

COMPARAÇÃO ECONÔMICA ENTRE O SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO FOTOVOLTAICO POR COMPRESSÃO DE VAPOR E CHILLERS DE ABSORÇÃO COM COLETORES SOLARES TÉRMICOS

Jéssica de Oliveira Santos – jessica.santos1104@gmail.com

Marcio Cataldi – marcio.cataldi@gmail.com

Matheus de Mendonça Herzog – matheus.herzog@cemig.com

Elizabeth Marques Duarte Pereira – bethduarte00@gmail.com

Universidade Federal Fluminense, Pós Graduação em Engenharia de Biosistemas

Centro Universitário UNA, Departamento de Engenharia Elétrica

Resumo. Este artigo apresenta o estudo da comparação da viabilidade econômica do sistema de energia solar fotovoltaica com o sistema de chiller de absorção com coletores térmicos, para usos no setor comercial de diferentes portes, localizados em Belo Horizonte, devido ao elevado consumo dos sistemas de condicionamento de ar ambiente. Foram realizadas simulações de 25 TR a 200 TR e adotou-se a faixa horária de 2400 h, 3600 h, 4800 h, 6000 h e 7200 h (considerando 300 dias no ano) de utilização do ar condicionado para o sistema fotovoltaico. A simulação das diferentes plantas fotovoltaicas foi feita com auxílio do programa Simulador Solar. O custo do sistema solar fotovoltaico e os coletores térmicos foi realizado através de orçamentos com empresa nacional e para o chiller de absorção foi realizada cotação com fabricantes internacionais. Compararam-se ambos os investimentos iniciais, onde foi observado que a partir de 121 TR os custos para ambas as tecnologias se igualam, tal resultado foi obtido, pois o custo do sistema fotovoltaico praticamente se igualou à soma do custo da planta solar térmica e do chiller de absorção. Foi possível constatar uma redução no custo dos painéis fotovoltaicos de aproximadamente 44 % em relação ao ano de 2015, com os custos encontrados no ano atual, 2017. Com os resultados deste estudo, foi possível constatar a viabilidade econômica para aplicação do sistema solar fotovoltaico para todas as cargas térmicas simuladas, com payback entre 36 e 47 meses, índice de rentabilidade da ordem de 6,5 a 9,2 e taxa interna de retorno de 1,91 a 2,77.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica, Chiller de absorção, viabilidade econômica.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, recomenda-se fortemente o uso da energia solar, que está disponível em abundância, com elevado índice de irradiação solar incidente, com médias anuais entre 4,55 kWh/m²-dia e 6,65 kWh/m²-dia (Viana, 2010). O mercado solar térmico vem crescendo nos últimos anos no país com taxas anuais médias da ordem de 18% (ABGD, 2017).

A alternativa solar fotovoltaica representa também uma oportunidade tecnológica com significativo potencial, ao longo da última década. Em relação à geração distribuída de pequeno porte, é conveniente destacar iniciativas de incentivo, como a Resolução Normativa da ANEEL nº 482/2012, ampliada pela Resolução nº 687/2016, que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica. Em 2012, 99% da potência acumulada total correspondia a sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Desses, mais de 60% são de sistemas descentralizados (IEA PVPS, 2013).

Durante os períodos de temperaturas elevadas, os equipamentos de condicionamento de ar e refrigeração são responsáveis diretos por grande parte do consumo de energia, sendo eles importantes na vida moderna, pois fornecem conforto e têm papel fundamental na produção industrial. Em 2014, havia cerca de 1200 instalações de refrigeração solar instaladas em todo o mundo, abrangendo todas as tecnologias e portes. No total, 71% desses sistemas de resfriamento funcionam em resfriadores de absorção, 13% em adsorção e 16% em sistemas dessecantes (IEA-ETSAP e IRENA, 2015). Tal número representa apenas uma pequena parte de um mercado de dezenas de milhões de sistemas de ar condicionado por compressão de vapor, vendidos anualmente.

A energia solar associada aos sistemas de condicionamento de ar e refrigeração pode contribuir para redução dos picos de demanda diurno, além de ser gerada junto ao ponto de consumo e integrada às próprias edificações. A fonte solar é atrativa não apenas por ser renovável, mas também porque a demanda de refrigeração é, majoritariamente, induzida pela elevada insolação.

Nesse contexto, o estudo proposto busca contribuir para essa discussão, a partir da comparação da viabilidade econômica entre o sistema solar fotovoltaico e o sistema com o *chiller* de absorção com coletores térmicos, para condicionamento de ambientes no setor comercial.

2. METODOLOGIA

2.1 Simulação da planta fotovoltaica

Realizou-se uma pesquisa para levantamento dos dados técnicos a partir de 25 TR progressivamente até chegar a uma capacidade térmica de 200 TR. De posse das capacidades térmicas e das especificações dos diferentes portes de ar condicionados, considerou-se a faixa de horas de uso do ar condicionado de 2400 h, 3600 h, 4800 h, 6000 h e 7200 h para 300 dias no ano, e posteriormente, através do número de horas para resfriamento anual, considerados, calculou-se a demanda de energia anual (E_{anual}) para condicionamento de ar pela Eq. (1):

$$E_{\text{Anual}} = \frac{W \times \text{Tempo de utilização}}{1000} \text{ [kWh - ano]} \quad (1)$$

sendo W a potência do compressor, expressa em W, e o tempo de utilização em horas. A constante 1000 é apenas para conversão de ordem de grandeza.

Foram realizadas simulações através do programa Simulador Solar para a planta solar fotovoltaica, ferramenta digital livre que permite o cálculo da potência de um sistema fotovoltaico (gerador de eletricidade solar) e a economia anual esperada em determinada localidade pela utilização dos painéis fotovoltaicos. Considerou-se que as demandas de energia elétrica para condicionamento de ar do sistema convencional e fotovoltaico são iguais.

O custo anual da energia elétrica para acionamento dos sistemas de ar condicionado foi calculado pela multiplicação do consumo de energia anual pela tarifa de energia elétrica de R\$ 0,604517/kWh, praticada para empreendimentos comerciais pela CEMIG (Belo Horizonte).

Também foram pesquisados orçamentos junto a empresas de projetos e instalações de sistemas fotovoltaicos e aquecimento solar. A empresa escolhida tem sede em Belo Horizonte e experiência com projetos de P&D na área da energia solar. De posse dos orçamentos das instalações fotovoltaicas, foi realizada a análise econômica dos sistemas, considerando aumento da taxa de energia elétrica em 10% a.a.

As premissas para o cálculo econômico foram: demanda de energia, fração solar, manutenção de 2% do valor do investimento; o valor atual da tarifa de R\$ 0,604517/kWh para Belo Horizonte; custo de oportunidade de 0,75% e pagamento em seis prestações mensais iguais. Um exemplo da planilha utilizada neste cálculo econômico está na Tab.1.

Tabela 1 - Planilha de entrada de dados para análise de viabilidade econômica – instalações fotovoltaicas.

Dados de Consumo	
Demanda Energia Mensal (kWh)	48000
Dados da Instalação Solar	
Fração Solar	0,915
Consumo mensal efetivo EE (kWh)	4102,5
Economia Mensal de EE (kWh)	43897,5
Economia Anual de EE (kWh)	526770
Preço da Instalação Solar	R\$ 731.372,96
Estudo da Viabilidade Econômica	R\$ 0,00
Custo de Negociação e Parceria	R\$ 0,00
Custo do Projeto de Engenharia	R\$ 0,00
Custos Adicionais de Instalação	R\$ 0,00
Valor Total do Investimento	R\$ 731.372,96
Manutenção (% do investimento)	2%
Dados Financeiros	
Taxa de Aumento - Energia Elétrica - Ano 2	10%
Taxa de Aumento - Energia Elétrica - Ano 3	10%
Taxa de Aumento - Energia Elétrica - Ano 4	10%
Taxa de Aumento - Energia Elétrica - Ano 5	10%

Taxa de Aumento - Energia Elétrica - Ano 6	10%
Taxa de Aumento - Energia Elétrica - Ano 7	10%
Taxa de Aumento - Energia Elétrica - Ano 8	10%
Taxa de Aumento - Energia Elétrica - Ano 9	10%
Taxa de Aumento - Energia Elétrica - Ano 10	10%
Taxa de Aumento - Energia Elétrica - Ano 11	10%
Taxa de Aumento - Energia Elétrica - Ano 12	10%
Taxa de Aumento - Energia Elétrica - Ano 13	10%
Taxa de Aumento - Energia Elétrica - Ano 14	10%
Taxa de Aumento - Energia Elétrica - Ano 15	10%
Preço do kWh	0,604517
Economia Mensal de EE (R\$)	R\$ 26.536,79
Economia Anual de EE (R\$)	R\$ 318.441,42
Gasto Mensal de EE -Geração PV(R\$)	R\$ 2.480,03
Valor Total do Investimento	R\$ 731.372,96
Valor do Desembolso Inicial	R\$ 0,00
Valor do Financiamento Total	R\$ 731.372,96
Taxa mensal de financiamento	R\$ -
Custo de oportunidade (Aplicações)	0,75%
Nº de Prestações Mensais	6
Valor da Prestação Mensal	R\$ 121.895,49

Fonte: os autores.

O aumento de tarifa de energia elétrica utilizada pela concessionária CEMIG da ordem de 10% ao ano é um valor conservador, embasado pela Tab. 2, onde é apresentado o comportamento das tarifas de energia elétrica confrontando a média nacional nos últimos seis anos.

Tabela 2 – Comportamento das Tarifas de Energia Elétrica CEMIG (2010-2016)

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Média
CEMIG	-6%	5%	-11%	12%	37%	15%	9%
Nacional	5%	5%	-14%	9%	46%	6%	10%

Fonte: elaboração própria com dados da ANEEL, 2017.

Os dados de saída da análise econômica são: valor presente líquido, taxa interna de retorno, *payback* e o índice de rentabilidade.

2.2 Simulação da planta solar térmica e do *chiller* de absorção

Utilizou-se a mesma faixa de carga térmica 25 TR a 200 TR para os *chillers* de absorção, os custos foram considerados como valor FOB, sendo computados 32% sobre este valor, referente às despesas de embalagem, frete, seguro e armazenagem. A Fig. 1 apresenta o gráfico que foi utilizado como base para o cálculo dos custos dos *chillers*.

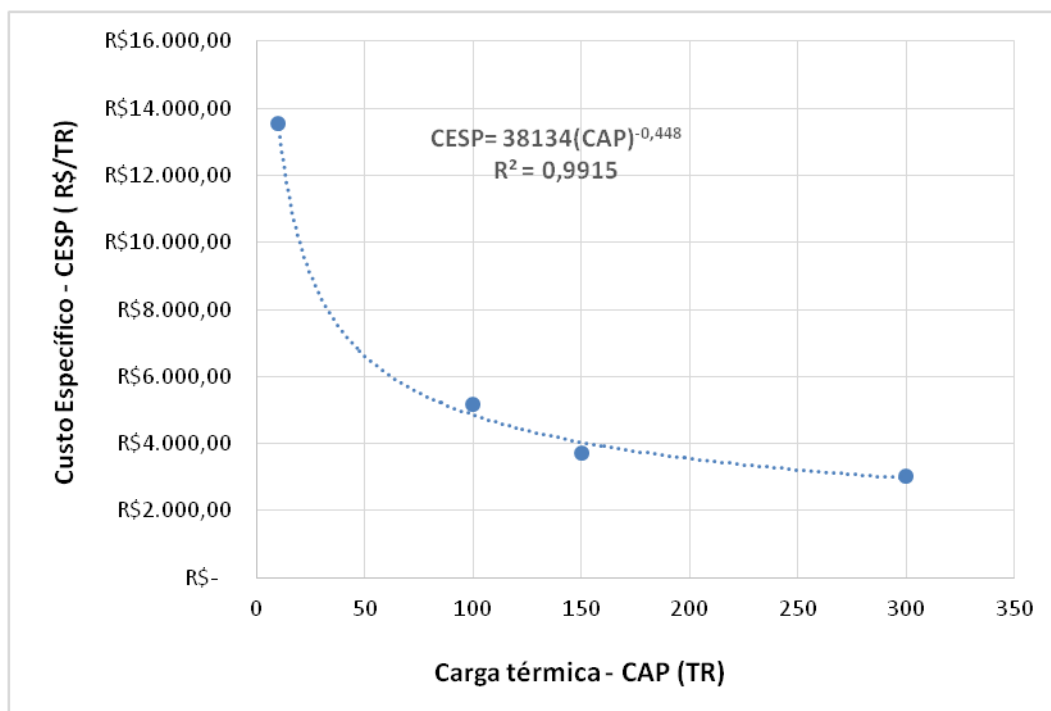


Figura 1. Custo específico (R\$/TR) x Carga térmica (TR).

Fonte: os autores.

Considerou-se que para cada TR são necessários 16 m² de áreas de coletores térmicos com preço médio de R\$350,00 por m². Para o reservatório, cada TR foram equivalentes ao armazenamento diário de 300 litros de água quente com custo médio de R\$ 7,00 por litro. Para incluir os custos de instalação, instrumentação e automação foi adotado um fator de 1,4, validado no desenvolvimento do P&D 438.

3 RESULTADOS

3.1 Planta solar fotovoltaica

Os resultados obtidos para a área necessária de painéis fotovoltaicos para cada carga térmica, em função das horas anuais de funcionamento, estão apresentados na Fig. 2. Conforme esperado, quanto maior carga térmica, maiores serão as áreas de painéis fotovoltaicos. A Tab. 3 apresenta os custos da planta solar térmica, onde variou-se o número de horas para a mesma carga térmica.

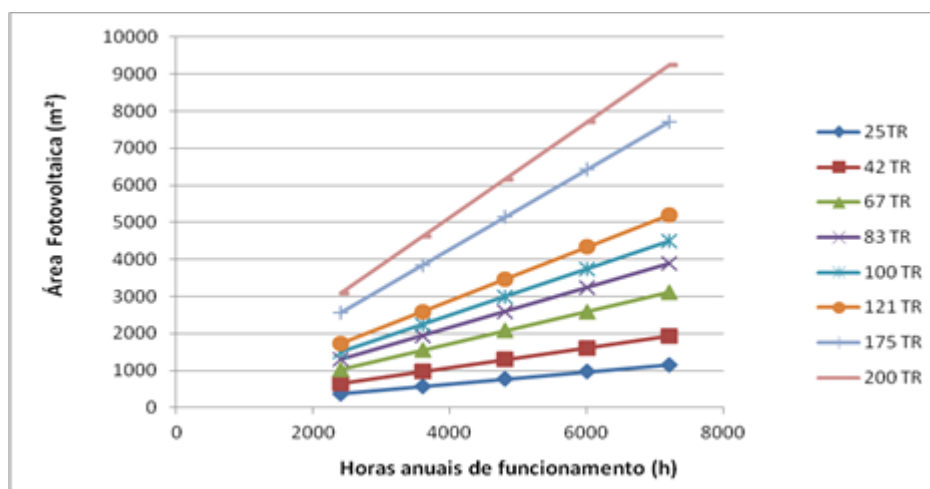


Figura 2. Área fotovoltaica x Horas anuais de funcionamento do ar condicionado

Fonte: os autores.

Tabela 3 – Informações da planta solar em função do número anual de horas de utilização do *chiller*.

TR	horas/ano	Energia (kWh-ano)	R\$ 0,604517/kWh	(kWh)	(R\$/mês)	PV (kWh-ano)	PV (kWh-mês)	Fração Solar	Custo PV
25	2400	72727	43964,83	6061	3663,74	65450	5454	90,0%	R\$ 171.423,91
25	3600	109091	65947,24	9091	5495,60	98750	8229	90,5%	R\$ 234.411,70
25	4800	145454	87929,66	12121	7327,47	132200	11017	90,9%	R\$ 336.798,63
25	6000	181818	109912,07	15152	9159,34	165500	13792	91,0%	R\$ 375.725,42
25	7200	218182	131894,49	18182	10991,21	198800	16567	91,1%	R\$ 411.302,11
TR	horas/ano	Energia (kWh-ano)	R\$ 0,604517/kWh	(kWh)	(R\$/mês)	PV (kWh-ano)	PV (kWh-mês)	Fração Solar	Custo PV
42	2400	121212	73274,71	10101	6106,23	109000	9083	89,9%	R\$ 263.404,71
42	3600	181818	109912,07	15152	9159,34	165500	13792	91,0%	R\$ 366.628,56
42	4800	242424	146549,43	20202	12212,45	220960	18413	91,1%	R\$ 421.635,02
42	6000	303030	183186,79	25253	15265,57	276560	23047	91,3%	R\$ 528.185,84
42	7200	363636	219824,14	30303	18318,68	332160	27680	91,3%	R\$ 693.290,65
TR	horas/ano	Energia (kWh-ano)	Gasto anual (R\$)	(kWh)	(R\$/mês)	PV (kWh-ano)	PV (kWh-mês)	Fração Solar	Custo PV
67	2400	193939	117239,54	16162	9769,96	176650	14721	91,1%	R\$ 390.491,44
67	3600	290909	175859,32	24242	14654,94	265410	22118	91,2%	R\$ 543.069,46
67	4800	387878	234479,09	32323	19539,92	354310	29526	91,3%	R\$ 833.919,87
67	6000	484848	293098,86	40404	24424,90	443220	36935	91,4%	R\$ 988.286,99
67	7200	581818	351718,63	48485	29309,89	532120	44343	91,5%	R\$ 1.095.211,49
TR	horas/ano	Energia (kWh-ano)	R\$ 0,604517/kWh	(kWh)	(R\$/mês)	PV (kWh-ano)	PV (kWh-mês)	Fração Solar	Custo PV
83	2400	242640	146680,00	20220	12223,33	221250	18438	91,2%	R\$ 528.185,84
83	3600	363960	220020,01	30330	18335,00	332450	27704	91,3%	R\$ 833.919,87
83	4800	485280	293360,01	40440	24446,67	443650	36971	91,4%	R\$ 961.964,96
83	6000	606600	366700,01	50550	30558,33	554860	46238	91,5%	R\$ 1.218.969,51
83	7200	727920	440040,01	60660	36670,00	666060	55505	91,5%	R\$ 1.454.696,56
TR	horas/ano	Energia (kWh-ano)	Gasto anual (R\$)	(kWh)	(R\$/mês)	PV (kWh-ano)	PV (kWh-mês)	Fração Solar	Custo PV
100	2400	280279	169433,54	23357	14119,46	255710	21309	91,2%	R\$ 543.069,46
100	3600	420419	254150,31	35035	21179,19	384140	32012	91,4%	R\$ 788.873,88
100	4800	560558	338867,08	46713	28238,92	512580	42715	91,4%	R\$ 1.125.189,17
100	6000	700698	423583,85	58392	35298,65	641010	53418	91,5%	R\$ 1.423.286,05
100	7200	840838	508300,62	70070	42358,39	769440	64120	91,5%	R\$ 1.635.369,11
TR	horas/ano	Energia (kWh-ano)	R\$ 0,604517/kWh	(kWh)	(R\$/mês)	PV (kWh-ano)	PV (kWh-mês)	Fração Solar	Custo PV
121	2400	324000	195863,51	27000	16321,96	295820	24652	91,3%	R\$ 623.469,64
121	3600	486000	293795,26	40500	24482,94	444230	37019	91,4%	R\$ 988.286,99
121	4800	648000	391727,02	54000	32643,92	592790	49399	91,5%	R\$ 1.351.567,22
121	6000	810000	489658,77	67500	40804,90	741210	61768	91,5%	R\$ 1.604.452,09
121	7200	972000	587590,52	81000	48965,88	889770	74148	91,5%	R\$ 2.045.354,32
TR	horas/ano	Energia (kWh-ano)	Gasto anual (R\$)	(kWh-mês)	(R\$/mês)	PV (kWh-ano)	PV (kWh-mês)	Fração Solar	Custo PV
175	2400	480000	290168,16	40000	24180,68	438730	36561	91,4%	R\$ 961.964,96
175	3600	720000	435252,24	60000	36271,02	658670	54889	91,5%	R\$ 1.609.409,89
175	4800	960000	580336,32	80000	48361,36	878760	73230	91,5%	R\$ 2.009.832,45
175	6000	1200000	725420,40	100000	60451,70	1098710	91559	91,6%	R\$ 2.467.990,24
175	7200	1440000	870504,48	120000	72542,04	1318650	109888	91,6%	R\$ 2.788.400,71
TR	horas/ano	Energia (kWh-ano)	R\$ 0,604517/kWh	(kWh)	(R\$/mês)	PV (kWh-ano)	PV (kWh-mês)	Fração Solar	Custo PV
200	2400	576000	348201,79	48000	29016,82	526770	43898	91,5%	R\$ 1.125.189,17
200	3600	864000	522302,69	72000	43525,22	790730	65894	91,5%	R\$ 1.635.369,11
200	4800	1152000	696403,58	96000	58033,63	1054690	87891	91,6%	R\$ 2.235.773,11
200	6000	1440000	870504,48	120000	72542,04	1318650	109888	91,6%	R\$ 2.788.400,71
200	7200	1728000	1044605,38	144000	87050,45	1582610	131884	91,6%	R\$ 3.230.895,77

Cabe ressaltar a redução de custos dos sistemas fotovoltaicos observada. A título de exemplo, nas simulações realizadas em 2015, 1 TR correspondia a aproximadamente R\$ 12.212,00, enquanto que, em 2017, 1 TR corresponde a

R\$ 6.856,00, ou seja, houve uma redução de 44 %, atribuída a uma mudança no *modus operandi* pelas próprias empresas do setor.

A IEA (2012) apresentou uma perspectiva das projeções de redução percentual dos custos de sistemas fotovoltaicos, sobre os custos de instalação no Brasil, ao longo das décadas conforme a Tab. 4.

Tabela 4 - Perspectiva de redução de custos dos sistemas fotovoltaicos (R\$/Wp)

	2013	2020	2030	2040	2050
Residencial	7,00	4,40	3,20	2,70	2,30
Comercial	6,50	4,20	3,00	2,50	2,10
Industrial	6,00	3,40	2,70	2,30	2,00

Fonte: Elaboração EPE com base em IEA (2012).

Assim, havia uma perspectiva de redução de custos da tecnologia fotovoltaica para o setor comercial até 2020 de 35%, valor inferior ao encontrado (44%) no país e atribuído à maior competitividade comercial.

Ao que tange os resultados da análise econômica realizada para o sistema fotovoltaico, a taxa interna de retorno variou entre 1,91 e 2,77, o *payback* de 36 a 47 meses e um índice de rentabilidade de 6,5 a 9,2, apresentando ser viável economicamente para todas as cargas térmicas simuladas.

3.2 Planta solar térmica e *chiller* de absorção

A Tab. 5 apresenta o resultado da simulação da planta solar térmica, considerando os custos do *chiller* de absorção, dos coletores térmicos e do reservatório.

Tabela 5 – Resultado da simulação da planta solar

TR	R\$ Chiller Abs	m ²	Custo do coletor térmico (R\$)	Reservatório (litros)	Custo do Reservatório (R\$)	Total
25	R\$ 200.000,00	400	R\$ 140.000,00	7500	R\$ 52.500,00	R\$ 549.500,00
42	R\$ 264.600,00	672	R\$ 235.200,00	12600	R\$ 88.200,00	R\$ 823.200,00
67	R\$ 388.600,00	1072	R\$ 375.200,00	20100	R\$ 140.700,00	R\$ 1.266.300,00
83	R\$ 602.580,00	1328	R\$ 464.800,00	24900	R\$ 174.300,00	R\$ 1.738.352,00
100	R\$ 517.440,00	1600	R\$ 560.000,00	30000	R\$ 210.000,00	R\$ 1.802.416,00
121	R\$ 551.034,00	1936	R\$ 677.600,00	36300	R\$ 254.100,00	R\$ 2.075.827,60
175	R\$ 682.500,00	2800	R\$ 980.000,00	52500	R\$ 367.500,00	R\$ 2.842.000,00
200	R\$ 798.000,00	3200	R\$ 1.120.000,00	60000	R\$ 420.000,00	R\$ 3.273.200,00

3.3 Comparação da planta fotovoltaica com o *chiller* de absorção e os coletores térmicos

A Tab. 6 apresenta a comparação realizada para ambas as plantas solares.

Tabela 6 – Comparação dos sistemas

Sistema Térmico		Sistema Fotovoltaico				
TR	Custo (R\$)	Horas				
		2400	3600	4800	6000	7200
25	R\$ 549.500,00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
42	R\$ 823.200,00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
67	R\$ 1.266.300,00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
83	R\$ 1.738.352,00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
100	R\$ 1.802.416,00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
121	R\$ 2.075.827,60	N/A	N/A	N/A	N/A	R\$ 2.045.354,32
175	R\$ 2.842.000,00	N/A	N/A	N/A	N/A	R\$ 2.788.400,00
200	R\$ 3.273.200,00	N/A	N/A	N/A	N/A	R\$ 3.230.085,77

É possível observar que de 25 TR a 100 TR o custo do sistema fotovoltaico é economicamente viável em relação ao sistema com *chiller* e os coletores térmicos. Contudo, partir de 121 TR os custos dos sistemas fotovoltaicos praticamente se igualam ao custo do sistema com o *chiller* e os coletores térmicos.

Balghouthi et al. (2007) demonstraram a viabilidade do ar condicionado solar de absorção para climas mediterrâneos como o da Tunísia. Na Espanha, Rosiek e Batlles (2009) relatam resultados satisfatórios para atendimento às cargas térmicas em um edifício na Espanha. Entretanto, segundo Ammari e Ata (2015), em sua análise econômica, informaram que os resultados indicaram que ambos os sistemas são rentáveis. O custo total do sistema de refrigeração por absorção com coletores térmicos seria de US \$ 9142 com um período de retorno de 48 meses, enquanto que o sistema de refrigeração por compressão de vapor, incluindo a matriz fotovoltaica, seria de US \$ 7176 com retorno

de 100 meses. A comparação de ambos os sistemas também favoreceu o sistema de refrigeração por compressão de vapor para o sistema de refrigeração por absorção.

4 CONCLUSÕES

Conclui-se que o papel dos sistemas de condicionamento de ar nos centros comerciais é significativo e cabe considerar a utilização de energias renováveis, em especial a energia solar, como grande potencial para o futuro. Considerando a coincidência entre carga térmica atuante nos centros comerciais e a radiação solar, o avanço da tecnologia solar no mercado e as possibilidades técnicas existentes para condicionamento de ar, o uso da tecnologia de ar condicionado solar deve ser avaliado de forma concreta, especialmente em países como o Brasil, devido aos elevados níveis de irradiação solar incidente.

Para os portes de ar condicionado estudados, o sistema de ar condicionado solar fotovoltaico é economicamente viável de 25 TR a 121 TR, para as premissas adotadas, sendo recomendado o uso do chiller por compressão com geração fotovoltaica. Para cargas térmicas superiores, o ciclo de absorção com coletores térmicos se mostra mais econômico. Ao que tange a análise econômica realizada para o sistema fotovoltaico, a tecnologia se mostra economicamente viável para todas as cargas térmicas, com tempo de retorno de investimento entre 36 a 47 meses.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CEMIG e ANEEL pelo financiamento do projeto P&D 438, à equipe de professores e bolsistas que trabalharam em seu desenvolvimento; ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Biosistemas da Universidade Federal Fluminense (UFF). Minas Gerais Educação/UNA e ao Centro Universitário Belo Horizonte/UNIBH, assim como aos fornecedores IMAX Energia, PROTHERM, ATAC e LINK.

REFERÊNCIAS

- ABGD, 2017. Associação Brasileira de Geração Distribuída. Disponível em <https://www.geracaodistribuida.org/copia-mapa-do-mercado2>. Acessado em 18 de novembro de 2017.
- Ammari, H.; Ata, A. B., 2015. Economic Comparison between PV Powered Vapor Compression Refrigeration System and Solar Thermal Powered Absorption Refrigeration System. 5th Jordanian IIR International Conference on Refrigeration and Air Conditioning.
- Ara, P. J. S., 2010. Desempenho de sistemas de condicionamento de ar com utilização de energia solar em edifícios de escritórios. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Balghouthi, M; Chahbani, M.H.; GuizanI, A., 2007. Feasibility of solar absorption air conditioning in Tunisia. Building and Environment.
- EPE, 2014. Demanda de Energia 2050. Nota Técnica DEA 13/14. Série Estudos da Demanda de Energia. Rio de Janeiro.
- IEA-ETSAP e IRENA, 2015. Solar Heating and Cooling for Residential Applications. Technology Brief. Disponível em www.irena.org. Acessado em 15 de novembro de 2017.
- IEA PVPS, 2013. International Energy Agency. PVPS - Photovoltaic Power Systems Programme. Trends 2013 in photovoltaic applications. Survey Report of Selected IEA Countries between 1992 and 2012. Report IEA-PVPS T1-23.
- Rosiek, S.; Batlles, F.J., 2009. Integration of the solar thermal energy in the construction: Analysis of the solar-assisted air-conditioning system installed in the CIESOL building. Renewable Energy 34, p,1423-1431.
- Simulador Solar, América do Sol. Disponível em <http://www.americadosol.org/simulador/>. Acessado em 15 de novembro de 2017.
- Viana, T. S., 2010. Potencial de geração de energia elétrica de sistemas solares fotovoltaicos com concentrador no Brasil, Tese de Doutorado, PPGEC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ECONOMIC COMPARISON BETWEEN THE PHOTOVOLTAIC REFRIGERATION SYSTEM FOR VAPOR COMPRESSION AND ABSORPTION CHILLERS WITH THERMAL SOLAR COLLECTORS

Abstract. This article presents the study of the comparison of the economic viability of the photovoltaic solar energy system with the absorption chiller system with thermal collectors, for use in the commercial sector of different sizes, located in Belo Horizonte, due to the high consumption of the conditioning systems of ambient air. Simulations were performed from 25 TR to 200 TR and the hourly range of 2400 h, 3600 h, 4800 h, 6000 h and 7200 h (considering 300 days in the year) was used for the use of air conditioning for the photovoltaic system. The simulation of the different photovoltaic plants was done with the help of the Solar Simulator program. The cost of the photovoltaic solar system and the thermal collectors was realized through budgets with national company and for the chiller of absorption was carried out quotation with international manufacturers. We compared both initial investments, where it was observed that from 121 RT the costs for both technologies are equal, this result was obtained, since the cost of the photovoltaic

system practically equaled the sum of the cost of the solar thermal plant and the absorption chiller. It was possible to observe a reduction in the cost of photovoltaic panels of approximately 56% in relation to the year 2015, with the costs found in the current year, 2017. With the results of this study, it was possible to verify the economic viability for the application of the photovoltaic solar system to all simulated thermal loads, with payback between 36 and 47 months, profitability index of the order of 6.5 to 9.2 and internal rate of return of 1.91 to 2.77.

Key words: *Photovoltaic Solar Energy, Absorption Chiller, Economic Viability.*