

PROPOSTA DE UMA ARQUITETURA MULTIAGENTE PARA SMART GRIDS

MURILO LARROZA FONSECA*, MARCELO GÖTZ*, LUCAS TORRI*, CARLOS EDUARDO PEREIRA*

* *Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Osvaldo Aranha, 103, CEP: 90035-190 - Porto Alegre, RS, Brasil*

Emails: murilofonseca@gmail.com, mgoetz@ece.ufrgs.br, lucastorri@gmail.com, cpereira@ece.ufrgs.br

Abstract— Smart Grids can be understood as the intensive use of information and communication technologies over the electricity networks, allowing a bidirectional flow of information and electricity through the network. It is a system that tries to optimize the supply and demand of energy through the integration of distributed generation and renewable energy resources, and through the active participation of consumers. Among with the Smart Grid there is a great interest to define and implement mechanisms to encourage consumer to take care about their electrical energy use and to stimulate their active participation in the energy market. This will require tools that will help them to reduce costs through a more efficient use of energy. This work proposes an multiagent architecture for the development of these tools that help consumers at this scenario under construction. The proposed architecture allows the use of several types of equipments, both real and virtual, under different communication protocols and with the possible use of various algorithms for a joint operation of all Smart Grid equipments.

Keywords— Smart Grid, Multiagent Systems, Energy Management, Demand Response.

Resumo— A Rede Elétrica Inteligente pode ser entendida como o uso intensivo de tecnologias de informação e comunicação nas redes elétricas, permitindo um fluxo bidirecional de informações e eletricidade pela rede, de forma a obter uma infraestrutura capaz de automaticamente monitorar, proteger e otimizar a operação de seus elementos. Com a implementação dessa rede, há um grande interesse em definir e implementar mecanismos que incentivem uma maior conscientização dos consumidores em relação ao seu uso de energia, além de uma maior participação dos mesmos no mercado de energia. Isso exigirá a utilização de ferramentas que possibilitem a redução de custos através do uso mais eficiente da energia. Este trabalho propõe uma arquitetura multiagente para a construção dessas ferramentas que buscam auxiliar os consumidores nesse cenário em formação. A arquitetura proposta possibilita a construção de sistemas de gestão de energia abrangendo variados tipos de equipamentos, sob diferentes protocolos de comunicação e com a possibilidade de uso de diversos algoritmos para a operação conjunta dos equipamentos.

Palavras-chave— Rede Elétrica Inteligente, Sistemas Multiagentes, Gestão de Energia, Resposta à Demanda.

1 Introdução

A Rede Elétrica Inteligente, do inglês Smart Grid, pode ser entendida como o uso intensivo de tecnologias de informação e comunicação nas redes elétricas existentes, permitindo um fluxo bidirecional de informações e eletricidade por essas redes, de forma a obter uma infraestrutura capaz de automaticamente monitorar, proteger e otimizar a operação de seus elementos. A modernização da infraestrutura elétrica nesse sentido é inevitável e trará profundas mudanças em todos os segmentos do sistema elétrico, sendo que o seu maior impacto será no consumo, já que os consumidores terão que se adaptar as novas tecnologias e práticas do mercado.

Atualmente, a maioria dos consumidores conhece muito pouco do seu perfil de consumo, pois recebem mensalmente apenas o montante de energia que foi consumido, sem possuir nenhuma outra informação, além de não possuir qualquer tipo de incentivo para diminuir seu consumo de energia ou adotar equipamentos energeticamente mais eficientes, o que gera um enorme desinteresse por esses aspectos. Com a introdução de novos conceitos será exigido dos consumidores uma maior entendimento e participação no mercado de ener-

gia. A demanda de energia dos consumidores poderá ser administrada, novos tipos de contratos e planos de fornecimento junto às distribuidoras surgirão, novos equipamentos e sistemas de informação deverão ser desenvolvidos para administrar essas práticas e a forte interação e relacionamento dos consumidores com o mercado de energia.

Será comum as residências possuírem um dispositivo que deverá monitorar, controlar e coordenar as atividades dos equipamentos residenciais, buscando atender o perfil de consumo requerido pelos usuários (Lui et al., 2010). Cada equipamento passará a ser um elemento de uma rede de dados, além de um elemento de uma rede elétrica, de forma que os projetos de eletrodomésticos deverão ser refeitos, criando dispositivos inteligentes, capazes de monitorar e ajustar seu funcionamento de acordo com às necessidades dos usuários e a disponibilidade e custo da energia elétrica.

Em vários lugares do mundo já está ocorrendo projetos pilotos de implementação da medição eletrônica de eletricidade, havendo um grande esforço para que isso se torne rapidamente uma realidade, já que é a base de uma infraestrutura que permitirá a inclusão de diversas funcionalidades na rede elétrica (Fonseca et al., 2012). Uma das principais mudanças será em relação a tarifação de

energia elétrica para consumidores de baixa tensão, que inicialmente passará para um modelo em que o custo de energia irá variar de acordo com o horário do dia, de forma que se os consumidores não mudarem seu comportamento pagarão mais caro pela energia utilizada.

Algumas pesquisas (Faruqui, 2010) indicam que a tendência central de redução do pico de consumo de energia nos Estados Unidos encontra-se entre 14% a 18%, quando os consumidores são submetidos a um custo de energia variável ao longo do dia, chegando entre 34% e 38% quando há o envolvimento de tecnologias de assistência aos consumidores. Embora a realidade dos Estados Unidos seja diferente da realidade do Brasil, já é possível perceber a necessidade da inclusão de tecnologias que auxiliem os consumidores a reduzir seu gasto com energia elétrica considerando o cenário de tarifação variável que está por vir.

Dessa forma, na seção 2 é apresentado algumas propostas para auxílio aos consumidores nesse cenário, enquanto que na seção 3 é apresentado uma arquitetura multiagente que possibilita a construção de sistemas de gestão de energia. A seção 4 apresenta alguns resultados experimentais e a seção 5 apresenta as conclusões e perspectivas futuras deste trabalho.

2 Sistemas de Gestão de Energia

No Brasil a ANEEL já aprovou a utilização de uma tarifa para consumidores de baixa tensão cujo valor varia de acordo com o horário do dia, sendo denominada de Tarifa Branca e possuindo as seguintes características: (i) modalidade com três preços distintos (ponta, com duração de 3 horas no horário de pico, intermediário, com duração de 1 hora antes da ponta e 1 hora depois da ponta, e fora de ponta para os demais horários); (ii) relação ponta/fora de ponta de 5; (iii) relação intermediário/fora de ponta de 3; (iv) relação tarifa fora de ponta/convencional a ser estabelecida em revisão tarifária futura; (v) horário de pico no período entre 18h às 21h, podendo ser alterado por cada distribuidora desde que aprovado pela ANEEL; (vi) implantação de acordo com o plano de substituição de medidores.

Nota-se que com a evolução da tecnologia e a maior adaptabilidade dos consumidores, a tarifação aplicada deverá evoluir no sentido de tarifas com variações de preço cada vez mais frequentes, tendendo para cenários em que seu preço irá variar várias vezes ao dia de acordo com o equilíbrio de oferta e demanda de energia. Assim, diversos trabalhos já propõem soluções para esse cenário em evolução.

O BEMI (*Bidirectional Energy Management Interface*) é uma abordagem para gestão de energia em Baixa Tensão, em que um controlador residencial recebe informações de uma central de con-

trole externa, usualmente a tabela de preços da tarifa, calcula um agendamento de operação para cada equipamento, usando um algoritmo específico de acordo com o tipo de dispositivo, e realiza o controle dos mesmos (Nestle et al., 2007). Os algoritmos buscam maneiras de operar os dispositivos de forma a economizar o custo com energia e consideram as preferências dos usuários, os parâmetros dos dispositivos e as informações recebidas pela estação central.

(Lui et al., 2010) também propõem o uso de um controlador residencial que deve monitorar, controlar e coordenar a operação dos dispositivos residenciais, se comunicando com o medidor de energia para obter informações da rede elétrica e com uma central de serviços externa para obter parâmetros de controle.

O PowerMatcher (Kok et al., 2005) explora a possibilidade de alteração da operação de dispositivos para atingir o equilíbrio entre oferta e demanda, utilizando uma abordagem por Sistemas Multiagentes, em que cada dispositivo é operado por um agente que busca operar o dispositivo associado de uma forma otimizada sob o ponto de vista econômico. Os agentes são divididos de acordo com o equipamento que operam, como equipamentos que podem adiar sua operação, ou que podem diminuir seu consumo alterando seu desempenho, ou que podem gerar energia de forma estocástica, ou operar de forma aleatória de acordo com a vontade dos usuários.

O MAHAS (Abras et al., 2006) é uma abordagem dedicada à gestão de energia que adapta o consumo de dispositivos de acordo com critérios de custo e de conforto dos usuários. Também utiliza uma abordagem por Sistemas Multiagentes em que cada equipamento é controlado por um agente, que interage com os outros agentes para encontrar uma solução de operação, através da coordenação da operação de todos os dispositivos do local.

(Lim et al., 2011) propõem um sistema de gestão de energia elétrica que opera através de uma rede PLC (*Power Line Communication*), sendo constituído de: (i) adaptadores, no formato de tomadas em que os dispositivos são conectados, que armazenam informações sobre o consumo de energia e estado do equipamento conectado, além de permitir a alteração do estado (liga ou desliga) do equipamento conectado; (ii) um gestor de energia, que agrega as informações do consumo da residência (através de informações do medidor de energia e dos adaptadores) e controla os dispositivos de acordo com as configurações dos usuários; (iii) uma interface de usuário, que permite a visualização de dados de consumo, a configuração do controle de equipamentos e o fácil desligamento de todos os equipamentos.

(Abe et al., 2011) propõem um sistema de monitoração de energia residencial baseado em

uma rede de sensores sem fio, que utilizam o padrão de comunicação ZigBee. Basicamente, cada nó possui sensores para medição de parâmetros do ambiente (luz, temperatura e presença) e permite a conexão dos equipamentos (através de uma tomada) ou a conexão dos fios de alimentação que saem de um disjuntor para a medição de parâmetros de energia elétrica (potência, corrente e tensão). Um sistema central armazena os dados, permitindo a visualização dos mesmos e análise para identificação de possíveis reduções de consumo.

3 Arquitetura Proposta

Um agente inteligente é um sistema computacional situado em um ambiente, que é capaz de agir com autonomia flexível, visando atingir os objetivos para o qual foi projetado. O termo situado significa que o agente recebe informações vindas do ambiente ao qual está localizado e pode executar ações contextualizadas que modifiquem esse ambiente. O termo autonomia significa que o agente deve ter a possibilidade de agir sem a intervenção direta de usuários ou de outras entidades e que deve poder controlar totalmente suas ações e seu estado interno. O termo flexível abrange a forma como o agente deve agir para atingir seus objetivos e envolve as capacidades de receptividade (perceber o ambiente e responder adequadamente), pró-atividade (agir por iniciativa própria aproveitando oportunidades), sociabilidade (interagir com outras entidades do ambiente para a obtenção de maiores informações, através do compartilhamento do conhecimento e da colaboração para atingir objetivos de interesse comum).

Por definição, os agentes inteligentes formam uma sociedade, constituindo um Sistema Multiagente (SMA), que é uma aplicação composta por um conjunto de processos autônomos, distribuídos e inteligentes, que interagem entre si para a solução de problemas complexos, que estão além das suas capacidades individuais. Nesses sistemas, os agentes podem ser homogêneos ou heterogêneos, sendo que cada um terá uma certa influência no ambiente, geralmente distinta, e irão interagir, de forma assíncrona, para atingir seus objetivos.

A ideia norteadora da arquitetura proposta (Figura 1) é que cada dispositivo seja representado por um agente inteligente, denominado de Agente de Energia, que deve interagir com outros Agentes de Energia, para prover as funcionalidades do dispositivo para a rede e/ou definir como o dispositivo vai operar de acordo com parâmetros definidos pelo desenvolvedor do agente. Na abordagem proposta, cada dispositivo é representado por um único agente e cada agente pode representar um único dispositivo. Há também um agente denominado Agente de Usuário, que permite a interação do Usuário com o SMA em tempo de execução, podendo visualizar dados e configurar equipamentos

caso essas funcionalidades estejam implementadas nos Agentes de Energia.

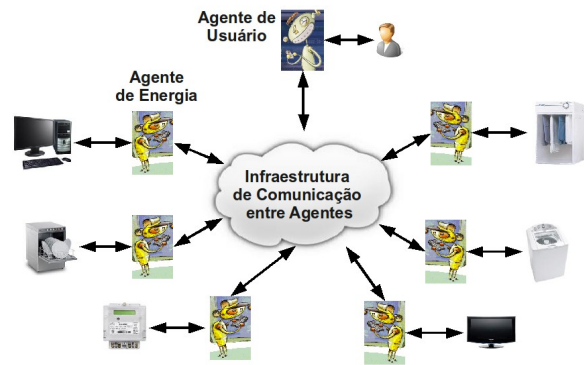


Figura 1: Arquitetura Proposta

A instanciação dos Agentes de Energia pode ser realizada tanto de forma estática como dinâmica (Figura 2):

- **Modo estático:** usado geralmente para permitir que o SMA encontre dispositivos que utilizam um protocolo de comunicação em que é necessário uma configuração manual para o estabelecimento de serviços funcionais em rede. Assim, o usuário realiza essa configuração através do Agente de Usuário, que instancia um Agente de Energia capaz de representar o dispositivo com base nos parâmetros configurados.
- **Modo dinâmico:** usado para permitir que o SMA encontre dispositivos que utilizam um protocolo de comunicação que permite sua descoberta e estabelecimento de serviços funcionais de rede de forma dinâmica. Nesse caso, é utilizado um agente denominado Agente de Descoberta, que identifica quando cada novo dispositivo entra na rede, instanciando automaticamente um Agente de Energia para representá-lo. A utilização desse agente se justifica, pois o conceito utilizado na arquitetura proposta é que cada dispositivo seja controlado por um único agente e por questões de flexibilidade e simplicidade considerou-se mais adequado a especialização da descoberta de dispositivos por um tipo de agente, enquanto outro tipo de agente se especializa na utilização do dispositivo que controla. Assim, o usuário deve configurar no Agente de Usuário quais os tipos de protocolos de comunicação (que permitem a descoberta dinâmica) que vai utilizar no sistema e o Agente de Usuário se encarrega de instanciar um Agente de Descoberta para cada protocolo de comunicação requerido, de forma que um único Agente de Descoberta será responsável pela descoberta de todos os dispositivos que utilizam o mesmo protocolo de comunicação.

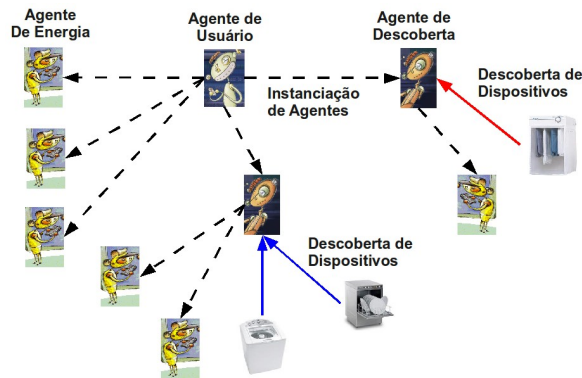


Figura 2: Instanciação de Agentes

Com base no exposto acima, a arquitetura interna de cada um desses agentes será demonstrada e explicada nas próximas seções.

3.1 Agente de Energia

Os Agentes de Energia são responsáveis pela representação dos equipamentos no SMA, possibilitando tanto o fornecimento de funcionalidades desses equipamentos, como o controle dos mesmos. Para permitir a flexibilidade necessária, esse agente utiliza três bibliotecas:

- **Biblioteca de Interfaces:** local onde são armazenadas as interfaces de comunicação previamente desenvolvidas, de forma que o agente possa se comunicar com qualquer dispositivo que utilize um protocolo de comunicação implementado por alguma dessas interfaces. Geralmente fornecem meios para que o agente envie e receba mensagens através de um determinado protocolo de comunicação, fornecendo uma interface padrão ao agente, independente do protocolo utilizado.
- **Biblioteca de Dispositivos:** local onde são armazenados os modelos, previamente desenvolvidos, de cada equipamento que o agente pode representar, de forma a permitir a operação de cada dispositivo com base em suas características e funcionalidades, que são disponibilizadas ao agente através de uma interface padrão, independente do tipo de equipamento.
- **Biblioteca de Algoritmos:** local onde são armazenados os algoritmos previamente desenvolvidos para a operação do equipamento, como por exemplo a monitoração do consumo do mesmo ou a minimização do gasto de energia do equipamento.

Com base nos argumentos recebidos ao ser instanciado, o Agente de Energia consulta essas bibliotecas e recebe a interface que utilizará para

se comunicar com o equipamento, o tipo de equipamento que vai representar e o algoritmo que vai utilizar nesse equipamento, de forma que seus componentes se dividem em (Figura 3):

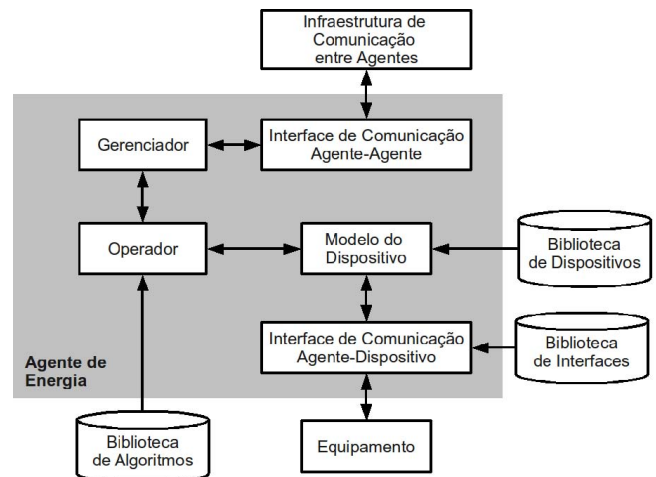


Figura 3: Agente de Energia

- **Interface de Comunicação Agente-Dispositivo:** é construído a partir da Biblioteca de Interfaces quando o agente é criado, sendo utilizado para que o agente possa se comunicar diretamente com o equipamento que representa através de um determinado protocolo de comunicação.
- **Modelo do Dispositivo:** é construído a partir da Biblioteca de Dispositivos quando o agente é criado, sendo utilizado para que o agente possa operar o equipamento que representa corretamente, utilizando suas funcionalidades específicas.
- **Interface de Comunicação Agente-Agente:** é utilizado para que o agente possa se comunicar diretamente com outros agentes. Nessa arquitetura é admitido que os agentes interagem através de um mesmo protocolo para a troca e representação de informações.
- **Operador:** é construído a partir da Biblioteca de Algoritmos quando o agente é criado, sendo responsável por executar um algoritmo para a operação do equipamento de acordo com critérios estabelecidos pelo desenvolvedor.
- **Gerenciador:** é responsável pela operação do agente, permitindo a execução do algoritmo do Operador, a descoberta de outros agentes e a interação do agente com o SMA.

A operação desse agente consiste basicamente em executar o algoritmo do Operador, que pode tanto se comunicar com outros agentes como se comunicar diretamente com o equipamento que o agente representa.

3.2 Agente de Usuário

O Agente de Usuário é responsável por permitir a interação de usuários com o SMA, podendo possibilitar, por exemplo, a configuração dos equipamentos e visualização de seus dados, devendo ser instanciado ao se criar o SMA, pois é responsável pela criação de outros agentes.

As opções de interação do usuário com o SMA são armazenadas em uma biblioteca denominada de Biblioteca de Interfaces de Usuário. Essa biblioteca armazena as interfaces de usuário previamente desenvolvidas, de forma que diferentes formas de visualização e interação com o SMA possam ser efetuadas pelos usuários, de acordo com critérios do desenvolvedor. Com base nos argumentos recebidos ao ser instanciado, o Agente de Usuário consulta essa biblioteca e recebe a interface de usuário que utilizará, de forma que seus componentes se dividem em (Figura 4):

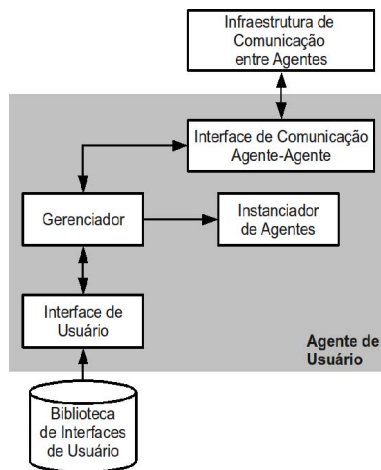


Figura 4: Agente de Usuário

- **Interface de Usuário:** é construído a partir da Biblioteca de Interfaces de Usuário quando o agente é criado, sendo utilizado para que o usuário possa interagir com o SMA através de uma determinada interface.
- **Gerenciador:** é responsável pela operação do agente, permitindo a interação do usuário com o SMA e a criação de outros agentes.
- **Instanciador de Agentes:** é responsável por instanciar outros agentes com base nas configurações e comandos do usuário.
- **Interface de Comunicação Agente-Agente:** é utilizado para que o agente possa se comunicar diretamente com outros agentes.

A operação desse agente consiste basicamente em verificar se os agentes do sistema ainda estão ativos, encontrar novos agentes criados pelo Agente de Descoberta e verificar se o usuário requereu alguma interação com o SMA, tratando

essas requisições quando estiver dentro de seu escopo ou enviando-as para outros agentes que deverão tratar as mesmas.

3.3 Agente de Descoberta

O Agente de Descoberta é responsável por encontrar dispositivos que permitam sua descoberta na rede e o estabelecimento de serviços de rede funcionais de forma automática, devendo implementar o mesmo protocolo que esses dispositivos utilizam e instanciar Agentes de Energia à medida que encontra novos dispositivos na rede. Esse agente utiliza duas bibliotecas:

- **Biblioteca de Interfaces:** local onde são armazenadas as interfaces de comunicação previamente desenvolvidas, de forma que o agente possa encontrar qualquer dispositivo que utilize um protocolo de comunicação implementado por alguma dessas interfaces, que apresentem suas funcionalidades em um formato padrão, independente do tipo de protocolo implementado.
- **Biblioteca de Dispositivos:** local onde são armazenados dados que caracterizam os equipamentos previamente cadastrados no sistema, de forma a permitir a criação de Agentes de Energia apenas para equipamentos conhecidos pelo usuário.

Com base nos argumentos recebidos ao ser instanciado, o Agente de Descoberta consulta a Biblioteca de Interfaces e recebe a interface de descoberta que utilizará, de forma que seus componentes se dividem em (Figura 5):

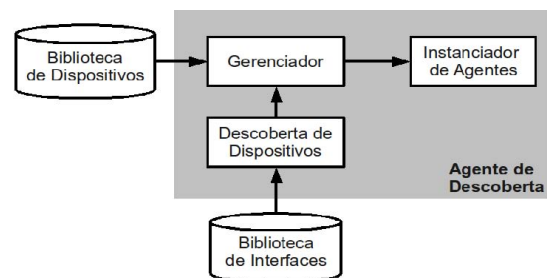


Figura 5: Agente de Descoberta

- **Descoberta de Dispositivos:** é construído a partir da Biblioteca de Interfaces quando o agente é criado, implementando um mecanismo que permita que o agente descubra dinamicamente equipamentos na rede de acordo com um protocolo específico.
- **Gerenciador:** é responsável pela operação do agente, com base em um algoritmo previamente definido que permite a descoberta de dispositivos e a instanciação de Agentes de Energia.

- **Instanciador de Agentes:**   responsável por instanciar Agentes de Energia   medida que o agente descobre equipamentos na rede.

A operação desse agente consiste basicamente em realizar uma busca na rede por dispositivos, quando é instanciado, criando um Agente de Energia para representar cada equipamento   medida que os encontra e, posteriormente, quando detectar a entrada na rede de um novo dispositivo, deve também criar automaticamente um Agente de Energia para representá-lo.

4 Resultados Experimentais

Os agentes foram implementados a partir do framework JADE, voltado ao desenvolvimento de SMAs, sendo uma das principais ferramentas para o desenvolvimento de agentes devido ao forte suporte de organizações e a grande comunidade de usuários.

Para a interação com equipamentos reais, foi utilizado um adaptador (Figura 6) que deve ser conectado a uma tomada e oferece uma entrada para a conexão de dispositivos, de forma que é capaz de medir a tensão e a corrente requerida pelo dispositivo e conseqüentemente a potência e a energia consumida pelo mesmo, além de realizar o controle de operação através de fornecimento ou bloqueio de energia ao equipamento. Este adaptador ainda fornece uma interface de comunicação sem fio.

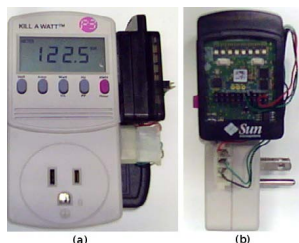


Figura 6: Adaptador utilizado: (a) vista frontal (b) vista lateral

Para a interação com o adaptador, foi criado três classes para o Agente de Energia, uma para efetuar a comunicação com o adaptador (que herda a classe Interface de Comunicação Agente-Dispositivo), outra para modelar as funcionalidades disponibilizadas pelo adaptador (Modelo do Dispositivo) e outra que implementa um algoritmo que permite a operação do equipamento de acordo com critérios definidos pelo usuário e que herda a classe Operador.

A Figura 7 demonstra a potência requerida pela operação de um computador durante o período de uma hora, em que um agente ficou monitorando o consumo do mesmo através do adaptador. Nos 27 minutos iniciais e 10 minutos finais apenas ficou ligado, enquanto que no restante do

tempo o consumo de energia aumentou devido a execução de programas que exigiam um grande processamento, como um programa de simulação matemática e um anti-vírus. A Figura 8 demonstra a energia consumida no período considerado.

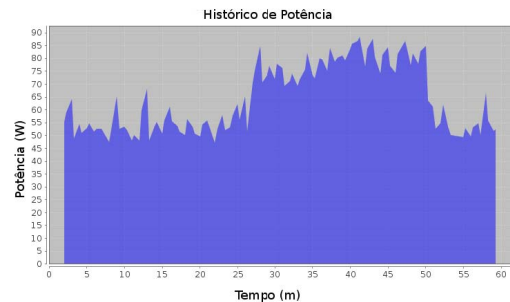


Figura 7: Potência

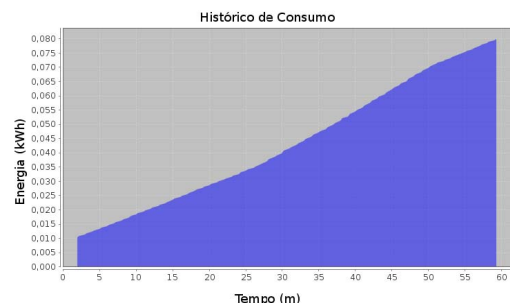


Figura 8: Energia

Como uma opção para a comunicação com dispositivos que permitem sua descoberta e configuração de forma automática, foi implementado o padrão DPWS (*Devices Profile for Web Services*), que define um conjunto mínimo de regras para a execução segura de *Web Services* em dispositivos com recursos limitados (Milagaia, 2009). O DPWS foi padronizado em 2009 pela OASIS apresentando especificações restritas ao mínimo necessário para que dispositivos com recursos limitados e conectados em rede descubram uns aos outros automaticamente e estabeleçam serviços de rede funcionais. O modo de operação geralmente consiste na descoberta de dispositivos relevantes na rede, busca da descrição de seus serviços, invocação dos mesmos e o registro para notificação de eventos. Ainda, permite que a comunicação ocorra em uma camada de alto nível e independente de tecnologia, permitindo a utilização de diversos padrões de comunicação nas camadas inferiores.

Para a realização de um experimento, foi construído uma classe que simula um medidor de energia, capaz de fornecer informações em relação ao valor da tarifa quando requisitado através do padrão DPWS. Foi também construído algumas classes que permitem que um Agente de Energia possa representar esse equipamento, possibilitando a co-

municação por DPWS, a modelagem dos serviços disponibilizados e um algoritmo que permite a disponibilização desses serviços, no caso o valor da tarifa do período. Foi também construído algumas classes para o Agente de Descoberta, de forma que esse possa descobrir dispositivos que se comuniquem por DPWS e instanciar Agentes de Energia de forma automática para representá-los.

Uma classe que herda o Operador foi desenvolvida com o objetivo de realizar o agendamento da operação de equipamentos, atuando como um agendador central. Para isso, recebe requisições que indicam opções de operação e escolhe uma dessas opções considerando as escolhas que já realizou para outros equipamentos. O algoritmo busca uma melhor distribuição da operação de todos os equipamentos ao longo do período. Posteriormente, informa a opção escolhida ao agente que fez a requisição.

Uma outra classe que herda o Operador foi desenvolvida para a operação dos equipamentos. Essa classe tem o objetivo de monitorar e controlar a operação do equipamento de acordo com critérios definidos pelo usuário. Para isso, ao ser criado envia mensagens para a rede em busca do agente com a função de agendador e do agente que representa um medidor de energia, que oferece os preços da tarifa. Ao agente do medidor requer os preços de energia para o período. Com esses preços calcula suas opções de operação e submete elas ao agente agendador. Ao receber o período que deve operar, fica monitorando a hora do sistema em que está executando e executa os métodos de ligar e desligar o dispositivo da classe que herda o Modelo do Dispositivo, no momento apropriado para atender as exigências do usuário.

Como cada Agente de Energia deve representar um equipamento, o agente agendador é o mesmo que representa o medidor de energia e cada outro equipamento é representado por um Agente de Energia responsável por operá-lo de acordo com os critérios do usuário e custos de energia (Figura 9). Um equipamento é real, sendo controlado a partir do adaptador desenvolvido, enquanto que os outros equipamentos são virtuais, se comunicando através do DPWS e representando máquinas de lavar roupas que possuem a capacidade de adiar o início de operação desde que terminem a operação no prazo limite definido pelo usuário. Dessa forma, o Agente de Descoberta descobre esses equipamentos e cria um Agente de Energia para cada um, que serão responsáveis por interagir buscando o melhor momento de operação do conjunto.

A Figura 10 demonstra o resultado do agendamento para um teste em que considerou-se um valor de tarifa mais caro entre o período de 36 e 56 minutos, enquanto que a Figura 11 mostra a potência requerida pelos dispositivos no período. A variação da tarifa ocorre dentro de um período

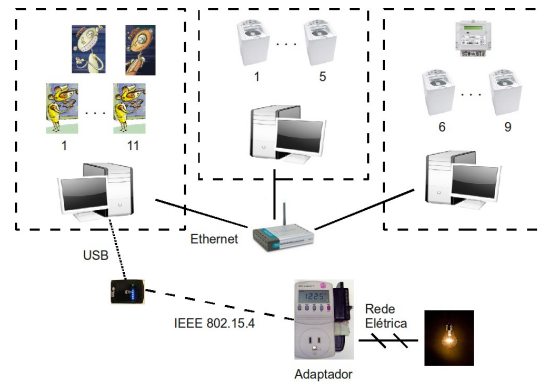


Figura 9: Cenário de Teste

de uma hora para diminuir o tempo de realização deste teste, pois o tempo é incrementado de forma natural, já que foi utilizado um equipamento real através do adaptador. Toda vez que o agendador recebe uma requisição para agendamento escolhe uma das opções recebidas, considerando as escolhas que já realizou para outros equipamentos, buscando efetuar uma distribuição das operações ao longo do período de uma hora. Porém, o agendador trata essas requisições em ordem de recebimento e não realiza um novo agendamento para agentes que já definiu o intervalo de operação, de forma que o resultado encontrado pode ser melhorado caso esse reagendamento seja implementado nos agentes ou caso se defina prioridades de operação para determinados equipamentos.

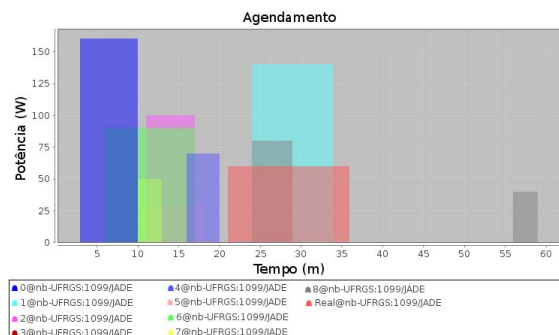


Figura 10: Agendamento

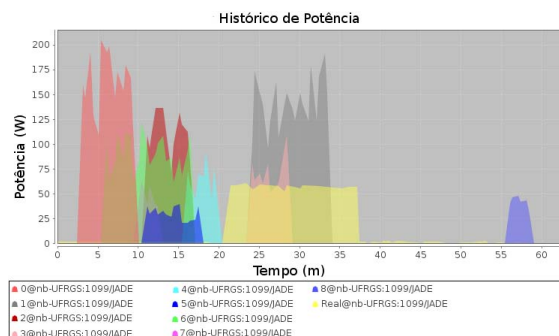


Figura 11: Potência Requerida

5 Conclusões

Este trabalho propoz uma arquitetura para a construção de sistemas de gestão de energia elétrica para consumidores, considerando a modernização do setor elétrico no sentido da Rede Elétrica Inteligente. Para tanto, foram analisadas diferentes abordagens de sistemas de gestão de energia e foi construído um conjunto de classes que permitem a fácil construção de diversos tipos de sistemas de gestão de energia.

A arquitetura proposta foi projetada para suportar todas as aplicações de um determinado domínio, de maneira flexível e extensível, podendo ser utilizada de modo a tornar o desenvolvimento de sistemas computacionais mais rápidos e produtivos, facilitando a captura de decisões de projetos que são comuns ao domínio de uma aplicação e permitindo uma redução do tempo utilizado com o desenvolvimento de novas soluções. Para isso, utilizou-se a abordagem de Sistemas Multiagentes, devido ao fato dessa abordagem buscar solucionar problemas com características similares aos que precisam ser resolvidos na Rede Elétrica Inteligente.

Os testes executados demonstraram a operação de diferentes agentes, de acordo com as classes previamente desenvolvidas e das relações definidas para as mesmas. Foi demonstrado um teste com um equipamento real e equipamentos virtuais que devem operar em conjunto buscando atender a um critério. Cada equipamento identifica os períodos de menor custo de energia e define opções para a sua operação de acordo com suas características e informa a um agente agendador que é responsável por escolher um período de operação para cada equipamento com base nas opções que recebe e decisões anteriores. A arquitetura proposta permite o desenvolvimento de algoritmos que possam implementar funcionalidades semelhantes a esta implementação e que ainda possam abranger outros tipos de operação e a otimização de parâmetros, como o custo de energia pago pelo consumidor.

Com os testes realizados foi possível verificar algumas potencialidades de uso dessa arquitetura, embora as vantagens da utilização de agentes inteligentes em sua construção não foram claramente evidenciadas nestes testes. Assim, outros testes devem ser desenvolvidos e divulgados futuramente, abrangendo essas potencialidades, principalmente com a distribuição dos agentes pelo sistema e a inclusão de diferentes mecanismos de interação entre eles e de escolha de períodos de operação.

Assim, a arquitetura proposta apresenta diversas características, como a possibilidade de construção de diversos sistemas, em diferentes cenários, com variados tipos de equipamentos, tanto reais como virtuais, sob diferentes padrões de comunicação. Além disso, permite a construção e

simulação de sistemas com diferentes algoritmos para a operação dos equipamentos, permitindo tanto a utilização de diferentes algoritmos para equipamentos individuais, como também diferentes algoritmos para a operação de todos os equipamentos de forma conjunta. Para isso, foram apresentados três tipos de agentes que fornecem toda a infraestrutura necessária para a construção e análise desses sistemas, de uma forma flexível, modular e reaproveitável em diversos projetos.

Referências

- Abe, K., Mineno, H. and Mizuno, T. (2011). Development and evaluation of smart tap type home energy management system using sensor networks, *Proceedings of IEEE Consumer Communications and networking Conference*, pp. 1050–1054.
- Abras, S., Ploix, S., S., P. and Jacomino, M. (2006). A multi-agent home automation system for power management, *International Conference in Control, Automation and Robotics*, pp. 3–8.
- Faruqui, A. (2010). The case for dynamic pricing. <http://www.brattle.com>.
- Fonseca, M. L., Torri, L., Götz, M. and Pereira, C. E. (2012). IV Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, *Medição Eletrônica de Eletricidade: Iniciativas e Tendências*, pp. 1–6.
- Kok, J. K., Warmer, C. J. and Kamphuis, I. G. (2005). Powermatcher: multiagent control in the electricity infrastructure, *Proceedings of the fourth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems*, pp. 75–82.
- Lim, Y., Choi, M., Baek, J. and Lee, S. (2011). An efficient home energy management system based on automatic meter reading, *Proceedings of IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications (ISPLC)*, pp. 479–484.
- Lui, T. J., Stirling, W. and Marcy, H. O. (2010). Get smart, *Power and Energy Magazine IEEE* 8(3): 66–78.
- Milagaia, R. R. (2009). *DPWS middleware to support agent-based manufacturing control and simulation*, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Nestle, D., Bendel, C. and Ringelstein, J. (2007). Bidirectional Energy Management interface (BEMI) - Integration of the low voltage level into grid communication and control, *19th International Conference on Electricity Distribution, Vienna 21-24 May*, pp. 1–4.