

# COMPARAÇÃO DAS TÉCNICAS DE MONITORAMENTO DE CARGAS PARA A DESAGREGAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

HADER AGUIAR DIAS AZZINI\*, JOÃO GUILHERME ITO CYPRIANO\*, WESLEY ANGELINO DE SOUZA\*,  
RAFAEL CUERDA MONZANI\*, LUIZ CARLOS PEREIRA DA SILVA\*, AUGUSTO CHIERICE VENERANDO

DA SILVA†

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

*†Companhia Paulista de Força e Luz - CPFL  
Campinas, SP, Brasil*

Emails: hader@dsee.fee.unicamp.br, joao.ito@dsee.fee.unicamp.br,  
wesley@dsee.fee.unicamp.br, rcmonzani@gmail.com, lui@dsee.fee.unicamp.br,  
augustov@cpfl.com.br

**Abstract**— This study compares, analyses and validates three major Appliance Load Monitoring (ALM) approaches, their benefits and the difficulties encountered in the implementation. The Non-Intrusive Load Monitoring (NILM) introduces the use of a single meter per house installed on the Point of Common Coupling (PCC), where the consumption data is collected in aggregate form to perform ALM. The Intrusive Load Monitoring (ILM) uses distributed sensing points per appliance within the entire residence. The third proposal - Semi-Intrusive Load Monitoring (SILM) - is intermediate to the others, with data collection per circuit on the power distribution board. This study also presents advantages, costs, benefits and available technologies about these approaches. However the most adequate and greater potential for use is the NILM, based on individual identification of appliances by software disaggregation.

**Keywords**— Load Disaggregation, Load Monitoring, Smart Meters, Smart Plug.

**Resumo**— Este artigo compara e avalia as três abordagens para o monitoramento de cargas mais conhecidas, indicando os benefícios e dificuldades encontradas na implementação. O monitoramento não intrusivo (concentrado) indica o uso de um único medidor por residência, instalado no Ponto de Acoplamento Comum (PAC), local onde os dados de consumo coletivo são coletados e depois é realizada a desagregação de cargas. O monitoramento intrusivo (distribuído) usa pontos de sensoriamento por cada eletrodoméstico instalado na residência. A terceira proposta - monitoramento semi intrusivo (parcialmente distribuído) - é intermediária às duas anteriores, com os dados sendo coletados por cada circuito, no quadro de distribuição. Este artigo também apresenta vantagens, custos, benefícios e as tecnologias disponíveis no mercado para estas abordagens e é apresentado um exemplo aplicado para cada técnica. Entretanto, a técnica concentrada, baseada na identificação das cargas elétrica por *software*, apresentou-se como a mais adequada e com maior potencial entre as três.

**Palavras-chave**— Desagregação de cargas, Monitoramento de cargas, Medidor inteligente, Tomada inteligente.

## 1 Introdução

A energia elétrica é um pilar importante para o desenvolvimento socioeconômico (Barai et al., 2015) (Makonin et al., 2013) (Platt et al., 2015) e a crescente demanda exige o uso cada vez mais otimizado e sustentável (Platt et al., 2015). Para isso, intensifica-se a necessidade de detalhar o uso da energia para suportar alternativas que permitam a eficiência energética.

Neste contexto, surgem os medidores de energia elétrica como elementos importantes para o modelo de redes inteligentes (Barai et al., 2015) (de Souza et al., 2015) (Zheng et al., 2013), sendo utilizados em qualquer ponto do sistema, seja na geração, transmissão, distribuição ou no uso final de energia elétrica. Como estes pontos de medição necessitam informar dados confiáveis e precisos, para a gestão de energia elétrica, os equipamentos de medição devem ser capazes de: armazenar dados e transmiti-los a centrais de controle e monitoramento; integrar-se com os dispositivos elétricos existentes no sistema; realizar procedimentos remotamente; e permitir a implantação de “inteligência” no mesmo (Barai et al., 2015) (Zheng et al., 2013) (Opris and Caracasian, 2013b).

Assim, tem-se os medidores inteligentes de energia elétrica, que são dispositivos eletrônicos com comunicação bidirecional e medição de energia em quadrantes (Makonin et al., 2013) (Opris

and Caracasian, 2013a). Lembrando que este conceito é aceito, pois não há um consenso sobre as características essenciais que o medidor deve ter devido ao termo “inteligente”.

Desta forma, estão surgindo novas propostas com o intuito de ampliar o uso do termo inteligente nessa classe de medidores e uma das propostas que mais se destaca é o monitoramento do consumo por cargas (eletrodomésticos) (Opris and Caracasian, 2013b) (Makonin et al., 2013) (Opris and Caracasian, 2013a) (Basu et al., 2015) (Dong et al., 2012) (Hart, 1992) (Garcia et al., 2017), que corresponde a um processo de identificação e aquisição da medição elétrica de uma carga em um sistema de energia em um certo período de tempo (Rathmair and Haase, 2013), estipulando o consumo de energia e o estado de funcionamento de cada equipamento, promovendo a compreensão do comportamento, manutenção, controle e monitoramento (Abubakar et al., 2017).

Existem três principais metodologias de desagregação do consumo: a técnica de monitoramento não-intrusiva ou concentrada; a técnica de monitoramento intrusivo ou distribuído e; a técnica de monitoramento semi-intrusivo ou parcialmente distribuído.

A técnica de monitoramento concentrado envolve um único medidor alocado no Ponto de Acoplamento Comum (PAC), nas residenciais é o ponto de entrada de energia do consumidor. Desta forma, através da análise do consumo total, das

formas de onda da tensão e corrente e da identificação da assinatura de potência característica para cada carga, é possível implementar algoritmos embarcados no medidor para realizar a desagregação do consumo elétrico por equipamento e também implementar outras funções (e.g. identificação de faltas e perdas não técnicas) (Opris and Caracasian, 2013b) (Garcia et al., 2017). O consumo separado por cargas possibilita o desenvolvimento de interfaces amigáveis para o usuário final, que forneça sugestões para a eficiência energética e estratégias de economia de energia, em conjunto com relatórios que permitam o gerenciamento do uso da energia elétrica (Opris and Caracasian, 2013b). Na literatura, a técnica de monitoramento concentrado tem direcionado a novas nomenclaturas de medidores, entre elas os medidores cognitivos (Opris and Caracasian, 2013b) (Durling et al., 2010) (Garcia et al., 2017).

A segunda técnica de monitoramento é a distribuída, isto é, existem diversos pontos de medição distribuído no prédio, sendo cada ponto voltado diretamente a uma única carga. A desagregação ocorre por meio de *hardware* (sensores individuais), diferente da técnica concentrada que se baseia na desagregação por *software*. Deste modo, possui mais precisão e possibilidade de interação com os equipamentos (automação), porém o custo de implantação e manutenção é maior e há a necessidade de tempo para a completa instalação dentro da residência, por essa necessidade esta técnica é amplamente conhecida como “intrusiva”.

A última técnica que será abordada é a mescla das duas anteriores, a técnica de monitoramento parcialmente distribuído, que consiste na medição por circuitos ou grupo de cargas (e.g. um cômodo da residência). Por ser intermediária, apresenta a desagregação baseada em *hardware* e *software* integrados e instalação semelhante à do sistema distribuído.

As três técnicas de monitoramento permitem gerar relatórios de detalhamento do consumo por eletrodomésticos, conforme apresenta a Figura 1, através de um sistema supervisor com relatórios de consumo total ou por cargas. Este conceito de desagregação do consumo de energia elétrica indica a tendência da nova geração de monitoramento e medição da energia, podendo assim beneficiar tanto aos consumidores quanto às concessionárias.

Portanto, este artigo apresenta o conceito, tipos e vantagens do monitoramento de cargas. A Seção II destaca os benefícios para consumidores quanto para concessionárias. A Seção III descreve as técnicas de monitoramento de cargas e apresenta um caso de estudo para cada técnica. E por fim, a Seção IV resalta os principais pontos das abordagens de desagregação de cargas e qual delas apresentou um cenário promissor para a instalação e uso dessa nova tecnologia de medição inteligente.

## 2 Benefícios da Desagregação de Cargas

Os benefícios da medição inteligente podem, de maneira simples, ser divididos em duas principais categorias (Alahakoon and Yu, 2016): Consumidores e Companhias de Energia Elétrica (setores de geração, transmissão e distribuição). No entanto, faz-se necessário observar e acompanhar os desafios e dificuldades encontradas no desenvolvimento, implantação e manutenção de novos conceitos e tecnologias.

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.

Apesar destas inseguranças, o sucesso da aplicação dos medidores inteligentes depende da análise e confiabilidade dos dados coletados, permitindo com que os benefícios sejam proporcionais às funcionalidades e ao uso dos medidores. Estas vantagens serão abordadas sob o ponto de vista do consumidor e da concessionária de energia elétrica.

### 2.1 Benefícios para o Consumidor

Além da decomposição percentual do consumo para cada equipamento, um sistema que contenha a desagregação de cargas permitirá que o consumidor realize a própria gestão do consumo de energia elétrica.

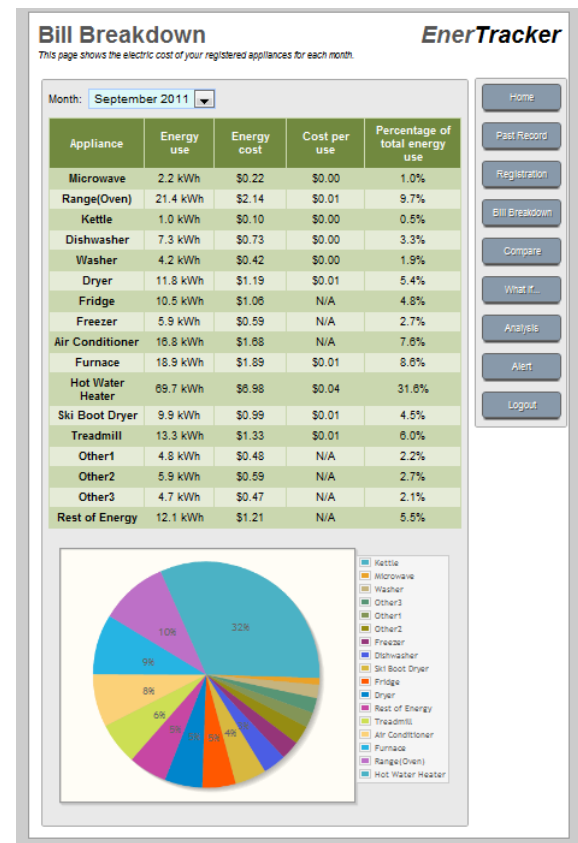


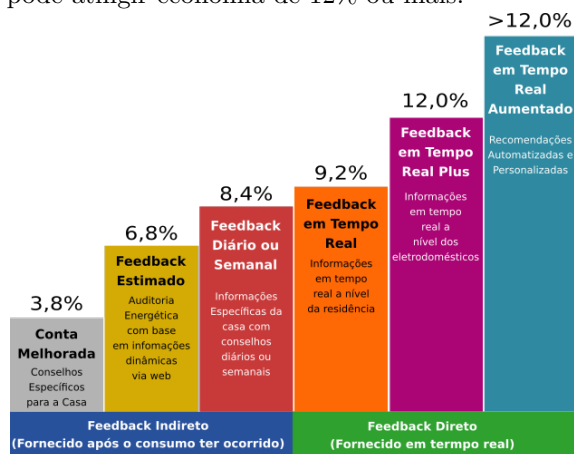
Figura 1: Desagregação do consumo mensal por uso individual de equipamentos (EnergyTracker).

Tendo em mãos informações detalhadas, é possível analisar e identificar o perfil de uso de cada equipamento, o padrão de consumo, os gargalos nas instalações, equipamentos obsoletos e/ou com mau uso e o modelo de tarifação de energia elétrica utilizado. Com estas informações, o usuário poderá definir a substituição de equipamentos, mudanças de hábitos de uso, a tarifação mais adequada ao consumo (tarifa branca, como exemplo) e medidas que possam melhorar a eficiência energética da residência.

Uma das características deste sistema é a interconexão da rede a outros medidores, permitindo que os dados coletados possa auxiliar no diagnóstico de eficiência energética de equipamentos, comparando-os com o padrão médio de similares. O acesso à esta informação disponível na base de medição, permite que o sistema indique ao consumidor a classificação de eficiência energética comparada ao padrão médio de consumo do grupo no qual se encontra (por consumo, por região, etc.) e quais as possíveis ações de melhoria (troca de equipamento, alteração nos horários de uso), que este consumidor poderá tomar, de modo a melhorar as características de consumo, em comparação ao grupo de consumo.

Diversas funcionalidades são permitidas quando se utiliza a desagregação de cargas. Por exemplo, na segurança residencial, através do monitoramento da utilização de portões automáticos, ou na saúde das pessoas com dificuldades de comunicação e locomoção, como idosos, que através do acompanhamento do perfil de consumo destes usuários pode-se enviar alarmes em caso de inoperância de determinados equipamentos por tempo prolongado. Desta forma, a possibilidade da gestão e da consciência do uso de energia permitem minimizar os gastos, melhorar a qualidade de vida e garantir sustentabilidade no uso da energia.

A Figura 2 apresenta os percentuais de economia que podem ser atingidos de acordo com o nível de informação fornecida para o consumidor residencial (Garcia et al., 2017) (Armél et al., 2013). É possível perceber que a informação desagregada pode atingir economia de 12% ou mais.



**Figura 2:** Economia de Energia para o Consumidor Residencial devido ao *Feedback* (Fonte: Armél et al. 2013).

## 2.2 Benefícios para a Concessionária

Para a concessionária, o nível de detalhamento do consumo de energia elétrica poderá trazer diversos benefícios na operação e planejamento da rede elétrica, de forma eficiente.

Um dos benefícios mais perceptíveis é a redução do consumo de energia elétrica no período do pico de demanda, resultando nos seguintes benefícios: redução das perdas técnicas; postergação de investimentos em expansão das redes e da capacidade dos transformadores; melhoria do perfil de tensão; e facilita o controle do sistema. Vale lembrar que a redução do pico de demanda não implica em redução do consumo, e sim no deslocamento do horário de uso do equipamento ao longo do dia. Portanto, o gerenciamento da demanda não implica diretamente em perdas no faturamento para a empresa fornecedora de energia.

Um exemplo da percepção do perfil de consumo diz respeito ao conhecimento da curva de carga dos consumidores. No modelo atual a empresa realiza uma campanha de medição, por amostragem, para compor curvas de cargas típicas para cada classe e subclasse de consumidor. Esta campanha é realizada a cada quatro anos, e mede o consumo a cada 15 minutos pelo período de uma semana. Este pequeno conjunto de curvas amostradas é utilizado para compor curvas típicas que serão usadas para representar qualquer consumidor da concessionária, as quais são atualizadas, na melhor das hipóteses, a cada quatro anos. O resultado disto é um erro significativo nos estudos de planejamento e operação das redes, uma vez que existe erro importante nas curvas de carga e este é incorporado nos cálculos subsequentes de planejamento. Também, a resolução das curvas de carga será elevada, permitindo precisão na análise dos dados e nos modelos a serem adotados para a revisão tarifária, sem a necessidade da campanha de medição realizada a cada quatro anos.

Além da discussão sobre as curvas de carga, é importante também o conhecimento da composição da carga. Ou seja, a concessionária passa a ter o conhecimento dos equipamentos e eletrodomésticos utilizados pelos clientes, bem como sobre o perfil de uso de cada um deles, sem que seja necessário realizar campanhas para levantamento de posse de equipamentos e hábitos de consumo. Este tipo de informação também é exigido pela ANEEL em cada ciclo de revisão tarifária, e também tem um custo elevado, em função da enorme quantidade de consumidores que devem ser entrevistados, sem falar na perda de precisão da informação, pelo fato de ser uma entrevista longa e cansativa para o consumidor.

O conhecimento da composição da carga para um grande número de consumidores permite a realização de mais uma tarefa complexa e importante para a concessionária, que é a modelagem da carga. Este aspecto é fundamental para qualquer estudo de planejamento ou operação, pois realiza cálculos de perdas técnicas, estudos de alocação de capacitores, dimensionamento de redes e transformadores, etc.

Com as vantagens destacadas, serão apresentadas na seção a seguir as três principais abordagens de monitoramento de cargas, bem como casos de estudo em cada abordagem.

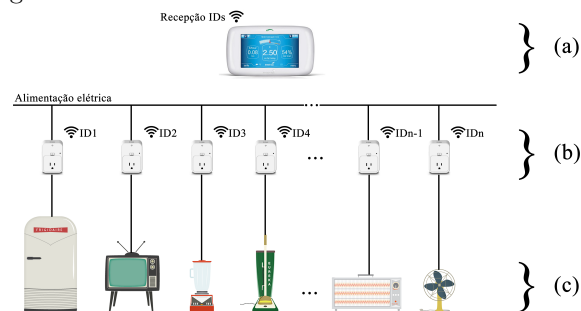
## 3 Técnicas de Monitoramento de Cargas

### 3.1 Monitoramento Distribuído

A abordagem tradicional para monitoramento detalhado de cargas elétricas é chamada na literatura técnica de monitoramento intrusivo, devido à necessidade da instalação de um sensor em cada ponto de consumo com acesso físico aos equipa-

mentos medidos, consequentemente sendo necessário a entrada no ambiente residencial ou comercial.

Porém, iremos referir ao modelo intrusivo como monitoramento distribuído, por questões de apreciação por parte dos consumidores e sem alterar o conceito real. Portanto, a medição distribuída se baseia na distribuição de um sensor por eletrodoméstico/tomada, conforme demonstra a Figura 3. Os equipamentos (c) são conectados às tomadas inteligentes (b), estas coletam informações de potência e enviam a uma central (a), que apresenta gráficos de consumo por cada tomada inteligente (ID). Depois de efetuadas as medidas, os dados de cada sensor são reunidos e analisados por um *software* que os organiza e os exibe em gráficos e tabelas.



**Figura 3:** Representação do sistema de monitoramento distribuído.

Este sistema é composto por sensores, comumente conhecidos por tomadas inteligentes, com medição de tensão e corrente e que se comunicam de forma sem fio. Algumas tomadas inteligentes repassam dados para um receptor e concentrador de dados, que tem a função de transmitir os dados para uma base a um servidor dedicado, onde é realizada a análise do consumo. Outras funcionam de forma independente como servidores *web* e cada tomada hospeda um *website* onde exibem o consumo do equipamento monitorado.

No monitoramento distribuído, as tomadas inteligentes devem ser conectadas às tomadas convencionais, sendo os equipamentos estes conectados na tomada inteligente. Um aspecto interessante deste modelo é que em geral ele inclui um relé interno que possibilita o acionamento remoto, de forma que o equipamento possa ser conectado ou desconectado remotamente, via celular, computador, consumidor ou pela concessionária, conforme modelo de negócio adotado em cada contrato. Esta funcionalidade abre possibilidade para a gestão da demanda para atender objetivos do consumidor ou da concessionária, por exemplo, visando obter redução da demanda no período de pico de consumo, ou para priorizar o consumo em períodos em que a tarifa de energia é mais econômica.

A Figura 4 exibe um quadro comparativo das tomadas inteligentes disponíveis comercialmente, sendo possível observar que, de todos os fabricantes analisados, apenas um modelo se apresenta no padrão brasileiro de tomadas, porém com um custo de aquisição superior aos demais modelos. Mesmo assim, para a aplicação de tomadas inteligentes para desagregação do consumo, o custo médio de cada aparelho se torna um alto investimento e que, muitas vezes, não possibilita um retorno financeiro adequado para o usuário final.

Por fim, observa-se então que os sistemas de monitoramento distribuídos geralmente apresentam uma estrutura de *hardware* mais complexa e

um *software* mais simples. Assim, um sistema de monitoramento distribuído, desde que seja projetado de modo adequado, obtém medidas precisas e detalhadas sobre o uso de energia na residência. No entanto, pode-se dizer que existe menor nível de inteligência computacional associada a este método, além de maior custo associado à rede de sensores e incômodo aos usuários associados à instalação e manutenção de tal rede. A vantagem, é a precisão nos dados desagregados.

### 3.2 Monitoramento Concentrado

Em contraste com o monitoramento distribuído, existe na literatura a técnica chamada de monitoramento não intrusivo de cargas elétricas, porém, este trabalho utilizará o nome de monitoramento concentrado de cargas elétricas. Novamente, sem alterar o conceito, a medição concentrada é baseada na instalação de um único sensor inteligente no ramal principal da residência. Esta análise é baseada na identificação de características elétricas específicas, comumente chamadas de assinaturas elétricas, que permitem identificar qual carga foi ligada ou desligada e o instante que elas operaram. É importante destacar que o termo “não intrusivo” está relacionado à ausência de acesso físico ao interior da instalação elétrica e, consequentemente, a cada uma das cargas.

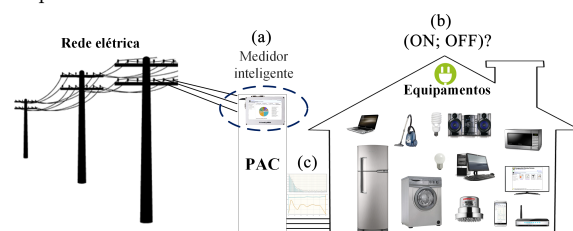
A Figura 5 ilustra a técnica de monitoramento concentrado. Desta forma, é colocado um medidor no ponto de acoplamento comum da residência (a), onde se encontra o medidor de energia na residência. Com o uso dos equipamentos na residência (b) utilizam-se técnicas para a detecção dos equipamentos ligados (c) como, por exemplo, de decomposição de harmônicas com rede neurais artificiais (Fernandes et al., 2013), decomposição em indicadores elétricos com aprendizagem de máquina (Souza, 2016), técnicas de monitoramento de janelas de potências (Dong et al., 2012) (Fernandes et al., 2013) (Zeifman, 2012), obtendo nestas técnicas exatidão satisfatória.

Na abordagem concentrada, apenas um sensor é colocado no ramal principal e a desagregação é realizada através de *software*, que efetua a análise dos dados e separa as informações de cada

| Tomada                   | Ankoo - Neo Pro | Edimax SP-2101W | Smart-ME Plug | Hs110 | DSP W215 - D Link | ThinkEco's Modlet | Peanut | Wemo | Beyond POWER |
|--------------------------|-----------------|-----------------|---------------|-------|-------------------|-------------------|--------|------|--------------|
| Foto                     |                 |                 |               |       |                   |                   |        |      |              |
| Padrão Brasileiro        | NÃO             | NÃO             | NÃO           | NÃO   | NÃO               | NÃO               | NÃO    | NÃO  | SIM          |
| Monitoramento de Consumo | SIM             | SIM             | SIM           | SIM   | SIM               | SIM               | SIM    | SIM  | SIM          |
| Acionamento Remoto       | SIM             | SIM             | SIM           | SIM   | SIM               | SIM               | SIM    | SIM  | SIM          |
| Conexão direta WIFI      | NÃO             | SIM             | SIM           | SIM   | SIM               | NÃO               | NÃO    | SIM  | SIM          |
| Preço aproximado (US\$)  | 27              | 32              | 105           | 39    | 40                | 50                | 40     | 50   | 375*         |

\* Valor original disponível em reais: R\$ 1200,00. Cálculo de conversão feito usando cotação do dólar R\$ 3,20.

**Figura 4:** Quadro comparativo de tomadas inteligentes disponíveis comercialmente.



**Figura 5:** Representação do sistema de monitoramento concentrado.

carga. Este modelo baseado no *software* é mais complexo e justifica a atribuição do termo “medidor inteligente”, quando integrado com um único *hardware*, reduzindo custos com aquisição e instalação de sensores. Um sistema de monitoramento concentrado, geralmente, tem precisão inferior a um sistema de monitoramento distribuído, contudo, o grau de imprecisão pode ser tolerado para muitas aplicações. Tal abordagem não permite a gestão remota das cargas, mas viabiliza mudanças de hábitos dos consumidores de maneira a resultar em ganhos em termos de conservação de energia (Alahakoon and Yu, 2016).

Recentemente, o monitoramento concentrado tem recebido atenção significativa no contexto de redes inteligentes, devido ao desenvolvimento da nova geração de medidores (Armél et al., 2013) (Ipakchi and Albuyeh, 2009). Mas, como indicado em (Zeifman, 2012), existe um algoritmo capaz de detectar eventos de ligar/desligar para todos os tipos de cargas em residência. Entretanto, devido ao potencial apresentado pelo monitoramento concentrado, o tema tem sido pesquisado intensamente por vários grupos de pesquisa e ainda existem diferentes empresas oferecendo este tipo de serviço. Em (*Companies offering NILM products and services*, 2018) são listadas mais de 50 empresas que tem trabalhado com monitoramento concentrado, espalhadas ao redor do mundo.

A seguir será apresentada a técnica de monitoramento parcialmente distribuído.

### 3.3 Monitoramento Parcialmente Distribuído

O monitoramento semi-intrusivo, abordado neste estudo como monitoramento parcialmente distribuído, é baseado na distribuição de um sensor inteligente por circuito ou disjuntor de uma instalação elétrica, exigindo um número intermediário de sensores, isto é, sem alcançar o nível do monitoramento por equipamento ou tomada.

Por não requerer a instalação de sensores em cada ponto de consumo, e sim em cada circuito ou cada disjuntor da instalação, este modelo representa um estágio intermediário entre o monitoramento distribuído e o concentrado, com precisão e custo também intermediários. Apesar de possuir precisão maior na desagregação, levando em conta a medição por circuitos, não há gestão remota dos equipamentos, mas como mencionado no modelo concentrado, viabiliza mudanças de hábitos dos consumidores de maneira a resultando em ganhos na conservação de energia devido ao modo de uso.

Um exemplo de de tecnologia, ilustrado na Figura 6, é oferecida pela empresa Israelense *Panoramic Power*, representada no Brasil pela empresa *ATME Eco Solutions*, a qual é composta por minúsculos sensores de corrente sem fio alimentados pela própria corrente monitorada, e que se comunicam e repassam dados para um receptor e concentrador de dados, que transmite os dados para uma base na nuvem ou em servidor dedicado, onde é realizada a análise e desagregação do consumo.

### 3.4 Comparativo das Técnicas de Desagregação

Em (Wong et al., 2013) é discutido quais seriam as melhores formas de obter as informações de consumo a nível dos eletrodomésticos. A Tabela 1 apresenta o comparativo feito em (Wong et al., 2013) com algumas adaptações. Uma inovação no setor residencial é a presença de eletrodomésticos inteligentes, os quais, além de forne-

cerem diversas vantagens e comodidades, podem também fornecer estimativas de consumo, entretanto são em geral US\$ 100 mais caros que os eletrodomésticos convencionais. Assim sendo, devido ao custo elevado e esforço mediano para se fazer a instalação destes novos equipamentos, essa abordagem tem uma taxa de adoção baixa. Estima-se que serão necessários de 10 a 15 anos para adoção ampla após a introdução no mercado de massa.

**Tabela 1:** Comparativo das Abordagens de Monitoramento.

| Abordagem                              | Investimento                                                        | Nível de Esforço de Instalação                               | Taxa de Adoção       |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------|
| Eletrodomésticos Inteligentes          | Preço em média US\$ 100 maior que os eletrodomésticos convencionais | Médio                                                        | Baixa (10 a 15 anos) |
| Monitoramento Distribuído              | US\$ 25 a US\$ 375 por tomada                                       | Médio para tomadas monofásicas / Alto para tomadas bifásicas | Baixa (7 a 8 anos)   |
| Monitoramento Parcialmente Distribuído | US\$ 150 a US\$ 300 por casa                                        | Alto                                                         | Baixa                |
| Monitoramento Concentrado              | US\$ 50 a US\$ 300                                                  | Baixo                                                        | Alta                 |

O monitoramento distribuído apresenta um investimento variável de acordo com o número de tomadas que se deseja monitorar. Entretanto, isso pode implicar na tendência de se monitorar apenas as cargas que tradicionalmente apresentam alto consumo, negligenciando as de pequeno consumo, as quais somadas podem ser responsáveis por uma parcela expressiva do consumo (Armél et al., 2013). Outro aspecto importante é que esta abordagem apresenta um problema para o monitoramento de tomadas bifásicas. Em geral as tomadas apresentadas na Figura 3 são monofásicas e o monitoramento de tomadas bifásicas implica em alterações na instalação elétrica ou na aquisição de equipamentos específicos.

O monitoramento parcialmente distribuído em geral requer um esforço maior para instalação devido à quantidade de sensores instalados e ao espaço reduzido nos quadros de distribuição residenciais. Além disso, a carcaça metálica de alguns quadros tende a dificultar a comunicação sem fio.

O monitoramento concentrado em geral é o mais simples para se efetuar a instalação e por ter um investimento menor, tende a ter uma adoção alta. Contudo, é importante que o algoritmo de desagregação seja desenvolvido corretamente pois existem diversos desafios envolvidos para se obter alta precisão no reconhecimento de assinaturas dos eletrodomésticos.



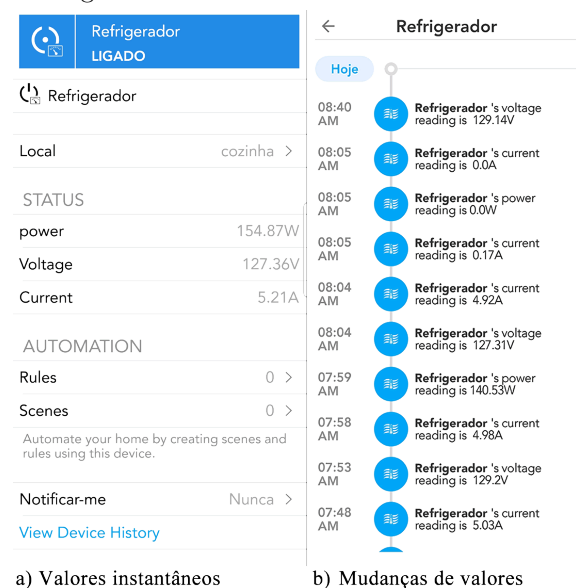
**Figura 6:** Solução de sistema parcialmente distribuído da empresa Panoramic Power.

### 3.5 Estudo de Caso das Técnicas de Desagregação

#### 3.5.1 Monitoramento distribuído

Conforme apresentado na seção III, o sistema de monitoramento intrusivo possui como principal característica a instalação de tomadas inteligentes em cada equipamento. Na Figura 4 foram apresentadas algumas soluções comerciais para as tomadas inteligentes e para os resultados foi utilizada a tomada *peanut*, da empresa *securifi*. Para obter as leituras e mais informações da tomada inteligente, bem como o acesso remoto a ela, é necessário o uso de um roteador chamado *almond*, também da *securifi*.

Com a solução instalada, a empresa fabricante disponibiliza um aplicativo proprietário, com a interface apresentada na Figura 7. Na Figura 7, (a) apresenta os valores momentâneos de uma tomada inteligente, nomeada como “refrigerador”. (b) indica as atualizações de consumo a cada evento de alteração no valor de potência, corrente ou tensão. O aplicativo permite outras opções, como ligar ou desligar remotamente a tomada e também criar regras para que a tomada seja ligada ou desligada, de acordo com o horário do dia. Desta forma, por possuir limitações na apresentação de informações, o aplicativo *almond* auxilia no monitoramento da tomada inteligente dentro da domótica, mas não é adequada para o uso na desagregação de cargas.



**Figura 7:** Aplicativo Almond para o monitoramento das tomadas peanut.

Para atender a utilidade da tomada inteligente *peanut* para a desagregação de cargas, existe a alternativa da extração de dados (potência, corrente, tensão, data, horário, temperatura e estado) por acesso direto à tomada inteligente. Desta forma, foi realizado neste artigo um algoritmo para a extração dos dados da tomada inteligente, que possibilitou armazenar estes dados e no cálculo de consumo por tomada inteligente, conforme a Figura 8. Por se tratar de um sistema distribuído, não há necessidade de um algoritmo que efetue a desagregação de cargas, mas é possível obter a estimativa de consumo confrontando a soma do consumo na tomada com o valor total do consumo na residência.

É válido ressaltar que não há erros na detecção e, para acontecer a desagregação completa, é

necessário o monitoramento de todos os pontos de consumo de energia elétrica.

#### 3.5.2 Monitoramento concentrado

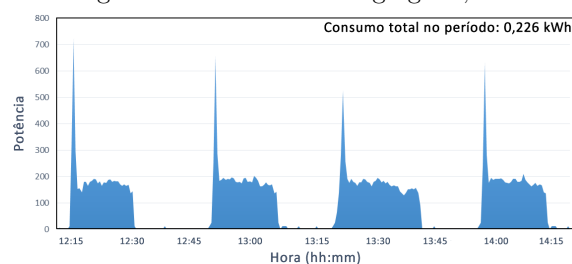
Conforme apresentado na seção III, o sistema de monitoramento concentrado possui como principal característica algoritmos que permitem a detecção de cargas utilizando somente um ponto de medição, o ponto de acoplamento comum (PAC). Neste caso, não foi possível obter resultados de medidores comerciais, mas em (Souza, 2016) foi construído um protótipo de medidor inteligente, com a metodologia de desagregação de cargas utilizando o monitoramento concentrado. A Figura 9 apresenta o perfil de consumo em uma residência correspondente ao valor total no PAC.

A técnica utiliza a desagregação utilizando tanto a assinatura de potência quanto a análise de indicadores de energia elétrica, que permitem a identificação do equipamento utilizando algoritmos de reconhecimento de padrões. Nesta situação, foram identificados nove equipamentos utilizados ao decorrer do dia: chuveiro elétrico, refrigerador, lâmpadas (fluorescente e incandescente), laptop, TV LCD, lavadora de roupas, secadora de roupas, forno elétrico e aspirador de pó. A Tabela 2 apresenta o horário de funcionamento de cada equipamento e o tempo de uso.

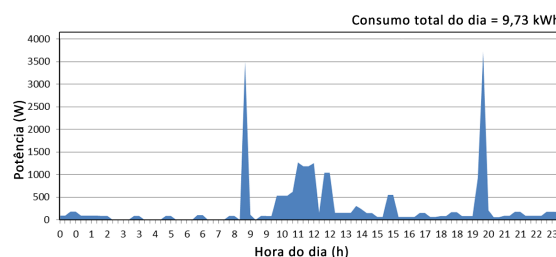
**Tabela 2:** Funcionamento de cargas para o estudo de caso.

| Equipamento        | Horário de funcionamento                          | Tempo total de uso               |
|--------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------|
| Chuveiro elétrico  | 08:42 às 08:57 e 20:02 às 20:04                   | 26 minutos                       |
| Laptop             | 00:00 às 02:08, 17:55 às 19:40 e 22:10 às 23:59   | 344 minutos                      |
| Aspirador de pó    | 15:27 às 15:32                                    | 5 minutos                        |
| Lavadora de roupas | 10:13 às 11:04                                    | 49 minutos                       |
| Secadora de roupas | 11:19 às 12:11                                    | 52 minutos                       |
| Lâmpadas           | Diversas lâmpadas com ciclos entre 17:49 às 01:48 | 717 minutos* (diversas lâmpadas) |
| Refrigerador       | Diversos ciclos no dia                            | 455 minutos                      |
| TV LCD             | 10:18 às 13:50 e 20:40 às 23:30                   | 382 minutos                      |
| Forno elétrico     | 12:20 às 12:51                                    | 31 minutos                       |

O supervisor do protótipo do medidor apresenta o gráfico de consumo desagregado, conforme



**Figura 8:** Gráfico de consumo do refrigerador com a tomada inteligente peanut entre 12:15 e 14:15 utilizando *software* de extração de dados e armazenamento de consumo.



**Figura 9:** Perfil de consumo em uma residência, obtidos no PAC.

a Figura 10. Nota-se que há a existência do rótulo “Outros”. Essa informação vem de erros na classificação e na integralização do consumo. Neste exemplo houve a correta classificação em 97.2% dos casos e houve o acerto na integralização do consumo em 97.8%.

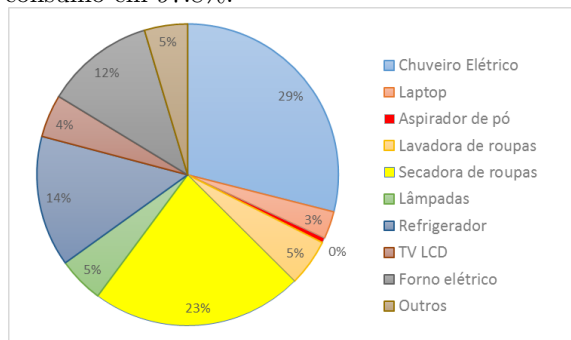


Figura 10: Consumo desagregado por cargas.

### 3.5.3 Monitoramento parcialmente distribuído

Nesta técnica de desagregação, há a instalação de sensores para cada disjuntor no quadro de distribuição. Desta forma, existe a concentração do consumo das cargas que estão conectadas no sub-circuito de cada disjuntor. Se a instalação elétrica do ponto consumidor foi bem realizada e o quadro de distribuição foi bem projetado, esta técnica de monitoramento se torna eficiente para a realização da desagregação de cargas.

Para os resultados dessa subseção, foram instalados os sensores da empresa *EnergyBox* e a Figura 11 apresentam os resultados da medição em uma fase e em sub-circuitos, utilizando o método de medição parcialmente distribuído.

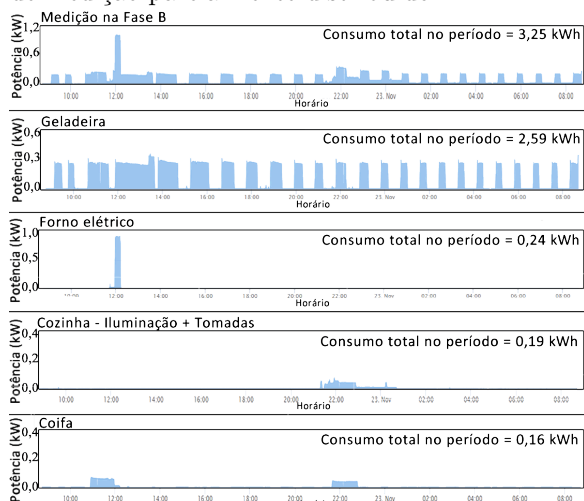


Figura 11: Consumo na Fase B por sub circuitos (disjuntores).

É possível perceber que no primeiro gráfico, rotulado como “Medição na Fase B” há a equivalência de consumo correspondente à soma dos outros gráficos, rotulados como “Geladeira”, “Forno Elétrico”, “Cozinha - Iluminação + Tomadas” e “Coifa”. Neste caso, a “Medição na Fase B” corresponde à fase que está alimentando eletricamente uma cozinha. Destas medições, existem disjuntores que já foram instalados ou estão sendo utilizados para um único equipamento, como a geladeira, forno elétrico e coifa. No caso do disjuntor “Iluminação + Tomadas”, os dados de medição

deverão ser enviados a algum algoritmo de desagregação de cargas, semelhante ao algoritmo do sistema concentrado (Souza, 2016), com a vantagem de realizar o reconhecimento de menos cargas, devido à possibilidade de cargas instaladas em uma cozinha (iluminação e cargas que podem ser utilizadas em uma cozinha).

Desta forma, o sistema de monitoramento parcialmente distribuído ajuda na apresentação do consumo por setores, conforme a Figura 12. O monitoramento parcialmente distribuído também permite com a desagregação por setor ou cargas.

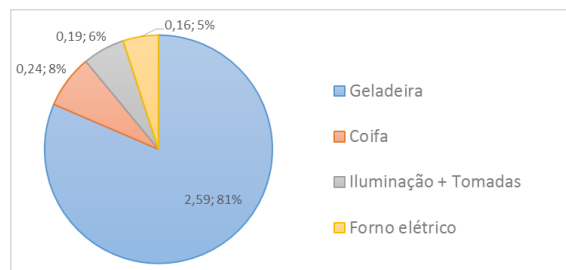


Figura 12: Consumo desagregado por setores.

Analisando os três sistemas de monitoramento, o concentrado permite a análise detalhada do consumo por cargas e o custo de implementação é menor, mas, há a necessidade de maior processamento devido aos algoritmos de detecção de eventos e de cargas. O sistema de monitoramento distribuído e parcialmente distribuído permitem a análise por pontos de medição, o processamento é menor devido ao uso baixo de algoritmos de detecção de cargas. A desvantagem das técnicas distribuída e semi distribuída é o alto custo na implementação se comparada à técnica concentrada.

## 4 Conclusões

Este artigo descreveu os modelos e os benefícios de se realizar a desagregação do consumo de energia, bem como as vantagens e dificuldades de cada metodologia, tanto na metodologia de desagregação quanto na complexidade de instalação.

A análise do consumo desagregado de cargas muda a forma com que os consumidores observam o consumo de energia elétrica e, consequentemente, como ampliar o atual conceito de energia elétrica como serviço, que pode ser monitorado e utilizado de forma otimizada. Para as concessionárias, a desagregação de cargas permite o gerenciamento melhorado da rede elétrica e cria uma nova relação com o consumidor, permitindo, em alguns casos, o gerenciamento pelo lado da demanda.

Dentro do contexto, as técnicas de desagregação de cargas apresentam vantagens para os consumidores e para as concessionárias de energia elétrica e são divididas em três técnicas: concentrada, parcialmente distribuída e distribuída. Cada solução de monitoramento necessita de um estudo de análise da viabilidade de implantação, custo de equipamentos, tecnologias, precisão e atuação direta sobre a carga elétrica.

No mercado brasileiro, o desenvolvimento das tecnologias distribuídas e parcialmente distribuídas estão defasadas em relação às existentes no exterior. A ausência de sensores com precisão na medição e que estão dentro do padrão brasileiro de tomadas dificulta a utilização para as técnicas de desagregação de cargas. O mesmo pode-se dizer sobre os medidores de sub-circuitos que, apesar do

avanço da tecnologia, o tempo de integralização da medição ainda é insuficiente para a realização da desagregação de cargas, além da dificuldade de instalação nos quadros de disjuntores atuais.

A tecnologia que mais tem avançado no mundo é a técnica concentrada, através dos medidores inteligentes com módulos avançados de processamento, permitindo a desagregação e integralização do consumo, possibilitando maior precisão nas análises de consumo por equipamento. Neste trabalho foi apresentado que a técnica concentrada, baseada em desagregação por *software*, é a mais adequada e com maior potencial entre as três.

## Referências

- Abubakar, I., Khalid, S., Mustafa, M., Shareef, H. and Mustapha, M. (2017). Application of load monitoring in appliances' energy management - a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **67**: 235–245.
- Alahakoon, D. and Yu, X. (2016). Smart electricity meter data intelligence for future energy systems: A survey, *IEEE Transactions on Industrial Informatics* **12**(1): 425–436.
- Armel, K. C., Gupta, A., Shrimali, G. and Albert, A. (2013). Is disaggregation the holy grail of energy efficiency? the case of electricity, *Energy Policy* **52**: 213–234. Special Section: Transition Pathways to a Low Carbon Economy.
- Barai, G. R., Krishnan, S. and Venkatesh, B. (2015). Smart metering and functionalities of smart meters in smart grid - a review, *2015 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC)*, pp. 138–145.
- 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): 262–270.
- Companies offering NILM products and services* (2018).
- de Souza, W. A., Marafao, F. P., Liberado, E. V., Diniz, I. S. and Serni, P. J. A. (2015). Power quality, smart meters and additional information from different power terms, *IEEE Latin America Transactions* **13**(1): 158–165.
- Depuru, S. S. S. R., Wang, L., Devabhaktuni, V. and Gudi, N. (2011). Smart meters for power grid; challenges, issues, advantages and status, *2011 IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition*, pp. 1–7.
- Dong, M., Meira, P. C. M., Xu, W. and Freitas, W. (2012). An event window based load monitoring technique for smart meters, *IEEE Transactions on Smart Grid* **3**(2): 787–796.
- Durling, M., Ren, Z., Visnevski, N. and Ray, L. (2010). Cognitive electric power meter.
- Fernandes, R. A. S., da Silva, I. N. and Oleskovicz, M. (2013). Load profile identification interface for consumer online monitoring purposes in smart grids, *IEEE Transactions on Industrial Informatics* **9**(3): 1507–1517.
- 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.
- Hart, G. W. (1992). Nonintrusive appliance load monitoring, *Proceedings of the IEEE* **80**(12): 1870–1891.
- Ipakchi, A. and Albuyeh, F. (2009). Grid of the future, *IEEE Power and Energy Magazine* **7**(2): 52–62.
- Makonin, S., Popowich, F., Moon, T. and Gill, B. (2013). Inspiring energy conservation through open source power monitoring and in-home display, *2013 IEEE Power Energy Society General Meeting*, pp. 1–5.
- Opris, I. and Caracasian, L. (2013a). On the implementation of the functionalities of smart metering systems, *2013 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, *2013 12th International Conference on Environment and Electrical Engineering*, pp. 325–329.
- Platt, G., West, S. and Moore, T. (2015). The real-world challenges and opportunities of distributed generation, *2015 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, pp. 1112–1116.
- Rathmair, M. and Haase, J. (2013). Load identification and management framework for private households, *IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, pp. 5729–5734.
- Souza, W. A. (2016). *Estudo de Tecnicas de Analise e Tecnologias para o Desenvolvimento de Medidores Inteligentes de Energia Residenciais*, PhD thesis, FEEC/UNICAMP.
- Wong, Y. F., Sekercioglu, Y. A., Drummond, T. and Wong, V. S. (2013). Recent approaches to non-intrusive load monitoring techniques in residential settings, *2013 IEEE Computational Intelligence Applications in Smart Grid (CIASG)*, pp. 73–79.
- Zeifman, M. (2012). Disaggregation of home energy display data using probabilistic approach, *IEEE Transactions on Consumer Electronics* **58**(1): 23–31.
- Zheng, J., Gao, D. W. and Lin, L. (2013). Smart meters in smart grid: An overview, *2013 IEEE Green Technologies Conference (GreenTech)*, pp. 57–64.