilitam não só o desenvolvimento do software, mas também evitam falhas muitas vezes causadas pelo cumprimento manual destas tarefas de programação (CHELF; EBERT, 2009; SEO *et al.*, 2008; TORRI, L. *et al.*, 2010). Outro ponto forte é que, segundo o ranking TIOBE, Java é atualmente a linguagem mais popular do mundo (TIOBE, 2010).

A Squawk⁹ é uma máquina virtual Java *open source*, com a maior parte de seus componentes escritos utilizando a própria linguagem Java e concebida para funcionar diretamente sobre o hardware, sem a necessidade de um sistema operacional. Ela implementa a especificação *Connected Limited Device Configuration* (CLDC), base da plataforma Java *Micro Edition* (Java ME) projetada para uso em sistemas embarcados que dispõem de poucos recursos computacionais (SIMON *et al.*, 2006). Seus objetivos são:

- Escrever o máximo possível da VM em Java;
- Foco em dispositivos pequenos e com restrições de recursos;
- Permitir desenvolvimento Java em dispositivos embarcados.

A escolha de escrever o máximo possível da máquina em linguagem Java se deve pelo fato de que isto facilita a portabilidade da mesma, bem como manutenção e debugging. Esta característica faz com que até mesmo drivers de hardware sejam escritos utilizando a linguagem Java. A Figura 5.4 demonstra as diferenças de implementação da Squawk comparadas a outras máquinas virtuais mais comuns.

⁹ Sítio oficial do projeto Squawk – <https://squawk.dev.java.net/>

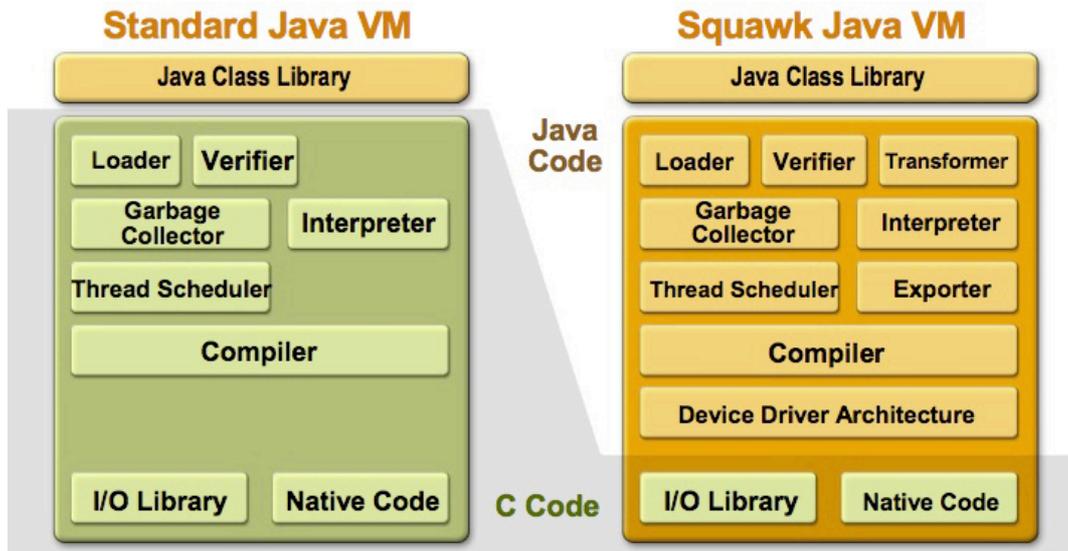


Figura 5.4: Comparação entre a Squawk Java VM e máquinas Java padrão (ARSENEAU *et al.*, 2007).

A Squawk usa escalonamento não-preemptivo através do mecanismo de Green Threads. Green threads emulam ambientes multi-threaded, sem depender de quaisquer recursos nativos do sistema operacional. As threads são chaveadas quando o controle é liberado explicitamente (*Thread.yield()*), ou quando uma thread executa uma operação de bloqueio (*read()*).

A necessidade de conservar energia é uma questão importante para os dispositivos embarcados, que, quando mal utilizados, têm o potencial de esgotar sua bateria dentro de poucas horas. Uma solução comum para esse problema é permitir que a aplicação desligue os componentes que não esteja utilizando, entrando em um modo de baixo consumo. Para isto, em geral coloca-se a responsabilidade da gestão do consumo de energia sobre o desenvolvedor, que em alguns casos, como inexperiência ou desatenção, pode perder oportunidades de poupar energia. Em vez disso, a Squawk tenta automatizar este gerenciamento tanto quanto possível. Quando nenhuma thread está programada para ser executada por mais de um determinado intervalo mínimo de tempo, o sistema automaticamente entra em modo de economia de energia. Desta forma, a própria plataforma fica encarregada de controlar os gastos de energia, enquanto o desenvolvedor pode focar no domínio do problema.

No dispositivo embarcado são interpretados suítes, que nada mais são do que uma coleção otimizada de arquivos de classes Java. A ferramenta de criação de suítes transforma os bytecodes Java em uma representação mais compacta conhecida como bytecodes Squawk. Esses bytecodes podem também ser opcionalmente otimizados para a redução do tamanho do código.

O ambiente de desenvolvimento da Squawk habilita a utilização de ferramentas populares de desenvolvimento Java, como IDEs (*Integrated Development Environment*), e até mesmo a capacidade de executar a Squawk em um emulador do dispositivo SPOT, permitindo rápida prototipação e testes do aplicativo antes da sua implantação na plataforma física. Um exemplo deste emulador em funcionamento pode ser visto na Figura 5.4.

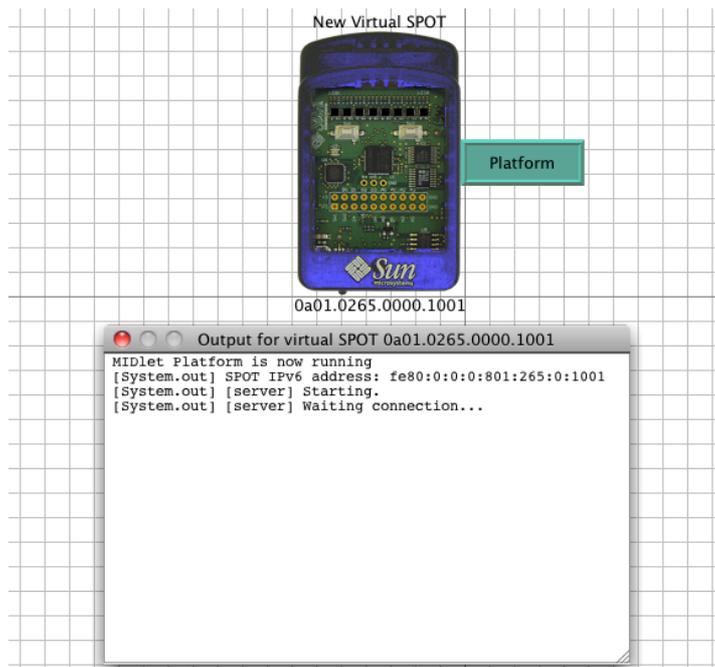


Figura 5.5: Emulador da plataforma Sun SPOT.

Em conjunto a Squawk, o Sun SPOT oferece uma série de bibliotecas Java que permitem utilizar os recursos de hardware presentes. Uma destas bibliotecas é a implementação do mecanismo 6LowPAN, que permite a utilização do protocolo IPv6 em dispositivos com baixo consumo de energia e com capacidades limitadas de processamento. A configuração dos endereços IPv6 segue o *Source Address Autoconfiguration* (SAA), que utiliza o endereço do link 802.15.4 disponível em cada dispositivo. Este esquema de escolha de IP faz com que não exista a necessidade de utilização de protocolos como DHCPv6 ou uma requisição a roteadores através do protocolo ICMPv6. Além do protocolo básico, estão implementadas as camadas de transporte TCP e UDP.

Graças a fácil portabilidade da Squawk, existe uma implementação dela e das bibliotecas providas que permitem sua execução em ambientes desktop utilizando uma máquina virtual Java SE (*Standard Edition*) sob a mesma.

5.4 Modelagem da Arquitetura

A implementação em software utiliza o paradigma de orientação a objetos disponibilizado pela linguagem Java para definir os modelos citados pela arquitetura. Foram abstraídos os conceitos de Dispositivo, Plataforma para Smart Appliance, Módulo e Serviço, representados pelas classes *Device*, *SmartAppliancePlataform*, *Module* e *Service*, respectivamente, e apresentados no diagrama de classes UML na Figura 5.6.

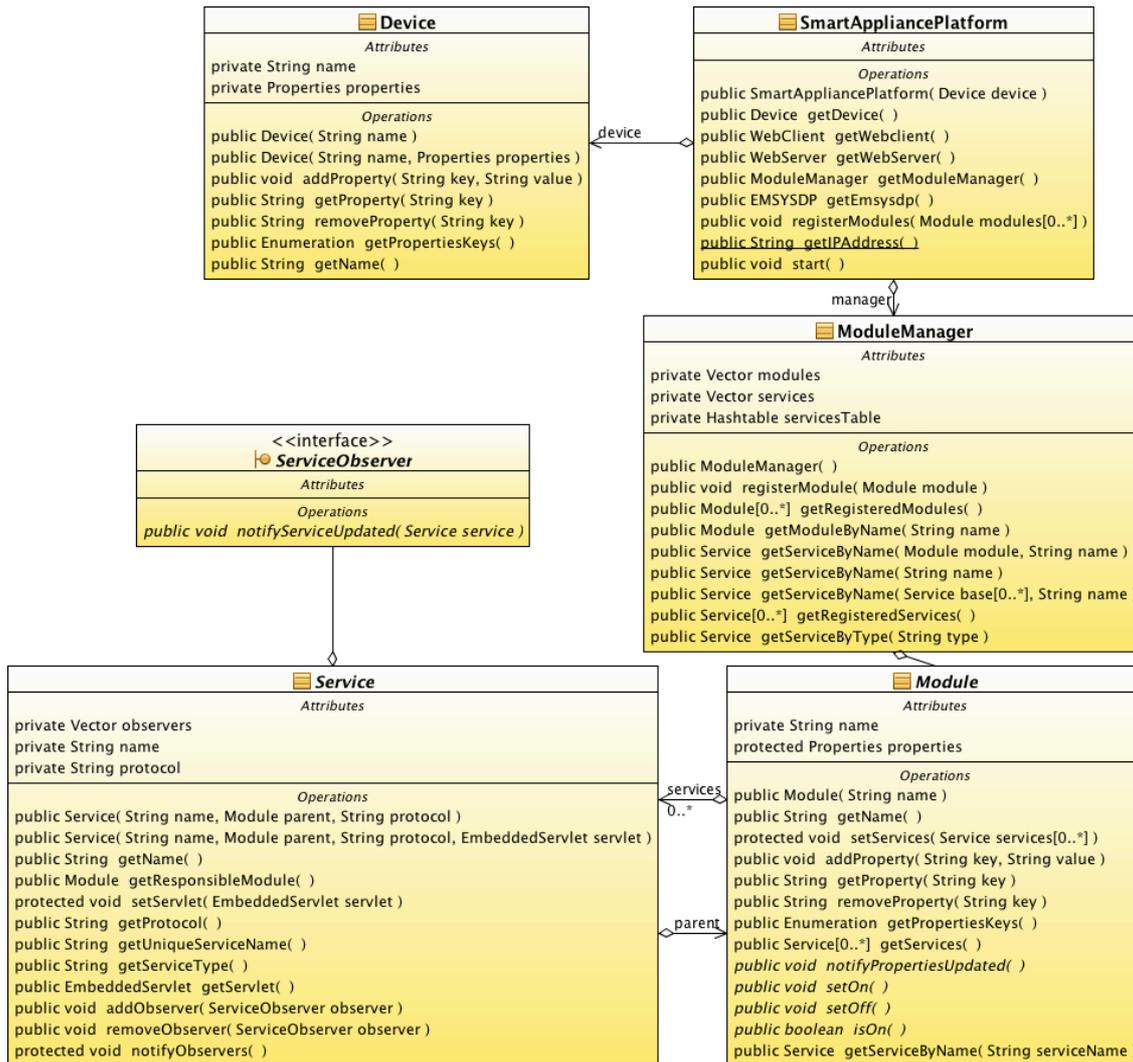


Figura 5.6: Modelo de classes para definição de Módulos e Serviços.

A principal classe da plataforma, contendo o maior número de referências a outros objetos, é a *SmartAppliancePlatform*. Ela é responsável o ciclo de vida da implementação, inicializando os componentes que fazem parte da arquitetura. A plataforma recebe uma instância de um objeto do tipo *Device*, que é a abstração básica do aparelho eletrodoméstico representado. Este objeto tem como papel descrever o aparelho em que o sistema foi embarcado, juntamente com suas características, como, por exemplo, seu nome público, que será anunciado na rede de comunicação e identificará o aparelho, juntamente ao endereço IP do mesmo.

Na instância de *SmartAppliancePlatform* são também registrados os módulos que estarão habilitados no dispositivo, que por sua vez contêm o conjunto de serviços providos por este modulo. A inicialização da plataforma é dada junto ao ponto de entrada da aplicação Java. Este ponto de entrada pode ser diferente dependendo da edição da plataforma que está sendo utilizada. Isto é: caso a Squawk esteja sendo executada em um Sun SPOT, serão utilizadas *MIDLets*; em uma aplicação SE, isto se dá dentro de um método *main*. Independentemente do ponto de entrada da aplicação, a inicialização usa as mesmas classes e um mesmo algoritmo, como exemplificado pelo trecho de código da Tabela 6.1.

Tabela 5.2: Exemplo de código para inicialização da Plataforma.

```

//criação do dispositivo associado à plataforma
Device device = new Device("Nome do dispositivo");

//inicia a plataforma
SmartAppliancePlatform platform =
    new SmartAppliancePlatform(device);

//inicia os módulos
Module mmModule = new MicroMeteringModule();
Module m1 = null;
Module m2 = null;
//...
Module mN = null;

//registra os módulos
platform.
    registerModules(new Module[]{ mmModule, m1, m2, /*...,*/ /mN});

//ativa a plataforma
platform.start();

```

Os módulos são responsáveis por implementar as funcionalidades da plataforma, que são expostas através da rede de comunicação como serviços Web. Um mesmo módulo agrupa diferentes serviços que possuem características/lógicas semelhantes. Um módulo é criado a partir da especialização da classe *Module*. O usuário especializando-a é responsável por prover métodos capazes de inicializá-lo e desativá-lo e seus serviços. Estas funções são dispostas através dos métodos *setOn* e *setOff*. Um terceiro método a ser implementado pelo usuário, *isOn*, é responsável por responder se o módulo esta inicializado ou não. Por último, o método *notifyPropertiesUpdated* também deve ser implementado. O método é chamado toda vez que alguma configuração deste módulo é alterada através da API REST, funcionalidade descrita na próxima seção.

Um módulo também é responsável por inicializar os serviços que este provê. Uma vez que estes foram inicializados, os mesmos devem ser registrados através de uma chamada ao método *setServices*. A ausência de serviços registrados indica que o modulo não expõe nenhuma forma pública para que se possa interagir com o mesmo.

Nesta implementação, serviços são identificados pela classe *Service*. Assim, cada serviço provido por um certo módulo deve estender esta classe. Um serviço não precisa implementar nenhum método da classe estendida, sua funcionalidade pode ser exposta através da utilização das demais bibliotecas da plataforma. Deve se apenas indicar qual o nome deste serviço e, caso seja pertinente, qual o protocolo básico utilizado para

expor este (ex.: HTTP, TCP, etc.), porém, como dito anteriormente, a arquitetura incentiva que estas funcionalidades sejam expostas através de serviços RESTful.

Todos os módulos registrados na plataforma são administrados pela classe *ModuleManager*, que também prove serviços básicos para procurar um serviço e/ou módulo através de seu nome.

Existe ainda uma classe utilitária chamada *ServiceObserver*. Esta permite que módulos locais que se registrem ao mesmo sejam notificados de qualquer evento que tenha acontecido com o módulo. Para tanto, o implementador da interface *Service* deve chamar o método *notifyObservers* toda vez que algum evento ocorra. Apesar de seu funcionamento local apenas, um usuário pode ser capaz de facilmente criar um módulo específico apenas para que outros dispositivos possam registrar-se e receber anúncios de mudança deste através da rede de comunicação.

5.5 Protocolo HTTP

Devido à ausência de uma implementação de um servidor e cliente HTTP nas bibliotecas padrões do Sun SPOT, classes implementando o protocolo foram implementadas. No código Java, cliente e servidor são implementados respectivamente pelas classes *WebClient* e *WebServer*. O cliente, apresentado no diagrama de classes da Figura 5.7, expõe métodos Java que permitem efetuar requisições HTTP para um determinado endereço. A classe *HTTPMethod* lista alguns dos métodos HTTP existentes.

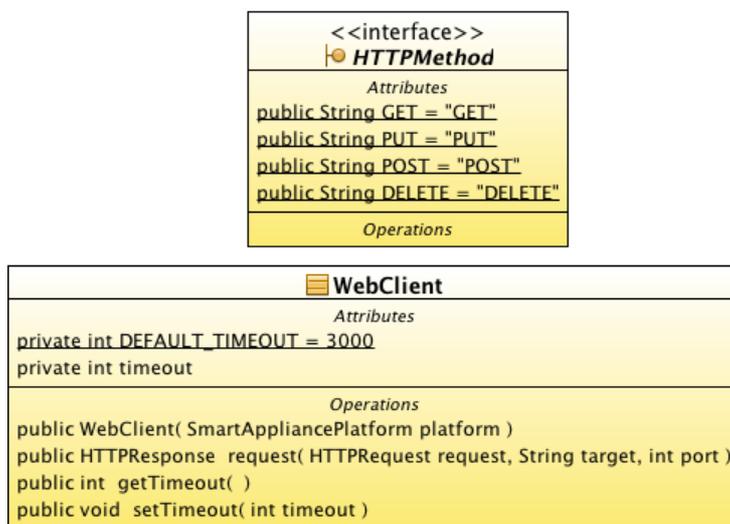


Figura 5.7: Classes que implementam o cliente HTTP.

Em ambientes Java Enterprise, usa-se o conceito de *Servlets* para fazer o mapeamento entre a linguagem de programação e a requisição HTTP. Este trabalho utilizou o mesmo conceito, criando uma abstração chamada *EmbeddedServlet*. Da mesma maneira que uma *Servlet* normal, em uma *EmbeddedServlet* os métodos HTTP são mapeados para métodos Java da classe que estende esta interface. Assim, por exemplo, um método GET é mapeado para o método *doGet* da classe. Portanto, um usuário fazendo proveito desta abstração e queira receber requisições do tipo GET, deve implementar o método *doGet* ao especializar esta classe. Cabe ao servidor HTTP implementado a tarefa de passar a mensagem recebida ao método correspondente. O

diagrama de classes da Figura 5.8 mostra as classes que implementam o conceito de *Servlets* embarcadas e o servidor Web.

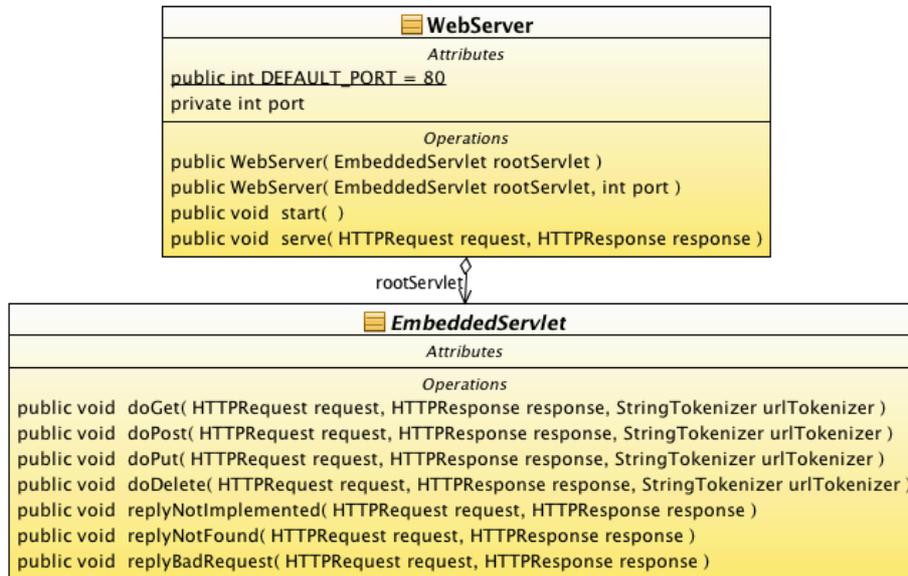


Figura 5.8: Classes do servidor HTTP implementado.

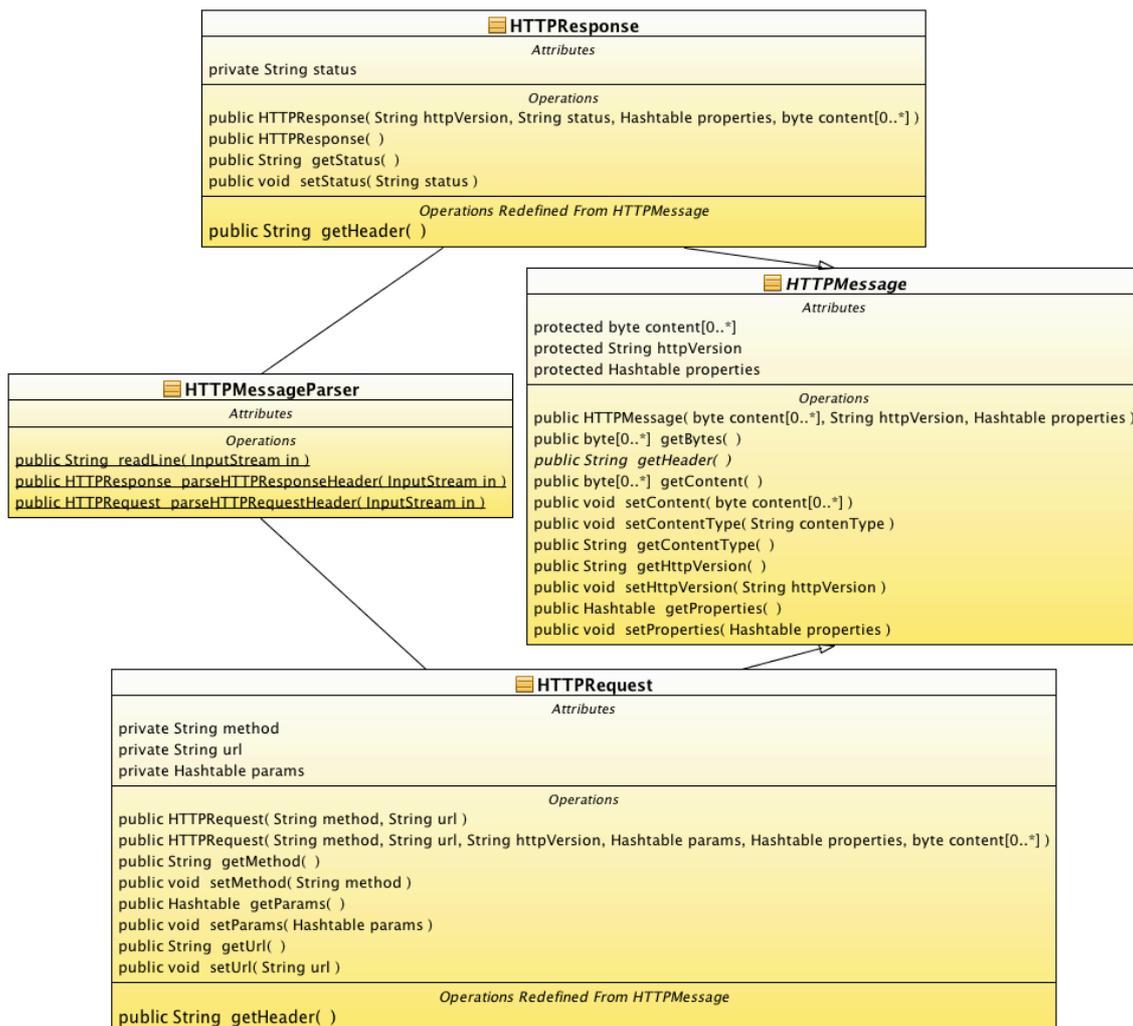


Figura 5.9: Classes comuns ao servidor e cliente HTTP.

O cabeçalho e corpo das requisições e respostas HTTP são mapeadas para as classes *HTTPRequest* e *HTTPResponse*, observadas no diagrama de classes da Figura 5.9. Elas não apenas representam as mensagens HTTP, mas também transformam seu conteúdo para os tipos de variáveis disponíveis na linguagem, ou vice-versa. As mesmas são usadas de forma comum tanto pelo servidor quanto pelo cliente HTTP.

5.6 Serviços RESTful

Para expor a API REST proposta, uma série de Servlets embarcadas foram criadas. Estas Servlets são apresentadas no diagrama de classes da Figura 5.10. Primeiramente, existem duas especializações: *NotImplementedServlet* e *NotFoundServlet*. Estas são usadas de maneira genérica para prover respostas a um cliente de que uma certa função não foi implementada, ou que um recurso endereçado não existe.

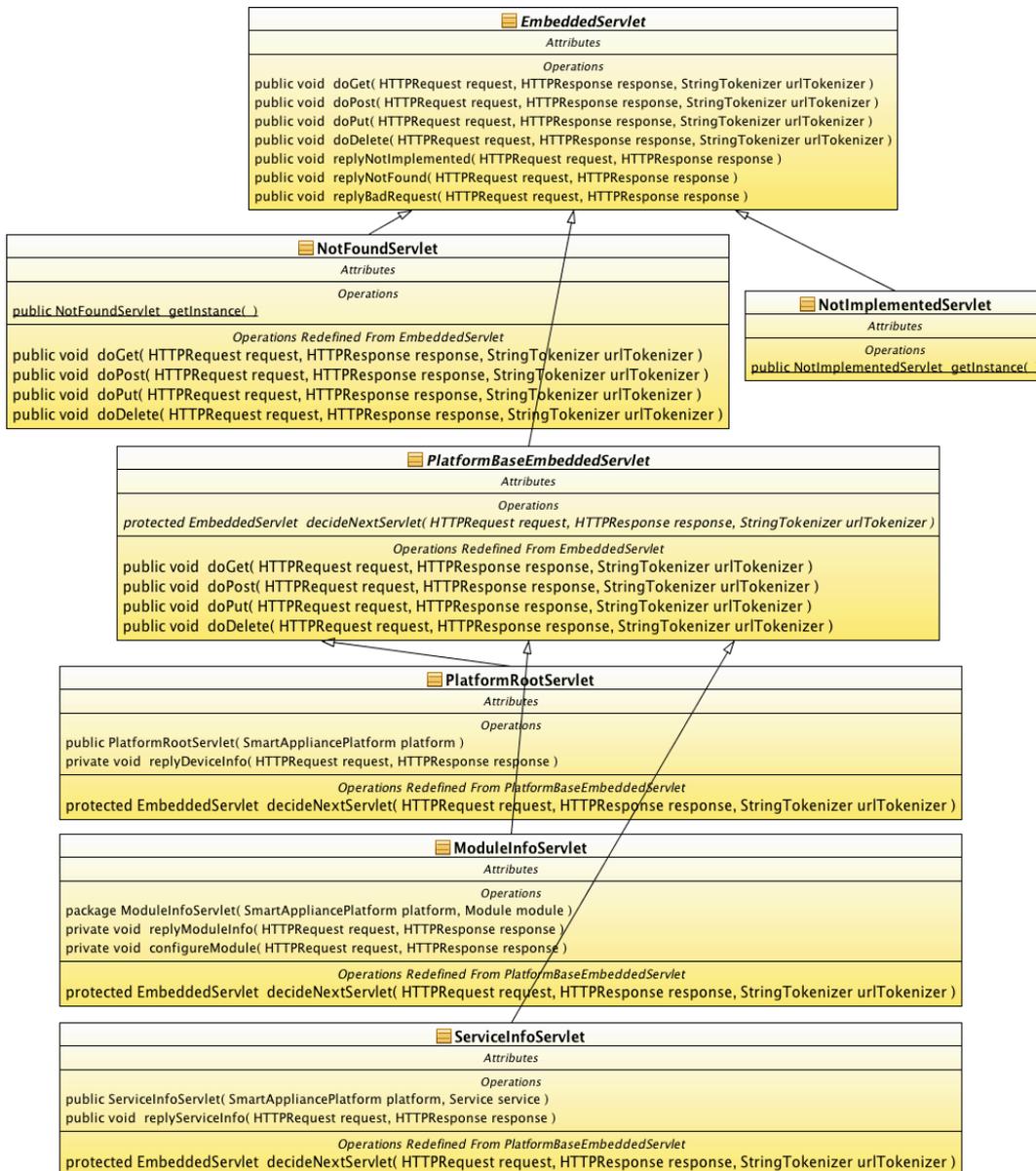


Figura 5.10: Servlets embarcadas utilizadas para prover a API REST.

Uma vez que uma requisição chega ao dispositivo, o servidor HTTP se encarrega de convertê-la em uma *HTTPRequest* e, juntamente com uma *HTTPResponse*, repassá-las

a *PlataformRootServlet*. A *HTTPResponse* é utilizada pela *Servlet* que vai tratar a requisição para retornar uma resposta ao cliente. A *PlataformRootServlet* verifica se a requisição endereça a raiz do servidor (/). Caso negativo, ela busca pelo módulo que está sendo acessado e repassa a requisição a um objeto da classe *ModuleInfoServlet*. Este objeto representa a interação da API com os módulos. Caso a requisição esteja endereçada a um serviço deste módulo, mais uma vez a requisição é repassada, só que desta vez a um objeto do tipo *ServiceInfoServlet*, que responderá a mensagem conforme a interação estabelecida para os serviços. Todas as respostas retornadas ao cliente por estas *Servlets* da plataforma são feitas utilizando o formato XML descrito na proposta da arquitetura.

Cada serviço pode prover uma *Servlet* que é capaz de interpretar as mensagens recebidas. Caso ela não seja provida na criação do serviço, uma resposta de não implementada é retornada. Caso contrário, quando o módulo expõe seus serviços (ou parte deles) através de uma *EmbeddedServlet*, a requisição é repassada ao mesmo. Cabe então a esta implementação interpretar a requisição e responder ao cliente.

Caso uma requisição HTTP seja feita ao servidor HTTP do próprio dispositivo, como, por exemplo, na necessidade de um serviço acessar outro localmente, o protocolo HTTP continua sendo utilizado, juntamente com as abstrações desta implementação. Entretanto, neste caso, elimina-se a necessidade da utilização de um protocolo de rede, e repassa-se o objeto de requisição diretamente.

Caso a requisição corresponda a nenhum serviço ou módulo existente, uma resposta de não encontrado (código 404, *Not Found*) é retornada pela *NotFoundServlet*. Métodos HTTP não implementados por estas *Servlets* são respondidos com um erro avisando que o mesmo não foi criado (código 501, *Not Implemented*) pela *NotImplementedServlet*.

5.7 EMSYSDP

Dentro da plataforma, o protocolo de busca e anúncio de serviços proposto é implementado pela classe *EMSYSDP*, como mostrado no diagrama de classes da Figura 5.11. Estas, além de anunciar a entrada e saída do aparelho na rede, permitem buscar por diferentes serviços, sejam eles remotos ou locais.

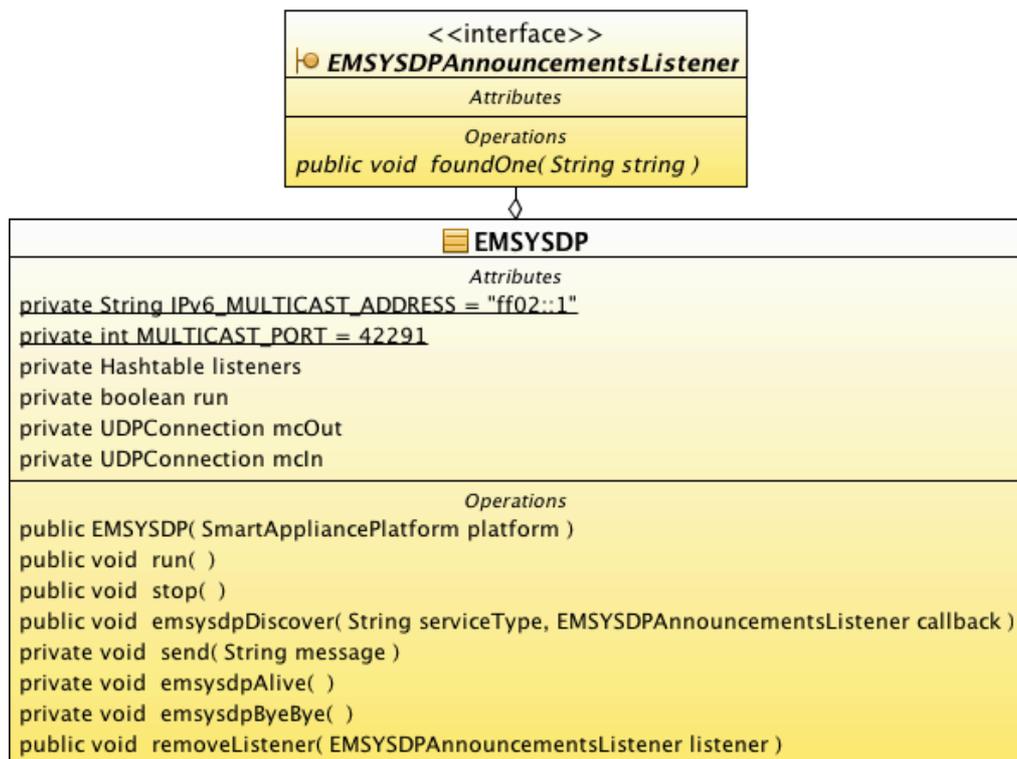


Figura 5.11: Classes que implementam o protocolo EMSYSDP.

Para iniciar uma busca, o método `emsysdpDiscover` deve ser invocado, passando o tipo de serviço que deseja-se encontrar e uma referência para um objeto que implementa a interface `EMSYSDPAnnouncementsListener`. Este objeto é chamado assincronamente para notificar que o serviço desejado foi encontrado em um dos dispositivos da rede. Enquanto o registro deste objeto não seja cancelado, o que é realizado através do método `removeListener`, novos dispositivos que passem a participar da rede e provenham este serviço serão informados ao mesmo.

Como o EMSYSDP utiliza mensagens HTTP, as classes existentes que interpretam as mensagens utilizadas pelo servidor e cliente HTTP foram reaproveitadas, facilitando ainda mais seu desenvolvimento.

5.8 Componentes e Serviços para Micro Medição

Circuitos integrados que têm como objetivo a medição de variáveis como tensão e corrente podem ser encontrados comercialmente, sendo vendidos por fabricantes como Analog Devices ou Texas Instruments (ANALOG DEVICES, 2010; TEXAS INSTRUMENTS, 2010). Porém, sua utilização nem sempre é trivial, já que depende do desenvolvimento do circuito necessário para seu funcionamento adequado.

Por outro lado, o dispositivo Kill-a-Watt, apresentado no capítulo anterior, provê toda a implementação de hardware necessária para obter estas informações necessárias pela arquitetura, além de não ter um preço proibitivo. Embora não suportado pelo fabricante, sua modificação para obter os dados coletados é possível e foi efetuada durante o trabalho de conclusão de curso do aluno Victor Guimarães (GUIMARÃES, 2011). O trabalho proporcionou a integração entre os dois dispositivos, disponibilizando uma driver Java capaz de acessar os recursos mensurados. O driver criado é representado pela classe `MicroMeteringHWInterface`, que faz a interface hardware/software, utilizando o conversor analógico-digital (ADC) que está conectado

ao Kill-a-Watt pelo hardware do Sun SPOT para converter os valores obtidos em informações disponibilizadas pelo módulo. Fisicamente, o Kill-a-Watt é conectado a uma tomada elétrica, enquanto o eletrodoméstico se conecta a ele para que possa ser monitorado e para receber energia.

Finalmente, utilizando como base este driver, o módulo e serviços de micro medição são implementados. A Figura 5.12 mostra o diagrama UML com as classes que os implementam, na qual módulo criado é representado pela classe *MicroMeteringModule*, que estende a interface *Module*. Esta classe é responsável por inicializar os serviços prestados e atualizar os dados que os serviços retornam aos clientes que os acessam através de sua API. A cada segundo, as informações são obtidas do driver e guardadas, provendo um mecanismo de *cache* destes valores e evitando que leituras sejam feitas a cada requisição HTTP.

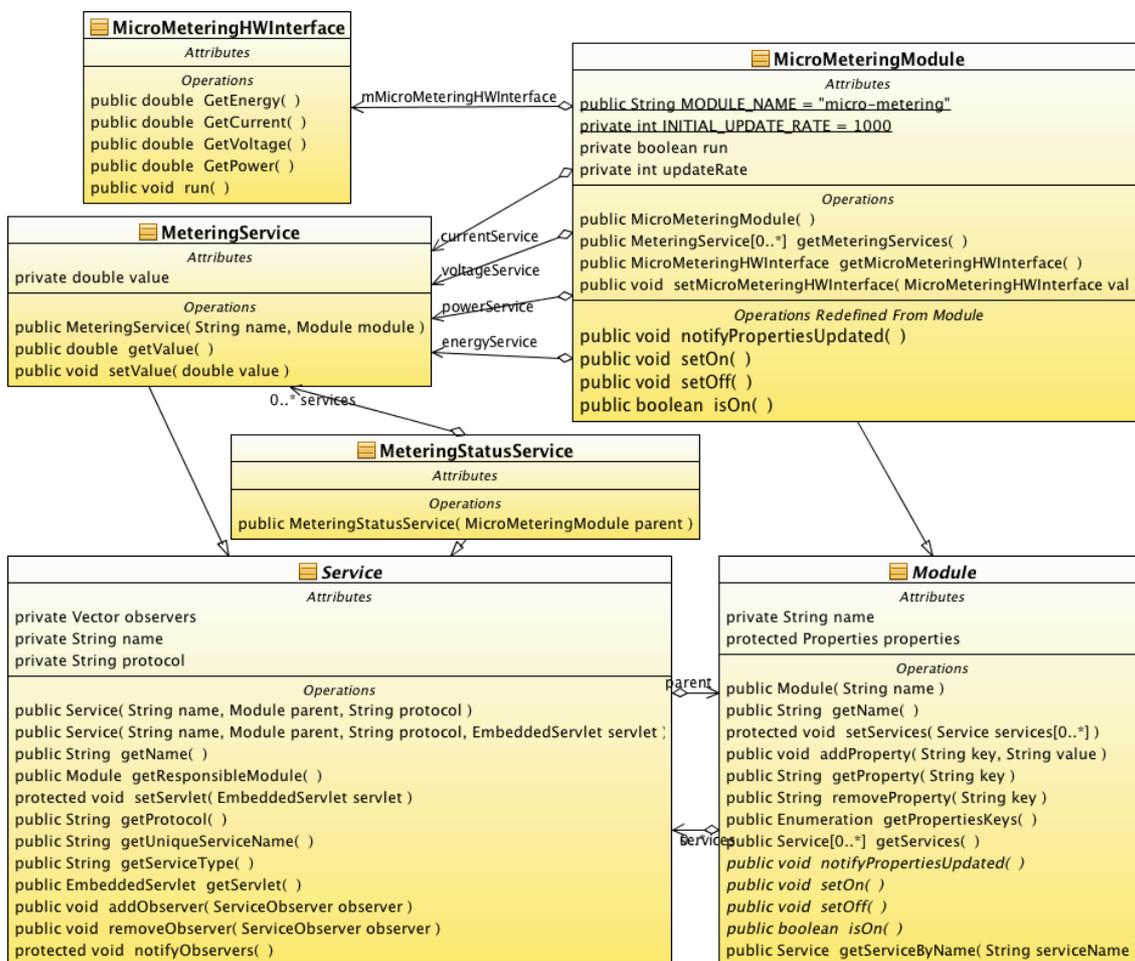


Figura 5.12: Implementação em software do módulo de micro medição.

Os cinco serviços existentes são expostos por duas classes diferentes. A primeira, *MeteringStatusService*, expõe o serviço que retorna uma resposta XML com todas as informações lidas do aparelho. Ele tem uma referência ao demais serviços, que guardam as leituras individuais de cada um dos valores retornados. Os outro quatro serviços, com cada uma das leituras individuais, são mapeados por 4 instâncias diferentes da classe *MeteringService*.

5.9 Visão Geral da Implementação

A Figura 5.13 apresenta o resultado final do sistema embarcado construído, com o Kill-a-Watt conectado ao Sun SPOT. A **Error! Reference source not found.** reúne as principais classes do sistema em um mesmo diagrama de classes, demonstrando a relação entre as mesmas.



Figura 5.13: Sistema embarcado implementando a arquitetura proposta.

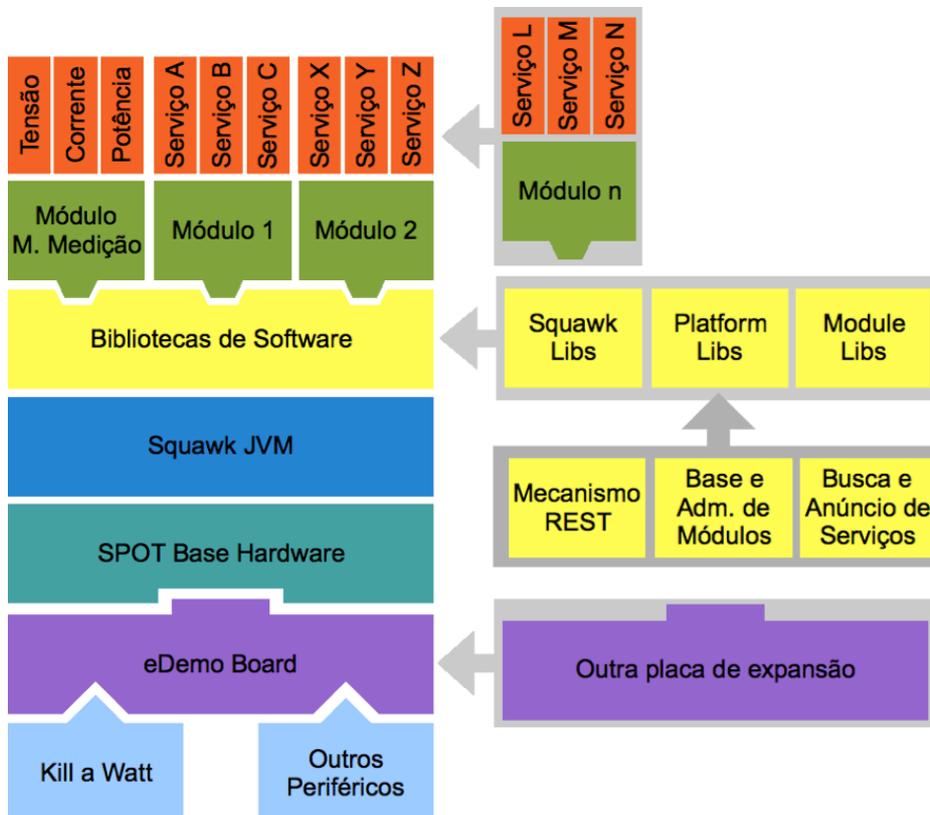


Figura 5.14: Blocos que compõem a implementação da arquitetura.

6 VALIDAÇÃO E RESULTADOS

Para validar a plataforma desenvolvida neste trabalho, juntamente com a implementação efetuada nesta dissertação, uma série de cenários foram, mostrando como a arquitetura pode ser explorada a fim de criar eletrodomésticos inteligentes. Para tanto, diferentes módulos foram implementados, criando os serviços necessários a cada ambiente de teste.

Estes cenários, assim como os módulos e serviços criados, estão descritos na próxima seção. Na seção seguinte, a última do capítulo, são apresentados resultados específicos da implementação da arquitetura proposta e os protocolos que fazem parte da mesma.

6.1 Experimentos

Foram criados quatro experimentos utilizando a plataforma:

1. Demonstra uma especialização da plataforma deste trabalho capaz de coletar, de maneira centralizada, as informações de corrente, potência, tensão e energia dos aparelhos que estão na rede.
2. Similar ao primeiro experimento, entretanto um outro módulo foi criado, capaz de utilizar os serviços Web do Google Power Meter.
3. Cria nos aparelhos a capacidade de avisar o usuário que o eletrodoméstico ultrapassou um certo limite de energia estipulado por este. O preço atual da energia e acessado por um serviço Web externo à rede doméstica.
4. Um sistema de gestão de energia, que acompanha o consumo de cada aparelho e notifica o usuário de oportunidades para poupar energia, permitindo que os eletrodomésticos sejam ligados ou desligados.

6.1.1 Agregador de Dados de Micro Medição

Com a presença de vários aparelhos em uma mesma rede tendo seus valores de tensão, corrente, potência e energia mensurados, torna-se interessante a existência de uma aplicação capaz de coletar estas informações. A plataforma criada neste trabalho, apesar de consideravelmente poderosa para um sistema embarcado, possui recursos limitados de computação, sendo importante agregar estes dados não só para processá-los em um dispositivo com maior disponibilidade de recursos, mas também para gerar resultados onde as leituras são consideradas parte de um grupo maior, uma vez que o valor das informações de um mesmo cenário agrupadas como um todo pode ser maior que a soma de suas partes individuais.

Desta maneira, este experimento tem como objetivo coletar as informações de consumo de energia, bem como leituras de tensão, corrente e potência providas pelo

modulo de micromedição da plataforma, de forma a agregá-los em um ponto central e permitindo que estas informações sejam posteriormente processadas e analisadas.

A Figura 6.1 dá uma visão geral do funcionamento deste teste. A plataforma é integrada, distribuída e colocada em funcionamento em diferentes eletrodomésticos do ambiente. Uma versão especializada da plataforma, com um módulo chamado de *GetMMDataModule* é também inserida na rede.

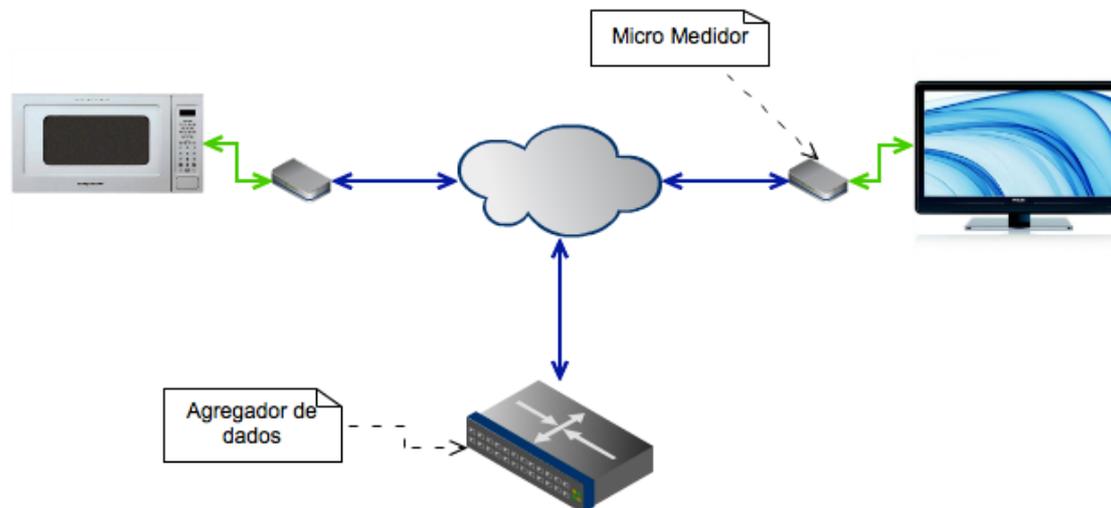


Figura 6.1: Experimento de validação: agregador centralizado de leituras.

Uma vez inicializada, a plataforma é capaz de coletar as informações dos demais dispositivos da rede. Primeiramente, buscam-se, utilizando o protocolo EMSYSDP deste trabalho, por serviços de micro medição expostos na rede. Uma vez que um ou mais destes serviços sejam encontrados, o agregador de dados passa a fazer requisições à API REST destes, a fim de obter e armazenar estas informações. Uma vez que o agregador esteja em funcionamento, novos medidores adicionados à rede são automaticamente adicionados à lista de serviços disponíveis, já que estes, ao serem ligados, anunciam sua presença na rede.

Caso um dos dispositivos se desconecte da rede, o modulo agregador é capaz de perceber o acontecimento e, assim, deixar de buscar as medições deste dispositivo. Uma vez que ele entre em funcionamento novamente, mais uma vez ele é adicionado a lista de aparelhos que devem ter suas leituras requisitadas.

Um exemplo simplificado de todos os passos executados pelo modulo para obter as leituras dos micro medidores presentes na rede do agregador de dados está disposto no algoritmo da Tabela 6.1.

Tabela 6.1: Algoritmo simples para obtenção do status dos micro medidores da rede.

```

public class GetMMMDDataModule
    extends Module implements EMSYSDPAnnouncementsListener {

    /*...*/

    public GetMMMDDataModule(SmartAppliancePlatform platform) {
        platform.getEmsysdp().emsysdpDiscover("http:power", this);
        /*...*/
    }

    public void foundOne(String usn) {
        HTTPRequest req =
            new HTTPRequest(HTTPMethod.GET, "/micro-metering/status/all");

        HTTPResponse response =
            platform.getWebclient()
                .request(req, getAddressFromUSN(usn), 80);

        String xmlStatus =
            new String(response.getContent());
    }

    private String getAddressFromUSN(String usn) { /*...*/ }

    /*...*/
}

```

As informações coletadas podem ser acessadas pelo usuário através de páginas web. Fazendo uma requisição ao servidor que atua como agregador de dados, o usuário é apresentado com um resumo dos micro medidores sendo monitorados. Uma lista de todos eles é apresentada, juntamente a um gráfico que compara a utilização de energia entre cada um deles, como pode ser visto na Figura 6.2. Desta maneira, fica evidenciado qual aparelho está consumindo a maior quantidade de energia.

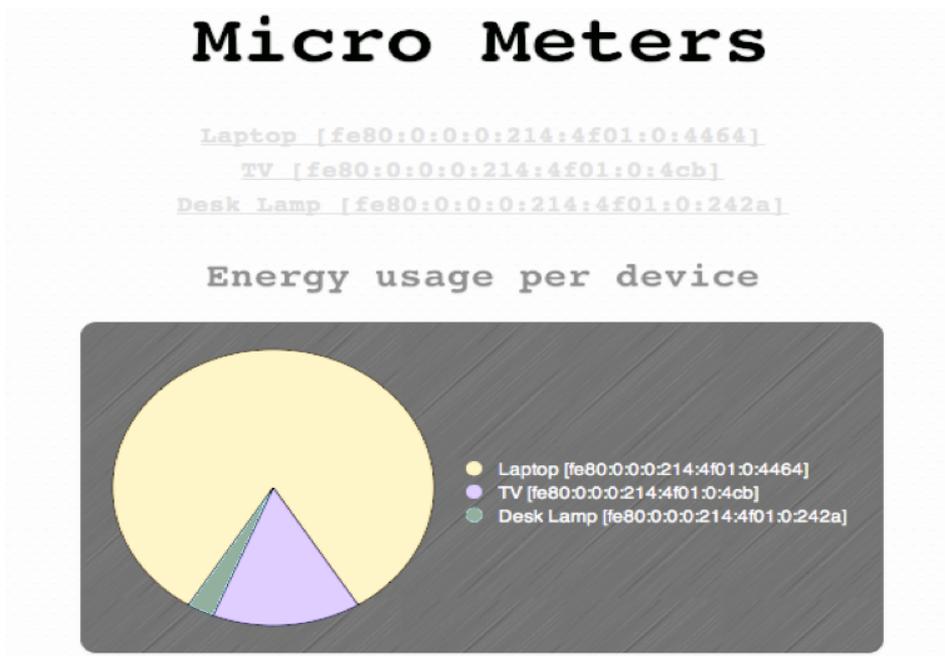


Figura 6.2: Resumo das informações coletadas.

Selecionando cada um dos aparelhos acompanhados, as leituras do mesmo são apresentadas em uma nova página. Neste exemplo, é possível ver as leituras obtidas para três aparelhos: na Figura 6.3 um abajur com uma lâmpada incandescente de 20W, um laptop com processador Pentium 4 de 3.2 GHz em modo de carga para Figura 6.4, e um televisor de tubos de raios catódicos ligado na Figura 6.5.

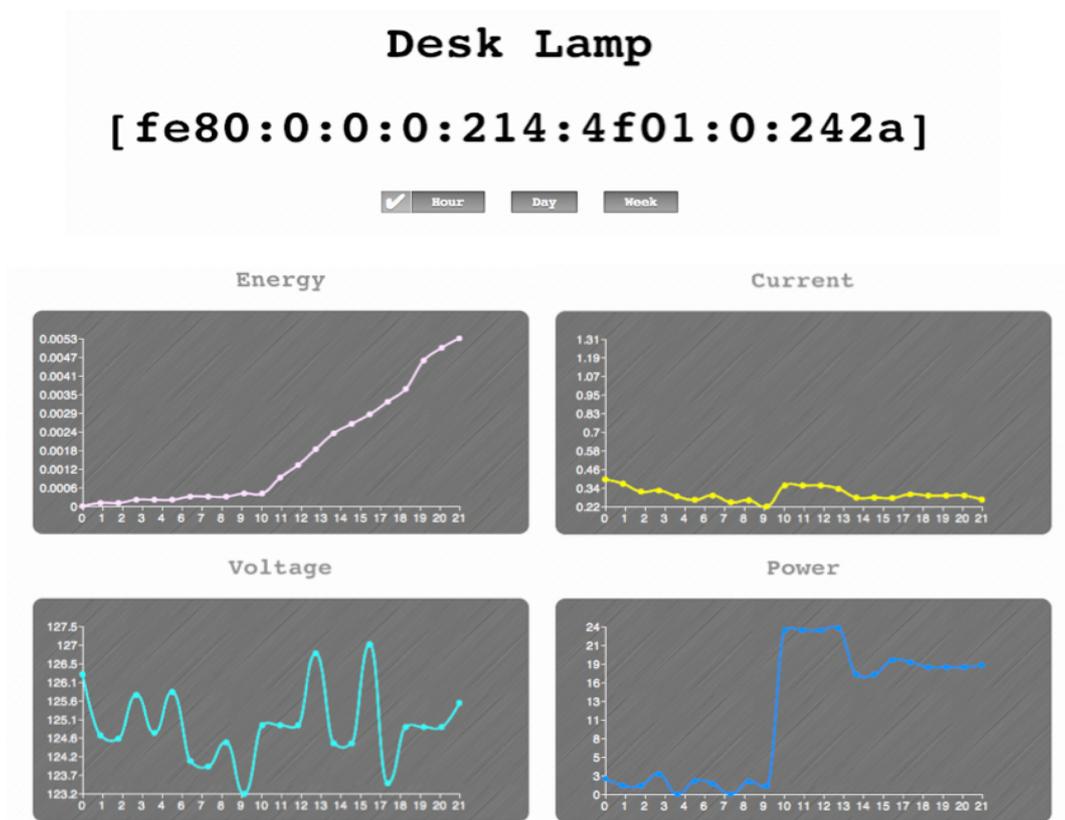


Figura 6.3: Informações de micro medição coletadas de uma lâmpada incandescente.

Laptop

[fe80:0:0:0:214:4f01:0:4464]

Hour
 Day
 Week

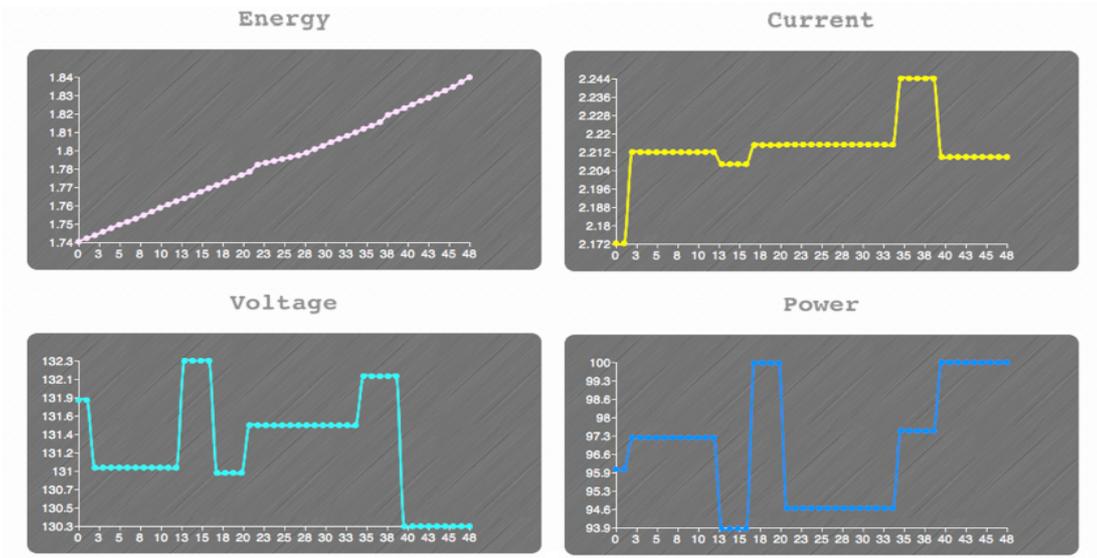


Figura 6.4: Informações de micro medição coletadas de um laptop.

TV

[fe80:0:0:0:214:4f01:0:4cb]

Hour
 Day
 Week

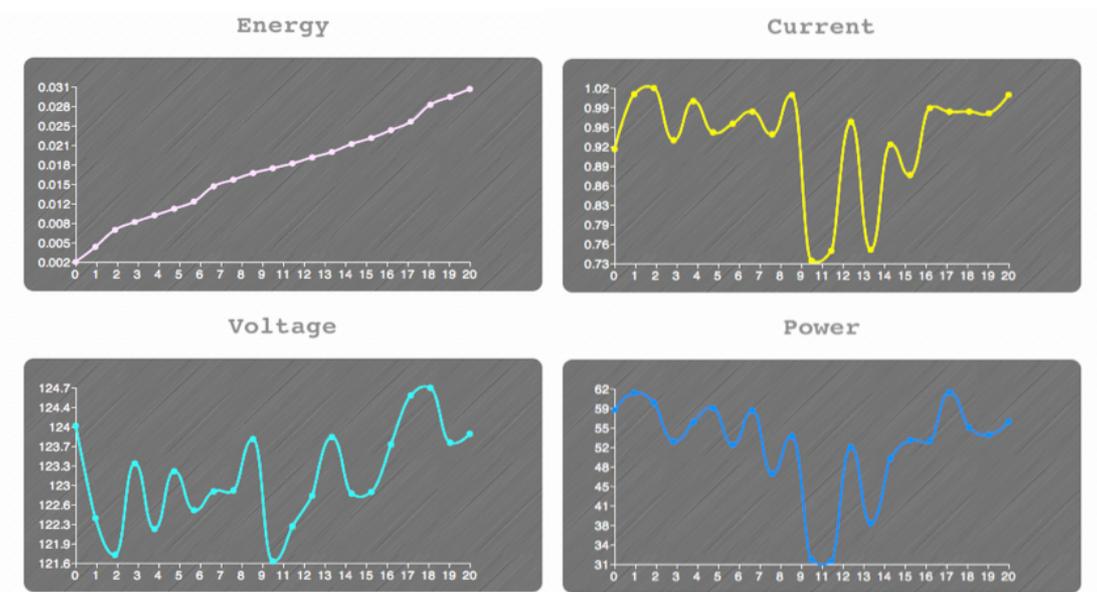


Figura 6.5: Informações de micro medição coletadas de um aparelho televisior.

Nota-se que todos os aparelhos operam em 120V. Também é possível verificar que a lâmpada encontrava-se inicialmente desligada, tendo um aumento nas leituras de potência quando a mesma foi acesa. O laptop por sua vez esteve ligado durante todo o período de amostragem, apresentando um consumo de corrente praticamente constante. Já o televisor tem a maior oscilação de corrente e potência percebida.

A utilização de páginas web faz com que os dados possam ser acessados por dispositivos móveis, como mostrado na Figura 6.6, onde os gráfico de um dos dispositivos acima citados são acessados através de um dispositivo smartphone.

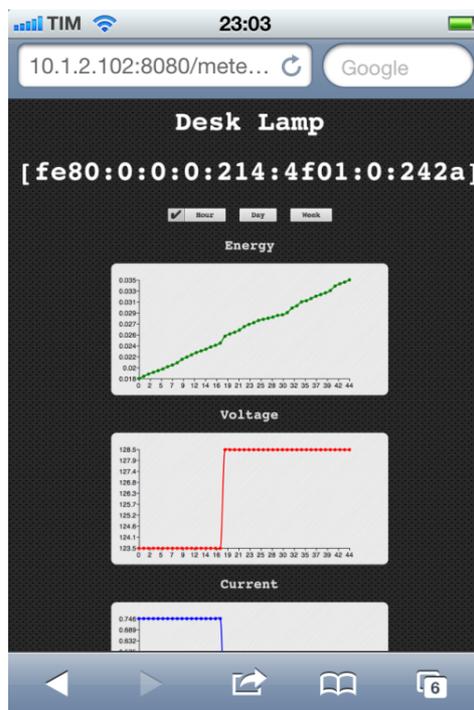


Figura 6.6: Informações coletadas exibidas em um dispositivo móvel.

6.1.2 Google PowerMeter

Afim de comparar com algumas das versões comerciais de plataformas disponíveis, uma versão alterada do módulo agregador de dados, com a adição de uma etapa para enviar os dados coletados para o Google PowerMeter, foi implementada. Seu funcionamento é muito similar à versão original, com a diferença de que a cada 15 minutos, a leitura mais atual de energia consumida é enviada aos servidores da Google. Assim, o módulo agregador passa a ser não só responsável por coletar todas as informações de energia dos dispositivos presentes na rede, mas também de condensar essa informação e repassar ao serviço, como mostrado na Figura 6.7.

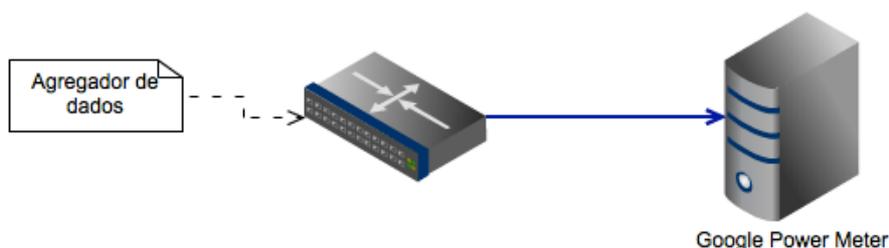


Figura 6.7: Módulo agregador modificado para enviar dados ao Google PowerMeter.

Infelizmente, devido a desativação prematura do serviço (BROWN, AARON; WEIHL, 2011), não foi possível testar seu uso com valores reais, apenas com valores fictícios reportados pela versão simulada da plataforma. Entretanto, como pode ser visto na Figura 6.8, esta integração funcionou sem problemas.



Figura 6.8: Google Power Meter com informações enviadas pelo modulo agregador.

6.1.3 Controle de Custo

O segundo experimento proposto tem como objetivo adicionar inteligência a um aparelho e possibilitar ao usuário limitar a utilização do mesmo estipulando um valor máximo em dinheiro a ser gasto em energia elétrica consumida por ele. Para tanto, um novo modulo foi criado. Chamado *CostControlModule*, este módulo permite determinar o limite de dinheiro que um certo aparelho está permitido a gastar. A Figura 6.9 mostra uma visão geral do funcionamento do teste.

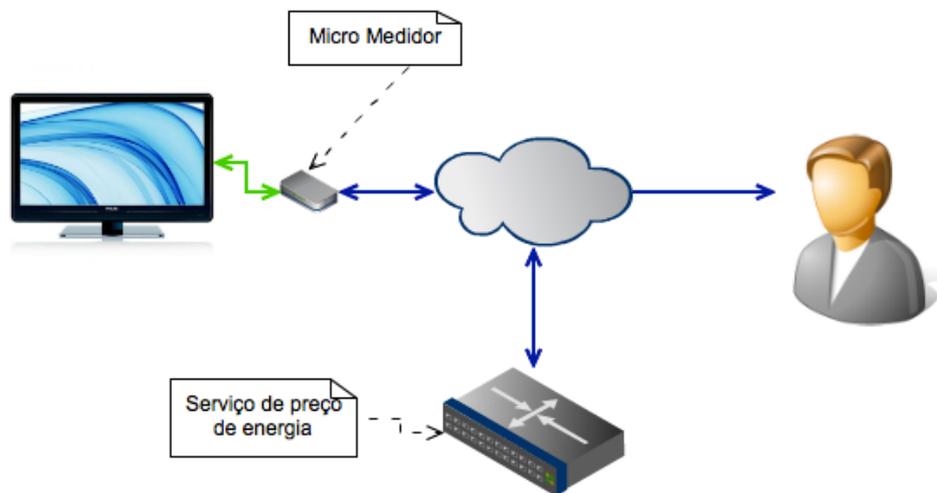


Figura 6.9: Experimento de validação: notificação do usuário de custo excedido.

Ao ser inicializado, o micro medidor com o novo módulo começa a monitorar seu consumo de energia. Ele também consulta um serviço web externo para obter o preço atualizado da energia, por kW/h. Este serviço é provido através de uma Servlet embarcada, disposta na Tabela 6.2, onde os valores retornados são totalmente fictícios e não baseados nos valores praticados por uma distribuidora de energia real.

Tabela 6.2: *Servlet* embarcada que retorna o preço mais recente da energia.

```
private class PricingServlet extends EmbeddedServlet {
    public void doGet(HttpServletRequest request,
                     HttpServletResponse response,
                     StringTokenizer urlTokenizer) {

        response.setContentType("text/plain");
        response.setContent(currentPrice.toString().getBytes());
    }
}
```

A partir da quantidade de energia consumida no último intervalo e do preço atual da mesma, o módulo calcula o custo total atual e verifica se o limite estabelecido foi ultrapassado ou não. Caso isto aconteça, uma mensagem é enviada à interface com o usuário para que ele seja notificado deste acontecimento. Este algoritmo pode ser visualizado no fluxograma da Figura 6.10.

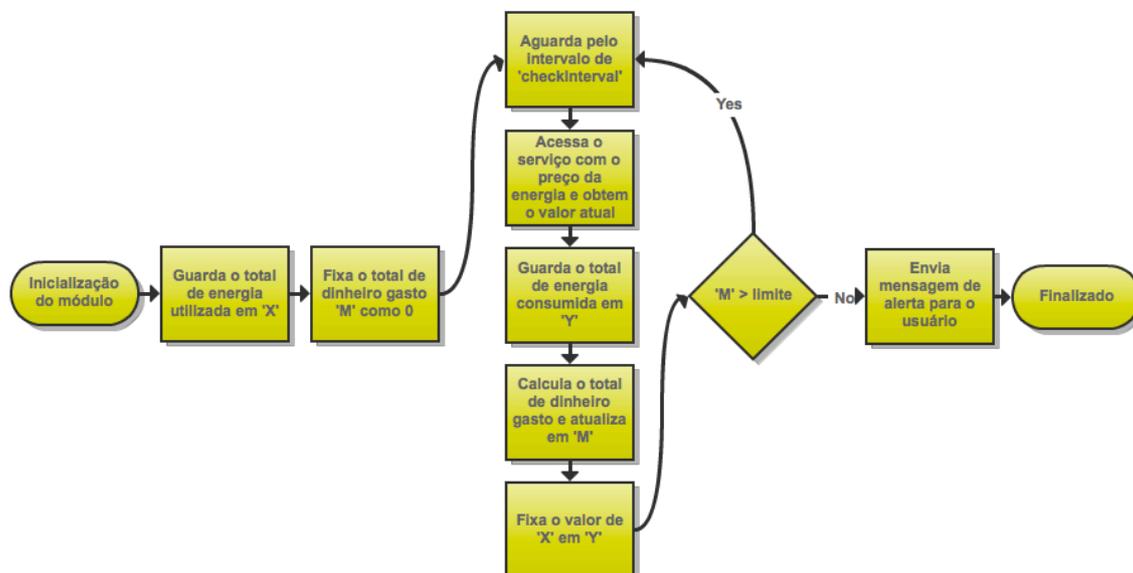


Figura 6.10: Fluxograma com algoritmo do módulo de controle de custo.

A mensagem contém o nome do dispositivo, o seu endereço e também o valor que foi excedido. Um exemplo de uma mensagem apresentada ao usuário está disposta na Figura 6.11. A mensagem também é enviada a um módulo. O módulo *UserInterfaceModule* expõe um serviço que é o de notificação ao usuário. Este se encarrega de interpretar a mensagem enviada pelo módulo *CostControlModule* e exibi-la ao usuário.



Figura 6.11: Notificação ao usuário de consumo excedido.

Por padrão, o aparelho é permitido a gastar até 10 reais, porém este valor pode ser alterado pelo usuário fazendo uma requisição PUT com o limite que melhor lhe convenha.

Este experimento demonstra não só a importância da plataforma em permitir a modularidade de componentes para criação de novas funcionalidades, mas também a adoção de protocolos bem conhecidos e estabelecidos, como Web Services. A funcionalidade do módulo de controle de energia poderia ainda ser ampliada caso houvesse um módulo capaz de desligar o equipamento, ou mesmo comunicar-se com tal e, caso suportado, trocar o modo de operação para que este passasse a consumir menos energia. Acima de tudo, este exemplo demonstra como a arquitetura proposta, e as variáveis mensuradas por ela, podem ser utilizadas para adicionar inteligência a um aparelho eletrodoméstico.

6.1.4 Gestão de Energia

Na dissertação de (FONSECA, 2011), um novo módulo foi implementando, adicionando à implementação da arquitetura a capacidade para controlar os aparelhos eletrodomésticos conectados à rede.

O sistema proposto utiliza um software de controle para obter as leituras de o consumo individual de cada aparelho, oferecidas pelos módulos de micro medição. A partir destas leituras, o sistema é capaz de determinar quando um aparelho específico deve ser ligado ou desligado. O controle deste aparelho é dado por um novo módulo e serviço, cuja API REST está explicada na Tabela 6.3. A partir deste novo serviço, é possível determinar o estado no qual a implementação está embarcada, além de ligar e desligar o mesmo.

Tabela 6.3: API REST para controle do eletrodoméstico.

URL	Métodos HTTP aceitos	Função
/device-control/control/power	GET	Retorna o status atual do aparelho (<i>on, off</i>)
	POST	Liga o aparelho, caso desligado
	DELETE	Desliga o aparelho, caso ligado

O histórico de consumo de um dos aparelhos geridos está demonstrado na Figura 6.12. Nesta, pode se ver o aparelho em questão encontrava-se originalmente desligado e, ao ser solicitado pelo agente de energia, o aparelho entrou em funcionamento (20 min), até que uma solicitação inversa ocorresse, desligando novamente o aparelho (40 min).

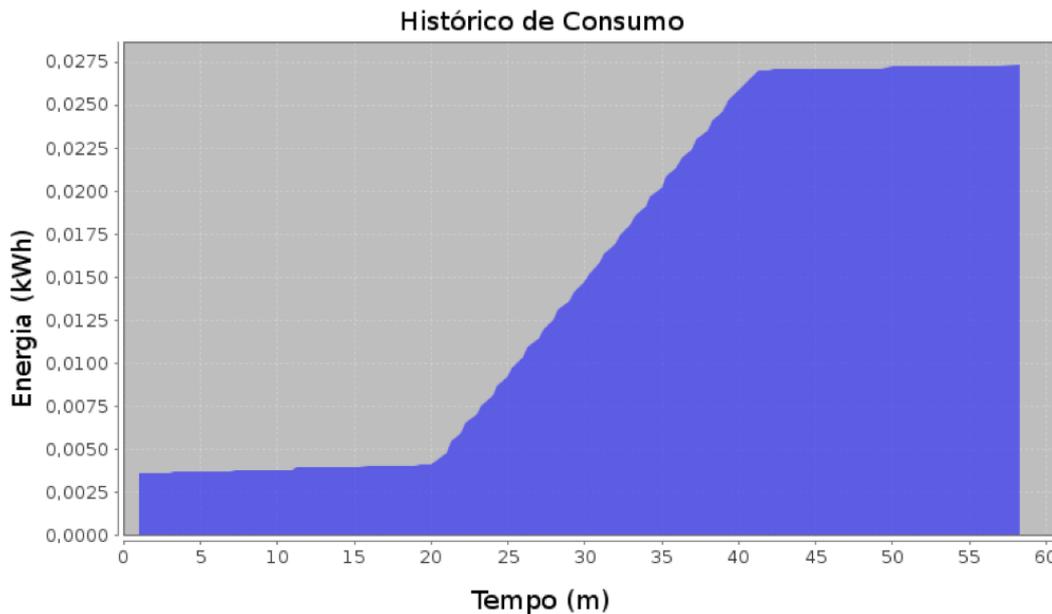


Figura 6.12: Gestão de energia de aparelho utilizando a plataforma (FONSECA, 2011).

Desta forma, utilizando os módulos e serviços expostos, juntamente ao software de monitoramento e gestão de energia, é possível obter economia de energia no ambiente monitorado.

6.2 Resultados e Funcionamento da Implementação

Esta seção apresenta diferentes medições obtidas em torno da implementação e funcionamento da arquitetura proposta nesta dissertação.

A primeira subseção apresenta detalhes da implementação em software, apresentando como métrica o número de linhas de código necessárias para descrever as diferentes partes do sistema.

Para avaliar o funcionamento da API REST proposta e do protocolo EMSYSDP, uma serie de medições foram efetuadas através de instrumentação do código implementado. Todas estas medições foram obtidas tanto no emulador quanto no dispositivo físico do Sun SPOT, com os dispositivos dispostos a um distancia de 30 cm entre eles. Os resultados obtidos com estas instrumentações são apresentados nas subseções 6.2.2, 6.2.3 e 6.2.4.

Uma análise de preço e gasto de energia acerca da integração da implementação da arquitetura com alguns eletrodomésticos foram feitas nas duas ultimas subseções. Estas comparações foram feitas utilizando três aparelhos eletrodomésticos como base: um refrigerador biplex com capacidade de 334 litros, um televisor LED de 40 polegadas e uma lâmpada incandescente de 60 watts.

6.2.1 Linhas de Código

A Tabela 6.4 coloca em detalhes as classes implementas, qual a funcionalidade que as mesmas auxiliam a criar e quantas linhas de código foram necessárias para defini-las. Como pode ser visto, foram necessárias 134 linhas de código Java para implementar o protocolo EMSYSDP, sendo 4 destas linhas referentes à interface utilizada para notificar assincronamente os interessados em serviços encontrados pelo protocolo.

Para a implementação dos serviços REST básicos da arquitetura foram necessárias 656 linhas, onde 421 destas são responsáveis pela implementação do servidor HTTP embarcado e, finalmente, 235 descrevendo as Servlets embarcadas responsáveis por proverem a API RESTful especificada. Para a API provida pelo módulo de micro medição, outras 65 linhas em Java foram escritas.

Contabilizando todas as classes implementadas em software, somam-se 1586 linhas de código.

Tabela 6.4: Linhas de código necessárias para implementar a arquitetura proposta.

	Classe	Linhas
Plataforma	Device	29
	EMSYSDP	130
	EMSYSDPAnnouncementsListener	4
	SmartAppliancePlatform	53
	ModuleManager	64
Modelo	Module	46
	Service	56
	ServiceObserver	4
Micro medição	MeteringService	31
	MeteringStatusService	34
	MicroMeteringHWInterface	265
	MicroMeteringModule	68
HTTP	HTTPMessage	50
	HTTPMessageParser	77
	HTTPMethod	7
	HTTPRequest	67
	HTTPResponse	38
Cliente HTTP	WebClient	115
Servidor HTTP	EmbeddedServlet	27
	WebServer	155
Servlets Embarcadas	ModuleInfoServlet	93
	NotFoundServlet	23
	NotImplementedServlet	11
	PlatformBaseEmbeddedServlet	20
	PlatformRootServlet	51
	ServiceInfoServlet	37
Aplicação	Application	31
	Total	1586

6.2.2 API REST

Com variações de frequência em intervalos de 10 requisições por minuto, uma série de requisições foram a API REST do serviço de tensão do módulo de micro medição. Estas foram direcionadas à URI */micro-metering/voltage/present*, utilizando requisições HTTP do tipo GET. Os tempos de resposta estão dispostos na Tabela 6.5. Os tempos obtidos compreendem ao intervalo gasto pelos protocolos IP, TCP e HTTP, juntamente com o tempo de criação e interpretação destas mensagens.

Tabela 6.5: Tempos médios de acesso ao serviço REST de tensão.

Requisições/min	Sun SPOT (ms)	Emulador (ms)
10	405	59
20	403	57
30	410	53
40	407	55
50	411	55
60	413	59
70	417	56
80	418	54
90	420	57
100	426	54
110	420	58
120	416	56

A Figura 6.13 apresenta o gráfico com estas médias, no qual se observa que em ambas as plataformas o tempo médio se mantém praticamente constante, independentemente do número de requisições recebidas por minuto.

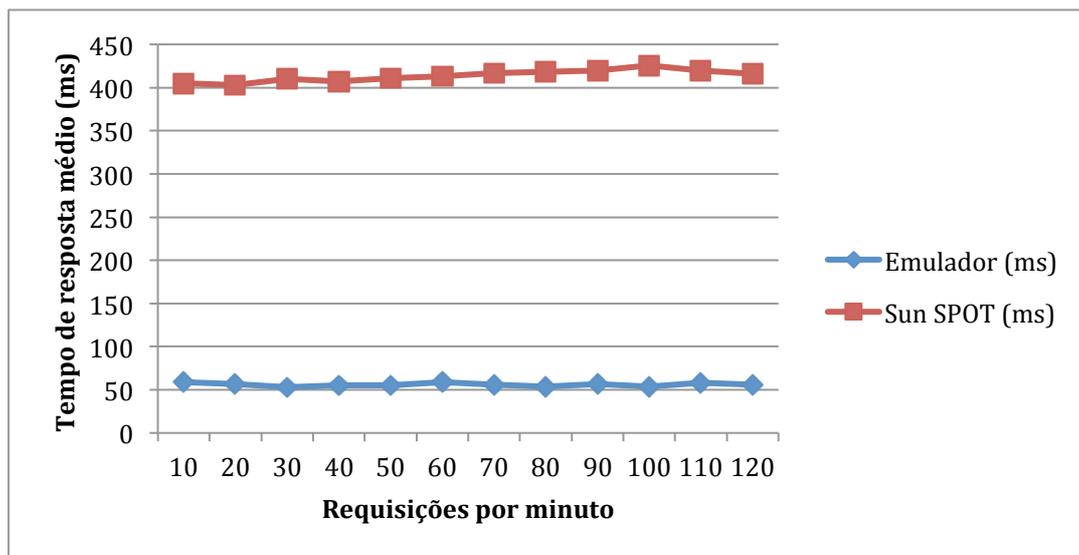


Figura 6.13: Comparação entre os tempos médios de requisição/resposta da API REST.

6.2.3 Notificação EMSYSDP

Diversas mensagens do tipo NOTIFY do protocolo EMSYSDP foram monitoradas, observando o tempo necessário para que, quando um novo dispositivo fosse adicionado a rede, estas fossem criadas, enviadas pela pilha de comunicação IP, recebidas e interpretada pelos demais dispositivos. A Figura 6.14 apresenta os dados obtidos deste monitoramento. A partir destes, verifica-se que um novo aparelho que se integre a rede de comunicação levaria cerca de 35,4 ms para ser reconhecido no emulador, e cerca de 103,2 ms em uma rede utilizando os Sun SPOTs.

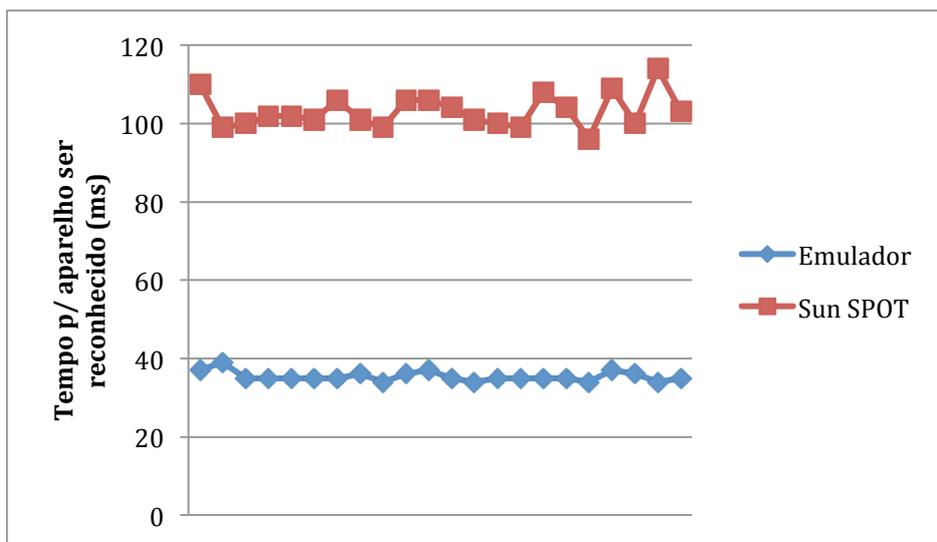


Figura 6.14: Tempo para reconhecimento de um novo aparelho na rede (EMSYSDP NOTIFY).

6.2.4 Busca EMSYSDP

Foram acompanhadas mensagens de busca do protocolo EMSYSDP para verificar o tempo gasto com as mesmas. Os intervalos obtidos compreendem o tempo gasto criando a mensagem do tipo M-SEARCH, com o serviço a ser buscado, tempo de envio e recebimento por um segundo dispositivo na rede, interpretação da mensagem de busca, e criação, envio e recebimento pelo primeiro dispositivo da mensagem de resposta, do tipo OK. São gastos em média 37,4 ms para que o cenário se completa quando em funcionamento no emulador, enquanto que 135,65 ms são necessários no Sun SPOT. As leituras obtidas nestas medições são apresentadas na Figura 6.15.

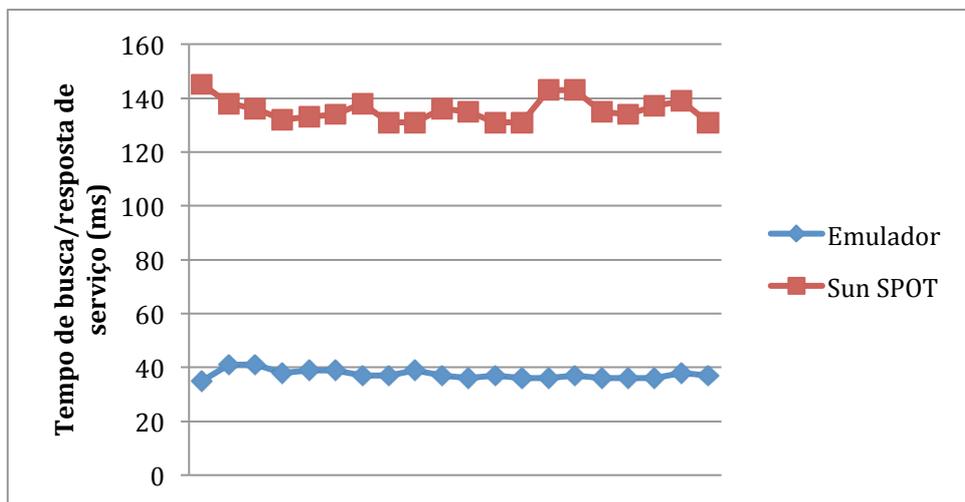


Figura 6.15: Tempos de busca e resposta de um serviço específico (EMSYSDP M-SEARCH e OK).

6.2.5 Energia

A fim de verificar o impacto da implementação no consumo de energia dos aparelhos eletrodomésticos analisados, a potência da plataforma de hardware, ou seja, o Sun SPOT e o Kill-a-Watt, foi monitorada. Da mesma forma, o consumo de potência dos três aparelhos discutidos foram obtidas a partir da documentação disponibilizada

pelos fabricantes destes. A partir destas informações, um plano de consumo foi definido para os três aparelhos, simulando seus funcionamentos durante um período de 30 dias, durante, respectivamente, 24, 6 e 5 horas para o refrigerador, televisor e lâmpada. Os dados de potência dos aparelhos e implementação, juntamente com o consumo total desta simulação, são apresentados na Tabela 6.6. Na Figura 6.16, são apresentadas as relações de consumo entre estes aparelhos e a implementação.

Tabela 6.6: Consumo de energia de eletrodomésticos.

Aparelho	Potência (W)		Funcionamento		Consumo (kWh)	
	Normal	Stand by	Horas/dia	Dias	Total	Total + Implementação
Refrigerador	65	0	24	30	46,8	47,52
Televisor	100	1	6	30	18,54	19,26
Lâmpada	60	0	5	30	9,00	9,72
Implementação	1	0	24	30	0,72	

Como foi apresentado, a potência da plataforma de hardware é de, em média, 1 Watt quando em funcionamento, e quando em funcionamento durante o período de 30 dias, apresenta um consumo total de 0,72 quilowatt-hora. Nos 3 aparelhos analisados, esta potência corresponde a um aumento de, respectivamente, 1,5%, 3,9% e 8% do consumo total do refrigerador, televisor e lâmpada.

Na Companhia Estadual de Energia Elétrica do Rio Grande do Sul (CEEE), o quilowatt-hora é vendido a um preço de pouco menos que R\$0,50. Isso quer dizer que, a este preço, cada aparelho utilizando a implementação teria um acréscimo de 36 centavos de real na conta do usuário. No caso de 10 aparelhos utilizando a implementação, esse custo aumentaria para R\$3,60.

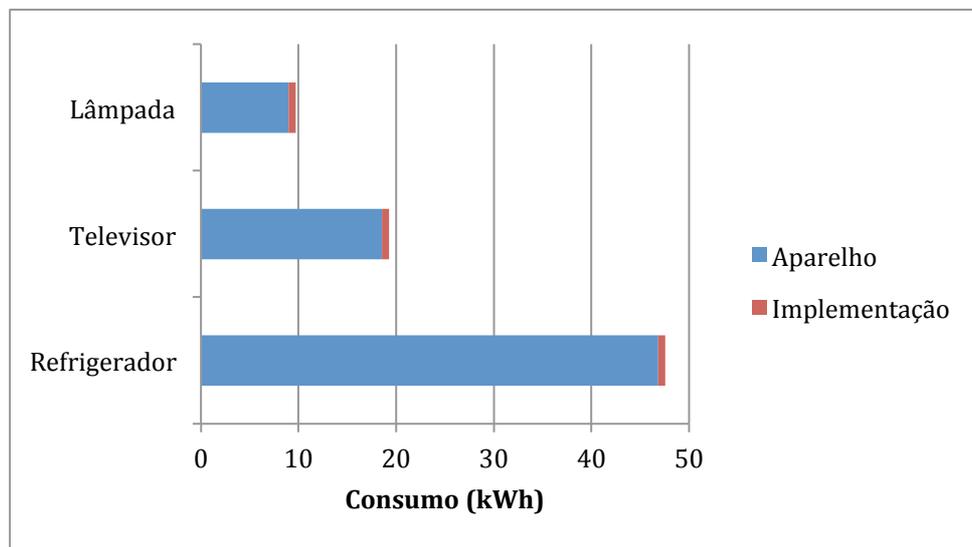


Figura 6.16: Relação de consumo de energia entre eletrodomésticos e implementação.

6.2.6 Funcionalidades

Usando a Tabela 3.1 como referência, resumem-se as funcionalidades da arquitetura proposta, apresentadas anteriormente para os trabalhos acadêmicos relacionados. Estas informações estão dispostas na Tabela 6.7.

Tabela 6.7: Resumo das funcionalidades da arquitetura proposta e sua implementação.

Comunicação em rede	Funcionamento centralizado	Leitura de consumo de energia	Flexibilidade	Protocolos de Comunicação	Integração/Controle com Eletrodoméstico	Inteligência Embarcada	Descoberta de Dispositivos / Funcionalidades
S	S/N	S	Novas implementações, dispositivos e serviços	Qualquer meio físico e de enlace que permitam a utilização do protocolo IPv6	S	S	S

A arquitetura, juntamente com a implementação efetuada, apresentam características básicas de comunicação em rede e a leitura do consumo de energia do aparelho eletrodoméstico em que a mesma será embarcada. Conforme demonstrado nos experimentos ao longo deste capítulo, através da adição de novos serviços, em conjunto com a capacidade destes serviços em prover novas funcionalidades, se possibilita não apenas capacidades de integração e controle do eletrodoméstico, mas também que seu funcionamento possa ser dado tanto de forma distribuída quanto utilizando um ponto central para acesso aos aparelhos dispostos. Além disso, através do mecanismo de descoberta e busca de serviços proposto, é possível que aparelhos utilizando a plataforma possam encontrar estas funcionalidades e passem a interagir uns com os outros.

De maneira similar, a adoção de IPv6 torna possível a utilização da arquitetura em qualquer plataforma que ofereça os recursos para a implementação deste protocolo, permitindo não só diferentes implementações da arquitetura, mas também a criação de novos serviços que possam ser utilizados de maneira transparente entre estas diferentes plataformas.

7 CONCLUSÃO

O Smart Grid é um conceito que visa ampliar as funcionalidades e melhorar o funcionamento da rede elétrica atual de forma a torná-la mais inteligente, possibilitando que a mesma seja capaz de prever e responder ao comportamento e ações de todos os usuários conectados a ela, sejam estas fontes geradoras, distribuidores ou os próprios consumidores.

Avanços nas áreas de informática, automação, além das tecnologias empregadas na construção de sensores e atuadores, têm possibilitado a criação de uma rede de energia moderna e automatizada. Utilizando-se de eletrônica embarcada em todas as partes que compõem a rede de energia, adicionam-se novas perspectivas no gerenciamento e operação dos sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, de forma a torná-la mais eficiente, entregando eletricidade de maneira confiável, econômica e sustentável. Com a informação gerada por estes, pode-se acompanhar em tempo real características da rede, como utilização de energia, estado dos componentes de geração, transmissão e distribuição. Isto possibilita uma tarifação dinâmica da utilização do recurso, bem como um acompanhamento preventivo para a manutenção dos equipamentos responsáveis por estas etapas.

Países como Austrália, China, Estados Unidos e aqueles que pertencem a União Europeia têm percebido a importância de uma reinvenção do sistema de energia atual. Esse movimento tem ganhado força não somente graças aos benefícios apresentados por esta nova rede, mas também pelas deficiências e limitações impostas pelos sistemas e tecnologias atualmente empregadas, que vêm causando apagões, baixa eficiência, ou outras falhas no fornecimento de energia aos mercados consumidores.

Esta reinvenção modifica não só as etapas de geração ou distribuição de energia, mas influencia a forma que ela é utilizada pelo consumidor, uma vez que o usuário final é um dos maiores impactados por esta evolução. O Smart Grid adiciona o conceito de *Advanced Metering Infrastructure* (AMI), que, entre outras funcionalidades, permite que o usuário não seja apenas um consumidor, mas passe a devolver energia para a rede, utilizando fontes geradoras alternativas, como solar e eólica, e passe a receber compensações financeiras por esta contribuição. Porém, talvez a principal mudança seja a adição de medidores inteligentes entre o usuário e seu fornecedor de energia, que funcionam como uma interface do Smart Grid para o usuário. Este medidor é capaz de enviar informações para a distribuidora, como, por exemplo, a utilização de energia de uma residência, mas também capaz de receber informações da rede, como qualidade da energia recebida, notificações de manutenção ou quebra na distribuição, bem como o preço de tarifa variável, baseado no consumo global de energia.

Estas informações que o usuário passa a receber em sua casa podem então ser utilizadas de forma inteligente não só pelo mesmo, mas também pelos eletrodomésticos

e outros dispositivos eletroeletrônicos que este possua. A ideia é que muitos de seus aparelhos estejam ligados em rede, permitindo não somente que sejam acessados ou controlados remotamente, mas que possam comunicar-se entre si e, utilizando preferências do usuário em conjunto com estas novas informações disponíveis, possam atuar e funcionar também de forma mais inteligente. Desta forma, uma máquina de lavar roupas poderia, de forma automática, entrar em funcionamento apenas quando o preço da energia estivesse mais baixo, ou um aparelho de ar condicionado poderia modificar levemente seu funcionamento, sem perturbar o usuário, regulando a temperatura do ambiente buscando uma economia de energia em um momento que esta esteja mais cara. Há ainda a possibilidade de estes aparelhos se coordenarem, também de forma automática, para que não entrem todos em funcionamento ao mesmo tempo ou não ultrapassem um limite estabelecido para o ambiente, dando prioridade aos aparelhos que são mais importantes e essenciais. Dentro do conceito de Smart Grid, estes aparelhos inteligentes são conhecidos como Smart Appliances.

Como visto durante o levantamento dos grupos de padronização de Smart Grid e dos trabalhos e estudos relacionados, existe um enorme interesse em torno desta rede inteligente de energia, muito devido aos benefícios trazidos pelas mesmas. Entretanto, nota-se a ausência de uma especificação final, descrevendo as tecnologias adotadas e seu funcionamento, colocando todos estes grupos em fase de estudos e desenvolvimento.

Esta falta de padrões afeta não somente os países interessados em adotar um Smart Grid, mas também atrapalha consideravelmente os fabricantes de aparelhos eletrodomésticos na criação de aparelhos inteligentes. Com a ausência de tais normas e na ânsia de trazer estas novas funcionalidades aos usuários, os fabricantes passam a criar suas próprias soluções, fazendo com que a interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes ou a comunicação com o resto da rede inteligente não seja possível. Juntamente a este problema, existem poucos trabalhos discutindo a interoperabilidade e flexibilidade entre diferentes dispositivos que possam adotar estas especificações, funcionamento dentro da mesma rede, e se adequando as necessidades e funcionalidades dos diferentes tipos de eletrodomésticos existentes.

Assim, nesta dissertação discutiu-se o conceito de Smart Appliance e propôs-se uma arquitetura que permita a construção de tais aparelhos. Esta arquitetura contempla conceitos como micro medição nos próprios aparelhos eletrodomésticos, permitindo um funcionamento distribuído, processamento local e flexibilidade para ser implementada e utilizada em diferentes plataformas e dispositivos. Para tanto, foram considerados protocolos abertos, amplamente utilizados e que permitem interoperabilidade entre diferentes dispositivos, como é o caso do protocolo IP e os *Web services*. Ao mesmo tempo, foram propostos outros protocolos necessários para atingir estes objetivos, como é o caso da API REST descrita e o protocolo EMSYSDP.

O *Internet Protocol* (IP), devido a sua separação em níveis, permite que funcione com camadas físicas distintas, sem modificar ou transgredir as funcionalidades acima deste, além de ser um protocolo amplamente difundido e de facilmente encontrado em qualquer ambiente. Junto a pilha IP, encontra-se uma das maneiras mais populares para exposição de funcionalidades em rede, os serviços Web. No entanto, muitos dos trabalhos previamente propostos utilizam protocolos como o DPWS, que apresentam características de difícil implementação e modificação, principalmente em sistemas simples e que podem passar por mudanças rápidas e dinâmicas, como é o caso de dispositivos embarcados e Smart Appliances. Por consequência, estas restrições acabam

prejudicando sua adoção por diferentes aparelhos, que podem ser implementados por diferentes fabricantes e/ou fornecedores. O mesmo ocorre com os protocolos que possibilitam a descoberta e oferta destas funcionalidades, que contam com mecanismos complexos e com características desnecessárias pelos eletrodomésticos inteligentes.

Portanto, uma alternativa foi proposta nesta dissertação para simplificar o desenvolvimento destes aparelhos e oferecer uma série de serviços Web, mantendo as capacidades de interoperabilidade dentro da rede de comunicação. A utilização de serviços Web não é algo novo, tendo sido empregado em outros trabalhos. Entretanto a API RESTful aqui definida proporciona as funcionalidades requeridas, ainda apresentando um overhead baixo, como pode ser visto pelos tempos de acesso praticamente estáveis independente do número de requisições efetuadas, apresentados nos resultados obtidos. Ao mesmo tempo, junto a utilização da pilha de protocolos IP, permite uma grande flexibilidade e capacidade de ser modificada rapidamente, a fim de contemplar as necessidades do aparelho, os requisitos apresentados na sua utilização, e a independência de meio físico para comunicação. Estas mesmas qualidades podem ser observadas no protocolo EMSYSDP, que permite que serviços possam ser buscados e anunciados dentro da rede doméstica de maneira rápida e simples. Isto é claramente observado ao analisar não apenas o tempo gasto pelas diferentes mensagens do protocolo, mas também pela quantidade de código requerido para suas implementações, ainda mais pelo fato de que ambos utilizam cabeçalhos do tipo HTTP e podem utilizar a mesma lógica para facilitar o desenvolvimento dos mesmos. Tudo isto faz com que a arquitetura proposta possa ser implementada em diferentes aparelhos, utilizando diferentes plataformas, ainda mantendo o funcionamento dos serviços expostos por estes, como ficou demonstrado com o funcionamento bem sucedido da implementação demonstrada ao longo da dissertação.

Porém, como lembrado anteriormente, esta implementação é apenas uma das possíveis formas de utilização da arquitetura. Apesar do bom funcionamento desta, é importante destacar que ela apresenta um grande impacto no custo do eletrodoméstico que a utiliza, além de um consumo considerável de energia, demandando novos estudos que originem em novas implementações, buscando menor custo e menor potência elétrica.

Em resumo, a arquitetura propicia a transformação de eletrodomésticos em Smart Appliances, provendo capacidades de micro medição, flexibilidade para prover serviços e novas implementações, oferecendo e permitindo o encontro destes serviços, comunicando-se em rede, e permitindo economia de energia dentro do ambiente doméstico ou comercial, seja isto dado através de cooperação entre diferentes aparelhos, ou de uma gestão de energia centralizada.

7.1 Trabalhos Futuros

Apesar do seu pleno funcionamento, durante o desenvolvimento do projeto diversas ideias surgiram a fim de adicionar novas funcionalidades a arquitetura proposta. Muitas delas foram deixadas de lado por não pertencerem ao escopo deste projeto de mestrado. Além disso, a própria implementação prática, que foi apenas um protótipo também é passível de melhorias. Entre alguns dos pontos abertos e/ou mudanças que podem ser efetuadas estão:

- Considerar aspectos de segurança e criptografia: no âmbito deste trabalho, considerou-se que a rede de comunicação utilizada possuía todos os recursos

de segurança necessários para que as informações trocadas não fossem interceptadas por outros dispositivos não autorizados. Entretanto, esta pode não ser a verdade em muitos outros ambientes, tornando importante a consideração de aspectos de segurança, de forma com que estas mensagens sejam lidas apenas pelos destinatários autorizados.

- Implementar uma melhor integração com o modo de funcionamento de um aparelho: como citado anteriormente, uma das possibilidades na economia de energia é fazer com que a plataforma seja capaz de manipular o modo de funcionamento do mesmo. Por exemplo, colocar um computador pessoal em um modo de menor performance, onde menos energia é necessária, quando o preço da energia estiver muito alto.
- Novas implementações: apesar do seu funcionamento, a implementação utilizando o Sun SPOT apresenta restrições para uma utilização mais ampla. Novos estudos são necessários, buscando contemplar ainda mais as características de sistemas embarcados, seja isso dados por uma plataforma de hardware distinta, ou do uso de um Sistema Operacional (SO) destinado para sistemas embarcados, e diminuindo custos de produção ou consumo de energia da implementação em si.

REFERÊNCIAS

ACENDE BRASIL. **Cadernos de Política Tarifária: Análise do Processo de Revisão Tarifária e da Regulação por Incentivos**. . São Paulo: [s.n.], 2007

AGÊNCIA BRASIL. **Consumo de energia deve crescer 7,7% no ano**. Disponível em: <<http://info.abril.com.br/noticias/mercado/consumo-de-energia-deve-crescer-7-7-no-ano-25072010-10.shl>>. Acesso em: 1 jul. 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Consulta pública sobre a implantação de medidores eletrônicos em baixa tensão está aberta. **Boletim Energia**, v. 1, n. 353, 2009.

AHAM. **Smart Grid White Paper: The Home Appliance Industry's Principles & Requirements for Achieving a Widely Accepted Smart Grid**. . Washington, DC: [s.n.], 2009

ALKIRE, B.; GOLDMAN, R. **spots-hardware: Home**. Disponível em: <<https://spots-hardware.dev.java.net/>>. Acesso em: 1 jul. 2010.

AMBIENTE ENERGIA. **Inmetro: em busca da medição inteligente - Ambiente Energia | Ambiente Energia**. Disponível em: <<http://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2010/09/inmetro-em-busca-da-medicao-inteligente/6187>>. Acesso em: 28 nov. 2011.

ANALOG DEVICES. **Energy Measurement | Analog to Digital Converters | Analog Devices**. Disponível em: <http://www.analog.com/en/analog-to-digital-converters/energy-measurement/products/index.html#Single_Phase_Metering>. Acesso em: 7 jun. 2010.

ANDREW NUSCA. **Top 10 states leading U.S. smart grid deployment**. Disponível em: <<http://www.smartplanet.com/business/blog/smart-takes/top-10-states-leading-us-smart-grid-deployment/9399>>. Acesso em: 21 abr. 2011.

ARSENEAU, E.; WHITE, D.; CHANG, Y. **The Squawk Project**. Disponível em: <<http://labs.oracle.com/projects/squawk/>>. Acesso em: 26 nov. 2011.

BADAMI, V. V.; CHBAT, N. W. Home appliances get smart. **IEEE Spectrum**, v. 35, n. 8, p. 36-43, 1998.

BARBATO, A.; BORSANI, L.; CAPONE, A.; MELZI, S. **Home energy saving through a user profiling system based on wireless sensors**. Proceedings of the First ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Buildings - BuildSys '09. **Anais...** New York, New York, USA: ACM Press. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1810279.1810291>>. Acesso em: 27 nov. 2011. , 2009

BARR, M.; MASSA, A. **Programming Embedded Systems: With C and GNU Development Tools**. 2. ed. [S.l.]: O'Reilly Media, 2006. p. 301

BHANO, S. N. **China's Smart Grid Investments Growing**. Disponível em: <<http://greeninc.blogs.nytimes.com/2010/02/01/chinas-smart-grid-investments-growing>>. Acesso em: 3 jun. 2010.

BOARDMAN, B. Examining the carbon agenda via the 40% House scenario. **Building Research & Information**, v. 35, n. 4, p. 363-378, ago 2007.

BOBEK, A.; ZEEB, E.; BOHN, H.; GOLATOWSKI, F.; TIMMERMANN, D. **Device and service templates for the Devices Profile for Web Services**. (J. Schlimmer & J. Thelin, Eds.)2008 6th IEEE International Conference on Industrial Informatics. **Anais...** [S.l.]: IEEE. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4618210>>. Acesso em: 27 nov. 2011. , jul 2008

BROWN, AARON; WEIHL, B. **Official Google Blog: An update on Google Health and Google PowerMeter**. Disponível em: <<http://googleblog.blogspot.com/2011/06/update-on-google-health-and-google.html>>. Acesso em: 27 set. 2011.

CANGUSSU, S. (ED.). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. . Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel. Disponível em: <www.aneel.gov.br>. , 2008

CANNATA, A.; GEROSA, M.; TAISCH, M. **SOCRADES: A framework for developing intelligent systems in manufacturing**. 2008 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. **Anais...** [S.l.]: IEEE. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4738203>>. Acesso em: 27 nov. 2011. , dez 2008

CENT-A-METER. **Centameter :: think green**. Disponível em: <<http://www.centameter.com.au/features.htm>>. Acesso em: 18 jul. 2010.

CHELF, B.; EBERT, C. Ensuring the Integrity of Embedded Software with Static Code Analysis. **IEEE Software**, v. 26, n. 3, p. 96-99, maio 2009.

CHESHIRE, S.; KROCHMAL, M. **Multicast DNS**. . [S.l.]: Internet Engineering Task Force - IETF. Disponível em: <<http://files.multicastdns.org/draft-cheshire-dnsex-multicastdns.txt>>. , 2011^a

CHESHIRE, S.; KROCHMAL, M. **DNS-Based Service Discovery**. . [S.l.]: Internet Engineering Task Force - IETF. Disponível em: <<http://files.dns-sd.org/draft-cheshire-dnsextdns-sd.txt>>. , 2011b

CHOI, I.-H.; LEE, J.-H.; HONG, S.-H. **Implementation and evaluation of the apparatus for intelligent energy management to apply to the smart grid at home**. 2011 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference. **Anais...** [S.l.]: IEEE. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5944215>. Acesso em: 10 mar. 2012. , maio 2011

COMMONWEALTH OF AUSTRALIA. **Smart Grid , Smart City: A new direction for a new energy era. Europe**. [S.l.: s.n.]. , 2009

DEPARTMENT OF CLIMATE CHANGE AND ENERGY EFFICIENCY. **What the Government is doing**. Disponível em: <<http://www.climatechange.gov.au/en/government.aspx>>. Acesso em: 20 set. 2010a.

DEPARTMENT OF CLIMATE CHANGE AND ENERGY EFFICIENCY. **Smart Grid, Smart City**. Disponível em: <<http://www.climatechange.gov.au/government/programs-and-rebates/smartgrid.aspx>>. Acesso em: 20 set. 2010b.

DIEESE. **As tarifas de energia elétrica no Brasil: sistemática de correção e evolução dos valores**. . [S.l.: s.n.]. , 2007

DUNKELS, A.; VASSEUR, J. **IP for Smart Objects. IPSO Alliance White Paper**. [S.l.]: IPSO Alliance. Disponível em: <<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:IP+for+Smart+Objects#0>>. Acesso em: 28 jul. 2010. , 2008

ENERGY, D. OF. Smart Grid Policy. **Federal Register**, p. 37098-37119, 27 jul 2009. ETP. **Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future**. Energy. Luxembourg: [s.n.]. , 2006

ETP. **Strategic Research Agenda for Europe's Electricity Networks of the Future. Chief Executive**. [S.l.: s.n.]. , 2007

ETP. **Strategic Deployment Document for Europe's Electricity Networks of the Future**. . [S.l.: s.n.]. , 2008

EUSTIS, C.; HORST, G.; HAMMESTROM, D. **Appliance Interface for Grid Responses**. Proc. of the Grid Interop Forum. **Anais...** [S.l.: s.n.]. , 2007

FIELDING, R. T. **Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures**. [S.l.]: University of California, 2000.

FONSECA, M. L. **Framework para construção e análise de sistemas de gestão de energia elétrica para consumidores de baixa tensão em redes elétricas inteligentes.** [S.l.]: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

GE. **Monitoring Energy, Energy Monitor | GE Nucleus.** Disponível em: <<http://www.geappliances.com/home-energy-manager/monitoring-energy.htm>>. Acesso em: 26 nov. 2011.

GEEKNEWS. **smart plug from picowatt is a smart plug to control energy v.** Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=DI0NBUVydBQ>>. Acesso em: jul. 2010.

GOLAND, Y. Y.; CAI, T.; LEACH, P.; GU, Y.; ALBRIGHT, S. Simple Service Discovery Protocol/1.0 Operating without on Arbiter. **IETF Internet Draft**, p. 1-19, 1999.

GREENFIELD, A. **Everyware: The Dawning Age of Ubiquitous Computing.** 1. ed. [S.l.]: New Riders Publishing, 2006. p. 272

GREENWAVE. **GreenWave Reality» Energy Management.** Disponível em: <<http://www.greenwavereality.com/solutions/energymgmt/>>. Acesso em: 2010.

GUDGIN, M.; HADLEY, M.; MENDELSON, N. *et al.* **SOAP Version 1.2 Part 1: Messaging Framework (Second Edition).** Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/soap12-part1/#intro>>. Acesso em: 13 ago. 2011.

GUIMARÃES, V. V. M. **Desenvolvimento de um módulo de monitoramento de consumo de energia para a construção de Smart Appliances utilizando o Sun SPOT.** [S.l.]: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

HAAS, H.; BROWN, ALLEN. **Web Services Glossary.** Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/2004/NOTE-ws-gloss-20040211/>>. Acesso em: 26 nov. 2011.

HARRIS, A. Smart Grid Thinking. **Engineering Technology**, p. 46, maio 2009.

HUI, J.; CULLER, D.; CHAKRABARTI, S. **6LoWPAN Network Architecture. IPSO Alliance White Paper.** [S.l.]: IPSO Alliance. , 2009

JURIC, M.; ROZMAN, I.; BRUMEN, B.; COLNARIC, M.; HERICKO, M. Comparison of performance of Web services, WS-Security, RMI, and RMI-SSL. **Journal of Systems and Software**, v. 79, n. 5, p. 689-700, maio 2006.

JWT INTELLIGENCE. **100 things to watch in 2011.** . [S.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.jwtintelligence.com/2010/12/100-watch-2011/>>. , 2010

KHAN, A. A.; MOUFTAH, H. T. **Web services for indoor energy management in a smart grid environment.** 2011 IEEE 22nd International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. **Anais...** [S.l.]: IEEE. Disponível em:

<http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6139654>. Acesso em: 10 mar. 2012. , set 2011

KING, C. **Advanced Metering Infrastructure (AMI) - Overview of System Features and Capabilities. System.** [S.l.]: eMeter Corporation. , 2004

KSGL. **Korea Smart Grid Institute.** Disponível em: <<http://www.smartgrid.or.kr/10eng6-1.php>>. Acesso em: 20 set. 2010.

LAMONICA, M. **GE: Smart grid yields net-zero energy home.** Disponível em: <http://news.cnet.com/8301-11128_3-10286278-54.html>. Acesso em: 10 jul. 2010a.

LAMONICA, M. **Time short to agree on smart-grid standards.** Disponível em: <http://news.cnet.com/8301-11128_3-10403437-54.html>. Acesso em: 27 nov. 2011b.

LAMONICA, M. **Intel powers its way inside the smart grid.** Disponível em: <http://news.cnet.com/8301-11128_3-20000570-54.html>. Acesso em: 17 jul. 2010a.

LAMONICA, M. **Picowatt does smart grid without smart meter | CES 2010 - CNET.** Disponível em: <http://ces.cnet.com/8301-31045_1-10429865-269.html>. Acesso em: 21 jul. 2010b.

LEE, M.; UHM, Y.; KIM, Y.; KIM, G.; PARK, S. Intelligent power management device with middleware based living pattern learning for power reduction. **IEEE Transactions on Consumer Electronics**, v. 55, n. 4, p. 2081-2089, nov 2009.

LI, J. From Strong to Smart: the Chinese Smart Grid and its relation with the Globe. **Asia Energy Platform**, n. September, p. 10, 2009.

LIN, R.-T.; CHENG, S.-T.; CHOU, J.-H.; CHANG, T.-Y. **Zeus - The Service Intergration Platform for Appliance Control of the Intelligent Digital Life.** 2009 Tenth International Conference on Mobile Data Management: Systems, Services and Middleware. **Anais...** [S.l.]: IEEE. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5088970>>. Acesso em: 27 nov. 2011. , 2009

LINDLEY, D. Smart grids: The energy storage problem. **Nature**, v. 463, n. 7277, p. 18-20, 7 jan 2010.

LITOS STRATEGIC COMMUNICATION. **The Smart Grid: an Introduction. Communication.** [S.l. s.n.]. Disponível em: <http://energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/DOE_SG_Book_Single_Pages%281%29.pdf>. , 2009

LOMBARDI, C. **Whirlpool wants to pull plug on “dumb” appliances.** Disponível em: <http://news.cnet.com/8301-11128_3-10386123-54.html>. Acesso em: 11 nov. 2011.

LOMBARDI, C. **Cisco investing in smart grid start-up.** Disponível em: <http://news.cnet.com/8301-11128_3-10470676-54.html>. Acesso em: 22 jul. 2010.

MARTISKAINEN, M. **Household Energy Consumption and Behavioural Change - the UK Perspective**. (T. G. Ken, A. Tukker, C. Vezzoli, & F. Ceschin, Eds.) 2nd Conference of the Sustainable Consumption Research Exchange (SCORE!). **Anais...** Brussels, Belgium: European Commission. , 2008

MASSOUD AMIN, S.; WOLLENBERG, B. F. Toward a smart grid: power delivery for the 21st century. **IEEE Power and Energy Magazine**, v. 3, n. 5, p. 34-41, set 2005.

MAZZA, P. The Smart Energy Network: Electrical Power for the 21 st Century. **Energy**, p. 1-17, 2002.

MERT, W.; JÜRGEN, S.-B.; TRITTHART, W. **Consumer Acceptance of Smart Appliances**. . [S.l: s.n.]. , 2008

MORITZ, G.; ZEEB, E.; PRUTER, S. *et al.* **Devices Profile for Web Services and the REST**. 2010 8th IEEE International Conference on Industrial Informatics. **Anais...** [S.l.]: IEEE. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5549678>. Acesso em: 10 out. 2011. , jul 2010

MRAZOVAC, B.; BJELICA, M. Z.; TESLIC, N.; PAPP, I. **Towards ubiquitous smart outlets for safety and energetic efficiency of home electric appliances**. 2011 IEEE International Conference on Consumer Electronics -Berlin (ICCE-Berlin). **Anais...** [S.l.]: IEEE. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6031795>>. Acesso em: 10 mar. 2012. , set 2011

MULLIGAN, G.; GRACANIN, D. **A comparison of SOAP and REST implementations of a service based interaction independence middleware framework**. Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference (WSC). **Anais...** [S.l.]: IEEE. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=5429290>. Acesso em: 27 nov. 2011. , dez 2009

NETL. **Advanced Metering Infrastructure**. **Energy**. [S.l: s.n.]. , 2008

NEWMARCH, J. **Foundations of Jini 2 Programming**. 1. ed. [S.l.]: Apress, 2006. p. 512

NIST. **NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards**. **Nist Special Publication**. [S.l: s.n.]. , 2009

NIST. **Priority Action Plans**. Disponível em: <<http://collaborate.nist.gov/wiki-ssgrid/bin/view/SmartGrid/PriorityActionPlans>>. Acesso em: 19 out. 2011.

ONE HUNDRED TENTH CONGRESS OF THE UNITED STATES OF AMERICA. **Energy Independence and Security Act of 2007**. **One Hundred Tenth Congress of the United States of Americ**. Washington: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.thomas.gov/cgi-bin/query/z?c110:H.R.6.ENR:>>. , 2007

ONS. **Resultado preliminar da implantação do horário de verão 2008/2009.** . [S.l.: s.n.], 2009

P3 INTERNATIONAL. **P4400 Kill A Watt Brochure.** Disponível em: <<http://www.p3international.com/brochures/P4400.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2011.

PAUTASSO, C.; ZIMMERMANN, O.; LEYMANN, F. **Restful web services vs. “big” web services.** Proceeding of the 17th international conference on World Wide Web - WWW '08. **Anais...** New York, New York, USA: ACM Press. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1367497.1367606>>. Acesso em: 10 ago. 2011. , 2008

PRESS SECRETARY. **President Obama Announces \$3.4 Billion Investment to Spur Transition to Smart Energy Grid.** Disponível em: <<http://www.whitehouse.gov/the-press-office/president-obama-announces-34-billion-investment-spur-transition-smart-energy-grid>>. Acesso em: 21 abr. 2011.

REDAÇÃO TERRA. **Problema em Itaipu causa apagão em 18 Estados do País.** Disponível em: <<http://noticias.terra.com.br/brasil/noticias/0,,OI4094129-EI8139,00-Problema+em+Itaipu+causa+apagao+em+Estados+do+Pais.html>>. Acesso em: 30 mar. 2011.

RICCI, A.; VINERBA, B.; SMARGIASSI, E. *et al.* **Power-Grid Load Balancing by Using Smart Home Appliances.** 2008 Digest of Technical Papers - International Conference on Consumer Electronics. **Anais...** Las Vegas, NV: IEEE. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4588081>>. Acesso em: 27 nov. 2011. , jan 2008

RICHARDSON, L.; RUBY, S. **RESTful web services.** 1. ed. [S.l.]: O'Reilly Media, 2007. p. 448

SCHMIDT, A.; LAERHOVEN, K. VAN. How to Build Smart Appliances? **IEEE Personal Communications**, v. 8, n. 4, p. 66-71, 2001.

SEO, J.; KI, Y.; CHOI, B.; LA, K. **Which Spot Should I Test for Effective Embedded Software Testing?** 2008 Second International Conference on Secure System Integration and Reliability Improvement. **Anais...** [S.l.]: IEEE. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1446517>>. Acesso em: 27 nov. 2011. , jul 2008

SGA. **Home - Smart Grid Australia.** Disponível em: <<http://www.smartgridaustralia.com.au/>>. Acesso em: 20 set. 2011.

SGCC. **SGCC Accelerates Building of Electric Vehicle Charging Stations.** Disponível em: <<http://www.sgcc.com.cn/ywlm/gsyw-e/218933.shtml>>. Acesso em: 14 mar. 2010.

SHAH, N.; TSAI, C.-FANG; CHAO, K.-MING. **Monitoring Appliances Sensor Data in Home Environment: Issues and Challanges.** 2009 IEEE Conference on Commerce and Enterprise Computing. **Anais...** Vienna: IEEE. Disponível em:

<<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5210761>>. Acesso em: 17 ago. 2011. , jul 2009

SIEGER, D. **GreenWave Reality » GreenWave Reality Announces an Innovative Energy Management Platform Benefiting Utilities and Consumers**. Disponível em: <<http://www.greenwavereality.com/news-01/>>. Acesso em: 22 set. 2010.

SIMON, D.; CIFUENTES, C.; CLEAL, D.; DANIELS, J.; WHITE, D. **Java™ on the bare metal of wireless sensor devices**. Proceedings of the 2nd international conference on Virtual execution environments - VEE '06. **Anais...** New York, New York, USA: ACM Press. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1134760.1134773>>. Acesso em: 27 nov. 2011. , 2006

SON, Y.-S.; MOON, K.-D. **Home energy management system based on power line communication**. 2010 Digest of Technical Papers International Conference on Consumer Electronics (ICCE). **Anais...** [S.l.]: IEEE. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5418733>>. Acesso em: 27 nov. 2011. , jan 2010

SONG, G.; DING, F.; ZHANG, W.; SONG, A. A wireless power outlet system for smart homes. **IEEE Transactions on Consumer Electronics**, v. 54, n. 4, p. 1688-1691, nov 2008.

SWEET, B. **The Smart Meter Avalanche**. Disponível em: <<http://spectrum.ieee.org/energywise/energy/renewables/the-smart-meter-avalanche>>. Acesso em: 22 abr. 2011.

TED. **TED 5000 Features**. Disponível em: <<http://www.theenergydetective.com/ted-5000/features>>. Acesso em: 22 jul. 2010.

TENREHTE. **Products | Tenrehte Technologies, Inc. | USA**. Disponível em: <<http://www.tenrehte.com/products/>>. Acesso em: 19 jul. 2010.

TEXAS INSTRUMENTS. **MSP430 Microcontrollers for Utility Metering Applications**. Disponível em: <<http://focus.ti.com/mcu/docs/mcuorphan.tsp?contentId=31498>>. Acesso em: 7 jun. 2010.

TIOBE. **TIOBE Software: Tiobe Index**. Disponível em: <<http://www.tiobe.com/index.php/content/paperinfo/tpci/index.html>>. Acesso em: 1 jul. 2010.

TOMPROS, S.; MOURATIDIS, N.; CARAGIOZIDIS, M.; HRASNICA, H.; GAVRAS, A. **A pervasive network architecture featuring intelligent energy management of households**. Proceedings of the 1st ACM international conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments - PETRA '08. **Anais...** New York, New York, USA: ACM Press. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1389586.1389673>>. Acesso em: 20 out. 2011. , 2008

TORRI, L. B. **A Norma IEEE 1451 Aplicada a Redes Heterogêneas de Sensores sem Fios**. [S.l.]: Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

TORRI, L.; FACHINI, G.; STEINFELD, L. *et al.* **An evaluation of free/open source static analysis tools applied to embedded software**. 2010 11th Latin American Test Workshop. **Anais...** [S.l.]: IEEE. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5550368>>. Acesso em: 27 nov. 2011. , mar 2010

VINOSKI, S. RPC under fire. **Internet Computing, IEEE**, v. 9, n. 5, p. 93–95, set 2005.

VOJDANI, A. Smart Integration. **IEEE Power & Energy Magazine**, n. december, p. 71-79, 2008.

WOOD, G. Dynamic energy-consumption indicators for domestic appliances: environment, behaviour and design. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 8, p. 821-841, set 2003.

YANG-XIN, O.; CHUN-YAN, S.; HONG, J.; YANG, L. **Research on Smart Appliances Control Protocol**. 2010 Second International Workshop on Education Technology and Computer Science. **Anais...** [S.l.]: IEEE. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5458836>>. Acesso em: 1 mar. 2012. , 2010

YAZAR, D.; DUNKELS, A. **Efficient application integration in IP-based sensor networks**. New York, New York, USA: ACM Press, 2009. p. 43

ZPRYME RESEARCH & CONSULTING. **Smart Grid Snapshot: China Tops Stimulus Funding**. **Business**. [S.l: s.n.], 2010^a

ZPRYME RESEARCH & CONSULTING. **Smart Grid Insights: Smart Appliances**. **Director**. [S.l: s.n.], 2010^b