

GERENCIAMENTO DE CONSUMO BASEADO EM MEDIDORES COGNITIVOS DE ENERGIA ELÉTRICA

WESLEY ANGELINO DE SOUZA*, FERNANDO PINHABEL MARAFÃO†, FERNANDO DELUNO GARCIA†,
FELIPE LEITE PAES†

**Departamento de Sistemas e Energia - FEEC - UNICAMP*
Av. Albert Einstein, 400, Barão Geraldo, Campinas, SP, Brasil

†*GASI - ICTS - UNESP*
Av Três de Março 511, Aparecidinha, 18087-180
Sorocaba, São Paulo, Brasil

Emails: wesley@dsee.fee.unicamp.br, fmarafao@sorocaba.unesp.br,
fernando.delunogarcia@gmail.com, paes.felipe@hotmail.com

Abstract— The cognitive power meter indicates a new generation of electronic meters with high processing, storage, and data communication, which make use of advanced techniques concerning data mining and data processing, leading with other things, the disaggregation of the power consumption to provide consumers and utilities with more detailed information. In this context, this paper reviews the main subsystems involved in this technology and describes the proposal of an energy consumption management system based on cognitive energy meters.

Keywords— Cognitive meter, Electric load disaggregation, Energy management, Power consumption management, Smart meter.

Resumo— Medidores cognitivos de energia elétrica indicam para uma nova geração de medidores eletrônicos, com elevada capacidade de processamento, armazenamento e comunicação de dados, os quais fazem uso de técnicas avançadas de mineração, tratamento e processamento de dados, visando dentre outras coisas, a desagregação do consumo de energia para prover consumidores e fornecedores de energia de informações mais detalhadas que possam ser utilizadas no gerenciamento energético das instalações e redes. Neste contexto, este trabalho faz uma revisão dos principais subsistemas envolvidos e, descreve a proposta de um sistema de gerenciamento de consumo de energia, baseado em medidores cognitivos de energia.

Palavras-chave— Desagregação de cargas elétricas, Medidor cognitivo de energia, Medidor inteligente de energia, Gerenciamento energético, Gerenciamento do consumo de energia.

1 Introdução

Os conceitos de Redes Inteligentes de Energia e da Infraestrutura de Medição Inteligente (Barai et al., 2015) vêm se consolidando no sentido de atender as necessidades atuais de melhoria na gestão e no uso eficiente da energia elétrica. Nesse contexto, há um grande interesse em desenvolver tecnologias que possibilitem aos consumidores residenciais a se conscientizarem em relação aos seus hábitos de consumo e ao uso racional desse recurso (Weranga et al., 2012). Diante disso, novos medidores de energia elétrica vêm sendo desenvolvidos para prover informações detalhadas sobre o consumo de energia elétrica em comparação aos medidores tradicionais. Tais dispositivos são conhecidos como medidores inteligentes de energia (do inglês, *smart meters*) e possibilitam maior exatidão de medição, capacidade de armazenamento, envio automático de informações de consumo e integração com sistemas de gerenciamento de energia (Barai et al., 2015) (Opris and Caracasian, 2013a) (Zheng et al., 2013). Dos medidores inteligentes, destacam-se as seguintes características:

- Qualidade e clareza das informações coletadas;
- Disponibilização de informações que impactem diretamente sob o comportamento do consumidor;
- Possibilidade de consulta dos consumos anteriores, ou ainda das médias de consumo;
- Previsões baseadas no histórico comportamental da residência e também da região onde está localizado;
- Controle dos gastos.

Atualmente, um dos principais temas destacados na literatura é a utilização dos medidores inteligentes de energia para realizar a desagregação do consumo por cargas (Xu and Milano-*vić*, 2015). Tal função também é destacada como um aprimoramento dos medidores inteligentes, denominado medidor cognitivo de energia (Makonin et al., 2013) (Garcia et al., 2017).

Entre as principais aplicações dos medidores cognitivos destacam-se: o monitoramento do consumo de energia no ambiente residencial e a criação de mecanismos que possibilitem os consumidores entenderem seus hábitos de consumo e reduzirem gastos com energia elétrica (Ehrhardt-Martinez et al., 2010) (Weranga et al., 2012). Para tal, é fundamental a criação de uma ferramenta que indique ao usuário estratégias e sobretudo para fornecer a consciência do consumo de energia elétrica (de Souza, 2010).

Com esta demanda, esse trabalho apresenta o conceito de um sistema para o medidor cognitivo de energia elétrica no contexto residencial. Portanto, será apresentada a integração entre algoritmos de inteligência artificial com um sistema intuitivo, que permite ao consumidor ter a íntegra consciência do consumo de energia elétrica. Para tal, há a integração de algoritmos de desagregação de cargas, indicadores da Qualidade da Energia Elétrica, cálculos de eficiência energética, sugestões de economia e previsão de consumo. As seções 2 e 3 apresentam os conceitos de medidores inteligentes e cognitivos, destacando as evoluções e diferenças. A seção 4 apresenta o conceito do sistema para a consciência do consumo com alguns resultados e a seção 5 apresenta as conclusões.

2 Estrutura e operação dos atuais medidores inteligentes

Um medidor inteligente é composto por um conjunto de hardware, software e sistemas de medição. O medidor inteligente tipicamente inclui os seguintes elementos (Barai et al., 2015) (Durling et al., 2009) (Weranga et al., 2012) (Devices, 2011):

- Sensores de corrente e tensão;
- Circuitos analógicos de condicionamento e pré-processamento de sinais;
- Circuito de alimentação;
- Unidade de processamento e aquisição de dados;
- Módulo de comunicação;
- Relógio de tempo real.

O diagrama simplificado de um medidor inteligente pode ser visto na Figura 1.

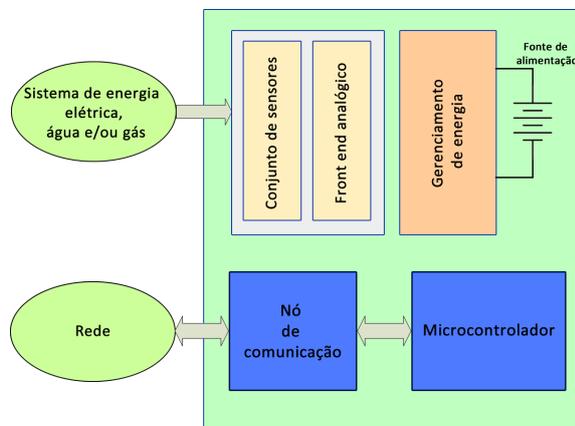


Figura 1: Diagrama de módulos de um medidor inteligente. (Fonte: Analog, 2011).

Especificamente, as unidades de sensoramento e condicionamento dos sinais são utilizadas para adequar as grandezas medidas aos circuitos de conversão de sinais analógico-digital (AD) e posteriormente fornecer os valores convertidos de corrente e tensão para unidade de processamento. Além das grandezas, o relógio de tempo real (RTC) é utilizado para fornecer a data e horário das medições.

A unidade de processamento é o principal módulo do medidor inteligente, sendo utilizada para aquisição e processamento de dados de tensão e corrente, e armazenamento e transmissão de informações de consumo. Tal módulo pode ser composto por dispositivos como: microcontrolador, processador digital de sinal (DSP) ou *System-On-Chip* (SOC).

Dentre as tecnologias de comunicação, os dois meios de transmissão mais promissores são (Harney, 2009) (Devices, 2011) (Gungor et al., 2011): sem fio para curtas distâncias ou pela própria linha elétrica (PLC - *Power Line Communication*). Quando comparados, esses métodos apresentam algumas vantagens e desvantagens, por exemplo, a infraestrutura da comunicação sem fio tem custo menor e pode ser utilizada em áreas de difícil acesso. Por outro lado, são dependentes de energia e podem sofrer interferências do meio de propagação do sinal (Gungor et al., 2011). Já o método PLC, pode ser utilizado para alcançar áreas remotas, contudo apresentam alto custo de

implantação e não oferecem altas taxas de transmissão (Barai et al., 2015).

3 Medidores Cognitivos de Energia Elétrica

A tecnologia SMS (*Smart Metering System*) — dos atuais medidores inteligentes — trouxe diversas evoluções aos sistemas de medição de energia elétrica, porém, o termo “inteligente” ainda requer consolidação para que identifique, de fato, à classe de medidores necessária ao desenvolvimento do sistema elétrico do futuro. A capacidade de leitura de energia em quatro quadrantes, de forma remota ou local, não é suficiente para que os medidores recebam tal denominação.

Neste contexto, diversas formas de agregar maior inteligência aos medidores têm sido apresentadas na literatura, destacando-se as técnicas de desagregação do consumo de energia elétrica por equipamentos como um dos cerne desta evolução. Tal funcionalidade pode ser obtida a partir do método chamado monitoramento de carga não intrusivo (NILM — *Non-Intrusive Load Monitoring*) ou monitoramento concentrado. Proposto inicialmente por Hart (Hart, 1992), o método NILM faz o uso dos padrões de assinaturas de potência dos eletrodomésticos (Dong et al., 2012) (Souza, 2016), utilizando-se de um único ponto de medição. Outro método de monitoramento é denominado intrusivo (ILM — *Intrusive Load Monitoring*) ou monitoramento distribuído, sendo caracterizado pela distribuição de sensores em pontos de medição por tomada ou equipamentos. Esse método é dito intrusivo devido à necessidade de se utilizar dispositivos de medição em cada carga que se deseja analisar (Naghbi and Deilam, 2014).

Dos dois métodos de monitoramento, o NILM tem despertado mais interesse por ser mais prático para aplicações residenciais, principalmente pela vantagem de se utilizar somente um dispositivo de medição (Naghbi and Deilam, 2014).

Para desenvolvimento do NILM, as técnicas mais simples como (Hart, 1992), envolvem a identificação da alteração de estado nas cargas, isto é, quando são ligadas ou desligadas. Esses métodos possuem diversas vantagens, pois possibilitam criar modelos representativos de uma residência na forma de uma máquina de estados. Tais modelos podem ser utilizados para análise de dados por meio de diversas técnicas (Dong et al., 2012) (Hart, 1992) (Barker et al., 2014). Embora simples, não apresentam boa exatidão em relação ao consumo individual para cargas que apresentam um padrão de consumo complexo, por exemplo, uma televisão LCD. Nesse sentido, modelos de máquina de estados descartam informações importantes que podem ser utilizadas para análise (Dong et al., 2012) (Barker et al., 2014) (Souza, 2016). Para o monitoramento exato é necessário considerar as cargas que apresentam variações ao longo do tempo ou vários estados (Dong et al., 2012) (Souza, 2016) (Hart, 1992).

A técnica NILM analisa a rede de forma contínua com o objetivo de detectar os eventos que caracterizam a assinatura de potência das cargas. Tal procedimento pode ser exemplificado por 6 estágios de execução. No primeiro estágio, tensão e corrente são amostrados. Em seguida, as amostras são processadas e preparadas para análise que envolve a detecção de eventos na assinatura de potência. Sempre que um evento é detectado um al-

goritmo é executado para extrair informações que permitem identificar a carga. Por fim, ocorre a estimação do consumo individual considerando os eventos monitorados.

Diante disso, a técnica NILM pode ser considerada como uma ferramenta efetiva para coletar informações de cargas e pode ainda potencializar outras aplicações (Dong et al., 2012). Assim sendo, o conceito de medidor inteligente pode ser redefinido, sendo chamado de medidor cognitivo. A partir dos medidores cognitivos é possível extrair informações relevantes sobre o consumo de energia elétrica de cada tipo de carga (Makonin et al., 2013).

Deve-se destacar que essas informações são extremamente importantes para que os consumidores conheçam seus hábitos e tomem decisões eficientes em relação ao consumo de energia elétrica. Portanto, o próprio medidor pode ser utilizado para fornecer sugestões de consumo, com base em dados estatísticos e do conhecimento dos hábitos dos consumidores (Opris and Caracasian, 2013b).

Para interação com os consumidores, pode-se utilizar interfaces IHD (*In-Home Display*) (Makonin et al., 2013) (Alahakoon and Yu, 2015), como ilustrado na Figura 2. É importante que as interfaces sejam intuitivas, facilitando o entendimento das informações pelos consumidores (Opris and Caracasian, 2013b) (Zhou et al., 2010). Além disso, a conectividade e a acessibilidade serão essenciais para potencializar a experiência dos usuários. Tais requisitos são favorecidos pelo avanço das tecnologias de comunicação, principalmente, a tecnologia wireless. Nesse sentido, a interface com o usuário também pode ser realizada por meio de sistemas WEB ou aplicativos de celulares (Isa et al., 2015) (Landi et al., 2011).



Figura 2: Sistema de Gerenciamento - IHD (GreenAnt).

As interfaces têm como objetivo aumentar a interação entre o consumidor, o dispositivo e a companhia de energia elétrica. Assim, essas informações de consumo podem ser exibidas com base em comparações à períodos anteriores, isto é, os consumidores não devem se preocupar em saber o que é kWh (Makonin et al., 2013). Portanto, é possível personalizar o sistema para fornecer recomendações ao usuário (Kádár, 2011) (Souza, 2016), por exemplo:

- Esse final de semana o seu consumo foi superior ao da semana passada. Você estava em casa?
- O seu consumo semanal está 30% superior que o padrão.
- Amanhã a temperatura máxima será de 39°C. Evite aberturas desnecessárias de janelas e portas.

- O seu consumo nesta madrugada foi baixo, porém foi duas vezes maior que o dia anterior. Você apagou todas as luzes?

Essa interação e capacidade de gerenciamento de cargas permite aos consumidores regularem seu próprio consumo, de acordo com o grau de conforto desejado (Basu et al., 2015). Além disso, o conhecimento do consumo individual de cada carga é pré-requisito para o desenvolvimento de técnicas sofisticadas de controle que podem aumentar a eficiência energética (Hart, 1992) (Barker et al., 2014).

Do ponto de vista da concessionária, a modelagem e previsão de cargas podem auxiliar no planejamento, operação e aumento da eficiência da rede elétrica. Dessa forma, a estratégia de desagregação de carga traz muitos benefícios e pode se tornar uma interessante tendência para uma futura geração de medidores inteligentes.

Portanto, um medidor de energia elétrica pode se tornar uma ferramenta que vai além daquele que é instalado no Ponto de Acoplamento Comum (PAC) em uma residência. Além disso, a existência de um sistema que auxilie o consumidor a entender o consumo é uma tendência. Considerando isso, e a seção a seguir apresenta uma proposta de um sistema para a próxima geração de medidores, denominados medidores cognitivos.

4 Aspectos Relevantes e Benefícios que justificam a evolução para os medidores cognitivos

Os benefícios da medição inteligente de energia elétrica são inúmeros para todos os integrantes do sistema, que podem de maneira simples, ser divididos em três categorias (Alahakoon and Yu, 2015): Consumidores, Companhias de Energia Elétrica (setores de geração, transmissão e distribuição), meio ambiente e sociedade. No entanto, o projeto, o desenvolvimento e a manutenção de um sistema de medição inteligente envolvem muitos problemas e desafios. A aceitação pode ser demorada e delicada, pois as pessoas e empresas precisarão antes conhecer os novos dispositivos, compreender os motivos da substituição e as mudanças que ocorrerão para depois aceitá-los e, finalmente, utilizá-los (Barai et al., 2015) (Opris and Caracasian, 2013b) (Depuru et al., 2011). Alguns desafios e inseguranças são listados a seguir:

- Justificar os investimentos;
- Impactos causados na transição das tecnologias;
- Medo de perder a privacidade e com os riscos que isso pode gerar;
- Insegurança em relação ao preço da energia;
- Redução de empregos;
- Segurança das informações.

Diante disso, cabe ainda ressaltar que os valores que podem ser gerados com a adoção da medição inteligente são proporcionais às suas funcionalidades e ao seu uso correto (Opris and Caracasian, 2013b). Neste sentido, um dos principais fatores que irão determinar o sucesso da aplicação dos medidores inteligentes é a análise de dados, que consiste na aquisição de dados, transmissão, processamento e interpretação (Mohassel et al., 2014) (Alahakoon and Yu, 2015).

4.1 Consumidores

Os consumidores podem se beneficiar, pois estarão aptos a estimar suas contas de energia, gerenciar o consumo de energia e receber informações que levam ao conhecimento dos hábitos de consumo (Zheng et al., 2013) (Opris and Caracasian, 2013a).

Entre as novas funcionalidades, a capacidade de receber informações favorece os programas de *feedback*. Tais programas apresentam potencial para reduzir o consumo de energia a partir da interação que pode ser criada com o consumidor (Makonin et al., 2013) (Zhou et al., 2010).

Medidores inteligentes convencionais enviam somente dados de medição de potência e de consumo da energia elétrica em intervalos que podem ser de 15 minutos, a cada hora, por dia, por mês, entre outros. Tal abordagem é uma evolução ao ser comparada com o método de coleta manual, no qual o operador vai ao ponto de medição mensalmente para obter o consumo de energia elétrica.

Como apresentado na seção anterior, o medidor cognitivo é capaz de realizar o monitoramento e desagregação do consumo de cargas residenciais. Tais características podem ser exploradas a partir de uma combinação entre tecnologia e serviços de modo que o consumidor seja motivado, informado e engajado a atuar no próprio controle do consumo de energia (Ehrhardt-Martinez et al., 2010).

Diante disso, é necessário que os usuários conheçam bem os dispositivos usados. De modo geral, os consumidores podem ser influenciados a partir de informações disponibilizadas antecipadamente ou por consequência de alguma ação. No primeiro caso, qualquer meio de comunicação que apresente informação sobre modos de reduzir o consumo de energia pode afetar o comportamento do consumidor. Já o segundo está relacionado diretamente com o comportamento do consumidor, principalmente com informações que possibilitem sua conscientização em relação aos seus hábitos de consumo (Wood and Newborough, 2002).

Nesse contexto, as iniciativas voltadas à criação de programas de sugestões e recomendações tem se mostrado importantes (Ehrhardt-Martinez et al., 2010). Informações coletadas em 36 estudos indicam que essas ações já obtiveram resultado positivo, apresentando potencial de redução de consumo entre 4% a 12% (Figura 3).



Figura 3: Avaliação dos métodos de sugestões e recomendações. (Fonte: Ehrhardt-Martinez, Donnelly and Laitne, 2010).

No contexto residencial, esses programas representam um passo fundamental em direção à criação de produtos e serviços que aumentem a conscientização dos consumidores em relação aos seus hábitos de consumo (Ehrhardt-Martinez et al., 2010). Essas técnicas podem ser categorizadas como diretas ou indiretas. No método indireto, as informações sobre consumo são fornecidas de forma periódica e após o consumo ter ocorrido. No método direto, as notificações são

geradas em tempo real e apresentam maior potencial de redução de consumo do que o método indireto. A seguir estão indicadas algumas das principais características destes dois métodos, segundo (Ehrhardt-Martinez et al., 2010).

• Métodos Indiretos:

- **Contas de energia detalhadas:** Notificação de informações detalhadas e sugestões para reduzir o consumo têm potencial de redução do consumo médio em até 3,8%. De modo geral, esse tipo de abordagem apresenta comparações que podem ser realizadas com base no próprio histórico de consumo ou em relação a outros consumidores.
- **Estimativas de consumo:** Uso de técnicas para extrair a informação de consumo, de acordo com a categoria do consumidor, dos eletrodomésticos utilizados e do histórico de consumo. Tal método tem potencial de redução do consumo em 6,8% e é recomendado o uso de uma interface que contabilize o consumo individual de cada equipamento;
- **Relatório de consumo diário/semanal:** A notificação detalhada do consumo diário e/ou semanal, segundo o estudo, possibilita a redução do consumo em cerca de 8,4%. Diante disso, o consumidor pode adquirir novos hábitos e gerenciar melhor o consumo de energia.

• Métodos Diretos:

- **Informações em tempo real:** Esse método apresentou redução de 9,2%. De modo geral, o consumidor é notificado periodicamente sobre o consumo total. Isso é feito utilizando uma interface, por exemplo, in-home display;
- **Informações detalhadas em tempo real:** Em comparação com o método anterior, esse apresenta estimação de consumo a nível de eletrodomésticos. Esse método apresentou, no estudo, o maior potencial de redução de consumo em cerca de 12%.

Isso mostra que a apresentação de informações detalhadas em relação aos elementos que estão consumindo energia propicia a redução de consumo, pois possibilita criar recomendações e informações personalizadas (CarrieArmel et al., 2013).

Uma plataforma que fornece poucas sugestões e recomendações para o consumidor não tem muito potencial para reduzir os gastos de consumo, pois com a baixa frequência dessa interação é difícil estabelecer ou observar a relação entre o comportamento do consumidor e seus impactos no consumo de energia. Diante disso, a frequência e a granularidade dessas informações determinam o potencial da plataforma em fornecer sugestões e recomendações que realmente impactem no comportamento do consumidor. Isto é, definem a fronteira entre informação útil e a informação vaga de valores sobre consumo de energia elétrica (ACEEE, 2017).

De modo geral, os métodos de sugestões e recomendações que são capazes de gerar mais economia estão associados com a utilização de ferramentas como medidores e telas informativas. No entanto, a redução de consumo pode ser potencializada ainda mais se forem criados mecanismos que utilizem de técnicas motivacionais e comportamentais como definição de metas, compara-

ções sociais, mensagens normativas, entre outros (Ehrhardt-Martinez et al., 2010). Nesse sentido, procedimentos de diagnósticos podem ser criados tendo como objetivo o aumento da eficiência energética. Pois, com acesso às informações de consumo, os eletrodomésticos podem ser avaliados se estão consumindo mais energia do que deveriam.

Além disso, notificações podem ser enviadas ao consumidor para informar se determinado equipamento pode ser trocado por outro mais eficiente. Para isso, tais recomendações podem levar em consideração o custo com a redução de consumo, estimativa sobre potencial de redução em um determinado período, entre outros (CarrieArmel et al., 2013).

4.2 Companhias de Energia Elétrica

Para as companhias de energia, as informações das unidades consumidoras poderão ser coletadas de modo remoto e em tempo real. Isso possibilitará a criação de novos programas de tarifação e também a redução dos custos operacionais (Barai et al., 2015) (Zheng et al., 2013) (Weranga et al., 2012).

Os dados de consumo poderão ser utilizados para prover informações que encorajará os consumidores a utilizar a energia de modo racional, deste modo, reduzindo no curto prazo a necessidade de expansão da oferta e da infraestrutura das redes. Outra função é a de monitoramento da unidade consumidora, isto é, a capacidade de conectar/desconectar a unidade consumidora da rede elétrica, ou até mesmo controlar cargas individuais ou conjunto destas (Depuru et al., 2011).

Além disso, os picos de consumo poderão ser acompanhados e gerenciados de modo efetivo (Zheng et al., 2013) (Weranga et al., 2012). Essa técnica é chamada de resposta em demanda e é vista como parte da solução para reduzir a demanda de energia elétrica, assegurando o melhor uso dos recursos existentes, aumentando a eficiência energética e possibilitando a redução dos custos da energia elétrica (Barai et al., 2015) (Weranga et al., 2012) (Kempener et al., 2013).

As companhias distribuidoras poderão se beneficiar ainda das informações, sofisticando e melhorando seus modelos de compra de energia, em função do mapeamento mais detalhado do consumo.

Para o mercado de eletricidade, novos programas de tarifação podem ser criados, como, por exemplo, a tarifação dinâmica CPP (do inglês, Critical Peak Pricing) no qual as concessionárias notificam seus clientes quando a demanda de energia está próxima de valores pré-estabelecidos e, nesse caso, os consumidores que reduzirem seu consumo são compensados (Kempener et al., 2013) (Deconinck and Decroix, 2009). Outra proposta é a tarifação por tempo de uso ToU (do inglês, Time-of-Use) em que o preço da energia é estabelecido com relação ao período do dia. Ou ainda, a tarifação em tempo real RTP (do inglês, Real Time Pricing) em que o preço da energia é regularmente ajustado durante o dia (Deconinck and Decroix, 2009).

Assim, os principais benefícios do medidor inteligente, do ponto de vista da concessionária, são destacados a seguir:

- Facilita a detecção de falta de energia e a restauração pode ser realizada rapidamente;
- Facilita a localização e identificação de falhas;

- Mantém os consumidores informados sobre o estado de operação da rede elétrica, por exemplo, causa da queda de energia e tempo para restauração do serviço;
- Melhora no planejamento e gerenciamento do sistema;
- Permite a redução de picos de demanda;
- Permite a leitura automática e remota dos medidores;
- Possibilita a gestão eficiente dos recursos para geração de energia;
- Reduz a necessidade de construção de novas plantas de energia;
- Capacidade de conectar/desconectar a unidade consumidora da rede;
- Aumenta o volume de informações sobre consumo nas redes de baixa tensão;
- Reduz os custos operacionais.

4.3 Meio Ambiente e Sociedade

A medição inteligente é considerada uma das principais funções da Rede Inteligente de Energia (Weranga et al., 2012), sendo um dos principais objetivos alcançar uma maior eficiência energética (Barai et al., 2015). Nesse sentido, os benefícios que podem ser gerados estão além dos destacados anteriormente, pois afetam a sociedade como um todo. Os principais benefícios são (Barai et al., 2015) (Zheng et al., 2013) (Opris and Caracasian, 2013b):

- Aumentar a eficiência e qualidade dos serviços;
- Reduzir a demanda de energia elétrica devido a conscientização sobre o consumo de energia elétrica;
- Estimular o desenvolvimento de novas tecnologias;
- Desenvolver novas técnicas para previsão de demanda de energia elétrica;
- Aprimorar o uso dos recursos energéticos existentes;
- Está indiretamente relacionado com a redução da emissão CO₂.

5 Sistema de gerenciamento de energia proposto

O sistema de gerenciamento de energia proposto e implementado de acordo com o esquema da Figura 1, utilizou-se de um sistema embarcado *Beagle Bone Black* como unidade de processamento do medidor cognitivo. O dispositivo embarcado é responsável pelo processamento e tratamento dos dados medidos para os algoritmos de desagregação de cargas, armazenamento dos dados (banco de dados) e para a execução do sistema supervisor do medidor.

A Figura 4 apresenta o funcionamento do medidor cognitivo com três áreas em destaque. A área (a) correspondente a uma máquina de estados que analisa a assinatura de potência e a tendência comportamental do consumo. Quando

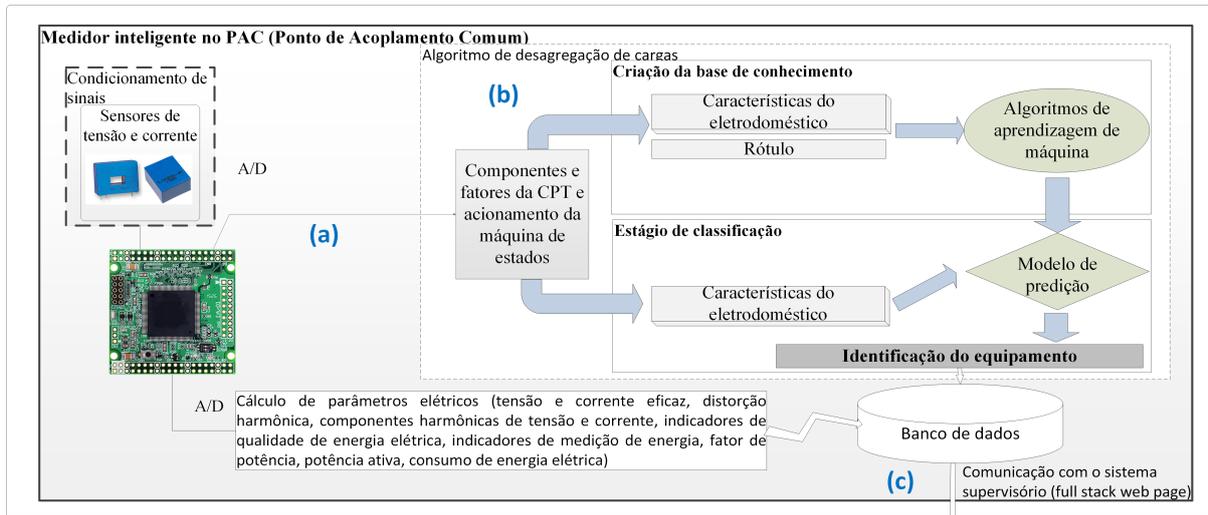


Figura 4: Diagrama de funcionamento do medidor cognitivo. (Própria autoria).

existe a detecção de “carga ligada” ou “carga desligada”, o sistema envia atributos calculados a partir da CPT (*Conservative Power Theory*) à área (b), que corresponde ao sistema de identificação de padrões. Cabe ressaltar que CPT generaliza as definições de potência e fator de potência, considerando ainda os efeitos de desbalanço de carga, assimetria de tensão e variação de frequência.

De modo geral, os eventos são caracterizados por apresentar uma mudança de nível no valor médio de potência ativa. Quando analisados continuamente, são formados segmentos contíguos e consecutivos, representado a assinatura de potência do equipamento. Portanto, a função da área (b) é identificar os parâmetros que foram alterados entre dois segmentos.

É importante destacar que os indicadores da CPT auxiliam no estágio de identificação dos equipamentos, pois analisam não somente a assinatura de potência ativa como também a assinatura de potência reativa e residual. Com esses indicadores, é possível criar uma base de dados de equipamentos utilizando informações de potência do equipamento em componentes ativa, reativa e de não linearidade, representando a assinatura da carga no seu momento de uso. Assim, na área (b) é utilizado um algoritmo de reconhecimento de padrões KNN para identificar o equipamento que gerou o evento.

Todo evento identificado tem o período registrado em um banco de dados. Ao reconhecer que o eletrodoméstico foi desligado, informações sobre o período de operação e consumo médio são utilizadas para estimar o consumo total do equipamento. Cabe ressaltar que o banco de dados pode ser local (medidor) ou externo (na nuvem ou em um servidor local). Esse cenário reforça o termo cognitivo, em que técnicas de inteligência computacional e artificial são aplicadas à geração de conhecimento a partir da interpretação e extração de significado dos dados coletados.

Em (c), há um sistema no formato de *web app* responsivo, ou seja, pode ser utilizado por qualquer dispositivo que esteja conectado na rede: computadores pessoais, dispositivos portáteis, entre outros.

Para apresentar as informações descritas nesta seção, propõe-se o uso de um sistema de gerenciamento de consumo, como mostrado na Figura 5.



Figura 5: Sistema supervisório - Interface com o usuário.

Conforme destacado, os métodos diretos em tempo real possuem maior potencial para a redução de consumo e são utilizadas as técnicas de desagregação de cargas mais próximas ao tempo real. Para isso, utilizou-se a metodologia de desagregação proposta por (Souza, 2016). Utilizando essa técnica em conjunto com o sistema para o gerenciamento, é possível apresentar gráficos e informações ao consumidor acerca do consumo da energia elétrica.

O sistema pode apresentar o consumo total da energia elétrica, desagregado por cargas e em tempo real, conforme apresenta a Figura 6. Esta informação auxilia o consumidor a entender o seu consumo instantâneo de energia elétrica e verificar a real necessidade de uso dos equipamentos que estão ligados. No caso da Figura 6, o consumidor pode perceber o alto consumo do ar condicionado no intervalo e, caso não exista a necessidade de uso, ele pode desligar obtendo economia de energia.

Ainda na análise em tempo real, o sistema pode apresentar dados referentes à carga ligada e no impacto dela na conta, tanto como estimativa de consumo no mês quanto com a análise estatística, de acordo com o histórico de consumo. Junto a isso, o sistema busca no banco de dados algumas sugestões para o melhor uso do equipamento, conforme apresenta a Figura 7. Além disso, podem também indicar formas de melhorar a eficiência energética do equipamento (Ehrhardt-

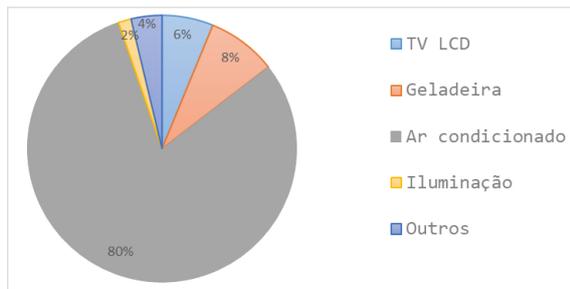


Figura 6: Consumo em tempo real de uma residência.

Martinez et al., 2010).

Ar Condicionado

Nos últimos 7 dias a média de uso do Ar Condicionado foi de 5,3 hora(s). No mês passado, o equipamento Ar Condicionado foi responsável por 21% do consumo total da residência, possui um alto impacto no consumo de energia elétrica.

Portanto, **fique atento!** Quanto maior o tempo de uso, maior será o consumo de energia elétrica.

Confira algumas dicas:

- Desligue o aparelho quando o ambiente estiver desocupado;
- Mantenha portas e janelas fechadas quando o ar condicionado estiver funcionando.
- Evite o calor do sol no ambiente fechando cortinas e persianas;
- Não tape a saída do ar condicionado;
- Proteja a parte externa do ar condicionado da incidência solar, mas não bloqueie as grades de ventilação.

Figura 7: Sugestões e recomendações para equipamentos que estão ligados.

Outra vantagem do sistema de gerenciamento do consumo de um medidor cognitivo é apresentar informações do consumo de energia elétrica em períodos que podem ser do dia, da semana, do mês e até no ano, conforme apresenta a Figura 8, correspondente ao consumo desagregado no mês anterior.

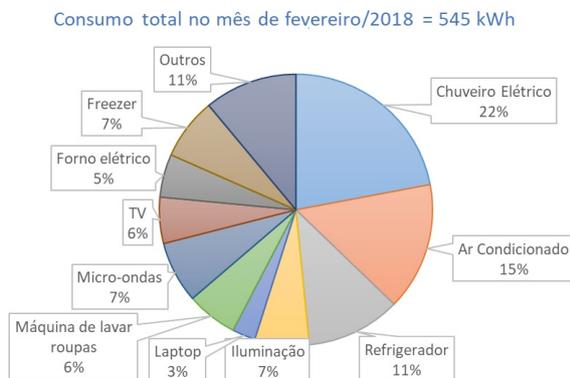


Figura 8: Relatório de consumo por equipamento no mês anterior.

Além das informações do consumo desagregado, o medidor cognitivo pode também apresentar o histórico de consumo diário, semanal, mensal. Com isso, é possível prever o consumo no mês, de acordo com o comportamento do consumidor (Figura 10). O medidor cognitivo também pode coletar e apresentar informações de continuidade do serviço de energia (Figura 11), verificação da eficiência energética de equipamentos, entre outros relatórios.

6 Conclusões

Considerando os avanços em tecnologias de hardware e software, em especial o uso de técnicas de inteligência artificial e otimização, as novas gerações de medidores de energia darão muito mais sentido ao termo “inteligente”, visando beneficiar

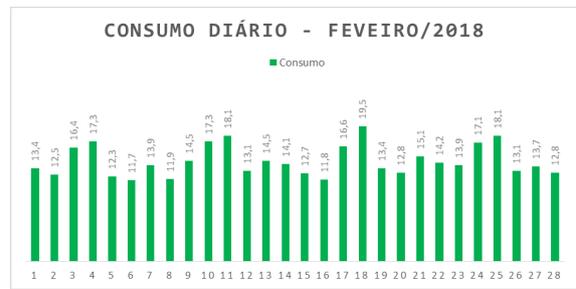


Figura 9: Relatório de consumo total diário no mês anterior.

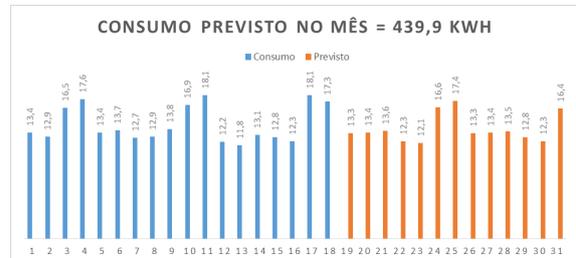


Figura 10: Relatório de previsão do consumo total diário para o mês.

Indicadores de continuidade de fornecimento de energia (segundo o PRODIST8):

Indicador	Período	Padrão	Apurado
DIC	Mensal	4.71	3.39
DIC	Trimestral	9.43	7.8
DIC	Anual	18.86	17.5
FIC	Mensal	3.11	2
FIC	Trimestral	6.22	5
FIC	Anual	12.45	8

Figura 11: Indicadores de continuidade.

de diferentes perspectivas, tanto os consumidores, quanto os fornecedores de energia, bem como empresas do ramo de gerenciamento energético.

Uma das abordagens é o medidor cognitivo, que apresenta como principal evolução a possibilidade da desagregação do consumo da energia elétrica por eletrodomésticos.

Entre as técnicas de desagregação, foi utilizada uma técnica que permite a detecção do equipamento ligado em tempo real e realiza o registro de desagregação de equipamentos e de consumo.

Para dar utilidade às técnicas de desagregação, foi apresentada uma proposta de sistema de gerenciamento de consumo, a qual indica que é possível retornar ao consumidor informações que permitam a conscientização do consumo de energia elétrica e, sobretudo, na busca pela redução e uso otimizado da energia elétrica.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP (Processos 2016/08645-9 e 2012/19375-1) pelo financiamento a este projeto.

Referências

ACEEE (2017). State regulators can play a critical role in unleashing building energy data.

Alahakoon, D. and Yu, X. (2015). Smart electricity meter data intelligence for future energy systems: A survey, *IEEE Transactions on Industrial Informatics* pp. 425–436.

- Barai, G. R., Krishnan, S. and Venkatesh, B. (2015). Smart metering and functionalities of smart meters in smart grid - a review, *Electrical Power and Energy Conference (EPEC)* pp. 138–145.
- Barker, S., Kalra, S. and Shenoy, D. I. P. (2014). Empirical characterization, modeling, and analysis of smart meter data, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* **32**(7).
- Basu, K., Debusschere, V., Bacha, S., Maulik, U. and Bondyopadhyay, S. (2015). Nonintrusive load monitoring: A temporal multilabel classification approach, *IEEE Transactions on Industrial Informatics* **11**(1).
- CarrieArmel, K., Gupta, A., Shrimali, G. and Albert, A. (2013). Is disaggregation the holy grail of energy efficiency? the case of electricity, *Energy Policy* (52).
- de Souza, E. P. (2010). *Economia de energia em ar condicionado no brasil: Eficiência e economicidade*, Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Itajubá.
- Deconinck, G. and Decroix, B. (2009). Smart metering tariff schemes combined with distributed energy resources, *Fourth International Conference on Critical Infrastructures* (1): 1–8.
- Depuru, S. S. S. R., Wang, L., Devabhaktuni, V. and Gudi, N. (2011). Smart meters for power grid - challenges, issues, advantages and status, *Power Systems Conference and Exposition (PSCE), IEEE/PES*.
- Devices, A. (2011). Wireless technologies for smart meters.
- Dong, M., Meira, P. C. M. and andWalmir Freitas, W. X. (2012). An eventwindow based load monitoring techniquefor smart meters, *IEEE Transactions on Smart Grid* **3**(2): 787–796.
- Durling, M. R., Ren, Z., Visnevski, N. and Ray, L. E. (2009). Cognitive electric power meter.
- Ehrhardt-Martinez, K., Donnelly, K. A. and Laitner, J. A. (2010). Advanced metering initiatives and residential feedback programs: A meta-review for household electricity-saving opportunities.
- Garcia, F. D., Marafao, F. P., d. Souza, W. A. and d. Silva, L. C. P. (2017). Power metering: History and future trends, *2017 Ninth Annual IEEE Green Technologies Conference (GreenTech)*, pp. 26–33.
- Gungor, V. C., Sahin, D., Kocak, T., Ergut, S., Buccella, C., Cecati, C. and Hancke, G. P. (2011). Smart grid technologies: Communication technologies and standards.
- Harney, A. (2009). Analog dialogue: Smart metering technology promotes energy efficiency for a greener world.
- Hart, G. W. (1992). Nonintrusive appliance load monitoring, *Proceedings of the IEEE* **80**(12): 1870–1891.
- Isa, M. A. H. M., Latip, M. F. A., Zaini, N. and Alias, Y. F. (2015). Android-based application for real time energymonitoring of domestic electricity, *IEEE Conference on Systems, Process and Control (ICSPC 2015)*.
- Kádár, P. (2011). Smart meter based energy management system.
- Kempener, R., Komor, P. and Hoke, A. (2013). Smart grids and renewables: A guide for effective deployment.
- Landi, C., Merola, P. and Ianniello, G. (2011). Arm-based energy management system using smart meter and web server, *IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference*.
- Makonin, S., Popowich, F. and Gill, B. (2013). The cognitive power meter:looking beyond the smart meter, *26th Annual IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)* pp. 1–5.
- Mohassel, R. R., Fung, A., Mohammadi, F. and Raahemifar, K. (2014). A survey on advanced metering infrastructure, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* pp. 473–484.
- Naghbi, B. and Deilam, S. (2014). Non-intrusive load monitoring and supplementary techniques for home energy management, *Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC)*.
- Opris, I. and Caracasian, L. (2013a). On the implementation of the functionalities of smart metering systems, *8th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)* pp. 1–6.
- Opris, I. and Caracasian, L. (2013b). The relation between smart meters and electricity consumers, *12th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)* **1**(1): 325–329.
- Souza, W. A. (2016). *Estudo de Técnicas de Análise e Tecnologias para o Desenvolvimento de Medidores Inteligentes de Energia Residenciais*, PhD thesis, FEEC/UNICAMP.
- Weranga, K. S. K., Chandima, D. P. and Kumarawadu, S. P. (2012). Smart metering for next generation energy efficiency & conservation, *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies* (1): 1–8.
- Wood, G. and Newborough, M. (2002). Dynamic energy-consumption indicators for domestic appliances: environment, behaviour and design, *Energy and Buildings*.
- Xu, Y. and Milanović, J. V. (2015). Artificial-intelligence-based methodology for loaddisaggregation at bulk supply point, *IEEE Transactions on Power Systems* **30**(2).
- Zheng, J., Gao, D. W. and Lin, L. (2013). Smart meters in smart grid: An overview, *IEEE Green Technologies Conference* pp. 57–64.
- Zhou, L., Xu, F.-Y. and Ma, Y.-N. (2010). Impact of smart metering on energy efficiency.