

DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA O PRÉDIO DE ENSINO DE UMA INSTITUIÇÃO PÚBLICA EM GOVERNADOR VALADARES

Fernanda Pereira da Silva Santana¹, Valcimar Silva de Andrade

IFMG Instituto Federal de Minas Gerais Campus Governador Valadares E-mail: fernandagestorambiental@outlook.com

RESUMO

A necessidade de se diversificar a matriz energética mundial contribui para a implantação de fontes renováveis de energia, fator este que estimula a instalação de sistemas fotovoltaicos e a formação de recursos humanos com conhecimento básico nessa área, oferecendo alternativas que contribuam para o equilíbrio do meio ambiente. O propósito deste trabalho é o dimensionamento e análise de um projeto de implantação de um sistema fotovoltaico no IFMG - Campus Governador Valadares, além de formar recursos humanos com conhecimento básico no emprego de energias renováveis através do projeto piloto. É importante que alunos e professores entendam essas inovações tecnológicas, que com certeza perpassam várias áreas de conhecimento, de tal forma que possam tratar desse tipo de demanda, através da análise, discussão e propostas de solução devidamente fundamentadas em conhecimentos técnicos e científicos. Foram selecionadas metodologias de dimensionamento para um sistema fotovoltaico conectado à rede e de análise de viabilidade econômica. O dimensionamento consistiu basicamente no levantamento de consumo, índice solarimétrico, orientação adequada dos painéis, insolação diária, local adequado para instalação, número de painéis fotovoltaicos, número de inversores e determinação dos circuitos de proteção. A viabilidade econômica utilizou quatro ferramentas básicas para esse fim e premissas para as perspectivas para o setor, que no horizonte de médio e longo prazo podem mudar o quadro da viabilidade. Pelos resultados, verifica-se que o sistema fotovoltaico dimensionado é compatível com as demandas da unidade de ensino, pois trata-se de uma fonte de energia renovável e economicamente viável na medida em que a energia consumida pelo prédio de ensino é gerada em loco, havendo uma considerável redução do consumo de energia fornecida pela concessionária de energia elétrica, aproveitamento de área ociosa e interessantes perspectivas para uso educacional do sistema.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas Fotovoltaicos, Energia Renovável, Viabilidade Econômica, Sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

O efeito fotovoltaico não é um fenômeno novo, ele data de 1839, através da descoberta do físico Edmond Becquerel (1920-1981), que expôs à luz dois eletrodos metálicos imersos em uma solução química, davam origem a uma corrente elétrica (COOK *et al.*, 1995). Essa descoberta marcou o início da exploração de um tipo extremamente abundante de energia em nosso planeta: a energia solar. Em razão do crescimento da demanda de energia mundial, da poluição gerada pela matriz energética atual, baseada em grande parte nos combustíveis fósseis, e do grande desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica, a energia solar fotovoltaica tem emergido na última década com grandes perspectivas para o suprimento de algumas demandas energéticas. Com forte apelo ambiental e grande potencial de geração, este tipo de energia estava restrito, até pouco tempo, ao uso como tecnologia espacial e de sistemas isolados, em que sua viabilidade se justificava, principalmente, por ser a única saída para alguns problemas técnicos (RUTHER, 2004). Não obstante o grande salto de desenvolvimento, a tecnologia fotovoltaica para uso na superfície terrestre ainda esbarra em fatores técnicos (normatização), econômicos e de legislação que dificultam sua utilização mais expressiva, e consequentemente seu potencial de contribuição para regulação da geração de energia elétrica e eficiência energética. Atualmente ela continua sendo viável para sistemas onde não é possível a alimentação pela rede elétrica convencional (LIMA, 2012). Ainda são poucos os resultados que promovam a inserção da energia fotovoltaica na matriz elétrica brasileira de forma significativa, mas a tendência é de crescimento da utilização de energia fotovoltaica nos próximos anos em consequência da busca por fontes de energia renováveis e não poluentes que contribuam com a matriz energética. Além disso, estão surgindo, no Brasil, planos e legislações para estimular o uso dessa fonte: Propostas para Inserção da Energia Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira e Resoluções 481 e 482 da ANEEL – 17 de Abril de 2012 (VILLALVA e GAZOLI, 2012). Outros pontos importantes para o uso dessa fonte são a redução no preço dos componentes de sistemas fotovoltaicos e o crescimento da chamada geração distribuída (LIMA, 2012). O significativo potencial brasileiro de geração solar fotovoltaica tem sido estudado pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética), resultando em propostas de ações no âmbito de legislação, infraestrutura, capital humano, P&D (Pesquisa &

Desenvolvimento) e alguns incentivos. Como a tecnologia de fabricação, instalação e operação de sistemas fotovoltaicos é quase toda estrangeira é de extrema importância a criação de pesquisa aplicada, com o intuito de dominar a tecnologia para produzir, projetar (dimensionar), montar, instalar e caracterizar o funcionamento de sistemas fotovoltaicos em solo brasileiro. Tomando como base o aspecto de gestão, o presente trabalho se encaixa em uma dessas propostas de ação, sobretudo no que diz respeito ao estudo bibliográfico básico das opções de sistemas disponíveis, dimensionamento para um caso específico (estudo de caso) e análise de viabilidade econômica. Embora não seja especificamente uma área de atuação direta da Gestão Ambiental, é importante que alunos e professores entendam essas inovações tecnológicas, que com certeza perpassam várias áreas de conhecimento, de tal forma que possam tratar desse tipo de demanda que emerge, através da análise, discussão e propostas de solução devidamente fundamentadas em conhecimentos técnicos e científicos.

Na atualidade, é crescente o uso de sistemas fotovoltaicos para aproveitamento de áreas ociosas e com insolação abundante em bibliotecas, escolas, estádios de futebol, residências e até mesmo indústrias. Uma observação sobre essa tendência no setor de energia fotovoltaica, a regulamentação de sistemas conectados à rede, o conhecimento do índice solarimétrico de Governador Valadares – MG e a detecção de área disponível em um prédio de uma instituição de ensino em Governador Valadares desencadearam a proposta do presente trabalho.

OBJETIVO DO TRABALHO

Fundamentando-se na inserção crescente da energia solar fotovoltaica no Brasil e em experiências já existentes de uso de sistemas fotovoltaicos para bibliotecas, escolas, estádios de futebol e outras instalações, o foco deste trabalho é fazer um levantamento da viabilidade técnica e econômica de um sistema fotovoltaico para alimentação do prédio principal de uma instituição de ensino pública em Governador Valadares. Entre os objetivos específicos podemos elencar: breve revisão bibliográfica a cerca do tema, levantamento solarimétrico da região de instalação do sistema, estimativa da carga do prédio (consumo de energia), análise de possíveis locais de instalação, dimensionamento do sistema fotovoltaico, análise de viabilidade econômica.

METODOLOGIA

O levantamento solarimétrico é de extrema importância para o dimensionamento de qualquer sistema fotovoltaico, uma vez que ele indica a disponibilidade de radiação solar para conversão. Para isso foram consultados dados solarimétricos para a região de localização do prédio.

A área disponível para o dimensionamento e possível instalação do sistema fotovoltaico foi levantada com base nos critérios necessários, ou seja, disponibilidade da área para ocupação do sistema e a incidência solar.

Para a determinação do montante de energia a ser gerado, duas estratégias poderiam ter sido utilizadas: um levantamento das principais cargas (equipamentos de uso contínuo no dia-a-dia) e o tempo mensal estimado de uso, ou uma análise das contas de energia da instituição. Optou-se pelo segundo em razão de grandes incertezas no tempo de uso mensal estimado.

O dimensionamento do sistema fotovoltaico foi pensado inicialmente considerando duas alternativas de sistema: isolado, ou seja, um sistema que não se conecta à rede convencional e armazena a energia em bancos de baterias estacionárias para posterior consumo, ou sistema conectado à rede. Este último passou a ser considerado em razão das Resoluções 481 e 482 da ANEEL – 17 de Abril de 2012, que obriga as concessionárias a permitirem o acesso à rede elétrica quando solicitadas. Após pesquisas bibliográficas e cálculos preliminares o sistema isolado foi descartado, sobretudo pela grande necessidade de suprimento, o que gera um alto custo extra pela grande capacidade do banco de baterias. Dessa forma foi considerado o sistema conectado, cujas etapas de dimensionamento são:

- determinação do número de painéis baseado na radiação solar local, eficiência típicas dos painéis comerciais (na temperatura de operação), no perfil de consumo e no tempo de sol pleno (brilho solar).
- determinação dos inversores, baseado na tensão de operação, potência total dos painéis, FDI (Fator de Dimensionamento do Inversor), fator de segurança.

Elementos de cabeamento, chaves de manobra, dispositivos de proteção não foram incluídos, mas na análise econômica foram incluídos junto com a mão de obra. O projeto foi considerado como 10% de todo o custo (VILLALVA e GAZOLI, 2012).

Após a etapa de dimensionamento foram feitos levantamentos de custos através de algumas empresas do setor. De posse dos valores de cada item necessário para instalação do sistema foi feita uma análise de viabilidade econômica básica através de ferramentas consagradas como Taxa de Retorno Simples (TRS), Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Fluxo de Caixa.

RESULTADOS OBTIDOS

A. Levantamento Solarimétrico

O presente estudo tomou como base inicial o Atlas Solarimétrico do Brasil - 2000 (UEPE, 2000). Segundo esta referência a região onde se encontra o município de Governador Valadares possui uma radiação solar global diária (média anual) em torno de $14 \text{ MJ}/\text{m}^2 \text{ dia}$, ou seja, $3,9 \text{ kWh}/\text{m}^2 \text{ dia}$ (Figura 1).

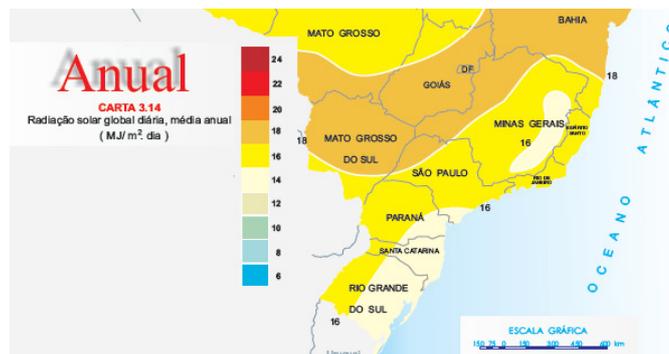


Figura 1 – Radiação Global diária (média anual) na região de Leste de Minas. Adaptado de do Atlas Solarimétrico do Brasil.

Tomando como referência o Atlas Solarimétrico de Minas Gerais (CEMIG, 2012), executado pela CEMIG (2010), o estado de Minas Gerais possui uma radiação solar média diária variando entre $4,5$ a $6,5 \text{ kWh}/\text{m}^2$, ou seja, $16,2 \text{ MJ}/\text{m}^2$ a $23,4 \text{ MJ}/\text{m}^2$. Na região de Governador Valadares o atlas indica que há uma zona de transição entre a faixa de $5,0$ a $6,5 \text{ kWh}/\text{m}^2$ (Figura 2).

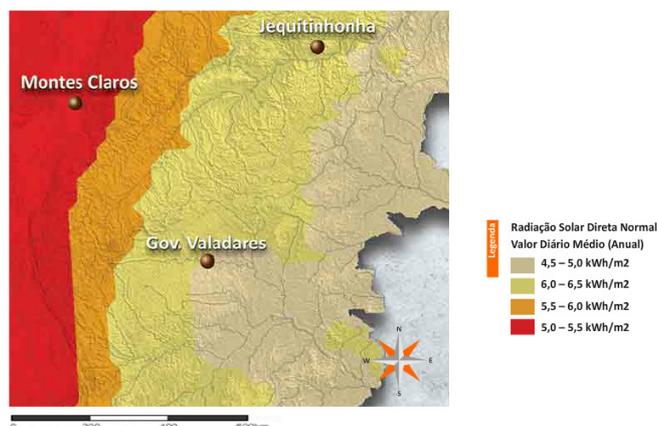


Figura 2 – Radiação Solar Direta Normal (Valor diário médio na Região de Governador Valadares) .

Por fim, uma consulta aos dados do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), através do Atlas Brasileiro de Energia Solar – 2006 (MARTINS et. al., 2006) permitiu concluir que a radiação solar diária no plano horizontal para a região de Governador Valadares tem média de $5,0 \text{ kWh}/\text{m}^2$, em conformidade com o Atlas Solarimétrico de Minas Gerais. Para fins de cálculos essa foi a referência de valor para essa grandeza. O intervalo de sol pleno diário foi considerado igual a $5,5 \text{ h}$.

B. Levantamento de Área Disponível

A figura 3 mostra a vista aérea do prédio da instituição de ensino, onde é evidenciada a área disponível: telhado do pavilhão de salas de aula. Ela tem orientação longitudinal no sentido leste-oeste, e o telhado instalado possui “duas águas” com fluxo canalizado para o centro. Isso permite, a princípio, a instalação de painéis nos dois lados, e evita futuramente o efeito de sombreamento de futuras edificações no entorno.



Figura 3 – Vista aérea da área disponível para instalação do sistema fotovoltaico. Fonte: Google Earth

A área total disponível no telhado é de 2067 m², e a estrutura do telhado suporta o peso específico dos painéis tipicamente encontrados no mercado. Como não há perspectiva de verticalização futura nessa edificação, o telhado não terá a princípio outra função além de compor a envoltória do prédio. O que pode justificar o uso da “área ociosa”. A cidade de Governador Valadares tem as seguintes coordenadas geográficas: 18° 51' 03'' S e 41° 56' 56'' O. Segundo (VILLALVA e GAZOLI, 2012) a inclinação dos painéis deve corresponder, para esse nível de latitude (intervalo de 11 a 20°), exatamente a latitude do local. Medidas feitas no telhado mostraram uma inclinação de 2°. A figura 4 mostra a área do telhado, as “duas águas” (1 e 2) e sua disposição geográfica.



Figura 4 – Fotografia do telhado e suas “duas águas” (1 e 2).

É importante ressaltar que está prevista uma adequação do telhado em função de problemas de drenagem de águas pluviais, ocasionado a princípio pelo seu baixo grau de inclinação. Caso haja recurso para instalação dos painéis é possível solicitar a adequação do telhado de forma a atender tanto a questão de drenagem quanto à instalação dos painéis.

C. Levantamento de Cargas e de Perfil de Consumo

Segundo levantamento feito através de análise das contas de energia da instituição foi possível determinar de forma mais precisa o consumo da edificação. A figura 5 mostra o perfil de consumo para o ano de 2013 (série de dados disponível).

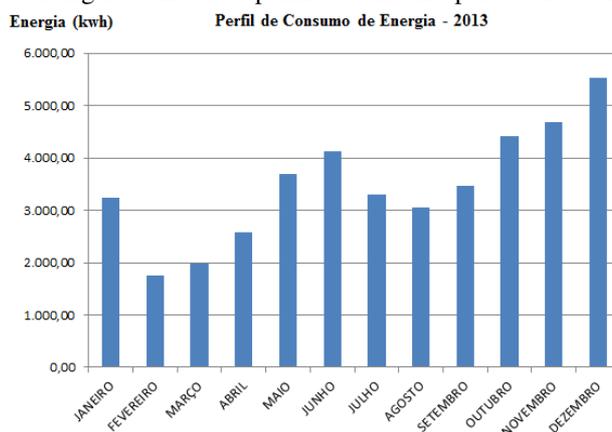


Figura 5 – Perfil do Consumo de Energia Mensal no IFMG – Campus Governador no ano de 2013.

D. Dimensionamento do Sistema Conectado

O dimensionamento considerou os parâmetros citados anteriormente e o roteiro encontrado na referência (VILLALVA e GAZOLI, 2012). A tabela 1 apresenta os resultados preliminares do dimensionamento. O painel escolhido foi o TPB156x156x60-P (245Wp) da marca Sun Earth. Seus dados foram obtidos no PBE/INMETRO. A tabela 2 apresenta o resultado do dimensionamento dos inversores. Uma estimativa da capacidade de geração anual de energia é apresentada na tabela 3.

Tabela 1 – Dimensionamento dos Painéis

Altura do Módulo (m)	1,642
Largura do Módulo (m)	0,992
Área do Módulo (m ²)	1,628864
Eficiência Padrão (25°C)	0,15
Coefficiente de Temp (%/°C)	-0,0042
Temperatura Máxima (°C)	85
Eficiência Real (85°C)	0,15
Temperatura Padrão (°C)	25
Latitude do Local	18°
Insolação Diária (kWh/m ²)	5
Energia Produzida – Painel (kWh/dia)	1,22
Número de Painéis	144

Tabela 2 Dimensionamento dos Inversores

NPS	14
NPP	10
Tensão Máxima de Entrada (Vcc)	540
Potência de Pico – Módulos (kWp)	0,245
Tensão Máxima (Vcc) Fabricante	600
Tensão de Circuito Aberto (Vcc)	37,5
Fator de Segurança	0,9
Potência Total de Pico (kWp)	34,95
Potência Total – Ramos (kW)	3,53
Potência do Inversor (kW)	4,4
n° de inversores	6
Potência Total – Inversores (kW)	24,5
FDI *	0,7

* FDI é o fator de dimensionamento do inversor

Tabela 3 – Cálculo da Energia Gerada Anualmente

Energia Gerada – Anual (kWh)	49183
Potência dos Inversores (kW)	24,5
Horas de Sol Pleno – Média (h)	5,5

E. Orçamentos

Uma das maiores dificuldades na análise de viabilidade econômica foi a obtenção de orçamento dos componentes. Muitos fabricantes e revendedores não emitem valor unitário dos componentes, o que não permite uma análise mais confiável. A tabela 4 apresenta os orçamentos emitidos por três empresas.

Tabela 4 – Orçamentos obtidos com 3 empresas.

Item	Emp.1	Emp. 2	Emp. 3
Painel Fotovoltaico	R\$ 126576	R\$ 148420	R\$ 135000
Inversor	R\$ 34764	R\$ 108100	R\$ 66000
Estrutura de Fixação	R\$ 36498	R\$ 27603	R\$ 32000
Cabos e Materiais Elétricos	R\$ 25800	R\$ 32155	R\$ 24580
Mão de Obra	R\$ 48436	R\$ 15749	R\$ 22420
Projeto de Engenharia	R\$ 26227	R\$ 42795	R\$ 33600

F. – Análise Econômica

A tabela 5 sumariza os resultados obtidos na análise de viabilidade econômica para cada orçamento. Foram consideradas uma taxa de inflação de 6,5% ao ano, taxa de manutenção de 1,0% do valor final do sistema, tarifa de energia igual a R\$ 0,61 (CEMIG), vida útil dos painéis igual a 25 anos e vida útil dos inversores igual a 10 anos.

Tabela 5 – Resultados da Análise Econômica

	Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3
TRS	10 anos	12,5 anos	10,5 anos
VPL	R\$ 324733	R\$ 230616	R\$ 305471
TIR	15%	11%	13%
TR**	13 anos	17 anos	15 anos

** TR é o tempo para igualar o valor de um investimento (valor presente) com os seus respectivos saldos de caixa gerados em cada período.

CONCLUSÕES

Como foi visto o dimensionamento do sistema foi feito considerando um sistema conectado, apontando para um custo final médio de R\$ 328708,00. A geração anual prevista é da ordem de 49 kWh, e segundo as premissas econômicas e ferramentas de análise adotadas indicam viabilidade do sistema, conforme a tabela 5. Por se tratar de uma instituição de ensino podemos agregar a essa viabilidade econômica uma “viabilidade educacional”, tendo em vista que o sistema pode ser explorado para fins didáticos e de pesquisa. Outros pontos que colaboram para tornar a viabilidade mais interessante é o cenário atual de elevação de tarifas, a tendência de queda nos preços dos diversos componentes para sistemas fotovoltaicos e a possível bonificação na análise de eficiência energética da edificação.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao IFMG – Campus Governador Valadares pela liberação de dados para realização da pesquisa e pelo apoio financeiro para participação no V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental.

Agradecemos também ao senhor Bruno Wilmer Fontes Lima pela concessão de importante material bibliográfico e esclarecimento de dúvidas técnicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COOK, Gary. BILLMAN, Lynn. ADOCOCK, Rick. *Photovoltaic Fundamentals*. Washington: US Department of Energy, 1995.
2. HIRICHIS, Roger A.; KELEINBACH, Merlin; REIS, Lineu Belico. *Energia e meio ambiente*. São Paulo: Cengage Learning, 2011.
3. RUTHER, Ricardo. *Edifícios Solares Fotovoltaicos: Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Interligadas a Rede Elétrica do Brasil*. Florianópolis: LABSOLAR,2004.
4. VILLALVA, Marcelo Gradella Villalva; GAZOLI, Jonas Rafael. *Energia Solar Fotovoltaica Conceitos e Aplicações Sistemas Isolados e Conectados à Rede*. São Paulo: Érica, 1 ed. 2012.
5. LIMA, Bruno Wilmer Fontes. *Geração Distribuída Aplicada à Edificações: Edifícios de Energia Zero e o caso do Laboratório de Ensino da FEC-Unicamp*.31 de agosto de 2012. 149 folhas. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas.
6. CEMIG, Companhia Energética de Minas Gerais. *Atlas Solarimétrico de Minas Gerais*. Belo Horizonte: Cemig, 2012 80 p.
7. UFPE, Universidade Federal de Pernambuco. *Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de Dados Solarimétricos*. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000 111p.
8. MARTINS, Fernando Ramos et. al. *Atlas Brasileiro de Energia Solar*. São José dos Campos: INPE, 2006 60p.
9. ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica . Resolução Normativa nº 481 de 17 de abril de 2012. Disponível em : <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012481.pdf> . Acesso 05/12/13
10. ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica . Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012. Disponível em :<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012481.pdf> . Acesso 05/12/13