

FERRAMENTA DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA PARA CONSUMIDORES RESIDENCIAIS

DRIELE P. S. RIBEIRO, LUIZ C. P. DA SILVA

*Departamento de Sistemas de Energia, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação
Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP
Av. Albert Einstein, 400, Campinas/Brasil - CEP: 13083-852
E-mails: driele@dsee.fee.unicamp.br, lui@dsee.fee.unicamp.br*

Abstract— This work presents an energy management tool that makes a suggestion of the consumption in a residence, minimizing the electrical energy cost. This tool has an interface that allows the user to fill their characteristics and constraints. The user can select his tariff mode, tariff flag, city/month of the year and power generation. In addition, it is possible to choose the number of some appliances, possible times of use and the limits for adjusting the air-conditioning system. The program provides the best times to use the pool pump, dishwasher, washing machine, rechargeable devices, electric shower, hair dryer and rice cooker. Also suggests hourly temperatures for adjusting the air-conditioning system, and shows the daily electricity price and savings if the suggestions are followed.

Keywords— Energy efficiency, Energy management, Efficient use of energy, Renewable energy.

Resumo— Este trabalho apresenta uma ferramenta de gerenciamento de energia que faz uma sugestão do consumo em uma residência, minimizando o custo da energia elétrica. Essa ferramenta possui uma interface que permite ao usuário preencher suas características e restrições. O usuário pode selecionar sua modalidade tarifária, bandeira tarifária, cidade/mês do ano e geração de energia. Também é possível escolher a quantidade de alguns equipamentos, os possíveis horários de uso e os limites de ajuste para o sistema de ar-condicionado. O programa fornece os melhores horários de utilização da bomba da piscina, lavadora de louças, lavadora de roupas, aparelhos recarregáveis, chuveiro elétrico, secador de cabelo e panela elétrica. Também sugere as temperaturas de ajuste do sistema de ar-condicionado a cada hora, e mostra o preço diário que será gasto com energia elétrica caso as sugestões sejam seguidas.

Palavras-chave— Eficiência energética, Gerenciamento de energia, Uso eficiente da energia, Energia renovável.

1 Introdução

Em 2014, o consumo de eletricidade no Brasil registrou um aumento de 2,9%, de acordo com o Balanço Energético Nacional (EPE, 2015). A participação da principal fonte de energia elétrica, a hidrelétrica, diminuiu nos últimos anos, de 84,5% em 2012 para 79,3% em 2013 e 65,2% em 2014, apesar do aumento de 3,7% na capacidade instalada. Isso aconteceu porque o Brasil enfrentou condições climáticas desfavoráveis a esse tipo de geração. Para suprir a demanda de energia, a geração termelétrica foi utilizada, aumentando sua participação em 18% em 2014 (EPE, 2015). Esse tipo de geração, além de ser poluente, é mais cara. Essa diferença de preço passou a ser repassada para o consumidor, em 2015, através do sistema de bandeiras tarifárias. Esse sistema prevê adicionais na tarifa de energia para condições menos favoráveis de geração (ANEEL, 2012a, 2012b). Tudo isso incentiva o aumento tanto da diversificação do parque gerador quanto do uso mais inteligente da energia elétrica.

Mesmo as fontes renováveis concentram sua geração de forma centralizada, ou seja, em parques geradores com localização afastada dos centros de consumo (Alcântara, 2014). Outra forma de geração de energia, chamada de geração distribuída (GD), é uma alternativa que leva a geração para perto do consumidor, possibilitando que este gere sua própria energia e

disponibilize o excedente para a rede elétrica (Ackermann *et al.*, 2001; Pepermans *et al.*, 2005). Recentemente, esse tipo de geração se tornou uma opção também para consumidores de baixa tensão.

No Brasil, a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 482 (ANEEL, 2012c) em 2012 e sua atualização (ANEEL, 2015c) em 2015, regulamentando o uso de GD na baixa tensão. Essa resolução define microgeração distribuída, minigeração distribuída e o sistema de compensação de energia elétrica. Esse sistema pode ser considerado uma forma do consumidor armazenar sua energia excedente na rede, porque o preço dessa energia pode ser abatido em contas futuras.

Aliado à diversificação da geração, o uso mais inteligente da energia elétrica se torna necessário para vencer crises energéticas. No Brasil, existia apenas um tipo de tarifa para consumidores residenciais: a tarifa convencional, fixa ao longo do dia. Porém, em 2011 foi aprovada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) a implantação de uma tarifa horária para consumidores residenciais, a tarifa branca. Nela, o valor da cobrança varia ao longo do dia, sendo maior nos horários de ponta. (ANEEL, 2012a, 2012b)

A maneira pela qual o consumidor residencial usa a energia elétrica sofrerá mudanças no futuro próximo, por exemplo, através da possibilidade de geração própria e de novas alternativas tarifárias. Uma forma de aperfeiçoar esses novos hábitos de consumo consiste no gerenciamento ótimo do uso da eletricidade, fazendo o deslocamento de carga em função da tarifa e da quantidade de geração própria ao longo do

dia. Um sistema de gerenciamento de energia não é um conceito novo, porém vem se tornando cada vez mais interessante para consumidores de baixa tensão, à medida que a resposta da demanda, a redução do consumo no horário de pico e o gerenciamento pelo lado da demanda se fazem presentes. (Amer *et al.*, 2014)

Neste contexto, este trabalho apresenta uma ferramenta que sugere para o consumidor um cronograma de utilização de alguns equipamentos em uma residência, visando reduzir os gastos com energia elétrica. O que o cronograma vai sugerir depende do tipo de equipamento que vai ser otimizado, podendo ser o horário de funcionamento do equipamento ou o ajuste horário de seus parâmetros.

2 Tipos de carga

Existem dois principais tipos de carga: gerenciáveis e não-gerenciáveis. Cargas gerenciáveis são aquelas que apresentam um uso flexível e por isso podem ser gerenciadas. Cargas não gerenciáveis são aquelas que precisam ser utilizadas no momento exato da necessidade do usuário, como por exemplo, iluminação. As cargas gerenciáveis podem ser divididas em (Soares, 2012):

- Cargas com ajustes de parâmetros: cargas que tem a possibilidade de ajustes de parâmetros, como o ajuste de temperaturas;
- Cargas deslocáveis: cargas que podem ser utilizadas em vários períodos do dia.

A escolha do grupo para cada carga não é necessariamente fixa. É possível sugerir o horário de uso, mesmo para cargas não gerenciáveis, ficando a critério do consumidor aceitar esta sugestão ou não, uma vez que pode haver perda de conforto.

3 Ferramenta de gerenciamento de energia

A ferramenta para o gerenciamento de energia proposta neste artigo tem o objetivo de sugerir ao consumidor um cronograma de uso de alguns equipamentos. Nela, é possível gerenciar o uso de algumas cargas deslocáveis e uma carga com ajustes de parâmetros. O controle automático das cargas pode ser uma opção, mas não é o foco deste trabalho.

A figura 1 apresenta um protótipo de uma interface para essa ferramenta, desenvolvido em MATLAB R2015b.

As cargas deslocáveis presentes na ferramenta são: chuveiro elétrico; secador de cabelo; bomba da piscina; lavadora de louças; lavadora de roupas; panela elétrica; e aparelhos recarregáveis. Para essas cargas o usuário pode preencher a quantidade e as possíveis horas de funcionamento, e a ferramenta responde a hora do dia para sua melhor utilização. O usuário também tem a opção de colocar zero no campo quantidade. Como exemplo, a figura 2 dá um zoom na parte da interface referente ao chuveiro elétrico.

Figura 2. Campo da interface referente ao chuveiro elétrico.

A carga com ajustes de parâmetros é um sistema de ar-condicionado do tipo *heating, ventilation, and air conditioning* (HVAC). Os parâmetros ajustados pela ferramenta são as temperaturas de aquecimento e resfriamento do controle do ar condicionado, para cada hora do dia. O ajuste dessas temperaturas produz

Figura 1. Protótipo da interface da ferramenta

impacto no consumo do ar-condicionado. O usuário pode escolher as temperaturas mínima e máxima que ele aceita para cada ajuste. A temperatura de aquecimento deve ser sempre menor que a de resfriamento e as temperaturas mínimas devem ser menores que as máximas. A figura 3 dá um zoom no campo da interface correspondente ao sistema de ar-condicionado.

Figura 3. Campo da interface referente ao ar-condicionado

O usuário também pode definir a modalidade tarifária, a bandeira tarifária, a cidade em que ele está alocado e a geração distribuída. As modalidades tarifárias disponíveis são: tarifa convencional e tarifa branca. O campo bandeira tarifária define os acréscimos à tarifa. A seleção da cidade permite acessar os dados de clima e tarifa correspondentes. No campo geração distribuída, pode-se adicionar geração solar e eólica ao sistema. As figuras 4, 5 e 6 mostram os campos modalidade tarifária, bandeira tarifária, cidade e geração distribuída.

Figura 4. Campos Modalidade Tarifária e Bandeira Tarifária

Figura 5. Campo Cidade

Figura 6. Campo Geração Distribuída

Também existe um campo que define o preço diário referente a solução encontrada e o botão calcular, que deve ser pressionado depois do preenchimento pelo usuário.

4 Metodologia de funcionamento

As especificações de cada equipamento foram incluídas na ferramenta, e são fixas nessa versão. Futuramente, as especificações poderão ser incluídas pelo usuário.

4.1 Modalidade Tarifária

Existem duas opções de tarifa: Convencional e Branca. Os valores dessas tarifas, para as cidades presentes na ferramenta, ficam armazenados em um banco de dados. O banco de dados atual contém as tarifas de junho de 2015 para três cidades brasileiras. (ANEEL, 2015a, 2015b)

4.2 Cidade

A informação da cidade define os dados de tarifa e clima que vão ser selecionados. A seleção da tarifa é feita pelo campo cidade e pelo campo modalidade tarifária. Para o clima, o programa contém um banco de dados de algumas cidades principais em alguns meses do ano. Esses dados são do Departamento de energia dos EUA (DOE, sem data) e contém as médias de vários anos para cada mês.

4.3 Geração Distribuída

No campo Geração Distribuída pode-se incluir dois tipos de geração: Painel Fotovoltaico e Turbina Eólica. O painel fotovoltaico tem 25m² de área e 3500W de pico de geração. A turbina eólica é de 5kW.

A geração de energia elétrica é calculada a partir dos dados climáticos, através de um software de simulação: o GridLAB-D. O GridLAB-D é um simulador para sistemas de distribuição desenvolvido pelo Pacific Northwest National Laboratory do Departamento de Energia dos Estados Unidos, e é capaz de simular sistemas de potência, sistemas de controle, mercado e edifícios (Chassin, 2008).

4.4 Cargas Deslocáveis

As características de consumo de cada carga deslocável são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1. Características de consumo das cargas deslocáveis

Equipamento	Características de consumo
Chuveiro elétrico	Posição 1: 3000W, Posição 2: 5000W, Posição 3: 7500W, Duração do banho – 15 minutos
Secador de cabelo	1200W, duração de uso – 10 minutos
Bomba da piscina	1 cv
Lavadora de louças	0,78 kWh por ciclo de 2 horas
Lavadora de roupas	0,3 kWh por ciclo de 2 horas
Panela elétrica	700 W, duração de uso – 30 minutos
Recarregáveis	21 W, duração de uso – 1 hora

A solução é encontrada através da geração de 10.000 soluções diferentes e da seleção da melhor entre elas, ou seja, a que fornece o menor valor para a equação 1. Por serem cargas deslocáveis, essa decisão não é muito complexa, e esse método simples se mostrou rápido e eficaz.

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^S E_i(t).C(t) - G_i(t).C(t) \quad (1)$$

Onde: $E_i(t)$ é a energia consumida a cada período de tempo, $G_i(t)$ é a energia gerada a cada período de tempo, $C(t)$ é o custo da energia a cada período de tempo, T é o tempo de simulação e S representa cada elemento, podendo ser cargas deslocáveis, GD ou outras cargas que tem consumo fixo.

4.5 Ar-condicionado

O sistema de ar-condicionado é um sistema HVAC. Seu consumo de energia elétrica depende do clima e da temperatura. Para fazer essa simulação de consumo, também é usado o software de simulação GridLAB-D.

O usuário pode escolher incluir ou não essa simulação, e pode escolher os ajustes de parâmetros mínimos e máximos aceitáveis. Os parâmetros definidos pelo programa são os ajustes das temperaturas de aquecimento e resfriamento do HVAC.

A solução para o ar-condicionado é mais complexa, e cada possível solução demanda tempo para ter seu consumo calculado, por usar o GridLAB-D. Por esses motivos, foi escolhido um método de otimização heurístico para apresentar a melhor solução: a Otimização por Enxame de Partículas.

Otimização por Enxame de Partículas, do inglês *Particle Swarm Optimization* (PSO), é um método de implementação simples e consegue chegar em soluções quase-ótimas em um tempo computacional aceitável. Nesse algoritmo, cada partícula representa uma possível solução e possui posição e velocidade. O alvo que deve ser focado é indicado pela função fitness, que avalia o desempenho das partículas. As posições e velocidades das partículas são iniciadas aleatoriamente. Os valores do fitness de cada partícula e o melhor fitness são armazenados. Depois, elas se movem de acordo com as equações 2 e 3, em torno do espaço de soluções. A cada iteração, os fitness de todas as partículas são recalculados e as melhores posições são atualizadas se necessário. O melhor final global para a simulação é tomado como solução do problema (Eberhart e Kenedy, 1995; Eberhart *et al.*, 1996).

$$V(k+1) = w.V(k) + c_1.Rnd.(pbest - x(k)) + c_2.Rnd.(gbest - x(k)) \quad (2)$$

$$x(k+1) = x(k) + V(k+1) \quad (3)$$

Onde: $V(k)$ é a velocidade da partícula; $x(k)$ é a posição da partícula; w , c_1 e c_2 são os pesos dos momentos das partículas; Rnd é um número aleatório entre 0 e 1;

$pbest$ é o ótimo local da partícula; e $gbest$ é o ótimo global.

A função fitness tem o objetivo de diminuir o custo do consumo do HVAC e é representada pela equação 4. Na ferramenta são usadas 50 partículas e 20 iterações.

$$\sum_{t=1}^T E_{HVAC}(t).C(t) \quad (4)$$

Onde: $E_{HVAC}(t)$ é a energia consumida pelo sistema HVAC; $C(t)$ é o custo da energia a cada período de tempo e T é o tempo de simulação.

4.6 Preço diário

O preço diário é calculado somando os valores das funções fitness das cargas deslocáveis e do HVAC. Ele aparece depois que o usuário preenche os pré-requisitos e clica no botão “calcular”. O consumo das outras cargas que não entram na simulação, mas compõem o preço diário, é definido pela Curva de Carga Diária Média da região da cidade escolhida, presente em (ELETROBRÁS e PROCEL, 2007). Vale observar que se o preço diário apresentar um valor negativo significa que o sistema de compensação de energia está sendo utilizado.

5 Resultados

Foram simulados 2 cenários diferentes para diferentes climas, conforme tabela 2. Para os 2 cenários, os campos do programa foram preenchidos conforme a tabela 3 e tabela 4.

Tabela 2. Características dos cenários simulados

Cenário 1	Cidade: Santa Maria – Julho GD: Pannel fotovoltaico e Turbina Eólica Posição do seletor de temperatura do chuveiro: 3
Cenário 2	Cidade: Belém – Novembro GD: Pannel fotovoltaico Posição do seletor de temperatura do chuveiro: 1

Tabela 3. Características comuns dos cenários simulados

Campo	Preenchimento
Modalidade Tarifária	Branca
Bandeira Tarifária	Verde
Ar-condicionado: aquecimento mínimo	17°C
Ar-condicionado: aquecimento máximo	21°C
Ar-condicionado: resfriamento mínimo	22°C

Ar-condicionado: resfriamento máximo	25°C
--------------------------------------	------

Tabela 4. Características comuns dos cenários simulados - equipamentos

Equipamento	Possíveis horas de funcionamento	Quantidade diária
Bomba da piscina	Das 6h às 22h	8
Lavadora de louças	Das 15h às 18h e das 21h às 24h	1
Lavadora de roupa	Das 7h às 12h e das 15h às 20h	1
Recarregáveis	Das 0h às 10h e das 22h às 24h	1
Chuveiro elétrico	Das 7h às 9h, das 12h às 14h e das 18h às 23h	4
Secador de cabelo	Vinculado ao horário de banho	2
Panela elétrica	Das 8h às 12h e das 16h às 20h	1

Para cada cenário foi criado um caso base para comparação. Os 2 casos base apresentam os hábitos de consumo da tabela 5.

Tabela 5. Hábitos de consumo do caso base

Equipamento	Características do caso base
Bomba da piscina	Fica ligada das 7h às 15h
Lavadora de louças	Liga às 20h
Lavadora de roupa	Liga às 13h
Recarregáveis	Liga às 22h
Chuveiro elétrico	2 banhos entre 7h e 8h e 2 banhos entre 18h e 19h
Secador de cabelo	2 usos entre 18h e 19h
Panela elétrica	Liga às 19h
Ajustes de temperatura	Aquecimento: 20,6°C Resfriamento: 23,3°C

O custo de um dia de consumo para o caso base do cenário 1 ficou em R\$9,74 e para o cenário 2 ficou em R\$12,61.

5.1 Cenário 1

A tabela 6 e a figura 7 mostram os resultados para o cenário correspondente à cidade de Santa Maria.

Tabela 6. Sugestão do horário de uso dos equipamentos

Equipamento	Sugestão de horário de uso
Bomba da piscina	Das 6h às 8h e das 10h às 16h.
Lavadora de louças	23h
Lavadora de roupa	7h
Recarregáveis	9h

Chuveiro elétrico	Dois banhos entre 8h e 9h, um banho entre 13h e 14h, um banho entre 22h e 23h
Secador de cabelo	Um uso entre 8h e 9h e um uso entre 13h e 14h
Panela elétrica	8h

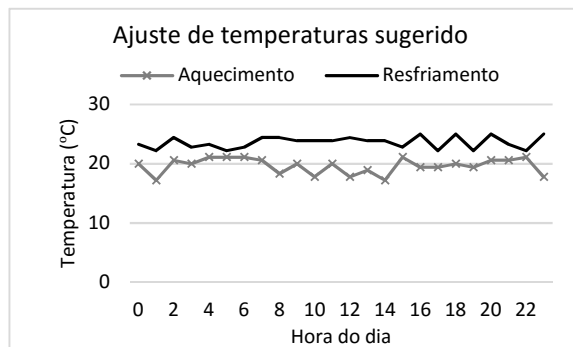


Figura 7. Ajuste de temperaturas do HVAC sugerido

O preço diário do resultado para o cenário 1 é R\$4,67.

5.2 Cenário 2

A tabela 7 e a figura 8 mostram os resultados para o cenário correspondente à cidade de Belém.

Tabela 7. Sugestão do horário de uso dos equipamentos

Equipamento	Sugestão de horário de uso
Bomba da piscina	Das 7h às 9h, das 10h às 13h e das 14h às 17h.
Lavadora de louças	22h
Lavadora de roupa	8h
Recarregáveis	22h
Chuveiro elétrico	Um banho entre 12h e 13h, um banho entre 13h e 14h, dois banhos entre 22h e 23h
Secador de cabelo	Um uso entre 12h e 13h e um uso entre 22h e 23h
Panela elétrica	16h

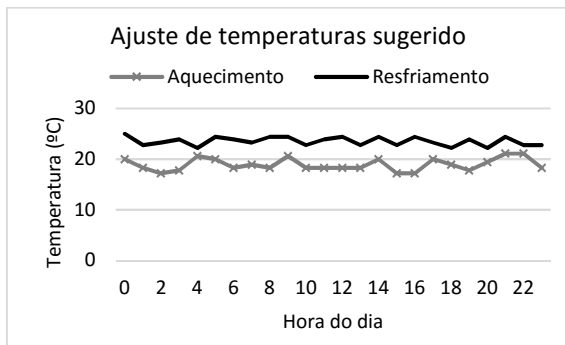


Figura 8. Ajuste de temperaturas do HVAC sugerido

O preço diário desse resultado é de R\$11,13.

6 Conclusão

Apesar da crescente dificuldade de geração de energia elétrica e o impacto disso com o aumento das tarifas, o consumidor residencial brasileiro começa a ter alternativas para fazer a gestão do seu consumo. A GD está se tornando realidade em residências e a tarifa branca já está aprovada pela ANEEL.

Pensando nessas interações diferentes, criamos uma ferramenta para gerenciar os hábitos de consumo de um consumidor residencial que minimiza os gastos com energia elétrica. Foi criado um método simplificado para definir o melhor horário de consumo de algumas cargas, que se mostrou rápido e de eficiência suficiente para encontrar respostas. Para o sistema HVAC, foi usado um método de otimização (PSO) combinado com um software de simulação de consumo. Esse método é necessário para encontrar um consumo próximo à realidade, mas demanda mais tempo para ser resolvido.

Existem várias respostas que minimizam o custo. Com esse método de busca, o usuário pode encontrar várias respostas diferentes a cada cálculo realizado pela ferramenta, podendo escolher a que melhor lhe agrada.

A ferramenta foi testada para dois cenários diferentes, sendo o cenário 1 para Santa Maria no mês de julho e o cenário 2 para Belém no mês de novembro. Os resultados mostram que os horários de consumo propostos estão sempre fora dos períodos intermediário e de ponta. Como a ferramenta prevê a utilização do sistema de compensação de energia, pode haver consumo em horários de menor geração.

Em relação ao HVAC a ferramenta fornece os ajustes horários de temperatura, que é a informação necessária para a utilização do aparelho. Mas com esses ajustes não é possível concluir sobre seu consumo. Como o ar-condicionado é uma carga térmica, ajustes em que as temperaturas de aquecimento e resfriamento são mais próximas não consomem necessariamente mais energia, pois esse consumo também depende da temperatura ambiente.

Por fim, em ambos os cenários houve uma redução de custo em relação ao caso base. Para o cenário 1 essa redução foi de 52% e para o cenário 2 foi de 11,7%. A diferença entre os dois casos aconteceu principalmente porque o consumo do chuveiro elétrico no cenário 1 é muito maior do que o do cenário 2. Isso mostra que a economia que a ferramenta proporciona está muito ligada às características e aos hábitos de consumo atuais do consumidor.

Referências Bibliográficas

- Ackermann, T.; Andersson, G. and Söder L. (2001). Distributed generation: a definition. *Electric Power Systems Research*, Vol. 57, No. 3; pp. 195-204.
- Alcântara, M. V. P. (2014). Conservação de energia em rede inteligente. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas.
- Amer, M.; Naaman, A.; M'Sirdi, N. K.; Elzonkoly, A. M. (2014). Smart Home Energy Management. In: 2nd Renewable Energy for Developing Countries. Beirut: IEEE, pp. 167-173.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (2012a). Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica – Resolução Normativa Nº 414/2010: atualizada até a REN 499/ 2012. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília - DF.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (2015a). Resolução Homologatória Nº 1.858, de 27 de fevereiro de 2015. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica - DF.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (2015b). Resolução Homologatória Nº 1.879, de 14 de abril de 2015. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica - DF.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (2012b). Resolução Normativa Nº 479, de 3 de abril de 2012. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica - DF.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (2012c). Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica - DF.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (2015c). Resolução Normativa Nº 687, de 24 de novembro de 2015. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica - DF.
- Chassin, D. P.; Schneider, C. and Gerkenmeyer, C. (2008). GridLAB-D: An open-source power systems modeling and simulation environment. In: IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition. Chicago: IEEE, pp. 1-5.
- DOE - U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, Weather Data. Disponível em: https://energyplus.net/weather-region/south_america_wmo_region_3/BRA%20%20 (Acessado em 3 de maio de 2016).
- ELEROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.; PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia (2007). Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso – Ano base 2005. Eletrobrás/PROCEL: Rio de Janeiro – RJ.
- Eberhart, R.C. e Kennedy J. (1995). A new optimizer using particle swarm theory. Em: 6th Int. Symp. Micro Machine and Human Science. Nagoya: IEEE, pp. 39-43
- Eberhart, R.C.; Simpson, P. e Dobbins, R. (1996). Computational Intelligence PC tools. AP Professional, San Diego – CA.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética (2015). Balanço Energético Nacional 2015: Ano Base 2014. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro – RJ.
- Pepermans, G.; Driesen, J.; Haeseldonckx, D.; Belmans, R. and D'haeseleer, W (2005). Distributed generation: definition, benefits and issues. *Energy Policy*, Vol. 33, No. 6; pp. 787-798.
- Soares, A; Gomes, A. and Antunes C.H. (2012). Domestic load characterization for demand-responsive energy management systems. In: 2012 IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology (ISSST). Boston: IEEE, pp. 1-6