



## Análise do uso de sistema de aquecimento solar na demanda e consumo de energia elétrica em residências populares

Clauber André Ferasso<sup>1</sup>, Mario Henrique Macagnan<sup>2</sup>, João Batista Dias<sup>3</sup>,

Jean-Marc Stephane. Lafay<sup>4</sup>

<sup>1</sup>PPGEM/ Universidade do Vale do Rio dos Sinos (clauber@unisinos.br)

<sup>2</sup>PPGEM/ Universidade do Vale do Rio dos Sinos (mhmac@unisinos.br)

<sup>3</sup>PPGEM/ Universidade do Vale do Rio dos Sinos (joaobd@unisinos.br)

<sup>4</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná (jeanmarc@utfpr.edu.br)

### Resumo

A contribuição das fontes de energias alternativas para a diversificação da matriz energética brasileira é importante devido, principalmente, ao aumento da demanda do consumo de energia elétrica. Parte deste aumento, no setor residencial, é consequência do uso simultâneo de milhares de chuveiros elétricos, na maioria das vezes no horário de ponta. A utilização de sistemas de energia solar (SAS) para aquecimento de água vem ao encontro deste propósito. Após análise do consumo médio mensal de energia elétrica fornecida pela concessionária durante o período de um ano em um conjunto residencial na cidade de Canoas, RS foi possível estimar o custo da utilização do chuveiro elétrico, por domicílio. A relação entre a demanda de energia para aquecimento de água e a energia produzida pelo SAS foi parametrizada utilizando-se o conceito de fração solar mensal e anual. Os resultados obtidos em três casos simulados mostraram que é possível obter uma economia média direta para consumidor de 43% da energia consumida pelo chuveiro elétrico e uma economia de energia estimada em até 12.056 kWh para o sistema elétrico ao longo de 20 anos.

*Palavras-chave:* Energia solar. Sistemas de Aquecimento. Chuveiro elétrico. Fração solar.

*Área Temática:* Energia e Energias Renováveis

## Analysis of the use of solar heating systems in the demand and electricity consumption in low income housing

### Abstract

*The contribution of alternative energy sources to diversify the Brazilian energy matrix is important, mainly due to increased demand of electricity consumption. Part of this increase is due to the simultaneous use of thousands of electric showers, mostly during peak hours. The use of solar energy systems (SWHS) for heating water meets this purpose. After the analysis of the average monthly consumption of electricity provided by the utility in the period of one year in a residential complex in the city of Canoas, RS, was possible to estimate the cost of using electric showers, per household. The relationship between energy demand for water heating and energy produced by SWHS was parameterized using the concept of monthly and annual solar fraction. The results obtained in three simulated cases showed that it is possible to obtain an average savings to the consumer of 43 % of energy used by electric shower and energy savings estimated at up to 12,056 kWh for the electricity system over 20 years.*

*Key words:* Solar energy. Heating Systems. Electric Shower. Solar fraction.

*Theme Area:* Energy and Renewable Energies



## 1 Introdução

A demanda de energia elétrica aumenta cada vez mais em todas as regiões do Brasil e do mundo, tornando-as dependente dos combustíveis fósseis e de grandes investimentos em fontes geradoras de energia elétrica. Além do incremento do consumo, é cada vez mais elevado o pico da curva de demanda de energia elétrica no horário de ponta, parte causada pelo uso simultâneo de milhares de chuveiros elétricos instalados nos domicílios brasileiros. A contribuição dos chuveiros elétricos no consumo de energia elétrica no Brasil continuará com elevado percentual no que se refere a aquecimento de água, principalmente nas regiões com população de baixa renda. As ações para a disseminação de sistemas de aquecimento solar (SAS) em moradias populares baseia-se em projetos pilotos que vêm sendo realizadas por concessionárias de energia elétrica, companhias de habitação e governo federal (NASPOLINI; RUTHER, 2010).

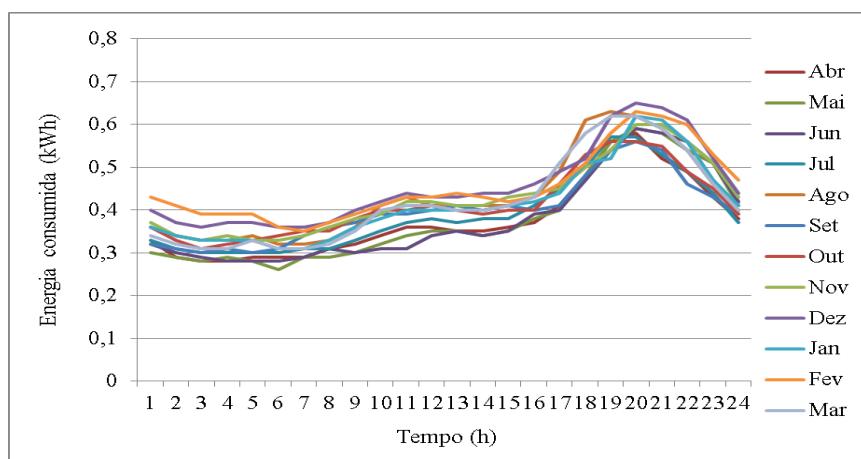
Com a criação de programas de tecnologias mais eficientes para o desenvolvimento dos SAS para a população de baixa renda, esses poderão trazer benefícios para o setor elétrico reduzindo a demanda e o consumo de energia no horário de ponta. Conforme a região, os chuveiros elétricos poderão ser usados como uma fonte complementar de água quente ou serem substituídos completamente. A tecnologia solar para o aquecimento de água no Brasil possui um grande potencial para contribuir com a malha energética, podendo diminuir o pico da curva de demanda no horário de ponta.

## 2 Metodologia

Considerando que os beneficiados na adoção de SAS são o usuário final e as concessionárias de energia elétrica, é necessário avaliar a viabilidade econômica destes investimentos sob óticas diferenciadas. Para o usuário deve-se analisar a economia de energia elétrica ao utilizar energia solar para aquecimento da água do banho. Para a concessionária a análise de viabilidade considera o investimento em SAS, a redução da demanda de energia elétrica no horário de pico e a consequente melhoria do fator de carga da concessionária (Portolann et al., 2010) e a diminuição de investimentos para expansão da rede elétrica.

Os dados de consumo global de energia elétrica, mostrados na Fig. 1, foram fornecidos pela concessionária de energia elétrica (AES Sul) para o alimentador que atende o Conjunto Habitacional Guajuviras, na cidade de Canoas, RS, durante o período de abril de 2011 à março de 2012. Nesse local residem cerca de 30 mil pessoas em aproximadamente 6.000 mil moradias (casas e blocos de 4 andares).

Figura 1 - Estimativa do consumo horário médio mensal domiciliar de energia elétrica





## 4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 23 a 25 de Abril de 2014

Apresenta uma média de cinco habitantes por domicílio e a renda media, per capita, é de R\$ 419,00. A estimativa do consumo desagregado deste equipamento foi obtida a partir da aplicação das seguintes hipóteses: (a) para cada mês e para cada hora, foram calculados os valores médios do consumo de energia elétrica, desconsiderando-se possíveis variações dos perfis de consumo nos finais de semana e feriados; (b) a estimativa do consumo de energia elétrica do chuveiro foi considerada como 30% do consumo total para àquela hora; (c) foi considerada a existência de apenas um chuveiro elétrico por domicílio.

Embora a estimativa do consumo desagregado do chuveiro elétrico seja realizada a partir de outros estudos, baseados em amostragens, os resultados apresentados pela aplicação das hipóteses anteriores constituem um indicador razoável do consumo deste equipamento. Através da aplicação desta metodologia, obteve-se a estimativa do consumo médio mensal de energia elétrica domiciliar, apresentado na Tab. 1.

Tabela 1- Consumo médio mensal de energia elétrica domiciliar e o valor desagregado representando o consumo do chuveiro elétrico, em kWh

	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar
Consumo total domiciliar	203	211	205	218	239	215	230	230	254	232	236	239
Chuveiro	61	63	61	65	72	64	69	69	76	70	71	72

Com os valores estimados de consumo de energia apresentados na Tab. 1, apresentam-se na Tab. 2 os valores relativos ao uso da energia elétrica total e para o chuveiro elétrico.

Tabela 2 - Estimativa do custo da energia elétrica consumida por domicílio

	Consumo, kWh	Custo, R\$
Anual	2712	1.220,40
Chuveiro	813	365,85
Média mensal	226	101,70
Média mensal do chuveiro	68	30,60

Utilizando o software TRNSYS para análise do desempenho térmico de sistemas de aquecimento solar, foram simuladas três configurações de SAS, todas operando no modo termosifão e com reservatório térmico com volume de 200 L. O primeiro sistema com área de coletor de 1,73 m<sup>2</sup>, o segundo com área de 3,46 m<sup>2</sup> e o terceiro com área de 2 m<sup>2</sup>. Os dois primeiros casos representam um e dois coletores comerciais em paralelo enquanto o terceiro caso, um coletor similar ao anterior mas com área intermediária entre as duas condições. Como sistema de energia auxiliar foi utilizado o próprio chuveiro elétrico, fornecendo a energia necessária para que a temperatura da água de consumo atingisse o valor de 40 °C. O consumo de água quente para as três simulações foi de 40 L/(pessoa.dia). Os resultados da simulação são apresentados nas Tab. 3, 4 e 5. Nessas tabelas,  $L_{S,i}$  é a energia fornecida pelo SAS,  $L_{A,i}$  a energia auxiliar,  $L_{w,i}$  é a energia necessária para aquecer a água até a temperatura especificada e  $F$  é a fração solar anual, definida como a relação entre a energia térmica produzida pelo SAS e a energia necessária para atender uma dada demanda de água quente.

Como pode ser notado, a fração solar anual aumenta com o aumento da área de coletor solar. Em termos de dimensionamento de sistemas, costuma-se utilizar valores de fração solar anual entre 0,6 a 0,7, entendida como um compromisso entre o custo do sistema e a energia economizada, situação atendida pela Configuração 1.

Utilizando dois coletores em paralelo, a área salta de 1,73 m<sup>2</sup> para 3,46 m<sup>2</sup>, produzindo valores de fração solar anual de 0,89. Como solução comparativa entre os dois casos analisados, estudou-se o uso de um coletor solar com área de 2 m<sup>2</sup>, que corresponde a uma



## 4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 23 a 25 de Abril de 2014

situação intermediária entre as duas configurações. Nessa situação, a fração solar anual fica em 0,76.

Para analisar economicamente as três configurações foram utilizados valores de equipamentos encontrados na região metropolitana de Porto Alegre, no ano de 2013, mostrados na Tab. 6.

Tabela 3 - Resultados da simulação utilizando 1,73 m<sup>2</sup> de área do coleto

	$L_{S,i}$ (kJ)	$L_{S,i}$ (kWh)	$L_{A,i}$ (kJ)	$L_{w,i}$ (kJ)	$f_i$
Janeiro	583.833	162	13.661	595.447	0,98
Fevereiro	507.149	141	32.524	537.744	0,94
Março	524.324	146	73.170	595.447	0,88
Abril	399.006	111	179.214	576.237	0,69
Maio	259.315	72	338.179	595.447	0,43
Junho	195.989	54	382.231	576.237	0,34
Julho	191.532	53	405.960	595.447	0,32
Agosto	246.265	68	351.229	595.447	0,41
Setembro	377.399	105	200.821	576.237	0,65
Outubro	547.730	152	49.765	595.447	0,91
Novembro	558.403	155	19.829	576.237	0,96
Dezembro	596.610	166	0.906	595.447	1,00
$\Sigma$		1.385	2.046.583		
$\mathcal{F}$					0,71

Tabela 4 - Resultados da simulação utilizando 3,46 m<sup>2</sup> de área do coleto

	$L_{S,i}$ (kJ)	$L_{S,i}$ (kWh)	$L_{A,i}$ (kJ)	$L_{w,i}$ (kJ)	$f_i$
Janeiro	595.789	165	0,00	595.447	1,00
Fevereiro	539.671	150	0,00	537.744	1,00
Março	597.486	166	0,00	595.447	1,00
Abril	578.196	161	0,00	576.237	1,00
Maio	463.424	129	134.069	595.447	0,77
Junho	367.498	102	210.721	576.237	0,63
Julho	370.624	103	226.862	595.447	0,62
Agosto	442.770	123	154.724	595.447	0,74
Setembro	549.576	153	28.643	576.237	0,95
Outubro	597.493	166	0,00	595.447	1,00
Novembro	578.215	161	0,00	576.237	1,00
Dezembro	597.493	166	0,00	595.447	1,00
$\Sigma$		1.744	756.728		
$\mathcal{F}$					0,89

No intuito de verificar as condições em que os SAS apresentam viabilidade técnica e econômica, foram construídos 4 cenários distintos, apresentados nos Quadros 1, 2, 3, e 4, e aplicados para as configurações descritas anteriormente. Os cenários são alimentados com informações de entrada como: valor do investimento, taxa de juros, tempo de vida útil e receita esperada. Essa análise tem o objetivo de mostrar resultados utilizando diferentes critérios nas informações quanto ao uso e ao custo de operação do SAS ao longo da vida útil. Nesses quadros, TMA é a taxa média de atratividade.



## 4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 23 a 25 de Abril de 2014

Tabela 5 - Resultados da simulação utilizando 2,00 m<sup>2</sup> de área do coletor

	$L_{S,i}$ (kJ)	$L_{S,i}$ (kWh)	$L_{A,i}$ (kJ)	$L_{w,i}$ (kJ)	$f_i$
Janeiro	595.773	165	0,00	595.447	1,00
Fevereiro	528.042	147	11.638	537.744	0,98
Março	563.771	157	33.728	595.447	0,94
Abril	456.288	127	121.932	576.237	0,79
Maio	298.382	83	299.112	595.447	0,50
Junho	226.478	63	351.742	576.237	0,39
Julho	223.122	62	374.369	595.447	0,37
Agosto	283.870	79	313.624	595.447	0,47
Setembro	427.660	119	150.560	576.237	0,74
Outubro	588.233	163	9.263	595.447	0,98
Novembro	571.797	159	6.423	576.237	0,99
Dezembro	597.489	166	0,00	595.447	1,00
$\Sigma$		1.489	1.674.118		
$\mathcal{F}$					0,76

Tabela 6 - Valores econômicos adotados para o sistema de aquecimento solar

Descrição	Valor, R\$
Coletor solar (m <sup>2</sup> )	289,00
Reservatório 200 L	1.200,00
Instalação	700,00
Vida útil do SAS	20 anos

Muitos critérios econômicos foram propostos e usados para avaliar e otimizar os sistemas que utilizam energia solar, mas mesmo assim, não há um acordo universal sobre qual deve ser usado (DUFFIE; BECKMAN, 2006). Para esse estudo, os parâmetros avaliados para o consumidor são o tempo de retorno de investimento no SAS (*payback time*), o *VPL* (valor presente líquido) e a *TIRM* (taxa interna de retorno modificada). Tempo de retorno de investimento é o tempo necessário para o fluxo de caixa anual tornar-se positivo, isto é, o tempo necessário para que a economia financeira em energia elétrica do sistema convencional se iguale ao total investido no sistema de aquecimento solar, utilizando para isso a quantia economizada anualmente no consumo de energia elétrica.

*VPL* ou valor presente líquido é uma fórmula matemático-financeira capaz de determinar o valor presente de pagamentos futuros descontados a uma taxa de juros apropriada, menos o custo do investimento inicial. Assim, a soma de todos os custos associados com o sistema de aquecimento solar ao longo da vida útil em valor presente.

Quadro 1 – Cenário 1 para operação do SAS em região domiciliar

**Preço da energia:** Acréscimo em 3% ao ano, aumentando assim a receita

**Subsídio:** Inexistente tanto para a aquisição do sistema quanto na tarifa

**Manutenção:** Considerando 20 anos de vida útil sem necessidade de manutenção e limpeza no SAS

**Eficiência do sistema:** Considerando que o nível de eficiência seja o mesmo durante toda sua vida útil

**TMA:** Considerando aplicação do valor investido na poupança com rendimento anual de 5%



Quadro 2 – Cenário 2 para operação do SAS em região domiciliar

**Preço da energia:** Constante

**Subsídio:** Inexistente tanto para a aquisição do sistema quanto na tarifa

**Manutenção:** Considerando 20 anos de vida útil sem necessidade de manutenção e limpeza no SAS

**Eficiência do sistema:** Diminuição do rendimento de 10% ao final da vida útil, ou seja, uma perda de rendimento de 0,5% ao ano

**TMA:** Considerando aplicação do valor investido na poupança com rendimento anual de 5%

Quadro 3 – Cenário 3 para operação do SAS em região domiciliar

**Considerando:** Após a aquisição do sistema uma pessoa deixa o local, a economia diminuirá em 20%

**Preço da energia:** Constante

**Subsídio:** Inexistente tanto para a aquisição do sistema quanto na tarifa

**Manutenção:** Considerando 20 anos de vida útil sem necessidade de manutenção e limpeza no SAS

**Eficiência do sistema:** Considerando que o nível de eficiência seja o mesmo durante toda sua vida útil

**TMA:** Considerando aplicação do valor investido na poupança com rendimento anual de 5%

Quadro 4 – Cenário 4 para operação do SAS em região domiciliar

**Preço da energia:** Constante

**Subsídio:** Inexistente tanto para a aquisição do sistema quanto na tarifa

**Manutenção:** Considerando gasto de R\$ 100,00/ano para realização de limpeza interna e externa dos coletores, substituição de canos e demais peças que possam dar problema

**Eficiência do sistema:** Considerando que o nível de eficiência seja o mesmo durante toda sua vida útil

**TMA:** Considerando aplicação do valor investido na poupança com rendimento anual de 5%

### 3 Resultados

Os resultados da avaliação econômica para cada um dos casos analisados e utilizando os cenários descritos estão apresentados nas Tab. 7 a 10.

Tabela 7 – Resultado da análise econômica do caso 1

Tempo de retorno (anos)	Caso 1			
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
VPL (R\$)	4.519,12	2.005,14	1.292,37	964,15
TIRM (%)	10,71	8,24	7,29	6,79

Os quatro cenários considerados na análise tiveram apenas uma variável alterada mantendo as demais constantes, como a variação do preço da energia, redução do número de moradores, perda da eficiência de conversão do sistema e com custo de manutenção. Todos os



## 4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 23 a 25 de Abril de 2014

sistemas demonstraram ser pouco atrativos no ponto de vista de investimento por parte do consumidor, já que o menor tempo de retorno foi de 7 anos, para o SAS com coletor de 1,73 m<sup>2</sup>, conforme o cenário 1. Nessa análise foram utilizados valores comerciais unitários dos equipamentos e sem nenhum incentivo ou subsídio do Governo ou da concessionária.

Tabela 8 – Resultado da análise econômica do caso 2

	Caso 2			
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Tempo de retorno (anos)	9	11	14	16
VPL (R\$)	4.019,12	1.505,14	792,37	464,15
TIRM (%)	9,67	7,22	6,28	5,78

Tabela 9 – Resultado da análise econômica do caso 3

	Caso 3			
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Tempo de retorno (anos)	8	9	12	13
VPL (R\$)	4.441,12	1.927,14	1.214,37	886,15
TIRM (%)	10,53	8,06	7,11	6,62

Para a concessionária de energia elétrica, o parâmetro avaliado é a economia da expansão da rede e os ganhos na energia conservada anualmente sem o uso no horário de ponta. Com isso estima-se a quantia de energia que poderia ser pouparada pela utilização do SAS a fim de diminuir o pico de demanda. Conforme mostrado nas Tab. 3, 4 e 5, para cada uma das configurações utilizadas, a economia de energia por domicílio é obtida através da conversão da energia solar absorvida pelo SAS em energia elétrica.

Tabela 10 - Resultados da análise econômica na expansão da rede elétrica

	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Custo de expansão (US\$)	980,00	980,00	980,00
Custo de energia auxiliar/custo do chuveiro elétrico	255,82/365,85	94,59/365,85	209,26/365,85
Economia de energia por domicílio (%)	30	74	43
Economia (US\$)	294,00	725,20	421,40

Com o aumento da demanda de energia elétrica nesse setor e seu uso intensivo no horário de ponta, foi estimado por Colle et al (2003) que o custo de expansão da rede elétrica para suprir essa demanda possa estar em torno de US\$ 980,00 por chuveiro instalado.

A economia da expansão na rede para uso do chuveiro elétrico no horário de ponta é determinada pela diferença entre o custo anual da energia auxiliar utilizada pelo SAS e o modo tradicional, ou seja, o chuveiro nos casos 1, 2 e 3, conforme mostrado na Tab. 10.

## 4 Conclusões

Nesse trabalho foram simulados, para um ciclo meteorológico de um ano, o comportamento de três sistemas de aquecimento de água com energia solar, com o mesmo volume de reservatório térmico mas com três áreas de coletores distintas e analisados à partir do uso do parâmetro fração solar anual. Em todos os casos simulados, o chuveiro elétrico



## 4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 23 a 25 de Abril de 2014

atuou como o sistema de aquecimento auxiliar. A análise econômica do investimento para o usuário final foi feita utilizando-se os conceitos de *VPL* ou valor presente líquido e a *TIRM*, taxa interna de retorno modificada, além do tempo de retorno de investimento (*payback time*).

Os resultados técnicos mostram ser recomendável a utilização de SAS para aquecimento de água para banho, em substituição parcial do chuveiro elétrico, alcançando frações solares anuais acima de 70% para as três configurações analisadas. Os três casos apresentaram reduções da conta de energia elétrica paga pelo consumidor de 30%, 74% e 43%, respectivamente. Para a análise econômica ao consumidor, sem nenhum incentivo na compra do SAS, os resultados mostram um tempo de retorno variando entre 7 a 16 anos, dependendo do cenário escolhido. A *TIRM* apresentou valores superiores à taxa de juros utilizadas no presente trabalho, tendo uma variação de 5,78 a 10,71%. Analisando uma situação de aquisições de centenas de unidades de SAS, certamente o valor de investimento diminuirá, como resultado diminuindo também o tempo de retorno de investimento e melhorando a *TIRM*. A criação dos cenários e os resultados das análises econômicas destes cenários apontam para uma incerteza muito grande sobre a viabilidade econômica de aquisição de SAS pelo usuário final, pois o período de análise é muito longo e suscetível a muitas variáveis durante o período. No entanto, utilizando-se sistemas de aquecimento solar para aquecimento ou pré-aquecimento de água, é possível reduzir a sobrecarga do sistema elétrico no horário de ponta, produzindo uma economia superior a 50% em termos de expansão do sistema. A não utilização do chuveiro elétrico no horário de ponta pouparia, ao longo de 20 anos, em torno de 4.890 kWh a 12.056 kWh de energia elétrica, dependendo do modelo de SAS utilizado. Desta forma, fica claro que a utilização de SAS é viável, porém o investimento deve ser efetuado segundo uma política que considere os beneficiários de tal ação.

### Referências

- COLLE, S. et al. Cost optimization of low-cost solardomestic hot water systems assisted by electric energy. In: INTERNATIONAL SOLAR ENERGY SOCIETY - SOLAR WORLD CONGRESS, Suécia, 2003. **Proceedings of the ISES**. Suécia, 2003.
- DUFFIE, J. A; BECKMAN, W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes**. 3. ed. New York: John Wiley, 2006.
- NASPOLINI, H. F; RUTHER, R. Agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho na habitação popular: impactos sobre a demanda de potência ativa, reativa e aparente solicitadas ao sistema elétrico. In: III CBENS; CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 3; Belém, 2010. **Anais...** Belém, 2010.
- PASSOS, L. A. A. **Um estudo sobre os impactos técnicos e econômicos da agregação do aquecimento solar de água nos domicílios brasileiros**. 2011. 126 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2011.
- PORTOLANN, C. A.; LAFAY, J. M.S. ; KOLZER, J. F. ; SILVA, J. ; SLONGO, B. L. **Aumento do Fator de Carga de Distribuidoras Restringindo o Uso de Chuveiros Elétricos**. Congresso Internacional de Distribución Eléctrica CIDEL, Buenos Aires, 2010.