

Sensibilidade a Contexto na Gestão Eficiente de Energia Elétrica

Julio Chagas, Carlos Ferraz, Ana Paula Alves, Gustavo Carvalho

Centro de Informática – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
Av. Prof. Luís Freire s/n, Cidade Universitária – 50740-540 – Recife – PE

{jgg, cagf, apba, ghpc}@cin.ufpe.br

Abstract. *Nowadays, the behavior of users and their habits regarding the use of equipments represent the most flexible variable for achieving a reduction on electric power consumption. Contrary to the efforts for the rational use of energy, are the places where there is the need for high availability. Context-awareness allows the use of important information about people on site, facilitating interaction between users and applications. The combination of systems automation and context-awareness is a powerful tool in the struggle for reducing the waste of energy without jeopardizing the high availability in the premises. This paper presents a context-aware middleware and an application to evaluate power efficiency gains in a real high-availability environment.*

Resumo. *O comportamento dos usuários e seus hábitos de utilização dos equipamentos representam hoje a variável mais flexível para a obtenção de economia de energia. Na contramão do uso racional da energia, estão os ambientes que precisam ter alta disponibilidade. A sensibilidade a contexto permite utilizar informações relevantes sobre entidades do ambiente para facilitar a interação entre usuários e aplicações. A combinação da automação de sistemas com a sensibilidade a contexto representa um forte aliado na redução do desperdício de energia, sem comprometer a alta disponibilidade dos ambientes. Este artigo apresenta um middleware e uma aplicação de sensibilidade a contexto para avaliar os ganhos energéticos em um ambiente real de alta disponibilidade.*

1. Introdução

O mercado de energia elétrica no Brasil experimenta um crescimento da ordem de 4,5% ao ano, atingindo 392,8 TWh em 2008 [EPE 2009]. O planejamento governamental de médio prazo prevê a necessidade de investimentos em torno de R\$ 6 a 7 bilhões/ano para a expansão da matriz energética brasileira, em atendimento à demanda do mercado consumidor [ANEEL 2008]. No entanto, esse investimento pode ser reduzido ou melhor aproveitado com a diminuição do desperdício de energia, visto que, estudo realizado com indústrias, comércio e setor público mostra que os índices de desperdício chegam a 15%, 30% e 45%, respectivamente [TERRA 2008]. Nos últimos anos, os equipamentos e instalações elétricas já vêm sendo desenvolvidos com foco em eficiência energética, mas a eficiência, isoladamente, não garante o uso racional da energia elétrica. O comportamento dos usuários e seus hábitos de utilização dos equipamentos representam hoje a variável mais flexível para a obtenção de economia de energia.

Na contramão da prática do uso racional da energia, estão os ambientes que precisam ter alta disponibilidade de seus recursos, potenciais consumidores de energia. Esses ambientes, normalmente, estão com suas portas abertas e seus equipamentos ligados independentemente de sua utilização, para garantir a disponibilidade imediata aos usuários. O uso de sistemas de automação tradicionais, baseados na comunicação entre acionadores programados em um sistema de gerenciamento (horários) ou em sensores (presença) [Mariotoni e Andrade 2002], não se adéqua a essa aplicação por não atender a premissa básica da disponibilidade requerida.

A realidade do desperdício de energia é encontrada em lugares onde os recursos precisam estar disponíveis, em quantidade suficiente para atender à demanda imediata, mas nem sempre há um administrador para ativar os equipamentos na hora da necessidade e, ainda mais importante, desligá-los na ociosidade. A automatização convencional não soluciona esse tipo de problema porque, pelo fato de atender a regras estáticas, irá fazer faltar o recurso dado às demandas variáveis. Na prática encontramos isso no Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco (CIn/UFPE). Um dos maiores diferenciais desse Centro é a disponibilidade de seus laboratórios e servidores aos usuários, em regime de 24 horas por dia e por 7 dias na semana. Mas como prever o comportamento dos usuários? Uma automação sensível a contexto é a resposta. Ela associa independência da ação de seres humanos para a tarefa de administrar a disponibilidade dos ambientes ao uso racional da energia elétrica, abrindo, ativando, desativando e fechando os ambientes de acordo com as necessidades imediatas dos usuários (contexto). A sensibilidade a contexto está cada vez mais sendo utilizada para proporcionar pervasividade a aplicações. Ela permite utilizar informações relevantes sobre entidades do mundo para facilitar a interação entre usuários e aplicações. Tais informações podem ser agrupadas principalmente sobre localização, identificação, tempo e atividade [Dey 2001].

A combinação da automação de sistemas com a sensibilidade a contexto representa um forte aliado na redução do desperdício de energia, sem comprometer a alta disponibilidade dos ambientes. A necessidade de flexibilidade para inserção de novas variáveis de contexto e de dispositivos a serem controlados, sugere a utilização de uma camada intermediária que faria as inferências nos diversos contextos, obtendo as leituras das variáveis e comunicando aos dispositivos seus estados de funcionamento.

Esse trabalho tem como objetivo avaliar os ganhos energéticos com a aplicação de sensibilidade ao contexto em sistemas de automação elétrica, para ambientes de alta disponibilidade. Aqui as questões centrais são: a) qual o diferencial desse sistema sobre os sistemas de automação convencionais? b) quais as vantagens da adoção de uma camada de *middleware* em vez do uso de uma única aplicação dedicada?

Para atingir o objetivo da pesquisa proposta foi considerado um cenário real, envolvendo os laboratórios de graduação do CIn/UFPE, com medições antes e depois da ativação do sistema sensível a contexto desenvolvido. Com a aferição do consumo energético resultante da ativação do sistema e a observação do respeito às regras relativas à disponibilidade, concluiu-se que houve uma redução de até 20% no consumo de energia dos laboratórios, sem comprometer a premissa de disponibilidade imediata dos recursos para os usuários.

Este artigo está organizado da seguinte forma: na seção 2 apresentaremos os principais conceitos e trabalhos relacionados ao trabalho; na seção 3 será apresentado o *middleware* desenvolvido com o objetivo de implementar casos práticos de automação de sistemas sensíveis a contexto; a seção 4 apresenta a aplicação prática do sistema nos

laboratórios de graduação do CIn, e na seção 5 são discutidas as principais conclusões e propostas de trabalhos futuros para o tema.

2. Uso Racional de Energia

O avanço tecnológico da sociedade implica no uso crescente da energia elétrica. No Brasil, o consumo de energia elétrica atendido pelo sistema elétrico nacional atingiu 33.327 GWh em agosto de 2008, o maior montante desse ano, significando crescimento de 6,4% sobre igual mês de 2007 [EPE 2008], atingindo 392,8 TWh em 2008 [EPE 2009]. Desse consumo estima-se, no Brasil, que as perdas de energia representam 16,2% [EPE/COPAM 2008]. Essas perdas são a soma das perdas intrínsecas aos sistemas energéticos, com os furtos e as perdas por ineficiências, essas últimas classificadas por [NOGUEIRA 2008] em:

- a) Projeto deficiente: em razão da concepção errônea do ponto de vista do desenho, dos materiais, do processo de fabricação, os equipamentos e/ou os sistemas levam a desperdícios de energia;
- b) Operação ineficiente: mesmo quando os sistemas energéticos são bem concebidos, podem ser operados de forma displicente, por exemplo, mantendo uma sala sem atividades com lâmpadas desnecessariamente acesas;
- c) Manutenção inadequada: uma parte das perdas e dos desperdícios de energia poderia ser minimizada mediante procedimentos de manutenção corretiva e preventiva.

Para o primeiro caso, a solução é a troca dos equipamentos por outros mais modernos com maior eficiência energética. Para o terceiro caso, deve-se adotar a manutenção preventiva, garantindo as condições ideais de funcionamento dos dispositivos para a obtenção de eficiências compatíveis com as apresentadas pelo fabricante. É no segundo caso que equacionamos variáveis de comportamento e hábitos dos usuários, onde pode ser obtido o maior ganho, com o uso de inteligência no controle desses equipamentos e sistemas.

2.1. Ambientes Inteligentes

Ambiente inteligente é um paradigma que orienta o desenvolvimento dos sistemas de próxima geração, introduzindo um novo significado à comunicação homem-máquina, e seu ambiente [FORESTI 2005]. É a visão de que a tecnologia irá tornar-se invisível, embutida nos ambientes, presente sempre que precisemos dela, acionada por simples interações, sintonizadas com nossos sentidos, adaptáveis aos usuários e aos contextos automaticamente. Informações de alta qualidade e conteúdo precisam estar disponíveis para qualquer usuário, em qualquer lugar, a qualquer momento e em qualquer dispositivo [LINDWER 2003]. Um ambiente dotado de “inteligência” deve ter a capacidade de [GARATE 2005], entre outros:

- a) Reconhecer os usuários e suas circunstâncias (quantidade, temperatura, atividade, etc);
- b) Ter comportamento preditivo, baseado em conhecimento do ambiente (sensibilidade a contexto), dos hábitos de quem o ambiente está servindo, além de suas atividades específicas quando em ação;

- c) Permitir o acesso ao maior número de serviços e facilidades disponíveis, independente da localização dos usuários ou de que dispositivos esses serviços são demandados (ubiquidade).

No foco da automação de ambientes, observamos três áreas de pesquisa: automação predial, domótica e domótica inteligente.

A pesquisa em **automação predial** avalia o meio físico e os protocolos envolvidos na comunicação entre os sensores e atuadores. Esses protocolos normalmente são definidos por associações ou por empresas.

A **domótica**, palavra derivada de domus (casa) e robótica (automatizada), é um conceito ainda controverso. O termo foi utilizado oficialmente pela primeira vez em 1984 pela American Association of House Builders [HARPER 2003]. A definição varia desde uma casa com sensores, por exemplo, de presença e temperatura, interligados a controles de iluminação e de ar-condicionado, respectivamente, a casas com redes de sensores e atuadores conectados a controladores internos e externos ao ambiente.

Flores [2007] em seu trabalho cita curiosas definições para o termo como a que afirma que “uma casa inteligente deve ser como um mordomo invisível, capaz de observar, tomar decisões e atuar sobre o meio envolvente”. Baseado na atenção às funcionalidades disponíveis para os usuários em uma casa inteligente, Flores [2007] identifica cinco tipos como segue:

- *Contains intelligent objects*: dispositivos e eletrodomésticos que funcionam de um modo inteligente.
- *Contains intelligent, communicating objects*: dispositivos inteligentes que se comunicam entre si, trocando informação e aumentando assim a sua funcionalidade.
- *Connected home*: a casa tem uma rede interna interligada com a rede externa, permitindo o controle interativo dos sistemas, e o acesso aos serviços e à informação, quer de dentro, quer do exterior.
- *Learning home*: os padrões de utilização são gravados e os dados acumulados são usados para antecipar as necessidades dos usuários. Por exemplo, a casa que aprende padrões da utilização do aquecimento e da iluminação (“the adaptive home”).
- *Alert home*: as atividades das pessoas e dos objetos são constantemente monitoradas, alertando e antecipando as ações a tomar (“the aware home”).

O termo **domótica inteligente** vai além da interligação de dispositivos para a automação das casas ou prédios, Marcelo Takiuchi [2004] coloca que “A Domótica inteligente deve, por sua vez, analisar os dados obtidos pelos sensores de modo a adaptar suas regras de automação ao comportamento dos habitantes. Isto se faz necessário, pois o comportamento dos seres humanos muda ao longo do tempo, bem como cada indivíduo possui sua própria preferência, uns gostam de temperaturas mais quentes do que outros, ou mesmo outros gostam de luminosidade menor do que outros.” Em seu trabalho Takiuchi apresenta o ABC (Automação Baseada em Comportamento) um sistema de domótica inteligente adaptativo, baseado no algoritmo de aprendizado ID3.

A maioria dos trabalhos relacionados a *middleware* com aplicação de sensibilidade a contexto para economia de energia está direcionada à otimização da energia dos dispositivos envolvidos, como baterias de dispositivos móveis ou sensores remotos. Associando o uso de um *middleware* sensível a contexto a casas inteligentes, encontramos o interessante trabalho de Markus Huebscher e Julie McCann [2004]. Segundo os autores, um dos principais acertos na concepção do *middleware* proposto, foi o bom desempenho em relação à adaptação a partir de uma mudança de contexto, característica muito importante em aplicações relacionadas à monitoração e auxílio a pessoas com problemas de saúde, por exemplo.

3. CAMPS - Context-Aware Middleware for Power Saving

O primeiro passo para o desenvolvimento do trabalho proposto foi a idealização de um sistema que viabilizaria automação de dispositivos elétricos, com sensibilidade a contexto, em um cenário onde seriam encontrados diversos ambientes distribuídos, que poderiam ser abertos ou fechados, de acordo com a demanda imediata, o horário e a agenda de reservas para os mesmos. Como não haveria uma padronização das fontes de informações (variáveis de contexto) nem dos dispositivos controlados, optamos pela concepção de um *middleware*, que além de fazer as inferências para abrir ou fechar os ambientes, garantiria a compatibilidade com a periferia de dispositivos e sensores que ainda seriam definidos. Dessa forma surgiu o **CAMPS** – *Context-Aware Middleware for Power Saving*, um *middleware* para embasar o desenvolvimento das demais aplicações para o arranjo.

3.1. Conceitos Básicos

O CAMPS é um *middleware* ciente de contexto, que através de regras de inferência consegue determinar para as aplicações cadastradas quando é momento de economizar energia em seus ambientes configurados. É baseado na especificação do *Java Message Service* (JMS). Do JMS são herdados os seus principais conceitos, como: comunicação assíncrona, modelo *publish-subscribe* e *middleware* orientado a mensagem.

Outro conceito importante utilizado no CAMPS é o de sistemas baseados em regras de produção. Nesse tipo de sistema, o conhecimento é representado como pares de condição-ação, através dos quais são gerados novos fatos a partir de fatos e regras existentes em uma base de conhecimento. A máquina de inferência utilizada no CAMPS foi o *Java Embedded Object Production System* (JEOPS) [Figueira Filho 2007], que possui um mecanismo baseado em lógica de primeira ordem.

O CAMPS ainda realiza um cálculo básico do consumo de energia em um dado ambiente, baseado nos valores de potência nominais de seus dispositivos. A multiplicação da potência individual pela quantidade de equipamentos do mesmo tipo, somada às potências dos demais tipos de equipamentos, representa a potência nominal total do ambiente. O consumo nominal de energia do ambiente é definido como a multiplicação da potência total em cada ambiente pela quantidade de horas de utilização.

Sendo CAMPS um middleware orientado a mensagem, modelo *publish-subscribe*, foi criado um tópico¹ para uso interno, denominado *JMSProvider*, e um tópico destinado a armazenar as mensagens de cada ambiente monitorado. Para o *middleware* inferir sobre a abertura ou fechamento dos ambientes é necessário que aplicações externas informem a quantidade de pessoas em cada ambiente e a agenda de reservas deles. Depois de realizada a inferência, o *middleware* é responsável por informar esse resultado a cada aplicação cadastrada, que informou no momento da subscrição no tópico qual tipo de mensagens desejaria receber.

3.2. Requisitos

Os requisitos utilizados para a implementação do middleware são os seguintes:

- a) Confiabilidade: uma camada de transporte confiável é necessária para garantir que todas as mensagens de economia de energia sejam entregues – a camada (protocolo) de transporte adotada para o CAMPS é o TCP.
- b) Heterogeneidade: o *middleware* e demais aplicações precisam ser executados em diferentes sistemas operacionais. Por isso, Java foi usado em sua implementação, oferecendo uma interface de programação comum para as aplicações.
- c) Interface de programação: para prover as funcionalidades disponíveis no *middleware*, é preciso adotar uma interface de programação. O CAMPS usa o *Topic Manager* como uma *Application Programming Interface* (API), que permite que os clientes criem e apaguem tópicos, enviem e recebam mensagens, e se cadastrem e descadastrem nos tópicos.
- d) Comunicação assíncrona: o CAMPS fornece comunicação assíncrona através do modelo *publish-subscribe*, baseado em *Java Message Service* (JMS). Esta é uma API que permite às aplicações lidar com mensagens. O JMS define um conjunto de interfaces e semânticas associadas que possibilitam que os programas em Java se comuniquem através de mensagens enviadas e recebidas de um *middleware* orientado a mensagem. Dessa forma, foi preciso adotar um serviço gerenciador de eventos para administrar e enviar mensagens trocadas entre os componentes do CAMPS e seus clientes. As mensagens suportadas pelo CAMPS são baseadas em um subconjunto do JMS.
- e) Monitoramento de energia: esse requisito é usado no CAMPS para oferecer uma ferramenta para monitorar o consumo de energia. Com esse monitor é possível visualizar a economia de energia durante um período.
- f) Serviço de nomes baseados em tópicos: no *middleware* um serviço de nomes é necessário para descobrir onde os tópicos estão fisicamente localizados.
- g) Escalabilidade: mesmo com o CAMPS em execução, um novo componente do *middleware* pode ser adicionado ou removido. Isso é realizado através do processo de subscrição (assinatura/inscrição) ou de desinscrição, e é aplicado a

¹ Em APIs do tipo *publish-subscribe*, **tópicos** são utilizados para atribuir um rótulo às mensagens. Sendo assim, cada aplicação cliente pode localizar/receber suas mensagens de interesse através de tópicos cadastrados na ocasião de sua assinatura/inscrição.

cada componente do *middleware*. Dessa forma, um novo ambiente poderá ser monitorado ou deixar de ser monitorado de acordo com as suas necessidades. Sempre que um ambiente passar a ser monitorado, um novo tópico será criado para armazenar as informações relativas a esse ambiente e, no caso de um ambiente deixar de ser monitorado, o tópico relativo ao mesmo deve ser removido. Todos os componentes do *middleware* serão informados dessas mudanças.

3.3. Arquitetura

A partir dos requisitos definidos e para melhor entendimento do processo de funcionamento do CAMPS, apresentamos sua arquitetura na Figura 1.

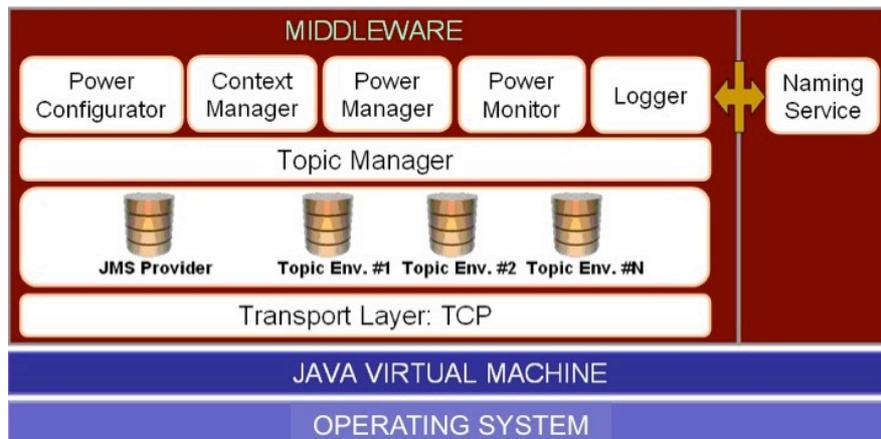


Figura 1. Arquitetura do CAMPS

Basicamente, o CAMPS funciona da seguinte maneira: quando um ambiente começa a ser monitorado, ele registra todas as informações pertinentes no *Power Configurator*. Após o registro, há a criação de um novo contexto no *Context Manager*, e a partir daí o *Power Manager* verifica se há a possibilidade de economizar energia. Caso haja, o *Power Manager* notifica todos os clientes a quem essa informação pode interessar, para que esses clientes executem as ações relacionadas à nova situação. Simultaneamente, o *Power Monitor* apresenta o consumo atual dos ambientes. Todas as mensagens trocadas são armazenadas pelo *Logger*.

O *Power Configurator* é utilizado para configurar quais os ambientes monitorados e quais os equipamentos podem ser encontrados em cada um deles. Os atributos de um ambiente são: (1) nome, (2) prioridade (alta ou baixa) para indicar se o ambiente deve estar sempre aberto e (3) o número mínimo de usuários. Quando esse número é extrapolado, deve-se avaliar a possibilidade de abertura de outro ambiente. Quando um ambiente é cadastrado, o *Topic Manager* cria um tópico para o mesmo. Esse tópico recebe as mensagens de criação, deleção e atualização dos equipamentos feitos a partir do *Power Configurator*. A Figura 2 apresenta uma tela deste componente do *middleware*, com a lista de ambientes criados (Env01 e Env02) e os equipamentos cadastrados do ambiente Env01.

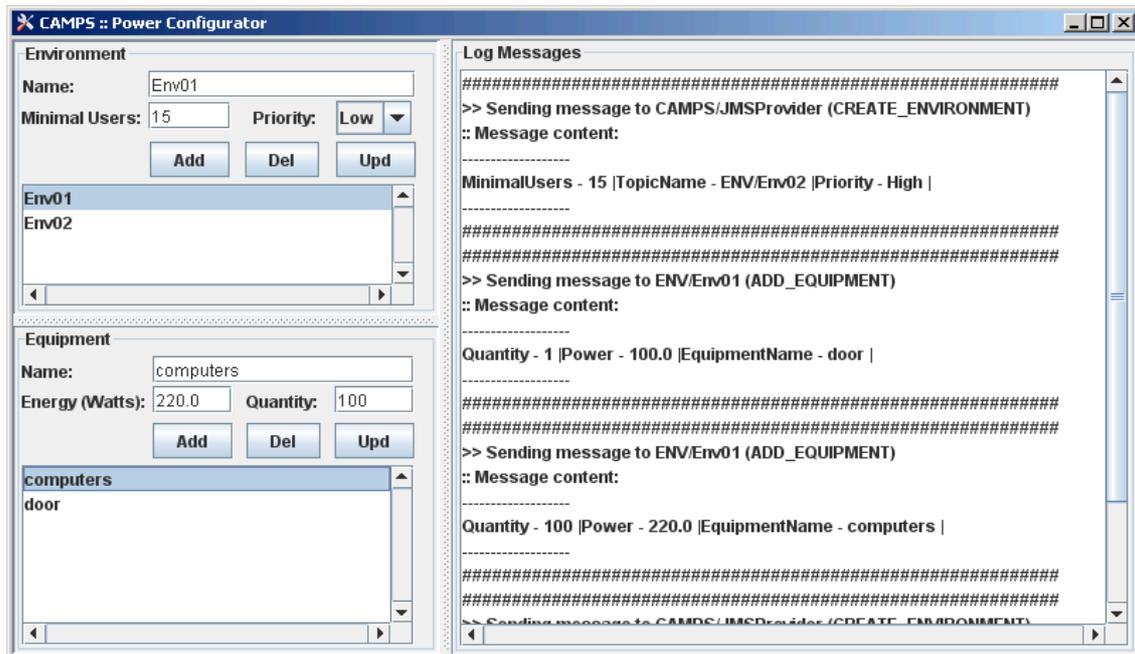


Figura 2. Power Configurator

O *Context Manager* é responsável por construir um contexto e enviá-lo para o tópico do respectivo ambiente. Um novo contexto consiste na alteração dos atributos de um ambiente, alteração da agenda de reservas do ambiente ou da atualização da quantidade de pessoas presentes em um ambiente.

O *Power Manager* interpreta o contexto do ambiente. Baseado nesse contexto e nas regras de inferência do CAMPS, decide se o ambiente pode entrar no modo de economia ou ainda se outro novo ambiente precisa ser aberto, para acomodar o número de usuários existentes ou atender a reservas feitas para este ambiente.

Como mostra a Figura 3, o *Power Monitor* apresenta o gráfico relativo ao consumo de energia para cada ambiente monitorado, considerando neste caso o mês de agosto de 2008.

O *Logger* é o componente responsável por registrar o consumo de energia acumulado para cada ambiente. Quando um equipamento é ligado, dispara um contador de tempo, e quando o equipamento é desligado, o *Logger* acumula na base de dados do CAMPS o valor de energia consumido por esse ambiente nesse tempo. O *Logger* também registra quando cada tipo de equipamento é ligado ou desligado.

O *Topic Manager* é o componente principal do CAMPS, permitindo que os outros componentes (a) subscrevam-se em um tópico para receber mensagens, (b) descadastram-se do mesmo e (c) enviem mensagens. No momento de subscrever-se, o componente precisa informar que tipo de mensagens deseja receber. O *Topic Manager* realiza abstração de gerenciamento de conexão, sessão, produtores e consumidores, conceitos existentes no JMS, diminuindo o esforço dos desenvolvedores das aplicações de controle de energia.

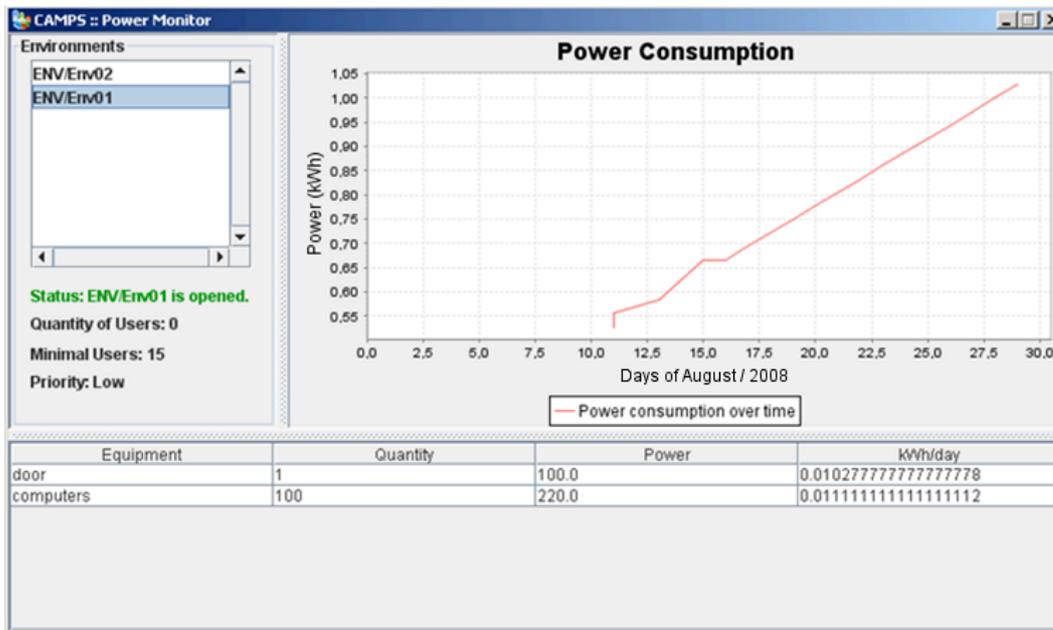


Figura 3. Power Monitor

O *JMS Provider* armazena os tópicos do CAMPS. Para cada novo ambiente, um novo tópico é criado e armazenado. O *Transport Layer TCP* é responsável por realizar a comunicação, através do protocolo TCP, entre as instâncias que utilizam o CAMPS. E, finalmente, o *Naming Service* mapeia os nomes dos tópicos em suas referências.

3.4. Regras de Contexto

O CAMPS utiliza três regras para inferir sobre o contexto. Estas regras decidem se um ambiente deve ser aberto ou fechado. Suas variáveis de contexto são: prioridade do ambiente, número de usuários em cada ambiente monitorado, dia da semana, hora, e datas das reservas feitas. Essas regras são descritas em um arquivo de regras compilado por uma máquina de inferência tipo JEOPS (*Java Embedded Object Production System*), sistema baseado em lógica de primeira ordem, que gera uma classe Java com a base de regras.

A primeira regra (1) abaixo estabelece que um ambiente de alta prioridade é sempre candidato a ser aberto. Assim sendo, caso um ambiente de alta prioridade esteja fechado, o CAMPS irá sugerir imediatamente sua abertura, apesar desta ação propriamente dita ser feita pela aplicação responsável.

```
//1-----
rule is_HighPriority_Opened {
declarations
Environment environment;

conditions
//A high priority environment.
environment.getPriority().equals(Environment.HIGH_PRIORITY);

actions
System.out.println("RULE: is_HighPriority_Opened");
environment.setClosed(false);
System.out.println(environment.getName() + " is opened.");
}
```

A segunda regra (2) estabelece que um ambiente de baixa prioridade precisa ser aberto quando os demais ambientes atingirem o número mínimo de usuários programado ou quando houver reservas feitas para esse ambiente – nesse caso o ambiente abre no horário definido.

```
//2-----
rule is_LowPriority_Opened {
  declarations
  Environment environment;

  conditions
  //A low priority environment.
  environment.getPriority().equals(Environment.LOW_PRIORITY);
  //All environments have reached their limits of users to open another env
  (
  MonitoredEnvironments.allMonitoredEnvironmentsHaveReachedMinimalUsers
  (PowerManagerListenerOfEnvironments.kb.objects("camps.powerManager.reasoner.Environment"), environment)
  )
  ||
  //There is an event in some minutes.
  ( environment.getMinutesToNextReservation() < MonitoredEnvironments.MINUTES_TO_EVENT
  &&
  environment.getMinutesToNextReservation() != -1 )
  ||
  (PowerManagerListenerOfEnvironments.kb.objects("camps.powerManager.reasoner.Environment").size() == 1);

  actions
  System.out.println("RULE: is_LowPriority_Opened");
  environment.setClosed(false);
  System.out.println(environment.getName() + " is opened ");
}
```

A última regra (3) estabelece que um ambiente de baixa prioridade pode ser fechado quando há espaço suficiente para acomodar os seus usuários em outros ambientes que estejam abertos e que não foram reservados.

```
//3-----
rule is_LowPriority_Closed {
  declarations
  Environment environment;

  conditions
  //A low priority environment.
  environment.getPriority().equals(Environment.LOW_PRIORITY);
  //There is space in another open environment that is not reserved.
  MonitoredEnvironments.thereIsSpaceInOtherOpenedEnvironmentNotReserved
  (PowerManagerListenerOfEnvironments.kb.objects("camps.powerManager.reasoner.Environment"), environment);
  //There is not an event in some minutes.
  !(
  environment.getMinutesToNextReservation() < MonitoredEnvironments.MINUTES_TO_EVENT
  &&
  environment.getMinutesToNextReservation() != -1
  );

  actions
  System.out.println("RULE: is_LowPriority_Closed");
  environment.setClosed(true);
  System.out.println(environment.getName() + " is closed.");
}
```

Nessa seção, descrevemos a proposta de um *middleware* sensível a contexto que, através de regras de inferência, determina para as aplicações cadastradas quando é momento de economizar energia em seus ambientes configurados.

4. Estudo de Caso

Como o CAMPS, durante a fase de experimento, funcionou nos períodos entre 22:00hs e 6:00hs em dias úteis (de 2ª feira a 6ª feira) e durante todo o dia nos finais de semana, a observação do comportamento do consumo de energia foi feita apenas nesses horários. A implementação física contou com os seguintes equipamentos:

- Para o acionamento físico dos dispositivos elétricos como portas (fechaduras), condicionadores de ar, estabilizadores e luzes, foi montado um controlador denominado de *CAMPS controller*. O controlador foi montado a partir de um kit de desenvolvimento fabricado pela Olimex, modelo LPC-E2124, baseado no microcontrolador Philips LPC2124.
- Para a obtenção de dados precisos relativos ao consumo, a medição da energia foi feita através de um medidor digital com memória de massa, marca CCK Automação, modelo CCK7550E, instalado na entrada da subestação do Centro de Informática da UFPE. O medidor faz a captura dos valores das grandezas elétricas a cada 15 minutos.

A diferença de consumo de energia entre as duas situações, antes e depois da ativação do CAMPS, foi obtida através da união dos dados do *Logger*, observando-se o horário de amostragem como “sincronizador” das informações. O resultado da diferença entre a situação normal e a situação com o CAMPS ativo para dias úteis está representada no gráfico da Figura 4 (Fonte: Gerência de Infra-estrutura CIn).

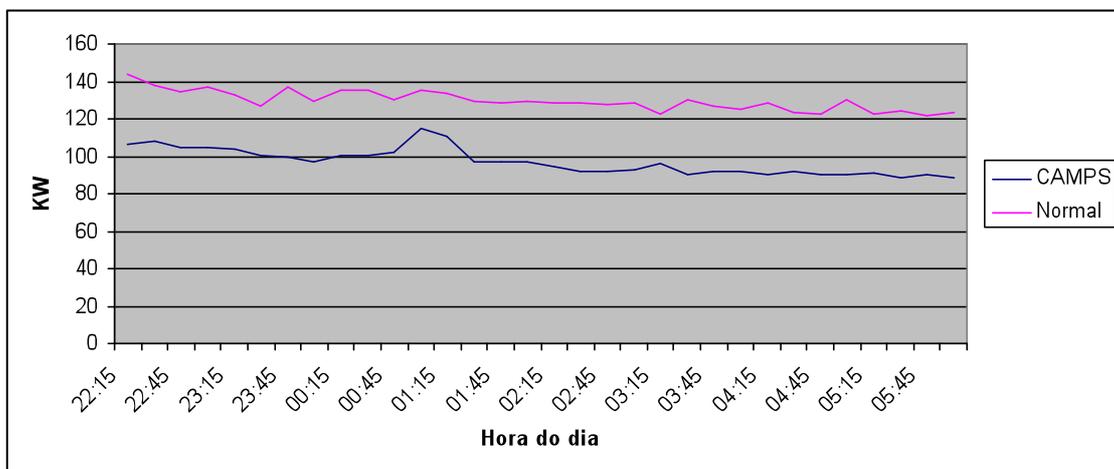


Figura 4. Diferença de consumo de energia - com e sem CAMPS (dias úteis)

A economia média pode ser calculada com a obtenção do valor médio da diferença entre a curva ‘anterior ao CAMPS’ para a curva ‘depois do CAMPS’.

$$Economia.média = \frac{\sum (Pot.antes - Pot.camps)}{Qtd.amostras}$$

Aplicando a fórmula às planilhas obtivemos os seguintes valores (Tabela 1).

Tabela 1. Economias médias

Período	Economia média (KW)
Dia da semana	32,716
Final de semana	31,233

Uma maneira conservadora de aferir o ganho de energia obtido com a ativação do CAMPS é compará-lo com a potência nominal dos equipamentos instalados nos laboratórios, obtida na Tabela 2.

Tabela 2. Equipamentos elétricos nos laboratórios de graduação CIn UFPE

Local	Dispositivo	Quant.	Potência individual (W)	Total (W)	Potência geral (W)
G1	Computadores	40	168,3	6732	15288
	Lâmpadas 32w	24	32	768	
	Split 1	1	7788	7788	
G2	Computadores	40	158,4	6336	14958
	Lâmpadas 32w	24	32	768	
	Split 1	1	7854	7854	
G3	Computadores	48	149,6	7180,8	20521,8
	Lâmpadas 32w	24	32	768	
	Split 1	1	7854	7854	
	Split 2	1	4719	4719	
G4	Computadores	50	137,5	6875	20159
	Lâmpadas 32w	24	32	768	
	Split 1	1	8316	8316	
	Split 2	1	4200	4200	
G5	Computadores	32	143	4576	13198
	Lâmpadas 32w	24	32	768	
	Split 1	1	7854	7854	
				Total (W)	84124,8

Fonte: Gerência de infra-estrutura CIn.

Esse é o pior caso para comparação, uma vez que a medida nominal considera que todos os equipamentos dos ambientes estão ligados e em pleno funcionamento durante todo o tempo. O valor nominal obtido foi, conforme a tabela 2, 84,1248 KW. Podemos calcular a economia percentual para o cenário com a ativação do CAMPS, tomando valores absolutos de ocorrência em uma semana, como na Tabela 3.

Tabela 3. Economia em relação à carga nominal

Potências	KW	Horas de ocorrência (em uma semana)	KWh	Total KWh
Carga nominal total instalada	84,125	168	14.133,0	14.133,0
Economia média dias semana	32,716	40	1.308,6	2.807,8
Economia média finais de semana	31,233	48	1.499,2	
			Economia percentual	19,87 %

Na prática, esse percentual pode ser maior, pois 14.133 KWh seria o consumo máximo dos ambientes em observação durante uma semana. Pode-se afirmar isso por, pelo menos, dois motivos: (a) nem sempre todos os computadores estão em operação todo o tempo, e uma vez desligados à noite, podem só ser reativados quando efetivamente alguém for utilizá-lo; (b) os compressores dos *splits*, maior carga individual do sistema (Tabela 2), têm períodos de desligamento quando os ambientes atingem as temperaturas de conforto programadas. Por exemplo, se no período o consumo real tivesse sido de 10.000 KWh, a economia percentual seria de 28%.

5. Conclusões

A utilização de sensibilidade a contexto dá uma nova funcionalidade à automação de sistemas elétricos. Não se trata apenas de desligar equipamentos em horários e situações programadas. Temos a disponibilidade garantida por um sistema sensível ao contexto que, diferentemente da automação convencional, responde às necessidades ocasionais de demandas inesperadas, e ainda alcança economia de energia. Está aí seu grande diferencial.

A adoção de um middleware como camada intermediária dá ao sistema uma flexibilidade importante em relação a pelo menos dois aspectos importantes:

- a) Torna o sistema funcional para uma vasta gama de aplicações; essa abrangência confere uma escala de produção que tende a baratear tanto o custo de desenvolvimento do *core* do middleware, quanto as aplicações que interagem com o mesmo.
- b) A possibilidade de utilização de qualquer dispositivo físico, com respectivo aplicativo aderente ao middleware, garante a viabilidade financeira dos projetos, uma vez que a adoção do hardware necessário ao sensoriamento (variáveis de contexto) e ao acionamento pode ser feita sem “amarração” a padrões ou fabricantes; o custo é ditado pela criatividade do projetista, e pela disponibilidade financeira do solicitante.

Como o comportamento dos usuários em relação ao uso dos laboratórios é sazonal, uma aferição do ganho real no período de um ano, só poderá ser feita com a observação dos demais períodos do ano letivo. Em momentos de alta demanda como a época da entrega dos trabalhos das disciplinas semestrais, por exemplo, a economia líquida de energia

certamente será menor, mas teremos um significativo aumento de atuação do sistema na geração e avaliação dos contextos e na abertura e fechamento dos ambientes, ratificando a garantia da disponibilidade, fundamentada nas especificações de requisitos do sistema. Os sistemas continuarão armazenando as informações de quantidade de usuários, consumo de energia e ações do CAMPS. Essas informações, ao longo do tempo, em um período maior de amostragem, serão uma ferramenta interessante para a continuidade no desenvolvimento do arranjo, possibilitando em trabalhos futuros o aumento da eficácia e flexibilidade do sistema.

Referências

- ANEEL (2008) Informações do Setor Elétrico. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=39> >. Out. 2008
- DEY, A., et al (2001) A conceptual framework and a toolkit for supporting the rapid prototyping of context-aware applications, *HCI Journal*, 16 (2-4), 2001, p. 97-166.
- EPE (2009) Resenha mensal do mercado de energia elétrica, disponível em http://www.epe.gov.br/ResenhaMensal/20090123_1.pdf. Abril de 2009
- EPE (2008) Resenha mensal do mercado de energia elétrica. Ano I No 12 09/2008 disponível em http://www.epe.gov.br/ResenhaMensal/20080929_1.pdf. Out. 2008
- EPE/COPAM (2008) Projeções da demanda de energia elétrica 2008-2017. Disponível em http://epe.gov.br/PDEE/20080416_2.pdf. Out. 2008
- FIGUEIRA Filho, C. (2007) JEOPS - The Java Embedded Object Production System. Version: 2.1.2 - April, 2007. <http://www.cin.ufpe.br/~jeops/>
- FLORES, A. (2007) A criação de valor no binómio: “casa inteligente” / consumidor, <http://www.aedie.org/9CHLIE-paper-send/394-FLORES.pdf>
- REMAGNINO, P. and Foresti, G.L. (2005) Ambient intelligence: a new multidisciplinary paradigm. In *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A*, 35(1), pp. 1-6.
- GARATE, A. Lucas, I. Herrasti, N. Lopez, A. (2005) Ambient intelligence as paradigm of a full automation process at home in a real application. In *IEEE CIRA 2005*. pp. 475-479.
- HARPER, R. (2009) Inside the smart home. <http://books.google.com/books?id=SvcHvHuv86gC&printsec=frontcover&hl=pt-BR>, abril de 2009
- HUEBSCHER, M. C. e McCann, J. (2004) Adaptive middleware for context-aware applications in smart-homes. In 2nd workshop on Middleware for pervasive and ad-hoc computing. Toronto, Ontario, Canada, 2004.
- LINDWER, M., Marculescu, D., Basten, T., Zimmermann, R., Marculescu, R., Jung, S. e Cantatore, E. (2003) "Ambient Intelligence Visions and Achievements: Linking Abstract Ideas to Real-World Concepts". In *Proc. DATE*, March, 2003.
- Mariotoni, C. A. e Andrade, E. P. (2002). "Descrição de Sistemas de Automação Predial Baseados em Protocolos PLC Utilizados em Edifícios de Pequeno Porte e Residências". *CTAI - Revista de Automação e Tecnologia da Informação*. Vol. 01, nº 1.
- NOGUEIRA, L. (2007) Uso racional: a fonte energética oculta. *Estud. av.*, São Paulo, v. 21, n. 59, 2007.
- TAKIUCHI, M., Melo, E. e Tonidandel, F. (2004) “Domótica Inteligente: Automação Baseada Em Comportamento”. In *CBA 2004 - XV CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA*, Gramado - RS.
- TERRA (2008) Dados de desperdício energético são conservadores. Disponível em <http://terramagazine.terra.com.br/interna/0,,OI2943861-EI6780,00-Dados+de+desperdicio+energetico+sao+conservadores.html> Acesso em: 24 out. 2008.