



## **GERENCIAMENTO PELO LADO DA DEMANDA APLICADO À SISTEMAS INDUSTRIAIS: METODOLOGIAS E DESAFIOS**

**Alexandre L. Zortea**

Laboratório de Eletrônica de Potência e Acionamento Elétrico, Depto. de Engenharia Elétrica,  
Universidade Federal do Espírito Santo, 29075-210, Vitória, ES, BRASIL  
alexandreluiz32@hotmail.com

**Jussara F. Fardin**

Laboratório de Eletrônica de Potência e Acionamento Elétrico, Depto. de Engenharia Elétrica,  
Universidade Federal do Espírito Santo, 29075-210, Vitória, ES, BRASIL  
E-mail: jussara.fardin@ufes.br

**Helder R. O. Rocha**

Universidade Federal do Espírito Santo – Campus São Mateus, São Mateus, ES, BRASIL  
E-mail: helder.rocha@ufes.br

**Rodrigo Fiorotti**

Instituto Federal do Espírito Santo, 29932-540, São Mateus, ES, BRASIL  
E-mail: rodrigo.fiorotti@ifes.edu.br

### **RESUMO**

Em um ambiente *Smart Grid*, o gerenciamento pelo lado da demanda se apresenta como uma ferramenta extremamente eficaz para melhoria do desempenho da rede elétrica juntamente com benefícios ao consumidor. Nos mercados atuais de energia, as indústrias são os principais consumidores de eletricidade, se apresentando então com um enorme potencial para desenvolvimento de programas de gerenciamento pelo lado da demanda. Porém, diversos desafios devem ser enfrentados visto que os processos industriais, em sua maioria, são extremamente complexos e integrados. Este artigo apresenta as diferentes metodologias utilizadas bem como os principais desafios a serem enfrentados nos programas de gerenciamento pelo lado da demanda em sistemas industriais.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Smart Grid*, Gerenciamento pelo lado da demanda, Sistemas industriais.

**Tópicos:** Energia elétrica, Indústrias

### **ABSTRACT**

In a Smart Grid environment, demand-side management presents itself as an extremely effective tool for improving grid performance along with consumer benefits. In today's energy markets, industries are the major consumers of electricity, presenting themselves with huge potential for development of demand side management programs. However, a number of challenges have to be faced since industrial processes are, for the most part, extremely complex and integrated. This article presents the different methodologies used as well as the main challenges to be faced in the programs by the demand-side management in industrial systems.

**KEYWORDS:** Smart Grid, Demand-Side Management, Industrial systems.

**Paper topics:** Electricity, Industries



## 1. Introdução

Com o surgimento de novas tecnologias e o crescimento das unidades de geração distribuída (GD's), o processo de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica vem sofrendo diversas mudanças, com destaque para a maior facilidade no monitoramento e comunicação da rede e a inserção de pequenas unidades geradoras de energia mais próximas dos centros de consumo. Um passo importante neste processo foi o fortalecimento das Microrredes (*Microgrids*), que têm permitido o desenvolvimento do conceito de Redes Inteligentes (*Smart grids*). As *Smart grids* podem ser definidas como microrredes que possuem sistemas de comunicação e controle entre seus elementos, possibilitando o uso eficiente e otimizado da energia elétrica [Hadjsaid e Sabonnadière 2013].

Um dos desafios das *Smart Grids* é o gerenciamento pelo lado da demanda (GLD ou DSM, do inglês *Demand-Side Management*), que consiste em ações de planejamento, implementação e monitoramento do uso da energia elétrica pelo lado do consumidor, cujo objetivo é operar o sistema com maior eficiência e sustentabilidade. Para alcançar tais objetivos, a principal tarefa dos programas de GLD é a diminuir o consumo de energia elétrica nos horários de pico, utilizando basicamente seis categorias de gestão de cargas: redução do pico, preenchimento de vales, deslocamento de carga, conservação estratégica, crescimento estratégico e curva de carga flexível [Gellings e Chamberlin 1993]. Geralmente, aplica-se um destes métodos ou até mesmo a combinação deles no desenvolvimento dos algoritmos.

Ademais, com a crescente participação das energias renováveis na matriz energética, principalmente a eólica e a fotovoltaica, a aplicação do GLD se torna ainda mais importante para adaptação do consumo aos perfis de geração destas fontes devido sua natureza estocástica [Lindberg et al. 2014].

O GLD pode ser visto de duas óticas distintas: a ótica do operador da rede e a do consumidor. Pelo lado do operador, o objetivo principal é aumentar a eficiência e garantir a estabilidade da rede elétrica com a redução da demanda de pico. Já para o consumidor, o objetivo é simplesmente a economia com a tarifa de energia. Porém, para definir o potencial desta economia é preciso analisar alguns fatores: quantidade cargas controláveis, capacidade de armazenamento, amplitude das variações de preço diárias. Além disso, é importante frisar que os benefícios obtidos com a implementação do GLD são tanto para concessionária de energia elétrica quanto para os consumidores [Zhang e Grossmann 2016].

De acordo com [Braga 2014], existem dois tipos básicos de Gerenciamento pelo lado da demanda:

- GLD direto: aquele que a concessionária atua no controle direto da carga do consumidor, determinando quais devem ser reduzidas ou desconectadas.
- GLD indireto: neste caso o próprio consumidor reconfigura sua demanda, para isto as concessionárias incentivam a modificação dos hábitos de consumo através de tarifas variantes no tempo.

Os programas de GLD se tornam ainda mais essenciais quando levamos em consideração a limitação de geração de energia. Enquanto a disponibilidade de energia elétrica juntamente com a capacidade da rede for suficiente, os consumidores não sentirão necessidade de alterar o seu perfil de consumo, o problema é que a demanda por eletricidade vem crescendo em uma velocidade maior do que a produção. Na Índia, por exemplo, estima-se que a diferença entre a oferta e a demanda aumenta a uma taxa de 3% ao ano [Babu e Kumar 2013].

Ainda que os setores residenciais e comerciais apresentem potencial para alcançar bons resultados em programas de GLD, o setor industrial possui destaque devido à grande quantidade de cargas com possibilidade de controle, além do alto consumo de energia, ou seja, envolve um alto valor financeiro [Khan e Mohamed 2009]. Entretanto, na indústria, os processos de fabricação são extremamente integrados e dependentes, o que torna necessário um conhecimento aprofundado de todo o processo a fim de evitar qualquer interrupção ou mudanças que sejam prejudiciais. Sendo assim, o grande desafio no GLD na indústria é escalonar as cargas de modo que o



processo/produção seja atendido, a um baixo custo, e que não haja problemas de qualidade no processo/produto.

Diversas abordagens e técnicas de aplicação do GLD em sistemas industriais vêm sendo desenvolvidas em todo o mundo. O objetivo deste trabalho é apresentar as principais metodologias, bem como os desafios enfrentados na implementação dos programas de GLD na indústria.

## 2. Metodologias e Desafios

Um sistema de GLD tipicamente industrial é composto por: geração interna de energia, medidores de energia, atuadores responsáveis por ligar e desligar as cargas, centro de controle e gerenciamento (computador), tarifa variável ao longo do dia e baterias (para os casos que haja armazenamento de energia). O centro de controle e gerenciamento é quem faz toda a interligação do sistema, recebendo as informações de geração de energia interna, valor da tarifa instantânea e necessidades do processo produtivo. A partir destas informações, ele atua nos ramais da indústria com o objetivo de diminuir o custo e o tempo total da produção, caracterizando um GLD indireto, conforme visto na figura 1.

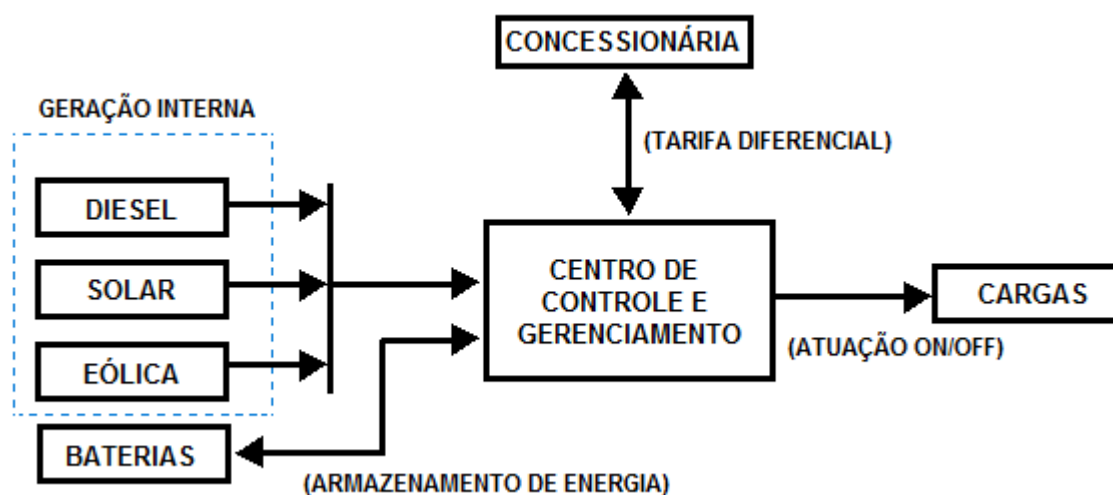


Figura 1 - Representação de um GLD Indireto.

### 2.1 Desafios Principais

De acordo com [Zhang e Grossmann 2016], os principais desafios no planejamento e programação do GLD nas indústrias são:

- Modelagem da flexibilidade operacional: para que o processo responda rapidamente às mudanças de preços de eletricidade, em um mercado em que essa variação ocorre em poucos minutos, o modelo de programação deve ser bem detalhado.
- Integração da produção e gestão da energia: normalmente, primeiro é definido o cronograma de produção específico para depois minimizar os custos de eletricidade, o que possibilita o surgimento de soluções ótimas locais. Logo, uma abordagem integrada, considerando ambas as gestões, seria mais indicado.
- Otimização em várias escalas de tempo: o horizonte temporal para a gestão de produção da indústria é de um dia ou uma semana. Porém, para planejamento a longo prazo, se torna necessário a utilização de meses ou anos, que pode se tornar computacionalmente inviável.



- Tomada de decisão sob incerteza: fatores como penetração de fontes de energia renováveis intermitentes e variação da demanda da rede tornam o nível de incerteza na rede elétrica extremamente alto, gerando uma grande variação no preço da tarifa de energia. O uso de dados históricos ajudará na criação de modelos, mas não resolve completamente o problema.

É importante frisar que a inserção das quatro características citadas tornará o modelo ainda mais complexo, surgindo então o desafio de torná-lo computacionalmente viável. Portanto, em paralelo com as novas abordagens, métodos de solução mais eficientes devem ser desenvolvidos visando a eficiência computacional. Vale ressaltar que o GLD industrial é uma área de pesquisa relativamente nova e provavelmente novos desafios irão surgir com o desenvolvimento de diferentes metodologias.

## 2.2 Formulação do GLD para Indústria

Considerando uma *Smart Grid* dotada de geração distribuída (eólica, fotovoltaica e diesel) e um ambiente produtivo do tipo *job shop*, definido como um modelo conceitual na área de pesquisa operacional, o problema do GLD aplicado a indústrias é formulado como uma otimização multiobjetivo visando minimizar os custos com energia elétrica e também o tempo total de processamento da produção, tornando-a mais produtiva. A minimização dos custos com energia pode ser descrita como:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{M=24} \left( \left[ \sum_{j=1}^N X(i, j) \times P_L(j) \times Tu(j) \right] - E_{PV}(i) - E_W(i) - E_{die}(i) + E_{Bat}(i) \right) \times C(i)$$

Onde:

- $X(i, j)$ , indica se o  $j$ -ésimo equipamento consome energia no  $i$ -ésimo período do dia;
- $P_L(j)$ , é a potência demanda pelo  $j$ -ésimo ramal da indústria;
- $Tu(j)$ , é o tempo de utilização do equipamento em frações de horas;
- $E_{PV}(i)$ , é a energia gerada pelos painéis fotovoltaico na  $i$ -ésimo período do dia;
- $E_W(i)$ , é a energia gerada pelos geradores eólicos na  $i$ -ésimo período do dia;
- $E_{die}(i)$ , é a energia gerada pelos geradores diesel na  $i$ -ésimo período do dia;
- $E_{Bat}(i)$ , é a energia armazenada na bateria na  $i$ -ésimo período do dia;
- $C(i)$ , é o custo da energia elétrica na rede pública no  $i$ -ésimo período do dia;
- $M$ , é o número de períodos no qual se divide um dia de funcionamento da *Smart Grid*;
- $N$ , é o número de ramais nos quais a carga de uma *Smart Grid* pode se dividir;

Já a minimização do tempo total de processamento da produção (termo denominado de *makespan*), tem como função objetivo:

$$\text{Min } C_{max}$$

Onde:

- $C_{max}$  representa o *makespan* do processo;

De acordo com [Morales 2012], a formulação de Manne é do tipo MILP (*Mixed Integer Linear Programming*) com horizonte de tempo contínuo e é caracterizada por estabelecer o par de restrições disjuntivas para cada par de operações estabelecidas pela máquina, reduzindo assim o número de restrições e o número de variáveis utilizadas na resolução do problema. Os parâmetros, variáveis e índices juntamente com a formulação das restrições são apresentados a seguir:

- $r(i, f, k)$ , indica se a operação  $f$  da tarefa  $i$  requer a máquina  $k$ ;
- $s(i, k)$ , é o instante de início da tarefa  $i$  na máquina  $k$ ;
- $p(i, k)$ , é o tempo de processamento da tarefa  $i$  na máquina  $k$ ;
- $ta$ , é o número total de tarefas;
- $ma$ , é o número de máquinas;



- $i$ , representa a tarefa(job);
- $k$ , representa a máquina;
- $f$ , representa a operação;
- $j$ , indica a posição;
- $M$ , representa um número grande;
- $Z(i,u,k)$ , será 1 se a tarefa  $i$  é sequenciada na posição  $j$  na máquina, caso contrário = 0.

A Equação (1), estabelece que para uma determinada tarefa ( $i$ ) a precedência dos instantes de início das operações nas máquinas correspondente, ou seja, o instante de início da operação ( $f+1$ ) da tarefa ( $i$ ) numa máquina ( $k$ ) deve ser maior ou igual ao instante de início da operação ( $f$ ) na máquina correspondente a essa operação mais seu tempo de processamento:

$$\sum_{k=1}^{ma} r(i, f, k) \{s(i, k) + p(i, k)\} \leq \sum_{k=1}^{ma} r(i, f + 1, k) s(i, k); i = 1, \dots, ta; f = 1, \dots, ma - 1 \quad (1)$$

(2 e 3), são denominadas restrições disjuntivas, as quais determinam a precedência de todas as tarefas em uma máquina:

$$\{M + p(u, k)\}Z(i, u, k) + \{s(i, k) - s(u, k)\} \geq p(u, k); 1 \leq i < u \leq ta; k = 1, \dots, ma \quad (2)$$

$$\{M + p(i, k)\}\{1 - Z(i, u, k)\} + \{s(u, k) - s(i, k)\} \geq p(i, k); 1 \leq i < u \leq ta; k = 1, \dots, ma \quad (3)$$

(4), refere-se ao instante de término da última operação de cada tarefa:

$$\sum_{k=1}^{ma} r(i, ma, k) \{s(i, k) + p(i, k)\} \leq \sum_{i=1}^k T(i); i = 1, \dots, ta; \quad (4)$$

(5 e 6), estabelece as variáveis como não negativas e binárias:

$$s(i, k) \geq 0; i = 1, \dots, ta; k = 1, \dots, ma \quad (5)$$

$$z(i, u, k) = 0 \text{ ou } 1; i, u = 1, \dots, ta; k = 1, \dots, ma \quad (6)$$

Embora a formulação de Manne tenha como principais vantagens o número de variáveis e as equações reduzidas, sua eficácia para determinado problema só poderá ser comprovada a partir de testes computacionais para observação do comportamento.

### 2.3 Trabalhos Publicados

O problema de GLD industrial possui diversas restrições que devem ser tratadas adequadamente. Alguns autores já vêm desenvolvendo estudos a respeito do assunto, uns aplicando apenas a abordagem superficial, com a análise de potencial e outros já desenvolvendo algoritmos específicos para a solução do problema. Na Tabela 1 é apresentado um breve resumo dos principais trabalhos publicados. A coluna “Função objetivo” só é preenchida nos casos em que a abordagem do problema foi feita desenvolvendo algum tipo algoritmo, não se aplicando os casos em que somente análise de potencial foram realizadas.



Referência	Horizonte Temporal	Tipo de indústria	Abordagem do Problema	Função Objetivo
[Ashok e Banerjee 2001]	Dias	Moinho de farinha - Índia	<i>ILP - Integer linear programming</i>	Minimização do custo com eletricidade
[Babu e Kumar 2013]	Dias	Leite - Índia	Análise de potencial	-
[Bahrami et al. 2013]	Dias	Não especificada	Algoritmo de escalonamento proposto	Soma ponderada do custo de energia com o índice de deslocamento de carga
[Ding e Hong 2014]	Dias	Não especificada	<i>MILP - mixed integer linear programming</i>	Minimização do custo com eletricidade
[Finn e Fitzpatrick 2014]	Dias, anos	Armazém refrigerado - Irlanda	Análise de potencial	-
[Gholian et al. 2015]	Dias e meses	Siderúrgica	<i>MILP - mixed integer linear programming</i>	Minimização do custo com eletricidade (Função custo varia de acordo com o método de precificação)
[Hadera et al. 2015]	Dias	Aço inoxidável	<i>MILP - mixed integer linear programming</i>	Minimização do custo com eletricidade e penalidades por ultrapassagem
[Lidbetter e Liebenberg 2011]	Dias, meses	Cimento - África do Sul	Análise de potencial	-
[Lindberg et al. 2014]	Dias, semanas e anos	Diversas - Suécia	Análise de potencial	-
[Longethiran et al. 2012]	Dias	Não especificada	Algoritmo evolucionário	Aproximar a curva de consumo com a curva de carga objetivo
[Paulus e Borggreffe 2011]	Anos	Diversas - Alemanha	Projeção dos benefícios econômicos.	-
[Rane et al. 2009]	Dias, Anos	Cimento - Índia	Análise de potencial	-
[Vijaykumar e Pradip 2013]	Dias e meses	Autopeças - Índia	Análise da implantação das técnicas.	-
[Vujanovic et al. 2012]	Dias	Cimento	<i>MILP - mixed integer linear programming</i>	Minimização do custo com eletricidade
[Wang et al. 2012]	Dias	Ferro e aço	<i>MILP - mixed integer linear programming</i>	Minimização dos custos: Incluem-se custos com a reprogramação da produção, eletricidade e horas extras de funcionários

Tabela 1 – Visão geral dos principais trabalhos de GLD para indústria.



A Tabela 1 confirma que, mesmo com abordagens distintas, os programas de GLD tem como objetivo buscar a redução de custo com energia elétrica. Observa-se que em 62,5% dos artigos que desenvolveram algum tipo de formulação, a técnica escolhida foi a MILP, muito utilizada em problemas envolvendo processos industriais.

Alguns dos trabalhos descritos na Tabela 1 merecem destaque, como em [Bahrami et al. 2013], um programa de resposta à demanda é sugerido para uma planta industrial com 17 dispositivos em sua linha de produção. O algoritmo proposto é baseado em uma otimização multiobjetivo que maximiza a satisfação do cliente e minimiza o custo do setor industrial, obedecendo a sequência de operação dos dispositivos bem como a limitação de deslocamento de carga. Ao final, ele é comparado com o algoritmo *Particle Swarm Optimization* (PSO) para validação e verificação da velocidade de convergência dos resultados.

Já em [Gholian et al. 2015], a busca pela redução do consumo de energia elétrica é feita a partir do desenvolvimento de uma função custo para cada um dos métodos de precificação (preços inteligentes): *Day-Ahead Pricing*, *Time-of-Use Pricing*, *Peak Pricing*, *Inclining Block Rates* e *Critical Peak Pricing*. Ao aplicar esses diferentes métodos em uma indústria siderúrgica, mostra-se que a escolha do método pode afetar significativamente no nível de sucesso dos programas de GLD.

O gerenciamento de cargas é feito através de um programa que utiliza a técnica de otimização *Integer Linear Programming*, em [Ashok e Banerjee 2001], com a finalidade de diminuir os custos com eletricidade. A estratégia proposta é aplicada em um estudo de caso de um moinho de farinha de milho com carga instalada de 235 kW. São avaliadas diferentes estratégias operacionais (operação em dois ou três turnos), além de variação da capacidade de armazenamento e produção no processo. Os resultados mostraram que adotando uma das estratégias operacionais sugeridas é possível obter uma economia de até 29% no custo total.

Em [Logenthiran et al. 2012] propõe uma técnica de deslocamento de carga muito utilizada nos programas de GLD: a *day-ahead load shifting*, que consiste na troca de horário de utilização das cargas para o dia seguinte, e a solução é obtida por meio de um algoritmo evolucionário. Uma curva objetivo de demanda é elaborada de forma inversamente proporcional aos preços da eletricidade instantâneos. Os testes experimentais foram realizados nas três áreas (residenciais, comerciais e industriais), com destaque para o setor industrial que apresentou resultados mais significativos, chegando a uma redução percentual no custo com eletricidade de 10%.

Em contrapartida, em [Lindberg et al 2014], é realizado um estudo mais amplo do potencial e das limitações para aplicação do GLD em diversas indústrias de áreas diferentes (refinarias, frigoríficos, fábricas de cimento e leite, entre outros) e os resultados não foram tão animadores. A maioria dos processos funcionam melhor se estiverem em velocidade constante em um sistema *flow shop* (sequencial), sem que haja paradas dos equipamentos. A reprogramação da produção pode resultar em custos adicionais devido às inúmeras partidas e paradas dos equipamentos, podendo causar perda de vida útil dos mesmos. Para aumentar o potencial de GLD, na maioria das vezes, serão necessários investimentos na capacidade de produção e armazenamento, além de horários de trabalho flexíveis, o que acabam gerando um desinteresse por parte das empresas. Isso deixa claro que um dos maiores desafios para a implantação dos programas de GLD é despertar o interesse das indústrias com propostas atrativas para a sua aplicação.

### 3. Conclusão

Este artigo apresentou os conceitos e desafios para aplicação de programas de gerenciamento pelo lado da demanda em consumidores industriais. Inicialmente, foram identificados como desafios principais a modelagem da flexibilidade operacional, a integração da produção e gestão da energia, a otimização em várias escalas de tempo e a tomada de decisão sob incerteza. A tendência é que esse rol seja ampliado com o desenvolvimento de novas pesquisas na área. Aliado a isso, as pesquisas futuras terão que desenvolver modelos computacionais que sejam viáveis e consigam superar parcialmente ou até completamente todos esses desafios. Uma



formulação multiobjetivo para uma *Smart Grid* com geração distribuída foi sugerida com a proposta de minimizar os custos com energia elétrica e o tempo de processamento da produção. Para tratamento das restrições, a formulação de Manne, que utiliza a técnica MILP, foi utilizada.

Na análise dos trabalhos publicados percebeu-se que de fato o potencial de economia com a aplicação dos programas de GLD é muito grande, porém deve-se buscar ferramentas para atrair o interesse das próprias indústrias já que as mesmas terão que fazer investimentos.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem a CAPES pelo auxílio financeiro que possibilitou a realização deste projeto.

### **Referências**

Ashok, S., Banerjee, R. (2001). An optimization mode for industrial load management. *IEEE Transactions on Power Systems*, 16(4) pp. 879–884.

Babu, P. R., Kumar, K. A. (2013). Application of novel DSM techniques for industrial peak load management. *International Conference on Power, Energy and Control (ICPEC)*, IEE, pp. 415-419.

Bahrami, S., Khzaeli, F., Parniani, M. (2013). Industrial load scheduling in smart power grids. *22nd International Conferente on Electricity Distribution*.

Braga, N. B. (2014). Gerenciamento pelo Lado da Demanda em áreas Residenciais. Projeto de Graduação. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Ding, Y. M., Hong, S. H. (2014). A Demand Response Energy Management Scheme for Industrial Facilities in Smart Grid. *IEE Transactions on Industrial Informatics*, pp. 2257-2269

Finn, P., Fitzpatrick, C. (2014). Demand side management of industrial electricity consumption: Promoting the use of renewable energy through real-time pricing. *Applied Energy*, vol. 113, pp.11-21.

Gellings, C. W., Chamberlin, J. H. (1993). Demand-Side Management: Concepts and Methods, Segunda Edição. Lilburn, GA, EUA.

Gholian, A., Mohsenian-Rad, H., Hua, Y. (2015). Optimal industrial load control in Smart Grid. *IEEE Transactions on Smart Grid*, pp. 2305-2316.

Hadera, H., Harjunkski I., Sand, G., Grossmann I. E., Engell, Sebastian. (2015). Optimization of steel production scheduling with complex time-sensitive electricity cost. *Computers & Chemical Engineering*. vol 76, pp. 117-136.

Hadjsaïd, N., & Sabonnadière, J. C. (Eds.). (2013). Smart Grids. John Wiley & Sons.

Khan, M. T., Mohamed, A. (2009). A review of electrical energy management techniques: supply and consumer side (industries). *Journal of Energy in Southern Africa*, vol. 20 no. 3.

Lidbetter, R. T., Liebenberg, L. (2011). Load-shifting opportunities for a typical South African cement plant. *In proceedings of the 8th Conference on the Industrial and Commercial Use of Energy (ICUE)*, pp. 15-17.





Lindberg, C., Zahedian K., Solgi, M., Lindkvist, R. (2014). Potential and limitations for industrial demand side management. *The 6th International Conference on Applied Energy – ICAE*, pp. 415-418.

Logenthiran, T., Srinivasan, D., & Shun, T. Z. (2012). Demand side management in smart grid using heuristic optimization. *IEEE Transactions on Smart Grid*, pp. 1244-1252.

Morales, S. W. G. (2012). Formulações matemáticas e estratégias de resolução para o problema *job shop* clássico. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Rane, M., Chhabra, D., Banerjee, R. (2009). Industrial DSM for Indian Power Sector. *Proceedings Of International Conference On Energy And Environment March 19-21*.

Paulus, M., Borggreffe, F. (2011). The potential of demand-side management in energy-intensive industries for electricity in Germany. *Applied Energy*, vol 88, pp. 432-441.

Vijaykuamr, A. K., Pradip, K. K. (2013). Tracking of energy efficiency in industries by demand side management techniques. *Energy Efficient Technologies for Sustainability*.

Vujanic, R., Mariétoz, S., Goulart, P., Morari, M. (2012). Robust integer optimization and scheduling problems for large electricity consumer. *American Control Conference (ACC)*.

Wang, Z., Gao, F., Zhai, Q., Guan, X., Liu, K., Zhou, D. (2012). An integrated optimization model for generation and batch production load scheduling in energy intensive enterprises. *Power and Energy Society General Meeting (PES), IEEE*.

Zhang, Q., Grossmann, I. E. (2016). Planning and Scheduling for Industrial Demand Side Management: Advances and Challenges.