



UM ALGORITMO PARA MENSURAR E DETECTAR POTENCIAIS CLIENTES AO USO DA TECNOLOGIA DE TERMOACUMULAÇÃO

Patrícia Valéria Sathler de Queiroz¹, Reinaldo Castro Souza¹, Maurício Nogueira Frota¹

¹ Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, patricia@geraquip.com.br, reinaldo@ele.puc-rio.br, mfrota@puc-rio.br

Resumo: A termoacumulação, tecnologia alternativa, ainda pouco difundida no país, possibilita o deslocamento de carga de um horário de ponta para outro fora ponta, podendo assim, ser utilizada para a racionalização do uso de energia. Neste artigo aplicou-se técnicas estatísticas para construção de um algoritmo de detecção de potenciais clientes ao uso de termoacumulação. Os resultados obtidos apontam que o algoritmo utilizado é eficaz e que o uso desta tecnologia gera economias de até 40%, alivia o sistema elétrico e beneficia o meio ambiente, além de propiciar com o incentivo ao seu uso, perspectivas para a proposição de tarifas diferenciadas.

Palavras chaves: consumo de energia, eficiência energética, estatística, termoacumulação.

1. INTRODUÇÃO

A racionalização do consumo de energia se torna cada vez mais preocupante dentro do contexto da sustentabilidade, os avanços tecnológicos e o crescimento econômico alavancam o consumo de energia em todos os setores da economia, exigindo do sistema elétrico, principalmente nos horários de ponta, período que refere-se a três horas do dia, consecutivas, definido pelas Concessionárias de segunda a sexta feira entre 17h e 21h. Neste período o sistema elétrico precisa atender a grande demanda de energia solicitada, que continuam em atividade, sendo mais investimentos em geração, transmissão e distribuição de energia.

Uma alternativa para amenizar o problema do horário de ponta é a termoacumulação, visando em especial os sistemas de climatização de ambientes, que respondem por expressiva parcela do consumo das unidades comerciais e industriais. Estes equipamentos normalmente são operados durante o dia, permanecendo operacionais em parte ou na totalidade do período de ponta do sistema elétrico. A termoacumulação permite o deslocamento de carga, podendo ser utilizada como uma estratégia de racionalização.

A análise do perfil da curva de carga permite conhecer as características de consumo de energia elétrica dos consumidores, e, conseqüentemente avaliar quem são os potenciais ao uso da tecnologia alternativa de termoacumulação.

Este estudo foi realizado nos clientes de uma Concessionária do sudeste brasileiro e para processar a base

de dados fornecida, desenvolveu-se um sistema computacional – SIMCAR – capaz de produzir análises estatísticas do consumo de energia de clientes da média e alta tensão, assim selecionando aqueles com potencial para fazer uso da tecnologia de termoacumulação. Para corrigir falhas e ausências de dados nessa base, o SIMCAR incorporou um algoritmo de imputação múltipla para tratamento de “missing data” que permitiu a eliminação de vazios de informações.

Os resultados do estudo apontam que o uso da termoacumulação mostra-se técnica e economicamente viável para usuários que concentram sua demanda de energia em horários de ponta reduzindo em até 40% os custos de energia

2. CURVA DE CARGA

O conhecimento da curva de carga é fundamental para o planejamento estratégico de distribuição de energia, bem como é uma ferramenta de apoio a decisão, permitindo à concessionária realizar uma previsão de consumo dos seus clientes e buscar maior eficiência do sistema.

A carga é uma variável diretamente dependente do comportamento do consumidor, sendo sensível a diversos fatores, climáticos, econômicos, televisivos, dentre outros, que podem interferir nos hábitos de utilização de energia. Portanto, identificar a tipologia da curva de carga, figuras 1 e 2, permite o conhecimento dos hábitos de consumo do cliente, ou seja, como utilizam a energia elétrica no decorrer do dia, o que oferece subsídios para estudos de proposição de alternativas de eficiência energética e deslocamento de carga.

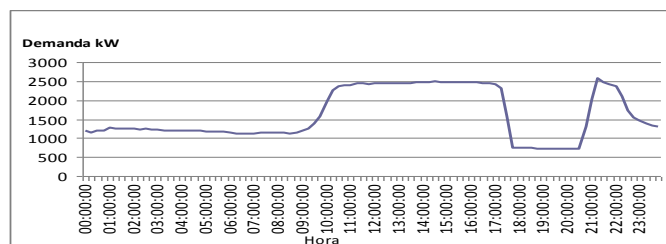


Figura 1-Tipologia de curva de carga com o uso de alternativa no horário de ponta.

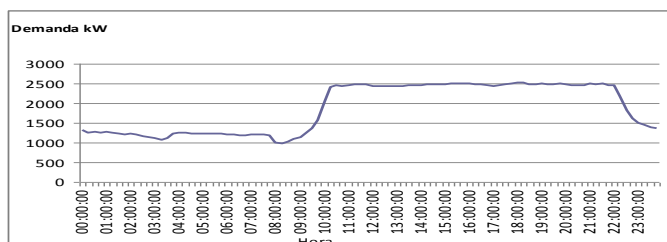


Figura 2 – Tipologia de curva de carga sem uso de alternativa no horário de ponta.

3. TERMOACUMULAÇÃO

A termoacumulação é um sistema de produção e acumulação de gelo ou água gelada em tanques, usado em sistemas de climatização de ar. Assim é possível transformar a energia elétrica disponibilizada em períodos fora de ponta em energia térmica interna, à ser consumida no horário de ponta.

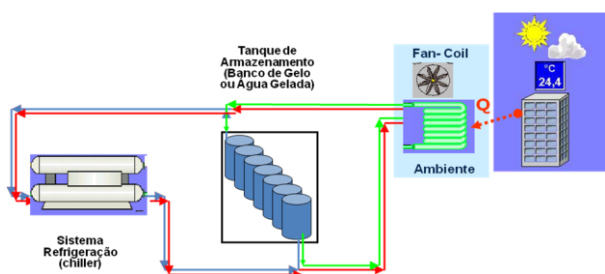


Figura 3 – Instalação básica de um sistema de termoacumulação.

3.1. Vantagens, benefícios e limitações da termoacumulação

Dentre os benefícios da termoacumulação destacam-se:

- redução da capacidade e do tamanho físico do sistema de refrigeração (compressores de refrigeração, bombas de água, torres de resfriamento etc.) e, consequentemente, do custo de investimento da unidade de resfriamento;
- redução da potência instalada do sistema de frio, o que resulta em uma menor demanda de energia;
- redução da infra-estrutura elétrica e hidráulica;
- maior confiabilidade do sistema de refrigeração, devido à “reserva de frio”;
- deslocamento de carga para fora do horário de ponta do sistema elétrico;
- aproveitamento das diferentes modalidades de tarifa de energia horo-sazonais para reduzir o custo com energia elétrica;
- melhor aproveitamento de energia durante as 24 horas do dia, aumentando o fator de carga do sistema de frio; e
- ganhos de eficiência dos equipamentos, que passam a trabalhar mais próximos às condições ideais de operação.

Outro benefício que decorre da implementação da termoacumulação é a modernização das instalações. O uso

desta tecnologia requer a substituição de equipamentos obsoletos baseados em tecnologias ultrapassadas e ineficientes (gases do tipo CFC) por equipamentos mais modernos com altos índices de eficiência energética. Contribui também para a redução do impacto ambiental devido à operação destes equipamentos. A termoacumulação induz, ainda, a inovação do setor elétrico por meio da formulação de um modelo alternativo de negócio.

Dentre as principais restrições ao uso da termoacumulação destacam-se:

- necessidade de espaços adicionais aos sistemas de refrigeração para a instalação dos tanques de armazenagem;
- investimento inicial superior ao requerido por um sistema de refrigeração convencional.

Adicionalmente às vantagens técnicas que oferece, a termoacumulação é também atrativa do ponto de vista ambiental (camada de ozônio; aquecimento global) tendo em vista depender de tecnologias limpas não agressivas ao meio ambiente.

4. METODOLOGIA

4.1. Levantamento da base de dados

A partir dos dados reais da relação de cerca de 8000 clientes fornecida pela Concessionária, contendo medições a cada 15 minutos, em média e alta tensão, foi realizado o agrupamento dos clientes pelo tipo de tarifa contratada – horo-sazonal verde e horo-sazonal azul¹ (AS, A3 e A4) e ramo de atividade.

4.2. Clientes Potenciais ao Uso de Termoacumulação

Clientes potenciais são os clientes que não possuem nenhum sistema alternativo de utilização de energia (e.g.: gerador, termoacumulação, chillers,) no período de ponta.

Para identificação dos clientes potenciais ao uso de termoacumulação foi necessário conhecer o perfil de consumo dos clientes da Concessionária Light, ou seja, a forma como utilizam a energia, e o mapeamento da curva de carga é uma valiosa ferramenta para verificar o comportamento diário de cada cliente. Como uma estratégia para esta análise desenvolveu-se um sistema computacional gerador de curvas de carga – SIMCAR, que apresenta o consumo dos clientes separados por dias de uso da seguinte forma: 3^as. a 6^as. feiras, segunda, sábado e domingo.

4.3. Simulador de curvas de carga (SIMCAR)

O SIMCAR é um sistema computacional voltado à racionalização do uso de energia e aplicação para identificação de consumidores potenciais ao uso de tecnologias alternativas no horário de ponta, como a termoacumulação, que no sistema gerador de curva de carga

¹ Tarifa horo-sazonal verde – o consumidor possui contrato demanda único, não considerando utilização de energia no horário de ponta.

Tarifa horo-sazonal Azul – o consumidor possui contrato de demanda com dois valores, um para o consumo no horário de ponta e outro para o fora ponta.

possui um módulo especial, que mostra o comparativo da unidade consumidora com e sem o uso desta tecnologia.

Desenvolvido na linguagem de programação Visual Basic.Net e base de dados em SQL Server 2005, composto de 4 módulos: Estatísticas, Simulação, Cadastro e Ajuda, abordados detalhadamente no manual de utilização do sistema.

Input do sistema:

- Medições de demanda de 15 em 15 minutos.

Output do sistema:

- 4 Curvas de Carga (15 em 15 minutos): DU (Dias Úteis), Sábado, Domingo e Segunda;
- Gráficos e Tabelas; Importa dados das medições do Excel; Classifica os Clientes (Potencialidade);
- Perfil da curvas de carga dos clientes medidos;
- Comparativo do crescimento mensal de consumo;
- Características dos clientes: Tipo de tarifa, CNAE, Consumo mensal ponta e fora ponta, Demanda na ponta e convencional, Demanda ultrapassada na ponta e fora ponta;
- Classificação de potencial ao uso de Termoacumulação (já modula, potencial e muito potencial);
- Monitoramento para a racionalização de energia; Simula curva de carga do cliente com e sem o uso de termoacumulação.

4.4. Tratamento da base de dados “Missing Data”

Como em todas as grandes bases de dados encontrou-se falhas de medições, figura 4, e para o tratamento destas, sem perda da real característica de consumo do cliente, foi implantada no sistema uma rotina computacional com o método estatístico da imputação múltipla para completar “missing data” (ausência de dados). Fazendo uso dessa rotina foi possível limpar a série de dados importadas para o sistema, figura 5. Para dias de feriado a regra é a mesma, porém o “feriado similar” é computado com base naquele que ocorreu no mesmo dia da semana.

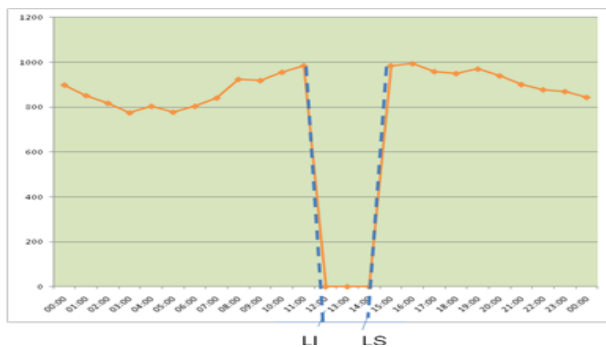


Figura 4 - Curva de Carga com Dados Faltantes

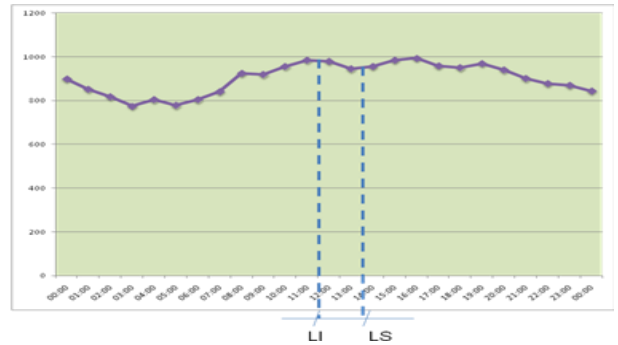


Figura 5 - Curva de Carga com Tratamento de “Missing Data”

4.5. Algoritmo do sistema e “Missing Data”

O sistema de equações (1), (2) e (3) fundamenta o tratamento de missing data do simulador de curva de cargas, que define a curva média do histórico de consumo dos clientes da concessionária.

$$\bar{D} = \sum_{\substack{t=1 \\ t \neq (l_i, l_s)}}^{96} \frac{D_t}{96 - (l_s - l_i)} \tag{1}$$

$$\overline{DM} = \sum_{\substack{t=1 \\ t \neq (l_i, l_s)}}^{96} \frac{DM_t}{96 - (l_s - l_i)} \tag{2}$$

$$DM_k = \frac{D_k}{D \times \overline{DM}} \quad k = l_i, \dots, l_s \tag{3}$$

DM_t - Dia com missing data

D_t - DIA sem missing

l_i e l_s - Limite inferior e superior do intervalo de missing

Algoritmo do Sistema

As equações (4), (5) e (6) definem a potencialidade do cliente para o uso da termoacumulação.

CP_{id} – Consumo Ponta

CF_{id} – Consumo Fora da Ponta

i = medições diárias de 15 em 15 minutos; $i = 1, 2, \dots, 96$.

μ_{CP} – Média Horária Demanda Ponta

μ_{CF} – Média Horária Demanda Fora Ponta

$$\mu_{CP} = \frac{\sum_{i=l}^{l+12} CP_{id}}{12} \tag{4}$$

$$\mu_{CF} = \frac{\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq l, l+12}}^{96} CP_{id}}{84} \tag{5}$$

$$\alpha = \frac{(\mu_{CP} - \mu_{CF})}{\mu_{CP}} \times 100 \quad (6)$$

$\alpha > 0$; então é possível termoacumulação

Critério de decisão:

Se:

$\alpha \leq \epsilon$; (ϵ 10%) : Cliente Potencial

$\alpha > \epsilon$: Cliente Muito Potencial

$\alpha < 0$: Cliente já modela na ponta

Nas figuras 6 (curva gerada no Excel) e 7 (curva gerada no SIMCAR), pode-se verificar como o tratamento de “missing data” limpa a série histórica e processa os dados substituindo as medições faltantes, aproximado estes intervalos de valores reais.

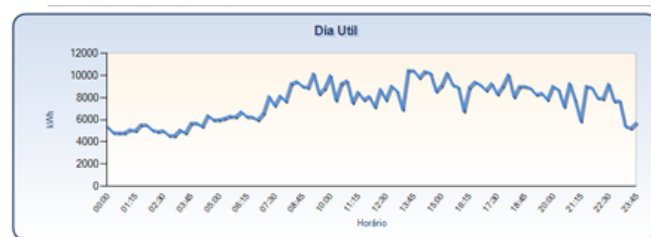
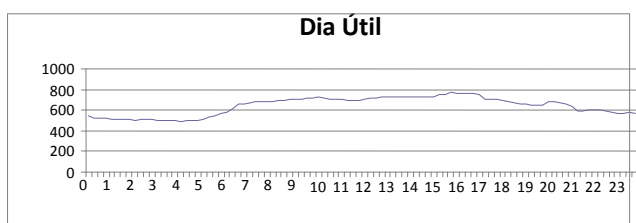


Figura 8. Curva de carga de cliente muito potencial (SIMCAR).

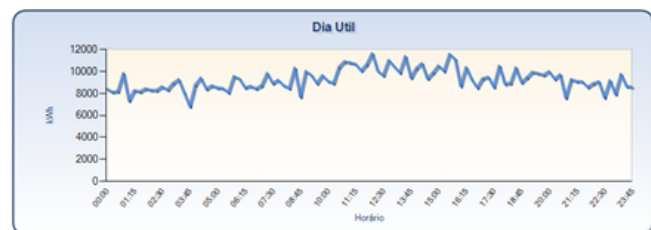


Figura 9 - Curva de carga de cliente potencial (SIMCAR).

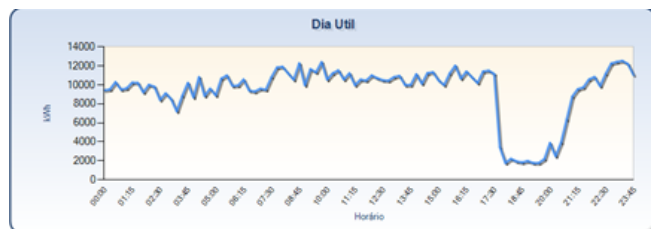


Figura 10 - Curva de carga de cliente já modela (SIMCAR).

Figura 6 – Curva sem tratamento com “missing data”

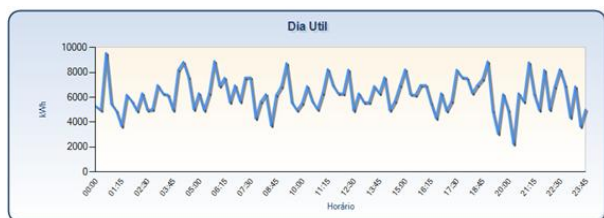


Figura 7 – Curva com tratamento “missing data”

4.6. Mapeamento das curvas de carga

O sistema SIMCAR permitiu mapear as curvas de carga mensais dos clientes medidos em média e alta tensão cadastrados na base de dados da concessionária, identificando a estatística do potencial para o uso da tecnologia de termoacumulação.

As figuras 8, 9 e 10, mostram as curvas geradas pelo sistema gerador de curva de carga, onde observá-se a tipologia das curvas destes clientes com a indicação da potencialidade de cada um ao uso da termoacumulação, sendo a primeira muito potencial, a segunda potencial e a terceira já modela.

5. Pesquisa de Opinião

Feito o mapeamento das curvas de cargas pelo sistema, selecionou-se um universo de cerca de 2% dos clientes da base de dados para pesquisa de campo. Destes o sistema apontou que 54,54% são clientes potenciais ao uso do sistema de termoacumulação.

Na avaliação dos resultados da pesquisa realizada em campo, constatou-se que:

- 9% dos pesquisados tem interesse de estudar o projeto para o futuro;
- 27,46% dos pesquisados não tem interesse devido a falta de espaço para instalação do sistema; e
- 9% dos pesquisados não estão ainda convencidos do seu interesse por esta tecnologia.

Importante ressaltar, que todos os clientes pesquisados que possuem sistema de termoacumulação se declararam satisfeitos e que sua economia final gira em torno de 20% a 40%, dependendo da gestão do sistema.

6. Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica

O estudo de viabilidade técnica e econômica da utilização da termoacumulação foi realizada na Bolsa de Valores do Rio de Janeiro (EBVRJ), cliente selecionado pelo sistema SIMCAR.

A unidade é considerada para efeito de faturamento, de acordo com o contrato de fornecimento de energia elétrica assinado com a concessionária, consumidor Horo-sazonal Verde, subgrupo AS.

Foi verificado que as despesas com energia para operação do sistema de climatização foram reduzidas pela modulação de carga, ou seja, operação com níveis de carregamento diferentes nos horários de ponta e fora de ponta. Essa redução deriva do fato de que, a energia na modalidade Horo-sazonal, na qual está inserida a unidade, tem preços bem mais elevados para o horário de ponta (quando a energia armazenada pela termoacumulação é utilizada) do que para o horário fora de ponta (quando a termoacumulação é gerada).

A aplicação da sistemática de faturamento referente aos valores utilizados pela EBVRJ resulta em redução das despesas com energia elétrica, principalmente pela sua não utilização no período de ponta. Durante a ponta o sistema de refrigeração é atendido pelo sistema de termoacumulação.

A Tabela I resume a economia gerada pelo uso da termoacumulação no EBVRJ. Considerando que às despesas com energia durante o período fora de ponta incidem em ambos os casos (com e sem termoacumulação), na análise comparativa apresentada foram apenas considerados os valores adicionais referentes às despesas com energia para o sistema de termoacumulação.

Tabela I. Economia de energia introduzida pelo uso da termoacumulação.

	Sem termoacumulação	Com termoacumulação
Despesa de energia fora da ponta (R\$)	0,00	10.667,66
Despesa de energia na ponta (R\$)	79.371,02	0,00
Total das despesas com energia (R\$)	79.371,02	10.667,66
Economia resultante da termoacumulação	R\$ 68.703,36	

7. Resultados e conclusões

O SIMCAR mostrou-se ferramenta eficaz para mensuração e detecção de clientes potenciais ao uso do sistema de termoacumulação, além de ser um instrumento de sensibilização, permitindo que as Concessionárias conheçam melhor as características de consumo de seus clientes, obtidas pela modelagem das curvas de carga diárias de cada consumidor, o que possibilita a geração de previsões realistas contribuindo para o planejamento energético e para a melhoria de qualidade do atendimento de clientes, oferecendo-lhes alternativas mais econômicas.

A termoacumulação mostra-se atraente principalmente para clientes comerciais e industriais usuários da média e alta tensão e comprovou ser eficiente para o deslocamento de carga no horário de ponta. Os ganhos estimados de energia pelo gerenciamento da demanda são da ordem de 40%, além de ficarem independentes da alimentação pela concessionária de energia elétrica.

Em geral, para uma vida útil típica de 20 anos, esta tecnologia mostrou-se atraente. Evidenciou-se também, que sua utilização pode colaborar para retirar a sobrecarga do sistema subterrâneo (AS), apresentando possibilidades do uso mais racional deste sistema, que atualmente se encontra com sérios problemas.

O uso da termoacumulação pode constituir-se em fator de motivação para a proposição de tarifas diferenciadas, uma vez que a sua utilização pode aliviar o sistema elétrico e postergar investimentos que seriam urgentes sem o uso da termoacumulação.

As pesquisas de opinião realizadas junto aos clientes potenciais demonstraram que os consumidores mostram-se propícios à mudança de hábitos e propensos a incorporarem inovações desde que incentivados.

O estudo de caso relacionado no edifício da Bolsa Valores do Rio de Janeiro comprovou ser um caso de sucesso, já que a viabilidade técnica e econômica do projeto justifica o uso da termoacumulação e comprova que com a boa gestão do sistema pode auferir ganhos de até 40% de economia com os gastos energéticos.

8. Pesquisas Futuras e Desmembramentos do Projeto

Com relação a pesquisas futuras, visualiza-se:

- a implementação do SIMCAR para geração on-line das curvas de carga da Concessionária acoplada diretamente às medições em tempo real dos clientes.
- a filtragem de todos os clientes potenciais e muito potenciais da Concessionária e realizar pesquisas em profundidade com os mesmos para estudar a viabilidade de implementação da termoacumulação em suas plantas ou de outras tecnologias mais adequadas ao perfil destes, que aliviem o sistema elétrico.
- um estudo de adequação/enquadramento tarifário dos contratos de demanda dos clientes da Concessionária, avaliando se estes estão bem contratados.
- levantamento econômico apontando as vantagens e desvantagem para elaboração do projeto de proposição de tarifas diferenciadas para clientes que fizerem uso da termoacumulação.
- estudo para implantação do sistema de termoacumulação visando otimizar e aliviar o sistema subterrâneo.

REFERENCIAS

- [1] Relatório Final do Projeto de P&D ref. 03/2008, LIGHT-PósMQI/PUC-Rio, Relatório Técnico #7, *Racionalização do uso de energia e aplicação de termoacumulação como estratégia para proposição de tarifa diferenciada voltada a clientes comerciais de alto consumo*. 27 de Agosto de 2010.
- [2] VIEIRA, F.A; FROTA, M.N., SOUZA R.C. *Thermo-accumulation: an effective alternative for increasing the power load factor in electricity retailing*. Proceedings of the International Congress for Architecture and Technology. Frankfurt, April 2010.
- [3] SOUZA, R.C., DÁVILA, A.O.C., PINHO, J.A.M., QUEIROZ, P.V.S., CARVALHO, N.A.S., FROTA, M.N. *Um simulador de tarifas de energia elétrica para clientes de concessionárias brasileiras*. XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Bento Gonçalves, RS, 30/8 a 03/9/2010.

- [4] SOUZA, R.C., QUEIROZ, P.V.S., FROTA, M.N., PARTICELLI, F., REGEN, S. *“Mensuração do consumo de eletricidade e simulação de curvas de carga como critério de decisão para uso da termoacumulação”*. Encontro Regional de Pesquisa Operacional da Região Sudeste – ERPO/SOBRAPO – 12 a 16 de novembro de 2010 – a bordo do MSC Armonia.