

Desenvolvimento de um gerenciador de carga para programas de GLD indiretos utilizando o método *Particle Swarm Optimization*

Development of a load manager for indirect GLD programs using the Particle Swarm Optimization method

RESUMO

Bruno Eduardo Esteves de Lima
limab@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

Edson Aparecido Rozas Theodoro
edsontheodoro@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

Gerenciamento pelo lado da demanda (GLD) é uma atividade que tem por objetivo reduzir ou postergar o investimento em infraestrutura pela concessionária de energia elétrica. Por ser de fácil aplicação e baixo custo, esta técnica vem recebendo atenção de pesquisadores do setor público e privado. No Brasil, uma técnica de GLD utilizada pela ANEEL é a tarifa branca, uma tarifa do modelo time of use, que consiste em patamares de preço da tarifa que variam de acordo com horário e o dia da semana. Este trabalho tem por finalidade desenvolver um algoritmo capaz de gerenciar as cargas contidas em uma residência a fim de otimizar o consumo e minimizar os custos, com o diferencial da possibilidade de o consumidor fornecer o fator de inconveniência ao gerenciador, determinando o intervalo de tempo para o melhor acionamento das cargas e otimizando o algoritmo sem restringir a comodidade do consumidor.

PALAVRAS-CHAVE: Demanda. GLD. Inconveniência. Otimização. PSO.

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



ABSTRACT

Demand side management (DSM) is an activity that aims to reduce or delay investments in infrastructure by the electricity utility. Because of its easy application and low cost, it has been receiving attention from researches from the public and private sector. In Brazil, one GLD technique used by ANEEL is the white fare, a time of use fare, which consists in price levels that vary according to time and days of the week. This work aims to develop an algorithm capable of managing the loads contained in a home in order to optimize consumption and minimize costs, with the advantage of the possibility of the consumer inserting the inconvenience factor to the manager, this factor determines the interval of time for optimum load management, optimizing the algorithm without restricting consumer convenience.

KEYWORDS: Demand. Inconvenience. DSM. Optimization. PSO.

INTRODUÇÃO

Para combater a possibilidade de sobrecarga nas linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica, há duas estratégias a serem adotadas: expandir a capacidade de geração de eletricidade pelo lado do fornecedor, ou empregar medidas gerenciais nos recursos utilizados pelo lado da demanda (MOSTAFA, SHATSHAT, 2014).

Há diversos programas de gerenciamento de carga pelo lado da demanda, este trabalho utilizará o método a base de preço. Assim, o GLD aqui proposto implica em reduzir ou postergar o investimento em infraestrutura pela concessionária de energia elétrica, como observado na literatura (SILVA, AFFONSO, 2015).

Como exemplo da importância da ação desenvolvida neste trabalho observamos que estão sendo desenvolvidos diversos métodos de gerenciamento de consumo de energia elétrica utilizando a nova modalidade tarifária (tarifa branca) da ANEEL (SILVA, AFFONSO, 2015).

Métodos computacionais heurísticos evolutivos estão sendo aplicados para o desenvolvimento do gerenciamento de carga por possuírem uma inteligência computacional capaz de obter soluções para problemas de grande dimensão em tempo aceitável. O método *Particle Swarm Optimization* (PSO) têm chamado atenção dos pesquisadores, por ser de fácil implementação, necessitar de ajustes em poucos parâmetros, ter baixa complexidade computacional e ainda assim ser eficiente quando comparado com outros métodos de otimização heurístico (HASSAN, COHANIM, WECK, 2004; KENNEDY, EBERHART, 1995).

Portanto, com base nos recentes estudos sobre a tarifa variante no tempo e para que se diminua os gastos advindos do consumo de energia pela concessionária, este trabalho tem como finalidade elaborar uma ferramenta computacional que auxilie no gerenciamento de carga pelo consumidor, minimizando o grau de alterações solicitado ao consumidor no controle de carga.

MÉTODOS

O termo gerenciamento pelo lado da demanda (GLD), do inglês *demand side managment*, foi criado por Clark W. Gellings nos anos de 1980 e tem por objetivo aumentar a sustentabilidade da rede, remodelar o perfil de carga e, principalmente, reduzir o pico de demanda de carga, e por consequência, a redução do custo de operação do sistema.

Dentre as inúmeras técnicas de GLD, as principais são: deslocamento de carga, redução do pico, preenchimento de vale, conservação estratégica, crescimento estratégico e curva de carga flexível.

Foram desenvolvidos muitos programas para gerenciamento de controle de carga os quais podem ser divididos em duas frentes: programas a base de incentivo e programas a base de preço.

Este trabalho focará no programa a base de preço, no qual os consumidores ajustam seu consumo elétrico em resposta a uma tarifa variável. Assim, modificando a curva de carga de acordo com a intenção da concessionária.

Um dos programas a base de preço mais utilizado é o *Time of Use* (ToU), no qual a tarifa da energia elétrica varia ao longo do dia e em períodos do ano na tentativa de diminuir o pico da curva de carga do consumidor final (UEHARA et al, 2015; WANG et al, 2015).

No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) aprovou em 2016 a tarifa branca. Com esta tarifa, o consumidor tem a possibilidade de pagar valores diferentes em função da hora e do dia da semana em que consome a energia elétrica (ANEEL, 2019; SILVA, AFFONSO, 2015).

Consideram-se a existência de três modelos de cargas controláveis em uma residência: modelos de cargas variáveis básicas, modelos de cargas interrompidas e modelo de cargas de comutação contínua (GRADITI et al, 2015; VLOT, KNIGEE, HANSLOOTWEG, 2013).

Neste trabalho, o comportamento das cargas pode ser modelado como uma função gaussiana, Equação 1, de modo que servirá tanto para as cargas variáveis básicas quanto para as cargas interrompidas e cargas de comutação contínua.

$$P_a(t) = ae^{-\frac{(t-b)^2}{2c^2}} \quad (1)$$

Para adotar este modelo, o desvio padrão da função gaussiana ($2c^2$) é representado pelo tempo do ciclo de trabalho para cada aparelho, o valor de pico (a) é tomado como a potência máxima fornecida pelo equipamento e o parâmetro do valor médio (b) pode ser comparado com a metade do tempo de ciclo de trabalho da carga (GRADITI, 2015).

Para este trabalho, a proposta para o gerenciamento de carga pelo lado da demanda estipula um horário de acionamento para cada equipamento controlável, a fim de aproximar a curva de carga de residência da curva objetivo, sendo adicionado o fator de inconveniência que será abordado posteriormente. A fórmula desta proposta está expressa na Equação 2.

$$F_{obj} = \min(\sum_{t=1}^{N=24} (P_{carga}(t) - P_{obj}(t))^2 + Inc) \quad (2)$$

O consumo atual pode ser definido como a somatória de todos os equipamentos ligados no tempo t , expresso pela Equação 3.

$$P_{carga}(t) = P_{básica}(t) + P_{int}(t) + P_{chav}(t) + P_{nc}(t) \quad (3)$$

Pela análise da equação acima, $P_{básica}(t)$ corresponde as cargas variáveis básicas conectadas no tempo t , $P_{int}(t)$ corresponde as cargas interrompidas que estão ligadas no tempo t , $P_{chav}(t)$ representa as cargas de chaveamento contínuo e $P_{nc}(t)$ representa as cargas não controláveis.

A curva objetivo tem como intuito minimizar os custos de energia dos consumidores, por isso é modelada como uma curva inversamente proporcional aos preços de energia, conforme Equação 4.

$$P_{obj}(t) = \frac{C_m}{C_{max}} \times \frac{1}{C(t)} \times \sum_{s=1}^{N=24} P_{nc}(s) \quad (4)$$

Onde:

C_m – média do valor da tarifa ao longo do dia;

C_{max} – preço máximo da tarifa no período;

$C(t)$ – preço da tarifa no instante de tempo t .

O fator de inconveniência mencionada anteriormente tem por finalidade diminuir o desconforto causado pelo deslocamento de carga ao consumidor. Este desconforto depende da duração do deslocamento e da preferência de acionamento das cargas pelo consumidor (JAYADEV, SWARUP, 2013).

$$Inc = \sum_{i=1}^K (t_{ac}(i) - t_{des}(i))^2 \quad (5)$$

Métodos de otimização para solução de problemas matemáticos são utilizados na determinação de estratégias de deslocamento de carga em GLD. O algoritmo proposto se caracteriza pelo agendamento para o dia seguinte, assim se obtém um cronograma otimizado de consumo de cargas controláveis.

O método de otimização PSO foi desenvolvido através da análise do comportamento de bandos em busca de alimento. Seu algoritmo detalhado e o teste de validação para aplicação no gerenciamento de carga pelo lado da demanda foi estudado e apresentado pelo mesmo autor no SICITE 2018, intitulado Estudo e desenvolvimento do método *Particle Swarm Optimization* para solução de problemas de otimização em GLD.

RESULTADO E DISCUSSÃO

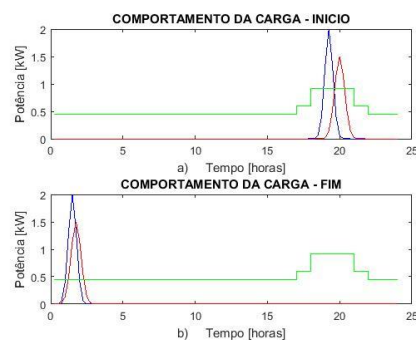
Para teste de validação do gerenciador de carga em uma residência utilizando o algoritmo PSO, primeiramente é necessário deslocar duas cargas.

O comportamento da tarifa variável é modificado semelhante as tarifas variáveis sugeridas pela ANEEL, no qual pode ser identificada pela curva verde na Figura 1.

A carga 1, em azul, possui potência máxima de 2 kW e seu tempo de ciclo é de 2:30 horas, seu acionamento inicial é em t=18:00. Já para a carga 2, em vermelho, a potência máxima é de 1,5 kW e tempo de ciclo de trabalho de 3:00 horas, seu tempo de acionamento é em t=18:30.

Aplicando o gerenciamento de carga, o objetivo é realocar a carga do instante de maior valor da tarifa para o instante de menor valor. A solução encontrada pelo algoritmo PSO pode ser analisada na Figura 1.

Figura 1 – PSO aplicado na função objetivo a) Inicial; b) Final.



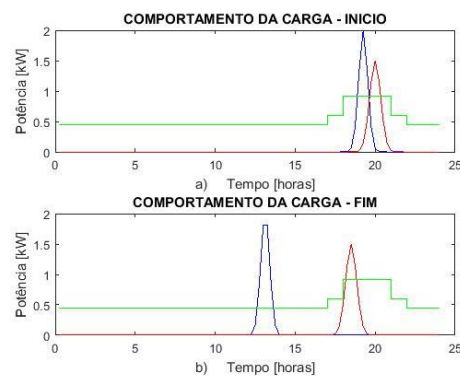
Fonte: Autoria própria.

Pela análise da Figura 1 é possível concluir que o algoritmo PSO está conseguindo gerenciar as cargas, retirando-as do instante de maior preço da tarifa

e alocando as cargas no momento em que a tarifa é menor. Porém, o gerenciador realocou as cargas para 1:00 hora da manhã, podendo ser inconveniente para alguns consumidores. Na tentativa de conciliar o gerenciador com o conforto do consumidor, é inserido o fator de inconveniência no qual o consumidor escolhe o intervalo para o melhor acionamento de suas cargas.

A Figura 2 representa o comportamento do algoritmo no gerenciamento de cargas quando inserido o fator de inconveniência. Para a carga 1, o intervalo para o melhor acionamento foi das 8:30 as 17:00 e para a carga 2 foi das 17:30 as 21:00.

Figura 2 – PSO aplicado na função objetivo com fator de inconveniência a) Inicial; b) Final.



Fonte: Autoria própria.

Analisando a Figura 2, pode notar que o instante de acionamento da carga 1 foi em $t = 12:30$ horas, enquanto para a carga 2 o instante de acionamento foi em $t = 17:15$ horas. Com isso, o algoritmo realocou as cargas para o instante de menor valor da tarifa dentro do intervalo de comodidade informado pelo consumidor, validando o gerenciador.

Não foi possível expor o comportamento do gerenciador de cargas aplicado em uma residência completa, sendo assim, será dado sequência ao estudo posteriormente e os resultados obtidos serão apresentados no trabalho de conclusão de curso do autor.

CONCLUSÃO

Com base nos resultados realizados sobre o comportamento do gerenciador de carga pelo lado da demanda, aplicado em apenas duas cargas, é possível determinar que o gerenciador de carga é capaz de controlar as cargas em uma residência a fim de minimizar os custos advindo do consumo de energia elétrica, visto que há patamares na tarifa de energia no qual o gerenciador de carga determina o melhor instante para acionar as cargas. Quando inserido o fator de inconveniência, o gerenciador de carga se mantém capaz de realocar as cargas e determinar o melhor instante de acionamentos dentro do intervalo desejado.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Programa de Voluntariado em Iniciação Científica (PVICT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – campus Cornélio Procópio.

REFERÊNCIAS

MOSTAFA, H. A.; SHATSHAT, R. E. **A Review on Energy Management Systems.** IEEE PES T&D Conference and Exposition, pp. 1-5. 2014.

SILVA, R. V.; AFFONSO, C. M. **Demand Side Management of a Residential System using Simulated Annealing.** IEEE Latim America Transactions, vol.13. IEEE. 2015.

HASSAN, R.; COHANIM, B.; WECK, O. **A comparison of particle swarm optimization and the genetic algorithm.** 46th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference. 2004.

KENNEDY, J.; EBERHART, R. **Particle Swarm Optimization.** Proceeding of the IEEE International Conference of Neural Network, pp. 1942-1945, Perth, Australia, 1995.

UEHARA, T. et al. **Frequency Control using Real-Time Pricing for Isolated Power Systems.** International Conference on Power Electronics. Korea, 2015.

WANG, Y. et al. **Load profiling and Its Application to Demand Response: A Review.** Tshinghua Science and Technology, vol. 20, pp. 117-129, China, 2015.

ANEEL. **Tarifa branca é a nova opção para quem tem consume acima de 250 kW/h.** Disponível em: http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/tarifa-branca-e-nova-opcao-para-quem-tem-consumo-acima-de-250-kwh/656877?inheritRedirect=false, Acesso em 16/05/2019.

GRADITI, G. et al. **Heuristic-Based Shiftable Loads Optimal Management in Smart Micro-Grid.** IEEE Transations on Industrial Informatics, vol. 11, pp. 271-280, IEEE, 2015.

VLOT, M. C.; KNIGEE, J. D.; HANSLOOTWEG, J. G. **Economical Regulation Power through Load Shifting with Smart Energy Appliance.** IEEE Transations on Smart Grid, vol. 4, IEEE, 2013.

JAYADEV V, K.; SWARUP, K. S. **Optimization in Microgrid with demand side management using Genetic Algorithm.** IET Conference on Power in Unity: A whole system approach, pp. 1-6, London, 2013.