



Análise de viabilidade de um projeto de cogeração energética por fonte fotovoltaica em uma empresa do setor automotivo

Letícia Molin¹, Anderson Soares dos Santos, Juliano Rodrigues Gimenez

¹Universidade de Caxias do Sul (lmolin@ucs.br, assanto6@ucs.br , juliano.gimenez@ucs.br)

Resumo

Este trabalho apresenta a análise de viabilidade para implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede convencional de energia elétrica, com o intuito de complementar o fornecimento de energia realizado pela concessionária em uma empresa do setor automotivo situada na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. No projeto, empregaram-se painéis fotovoltaicos de silício policristalino disponíveis comercialmente, instalados sobre o telhado, considerando-se três cenários distintos de cogeração com o suprimento de: 2,5, 5,0 e 10,0% do consumo energético fora do horário de ponta. Para o mês de menor radiação solar, resultou em aproximadamente 180, 356 e 620 kWp de potência instalada. O projeto contemplou: o arranjo fotovoltaico; a unidade de condicionamento e controle de potência; e o *Balance of System (BoS)*, composto pelos condutores, caixas de junção e estruturas metálicas de sustentação. O rendimento do sistema foi avaliado empregando-se o software PVsyst. O coeficiente de rendimento (PR – *Performance Ratio*) resultou em 0,799, caracterizando um sistema de alto desempenho. O percentual do consumo obtido através do montante anual gerado foi de aproximadamente 6,0, 12,0 e 20,0% para os respectivos Cenários 1, 2 e 3. A análise de viabilidade, considerando um alcance de projeto de 20 anos, analisou o Valor Presente Líquido (VPL), a relação Benefício-Custo (B/C) e a Taxa Interna de Retorno (TIR), obtendo-se resultados positivos e atrativos para estes investimentos.

Palavras-chave: Energia. Energia fotovoltaica. Cogeração energética. Energias renováveis. Energias Alternativas.

Área Temática: Tema 9 – Energia e energias renováveis.

Viability analysis of an energetic cogeneration project through photovoltaic source project in an automotive company

Abstract

This paper presents an analysis of the viability of a PV system grid-connected in order to complement the power supply made by the concessionaire in an automotive company located in the northeastern state of Rio Grande do Sul, Brazil. In the project, polycrystalline silicon photovoltaic panels commercially available were employed, rooftop, for three different scenarios of cogeneration. The design aimed to meet cogeneration percentage of 2.5, 5.0 and 10.0% of energy consumption during the day in the month with less solar radiation, resulting in approximately 180, 356 and 620 kWp of installed power. The project includes the PV array, the conditioning unit and power control and the Balance of System (BoS), composed of conductors, junction boxes and metal structures supporting. The system performance was evaluated using the software PVsyst. Considering solar radiation in the region studied and the performance of the designed system, the system achieved a performance ratio (PR) 0.799, featuring a high-performance system. The percentage of consumption obtained by the annual amount generated was approximately 6.0, 12.0 and 20.0% for the respective Scenarios 1, 2 and 3. The viability analysis, considering a range of 20-year project, analyzed the Net Present



4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

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

Value (NPV), the Benefit-Cost ratio (B / C) and Internal Rate of Return (IRR), yielding positive and attractive results the investment.

Keywords: Energy. Photovoltaic energy. Energetic cogeneration. Renewable energy. Alternative energy.

Theme area: Theme 9 – Energy and renewable energy.



1 Introdução

A disponibilidade de recursos energéticos para as gerações presentes e futuras é um tema de preocupação crescente, sendo que o acesso a este serviço não somente serve para suprir as necessidades básicas da população, mas também de possibilitar e sustentar o desenvolvimento econômico dos países, através da indústria de manufatura, que depende substancialmente da energia elétrica. De acordo com Gonçalves (2009), o crescimento acelerado dos países emergentes impulsiona o consumo energético, repercutindo no custo da energia, do qual depende o preço de diversos produtos essenciais à vida moderna.

Em contrapartida, as principais fontes energéticas utilizadas atualmente, representam riscos ambientais significativos por consistirem em fontes de recursos naturais não renováveis, em sua maioria, ou em fontes de impactos ambientais potenciais associados principalmente à emissões atmosféricas, contaminação dos solos e da água. No caso do Brasil, a matriz energética ainda é 80% dependente das hidrelétricas (INSTITUTO AMANHÃ, 2013), que estão associadas a estas situação de impactos ambientais citadas. O setor industrial é responsável pela maior parcela no consumo de energia do Brasil (ANEEL, 2008), justificando a busca por medidas para a eficientização no uso da energia elétrica neste setor.

É válido salientar ainda que eficiência energética e políticas para energias renováveis foram definidas como os “dois pilares” de um futuro energético sustentável (REN21, 2012).

Nesse sentido, este trabalho busca avaliar a viabilidade para a implantação e operação de um sistema para cogeração energética através de fonte fotovoltaica, em uma empresa do setor automotivo localizada na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul – Brasil. Considerando-se a localização da empresa, bem como sua área de telhado disponível, projetaram-se o arranjo fotovoltaico e as estruturas e equipamentos de apoio necessários para o fornecimento de energia ao sistema ora existente. Com isto, tomando por base o orçamento realizado para a implantação e operação do sistema, considerando um tempo de alcance de 20 anos, foi avaliada a viabilidade econômica do projeto. Analisou-se o Valor Presente Líquido – VPL, a relação Benefício-Custo (B/C) e a Taxa Interna de Retorno (TIR).

2 Geração da Energia Fotovoltaica

Como dado de entrada para este tipo de projeto, se faz necessária a caracterização do recurso solar disponível no local da implantação. Os dados de radiação foram obtidos através do banco de dados do *SunData* (2013). Considerou-se a radiação em um ângulo de inclinação de 24° N, que fornece a maior média anual de geração, maximizando a produtividade do sistema. Os painéis são instalados nessa inclinação, com a face voltada para o norte. O projeto foi concebido com base no valor de radiação mínimo ao longo do ano, que se refere ao mês de junho, igual a $3,21 \text{ kWhm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ (*SUNDATA*, 2013). Essa radiação produz 3,21 h diárias de sol pleno, ou seja, potência incidente e constante igual a 1.000 Wm^{-2} .

Uma vez que o sistema de geração fotovoltaica consistirá em um recurso complementar, a carga a ser considerada é aquela cujo sistema ofereça a melhor relação benefício-custo para o empreendimento. Para analisar estas relações foram elaborados três cenários distintos, considerando diferentes percentuais de consumo de energia estimados em: 2,5, 5,0 e 10,0 %. Os cenários foram escolhidos de forma a se enquadarem às características típicas de sistemas fotovoltaicos, descritas no Relatório Mundial de Energias Renováveis 2012 (REN21, 2012), no qual a potência típica para instalações industriais em telhados é de 500 kW. Os percentuais de carga definidos constam na Tabela 1.



4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

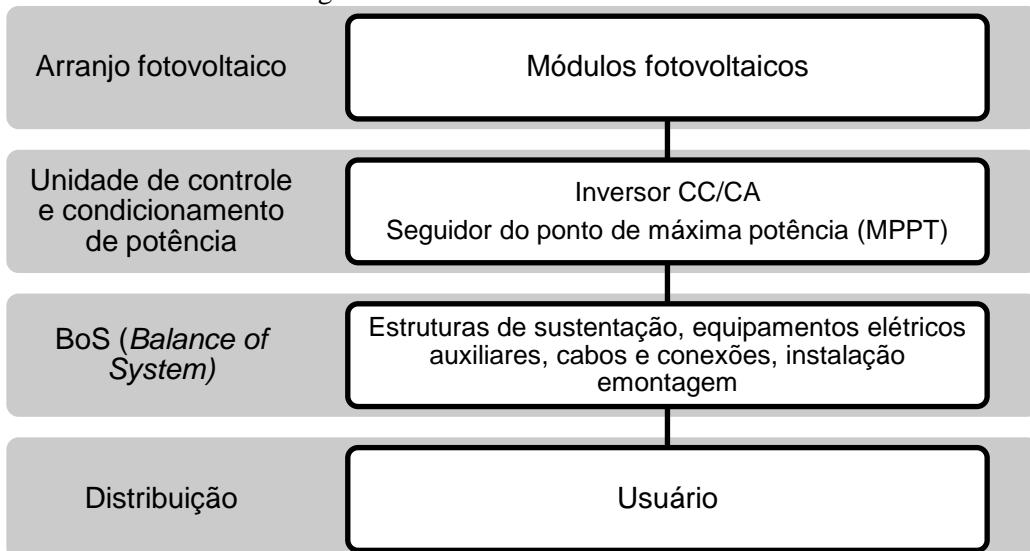
Bento Gonçalves – RS, Brasil, 23 a 25 de Abril de 2014

Tabela 1 – Cenários de carga para projeto do sistema fotovoltaico.

	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2	CENÁRIO 3
Consumo médio fora da ponta (kWh/dia)		18.583,72	
Consumo estimado (%)	2,50	5,00	10,00
Consumo estimado (kWh/dia)	464,59	929,18	1.858,35
Consumo estimado (MWh/dia)	0,46	0,93	1,86

O projeto de engenharia elaborado para a empresa consistiu em um sistema conectado à rede, no qual toda a potência gerada é entregue à rede, não havendo acúmulo de energia para uso posterior. A Figura 1 apresenta, em síntese, a concepção adotada.

Figura 1 - Sistema fotovoltaico básico.



Fonte: Adaptado de CRESESB (1999).

O material semicondutor utilizado será o silício policristalino por atingir eficiência similar à do silício monocristalino, porém com custo inferior. Ainda, durante seu ciclo de vida, o silício policristalino apresenta-se menos impactante ao meio ambiente em relação ao monocristalino (TYAGY et al, 2013). O modelo de painel empregado é o STP300-24/Ve do fabricante Suntech Power.

A unidade de condicionadora de potência é do tipo estático, seguindo o conceito de inversor central com rastreador do ponto de máxima potência integrado, trifásico e com saída de 380 V de proteção contra sobretensão e descargas atmosféricas (SPDA) em sua entrada e saída. O modelo empregado é o SUNWAY TG 120-800V-TK da Santero. Utilizaram-se caixas de junção modelo STRING BOX LS da Santero e cabos solares RADOX® do fabricante HUBER+SUHNER.

A configuração do sistema fotovoltaico para cada um dos cenários é apresentada na Tabela 2, enquanto que na Figura 2 se apresenta uma ilustração com pavilhão fabril e a configuração dos painéis instalados para Cenário 1, de forma demonstrativa.

O posicionamento dos painéis no telhado foi realizado respeitando-se a inclinação em relação ao plano horizontal, com a face voltada para o norte e distanciados conforme estudo do sombreamento ao longo do dia de forma a minimizar as perdas. A partir destes critérios, estruturas metálicas apropriadas foram concebidas.



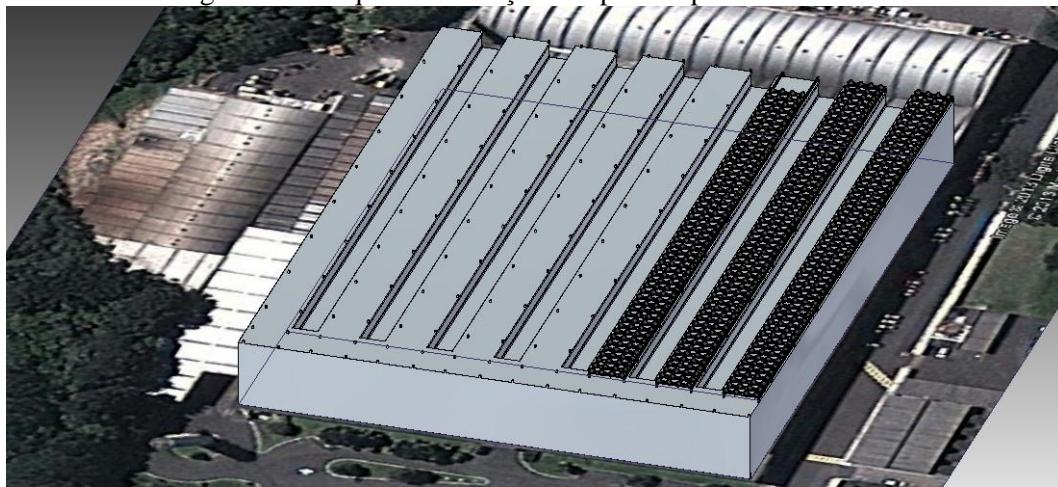
4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

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

Tabela 2 – Configuração do sistema fotovoltaico para cada um dos cenários.

Cenários	Potência desejada kWp	Quantidades (unidades)					Tensão de circuito aberto (V _{oc})	I _{cc} total (A)	I _{cc} por inversor (A)	I _{CA} (A)	Eficiência do inversor	Potência instalada kWp
		Módulos em série	Strings	Caixas de junção	Paineis	Inversores						
1	153,60	16	39	3	624	2	712	344,37	172,19	131,9	96,30%	180,27
2	306,00	16	77	5	1232	4	712	679,91	169,98	131,9	96,30%	355,92
3	613,20	16	134	9	2144	7	712	1183,22	169,03	131,9	96,30%	619,40

Figura 2 – Croqui de instalação dos painéis para o Cenário 1.



Para verificar os valores mensais de rendimento do sistema, não é conveniente considerar valores médios, uma vez que a radiação varia ao longo do ano. Sendo assim, a Tabela 3 apresenta os dados de rendimento para cada mês do ano de acordo com a radiação solar incidente. Nesta tabela, distinguem-se três parâmetros de radiação: aquela incidente no plano horizontal como referência; aquela incidente no plano coletor, ou seja, os painéis na inclinação de 24° com face norte; e a radiação efetiva, corrigida conforme o IAM (*Incidence Angle Modifier*). O IAM é o efeito de incidência e corresponde ao enfraquecimento da radiação que efetivamente atinge a superfície das células dos painéis fotovoltaicos em relação à radiação incidente normal. Em princípio, esta perda obedece a leis relativas à transmissão e a reflexão de Fresnel sobre a camada de proteção (o vidro) e sobre a superfície da célula (PVSYST, 2012). Neste projeto, o IAM considerado foi de 0,967 (PVSYST, 2013).

Tabela 3 – Rendimento mensal do sistema fotovoltaico.

Mês do ano	Radiação incidente no plano horizontal (kWh·m ⁻² ·mês ⁻¹)	Radiação incidente no plano coletor (kWh·m ⁻² ·mês ⁻¹)	Radiação efetiva, corrigida pelo IAM (kWh·m ⁻² ·mês ⁻¹)	PRODUÇÃO MENSAL (MWh)		
				CENÁRIO 1	CENÁRIO 2	CENÁRIO 3
Jan	167,09	154,38	149,29	26,91	53,13	92,47
Fev	142,24	138,88	134,30	24,21	47,80	83,18
Mar	142,91	150,97	145,99	26,32	51,96	90,43
Abr	115,80	136,50	132,00	23,80	46,98	81,76
Mai	94,86	123,38	119,31	21,51	42,46	73,90
Jun	71,70	96,30	93,12	16,79	33,14	57,68
Jul	90,52	121,83	117,81	21,24	41,93	72,97
Ago	98,89	119,66	115,71	20,86	41,18	71,67
Set	121,80	133,50	129,09	23,27	45,95	79,96
Out	154,07	154,07	148,99	26,86	53,03	92,28
Nov	170,10	159,00	153,75	27,72	54,72	95,23
Dez	186,00	168,64	163,07	29,40	58,04	101,01
Total Anual	1555,98	1657,11	1602,43	288,87	570,34	992,54
Percentual de contribuição fotovoltaica sobre o total anual consumido fora da ponta:				5,9%	11,6%	20,2%
Total anual consumido fora da ponta (MWh):				4.906,05		

Fonte: O autor; SunData (2013); PVsyst (2013).

A razão ou coeficiente de rendimento ou PR (*Performance Ratio*), é um indicador de



4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

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

qualidade da planta fotovoltaica que independe da localização desta. É indicado na forma de percentual e descreve a relação entre os resultados reais e teóricos do sistema fotovoltaico. O coeficiente demonstra a proporção de energia que está efetivamente disponível para a rede após dedução das perdas e do consumo de energia pelo próprio sistema. Quanto mais próximo de 100% é o valor do PR para um sistema fotovoltaico, mais eficiente é sua operação (SMA SOLAR TECHNOLOGY AG, 2013). Ainda segundo o autor, na vida real, um valor de 100% não pode ser alcançado devido a perdas inerentes ao sistema. Os sistemas fotovoltaicos de alto desempenho atingem coeficiente de rendimento na faixa de 80% (SMA SOLAR TECHNOLOGY AG, 2013). O software PVsyst avalia os fatores que contribuem para este indicador, citando-se como exemplo sombreamento e temperatura dos painéis, eficiência dos painéis, eficiência do inversor, entre outros. De acordo com a simulação realizada, o valor de PR para os três cenários é igual a 0,799. Estes valores, conforme SMA Solar Technology AG (2013), conferem ao sistema característica de alto desempenho.

3 Análise de Viabilidade

Sob o ponto de vista técnico, considera-se o projeto como viável, tendo em vista que o mesmo foi projeto considerando estruturas, materiais e equipamentos disponíveis no mercado, bem como se utilizaram metodologias de dimensionamento seguindo as atuais regulamentações para o setor.

Procedeu-se o orçamento dos custos envolvidos com a implantação e com a operação e manutenção do sistema para cada um dos cenários e, contrapondo-se estes custos com os benefícios tangíveis também para cada um dos cenários, foi possível analisar a viabilidade econômica do empreendimento. As metodologias adotadas para estas análises foram: Valor Presente Líquido (VPL), relação Benefício-Custo (B/C) e a Taxa Interna de Retorno (TIR). Para todas as análises considerou-se um alcance de projeto de 20 anos, compatível com o tempo de garantia de alta eficiência dos painéis, que são os componentes de maior custo de implantação para o projeto, conforme pode ser constado no gráfico da

Os resultados obtidos quanto à viabilidade econômica constam na Tabela 4. A Tabela 5 apresenta os custos de implantação normalizados quanto à potência e os custos de geração, incluindo os custos de manutenção, normalizados quanto à produção do sistema.

Figura 3. Considerou-se no cálculo dos benefícios o decaimento no rendimento das células fotovoltaicas de 0,7% ao ano, conforme indicado pelo fabricante. Os inversores, quando operados em ambiente controlado, também tem vida útil em torno de 20 anos. As caixas de junção e condutores tem vida útil estimada em 10 anos, enquanto que as estruturas metálicas superam os 20 anos de alcance.

Para corrigir os custos de implantação e operação ao longo do tempo de alcance de projeto, foi utilizado como taxa de aumento de preços, o IGP-M (Índice Geral de Preços do Mercado) dos últimos 12 meses (out/12 a out/13), correspondente à 5,273% a.a. (PORTAL BRASIL, 2013). Já para trazer os valores futuros para presente, considerou-se como taxa de juros a TJLP (Taxa de Juros de Longo Prazo), correspondente à 5,00 % a.a. (BNDES, 2013).

Enquadrada na tarifa verde da estrutura tarifária horo-sazonal para consumidores de alta tensão, a empresa está sujeita mensalmente a duas tarifas para energia elétrica ($R\cdot\text{kWh}$ ponta, $R\cdot\text{kWh}$ fora de ponta) e uma para a demanda ($R\cdot\text{kW}$) para cada período do ano (seco e úmido) (ANEEL, 2010). Incidem sobre a tarifa elétrica (TE) os impostos ICMS (17%), PIS (0,67%) e COFINS (3,06%) conforme contrato da empresa. A esta tarifa, soma-se a tarifa de uso do sistema de distribuição (TUSD), além da tarifa fixa para iluminação pública (CIP). Os parâmetros de formação do preço da energia elétrica considerado para estimativa dos benefícios consta no Quadro 1. Para esta análise, considerou-se a taxa de reajuste anual da



4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

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

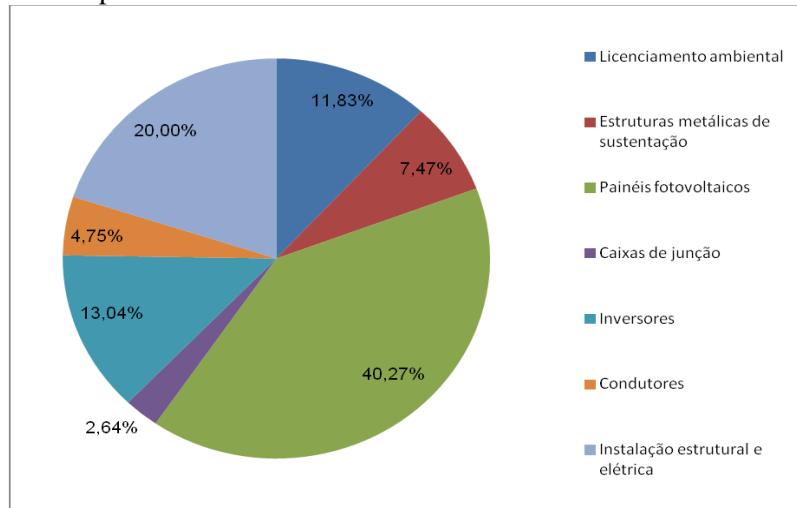
energia elétrica igual ao IGP-M.

Quadro 1 - Parâmetros de formação do preço da energia elétrica da concessionária.

TARIFA DE USO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO (TUSD) – FORA DA PONTA	R\$ 0,58501
TARIFA ELÉTRICA (TE) – FORA DA PONTA – PERÍODO ÚMIDO	R\$ 0,14224
TARIFA ELÉTRICA (TE) – FORA DA PONTA – PERÍODO SECO	R\$ 0,240038

Os resultados obtidos quanto à viabilidade econômica constam na Tabela 4. A Tabela 5 apresenta os custos de implantação normalizados quanto à potência e os custos de geração, incluindo os custos de manutenção, normalizados quanto à produção do sistema.

Figura 3 – Representatividade dos custos dos elementos do sistema fotovoltaico



Estimam-se os custos relacionados a operação e manutenção (O&M) do sistema como 1% dos custos de investimento do sistema fotovoltaico ao ano. Neste caso, será considerado o valor presente destes custos ao longo da vida útil da instalação (ABINEE, 2012).

Tabela 4 – Comparativo entre cenários – viabilidade econômica.

	Investimento inicial (R\$)	Custos de O&M no Ano 1 (R\$)	TIR	Relação B/C	VPL (R\$)	Tempo de retorno (anos)
CENÁRIO 1	1.995.685,11	19.956,85	10,99%	1,29	745.126,17	15,56
CENÁRIO 2	3.659.202,96	36.592,03	13,17%	1,46	2.092.551,80	13,68
CENÁRIO 3	6.122.779,33	61.227,79	14,00%	1,52	3.934.728,12	13,18

Tabela 5 – Comparativo entre cenários – custo por watt instalado e da energia produzida

	Potência instalada (W)	Custo de investimento por W instalado	Produção durante a vida útil (kWh)	Custo por kWh produzido ao longo da vida útil do sistema
CENÁRIO 1	180.273,60	R\$ 13,86	6.066.374,79	R\$ 0,51
CENÁRIO 2	355.924,80	R\$ 11,66	11.977.201,52	R\$ 0,43
CENÁRIO 3	619.401,60	R\$ 11,24	20.843.441,60	R\$ 0,42

4 Considerações Finais

Através dos dados apresentados percebe-se que, neste contexto, não há um cenário de potência instalada que apresente ampla vantagem em relação ao outro, além de a configuração do sistema possibilitar a modulação com facilidade. Para definição do cenário a ser instalado é necessário avaliar a demanda específica que se deseja suprir, de forma que o montante gerado seja plenamente consumido, resultando em benefício econômico efetivo.



4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

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

Apesar de economicamente viáveis, os sistemas fotovoltaicos ainda possuem custos elevados devido, especialmente, ao custo de importação dos materiais, que são todos provenientes do mercado externo. Para o caso analisado, os custos de licenciamento ambiental também foram bastante significativos.

Cabe ainda salientar que os resultados apresentados refletem o cálculo estritamente sob o ponto de vista econômico, considerando somente os benefícios tangíveis advindos com a economia de energia elétrica. Não estão considerados efeitos de alavancagem nos negócios da empresa, resultantes de eventuais facilidades de financiamentos ou de quaisquer outras medidas de incentivo, de natureza fiscal ou tributária, que eventualmente possam ser estabelecidas e que, por certo afetariam o fluxo de caixa positivamente.

Além disso, sob o ponto de vista ambiental, também devem ser considerados os benefícios intangíveis associados à implantação de um projeto como este, que certamente contribuem de forma importante para a preservação de recursos naturais e, consequentemente, para o desenvolvimento sustentável.

Referências

- AGÊNCIA DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL. ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil.** 3. ed. Brasília, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRONICA. ABINEE. **Propostas para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira.** ABINEE, 2012.
- BNDES. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Ferramentas_e_Normas/Custos_Financeiros/Taxa_de_Juros_de_Longo_Prazo_TJLP/>. Acesso em 06 nov. 2013.
- GONÇALVES, Ricardo Franci (coordenador). **Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água.** Rio de Janeiro: ABES, 2009.
- HUBER+SUHNER. **Radox® Solar.** Disponível em: <<http://ipaper.ipapercms.dk/hubersuhner/Marketsegments/Industrial/SolarRADOXEN/>>. Acesso em: 31 ago.2013.
- INSTITUTO AMANHÃ. **Guia Sustentabilidade Meio Ambiente.** Ano III, 2013.
- PORTAL BRASIL. <<http://www.portalbrasil.net/igpm.htm>> Acesso em 06 nov. 2013.
- PVSYST. Disponível em: <<http://www.PVsyst.com/en/>>. 2013.
- PVSYST. **User's guide manual:** PVsyst contextual help. 2012. Disponível em: <<http://files.pvsyst.com/pvsyst5.pdf>>. Acesso em 30 mai. 2013.
- RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY. REN21. **Renewables 2012 – Global Status Report.** Disponível em <www.ren21.net>
- SANTERNO. **Solar & Wind Energy.** Disponível em: <http://www.santerno.com/fileadmin/user_upload/pdf/Catalogues/Solar/solar_ITEN_2013_web.pdf>. Acesso em 30 mai. 2013.
- SUNTECH POWER. Disponível em: <<http://www.suntech-power.com/en/>>.
- SMA SOLAR TECHNOLOGY AG. **Performance Ratio:** Quality Factor for the PV Plant. Disponível em: <<http://files.sma.de/dl/7680/Perfratio-UEN100810.pdf>>. Acesso em: 28 jun. 2013.
- TYAGI, V.V., NURUL, A.A., RAHIM N.A., JEYRAJ, A., SELVARAJ, L. Progress in solar PV technology: Research and achievement. **Renewable and sustainable energy reviews**, n. 20, p. 443-461, abr. 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112005291>>. Acesso em 17 mai. 2013.