

SIMULAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NA COBERTURA DAS EDIFICAÇÕES DO CAMPUS I - CEFET-MG

Fátima Oliveira Takenaka - takenaka@terra.com.br

Fernanda Brauer - fernandabrauer@gmail.com

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG

Isabel Tourinho Salamoni - isalamoni@gmail.com

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Ricardo Rüther - ruther@mbox1.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Resumo. A utilização das fontes de energia de forma sustentável é, atualmente, uma das grandes preocupações mundiais, principalmente em função da escassez de recursos naturais e de sua exploração de forma predatória, que pode causar danos irreversíveis ao meio ambiente. Nesse cenário, torna-se fundamental a inserção de fontes alternativas de energia que sejam renováveis e que tenham baixo impacto sobre a natureza. Em países com grande incidência solar e com grandes dimensões, como o Brasil, a utilização de sistemas solares fotovoltaicos (FV) integrados às edificações urbanas e conectados à rede elétrica é considerada um exemplo ideal de aplicação de fonte renovável de energia (FRE). Os sistemas FV são capazes de gerar energia elétrica de forma a atender a demanda local, aumentando a capacidade da rede de distribuição, reduzindo os picos de carga e evitando as perdas por transmissão e distribuição. Quando alocados estrategicamente, esses sistemas podem trazer grandes benefícios à concessionária local. O presente artigo visa avaliar por meio da simulação o potencial de implantação de um sistema de geração FV no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, CEFET- MG - Campus I, localizado em Belo Horizonte, Minas Gerais. Para melhor análise, o estudo considerou três tecnologias - silício amorfo, silício monocristalino e silício policristalino objetivando identificar qual das tecnologias melhor se adapta para suprir a atual demanda da instituição. O estudo concluiu que o CEFET-MG apresenta área de cobertura suficiente para implementar um sistema FV de forma a gerar mais energia do que o consumo da instituição.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica, Fontes renováveis, BIPV (Sistema Fotovoltaico Integrado ao Edifício).

1. INTRODUÇÃO

A expansão do consumo de energia no mundo e a utilização cada vez maior de recursos não renováveis do planeta são consideradas grandes desafios a serem enfrentados pela humanidade e demandam soluções cada vez mais criativas e imediatas. Neste cenário é de vital importância que o setor energético brasileiro permita o atendimento da crescente demanda de energia sem que sejam causados danos irreparáveis ao ecossistema.

A oferta de energia elétrica não vem aumentando de forma proporcional ao crescimento da demanda e, portanto, torna-se um desafio aumentar o acesso e a qualidade dos serviços energéticos. Uma alternativa frente a esse obstáculo é avaliar novas fontes de geração de energia, a fim de proporcionar ao país uma maior qualidade e segurança no abastecimento de energia elétrica.

De acordo com dados publicados pela ANEEL (2008), o consumo de energia elétrica em 2030 deverá situar-se entre 950 e 1.250 TWh/ano (projeção), o que exigirá um aumento expressivo na oferta de energia elétrica no Brasil. Mesmo que seja dada prioridade à expansão da oferta de energia de origem hídrica, principal fonte da matriz energética brasileira, a instalação de novas usinas gerando 120 mil MW poderá não ser suficiente para atender à demanda por energia neste horizonte. Baseado nesse contexto, a busca por uma FRE de forma distribuída seria uma alternativa para auxiliar no suprimento energético do país.

Entre as novas alternativas para uma produção de energia de maneira sustentável e limpa, destaca-se a geração FV por ser uma fonte de conversão direta da energia solar em energia elétrica, de maneira não poluente, silenciosa, eficiente e não prejudicial ao meio ambiente. Para os sistemas FV as duas formas de geração mais utilizadas são a isolada (ou autônoma) e a conectada à rede elétrica.

Os sistemas isolados possuem acumuladores de carga que armazenam a energia e são geralmente instalados em locais remotos, onde se torna onerosa e não viável a utilização de rede elétrica convencional. Os sistemas FV conectados à rede elétrica, não necessitam de acumuladores e se apresentam como mini-usinas de geração distribuída operando em paralelo com a geração convencional no Sistema Interligado Nacional (SIN) e atuam de forma complementar podendo atender a demanda do consumo local de forma instantânea e/ou gerando um excedente que repassado à rede pode aliviar o sistema de geração convencional, auxiliando na redução do pico de demanda. Outra grande vantagem dessa geração distribuída é não ocupar área extra, pois os painéis solares podem ser integrados ao envelope dos edifícios novos e já existentes e junto ao ponto de consumo de energia, eliminando as perdas por

transmissão e distribuição (*T & D*) de energia elétrica. Deste modo, não requerem instalação de infra-estruturas adicionais, como a geração centralizada, sendo considerada uma energia limpa e de fonte inesgotável (RÜTHER, 2004).

Com fontes naturais abundantes, grande dimensão continental e com condições climáticas favoráveis, o Brasil é um país tropical que apresenta excelentes níveis de irradiação solar, que na maioria dos casos são superiores aos dos países desenvolvidos e também possui um considerável potencial hidroelétrico, eólico e energia de biomassa.

As primeiras experiências, utilizando a tecnologia solar FV no Brasil, se deram através de sistemas isolados, instalados em comunidades no interior de alguns estados, onde levar a energia convencional acarreta em elevados custos em transmissão e distribuição. Os sistemas conectados à rede elétrica pública no Brasil ainda estão na fase de projetos pilotos desenvolvidos por Instituições de ensino em parceria com Empresas do setor privado e do setor público. Podemos destacar alguns estados precursores em projetos piloto como os estados de Santa Catarina, São Paulo e Pernambuco e Minas Gerais. Os projetos piloto propiciam estudo desta forma de geração a pesquisadores e estudantes de diversas partes do país (VIANA, 2008).

Mesmo que atualmente os sistemas FV conectados à rede elétrica no Brasil estejam na fase de projetos piloto, segundo Mints (2008), essa aplicação de forma conectada à rede, no restante do mundo, vem crescendo de forma acentuada nos últimos 10 anos. Em 1997 representava 40% do mercado FV mundial e em 2009 já respondia por um percentual de mais de 90%.

Segundo Rüter (2009), estudos mostram que edificações com grandes áreas de cobertura, tais como aeroportos, podem alocar grandes geradores de energia fotovoltaica, que podem representar contribuições significativas em áreas urbanas onde o consumo de energia elétrica é elevado.

Atualmente existem no mercado várias tecnologias de células solares, que se distinguem basicamente pela variação da eficiência de conversão fotovoltaica, material de fabricação e características estéticas. Em destaque cita-se a tecnologia do silício policristalino (p-Si) por ser uma das tecnologias que gera maior potência, com eficiência na ordem de 14,1%, segundo o fabricante Kyocera.

Embora a energia FV seja uma tecnologia madura, confiável e tecnicamente viável, sua utilização ainda não tem um mercado consolidado no Brasil e o seu custo ainda elevado impede a sua expansão. Um dos grandes desafios, não só dos países em desenvolvimento como o Brasil, mas também dos países desenvolvidos está em buscar formas de viabilizar essa fonte de energia, principalmente através de mecanismos de incentivo e legislação que dêem suporte à sua inserção. Apenas dessa maneira, a energia solar FV poderá fazer parte da matriz energética nacional, com um nível satisfatório de contribuição no suprimento energético (SALAMONI, 2009).

2. OBJETIVO

É objetivo desta pesquisa analisar o potencial de geração de energia solar FV interligada à rede elétrica e de forma integrada à cobertura das edificações de uma instituição de ensino público, o CEFET - MG. Essa avaliação é feita através de simulações que consideram diferentes tecnologias de módulos.

3. METODOLOGIA

3.1 Objeto de estudo da pesquisa- Campus I, CEFET-MG

O Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Campus I está situado na região oeste de Belo Horizonte - MG, onde predominam construções arquitetônicas de caráter horizontal. O terreno da instituição de ensino possui uma área de 30.000 m² e uma área construída de 40.000 m², constituída de quatro edificações: Prédio Escolar, Ginásio de Esportes, Prédio Administrativo e Prédio da Mecânica. A Fig. 1 apresenta a fachada principal da instituição de ensino.



Figura 1- Fachada principal das edificações do CEFET-MG. Fonte: Acervo Digital da Instituição, 2009.

O Prédio Escolar, conforme Fig. 2 é o mais representativo com relação ao total de área construída, representando 50% desta.

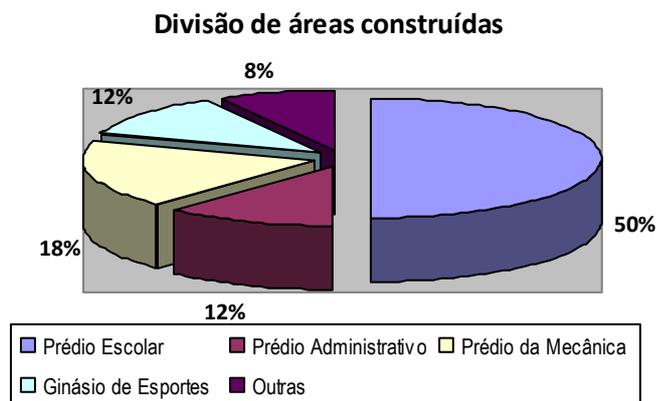


Figura 2- Divisão de áreas construídas do Campus I. Fonte: CEFET-MG, 2009.

Para as edificações em estudo, as atividades desenvolvidas são de ensino, pesquisa e extensão. Os espaços são predominantemente salas de aula convencionais, laboratórios e oficinas de aulas práticas. A maior demanda de energia elétrica se concentra nas cargas de iluminação artificial. As edificações apresentam, no máximo, quatro pavimentos, com acesso de rampas e escadas, sendo que apenas o Prédio Administrativo possui elevador e uma caixa d'água na cobertura.

As quatro edificações possuem características bem definidas sendo estas descritas a seguir:

- Prédio Principal: apresenta o maior número de ocupantes (alunos, professores e funcionários) por possuir o maior número de salas de aula convencionais, as quais são utilizadas nos três turnos no dia;
- Prédio Administrativo: apresenta poucos aparelhos de ar condicionado, um elevador central, um auditório e uma biblioteca. Nesta edificação quase não há expediente no período noturno e no período diurno há uma contribuição significativa da iluminação natural;
- Ginásio de Esportes: utilizado somente para aulas de educação física e, esporadicamente, para algum evento escolar;
- Prédio da Mecânica: composto por alguns laboratórios, duas coordenações de curso e algumas salas de aula para grupos reduzidos de alunos.

3.2 Levantamento dos dados

Os setores de consulta da instituição foram: departamento administrativo, arquivo morto, prefeitura do Campus e as assessorias de projetos e planejamento as quais cederam as documentações e as informações existentes e pertinentes para a realização desse trabalho.

Consumo energético das edificações. A partir da pesquisa documental e com base nas faturas de energia elétrica, foi analisado o perfil histórico de consumo de energia elétrica das edificações, bem como o tipo de tarifação e os parâmetros de medição.

O estudo levou em consideração inicialmente o consumo de energia mensal durante 16 anos (janeiro de 1994 a dezembro de 2009) registrado nas contas de faturamento de energia elétrica. Estes dados foram obtidos do demonstrativo apresentado na fatura de energia elétrica da concessionária CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais). Mediante o levantamento desses dados foram selecionados os valores médios de consumo mensal total, ou seja, os valores de consumo no horário de ponta (HP) e fora de ponta (HFP). Posteriormente, calculou-se o consumo médio diário total de janeiro a dezembro de 2009.

Em consulta à prefeitura do CEFET-MG (responsável pela execução de projetos e reparos na instituição) e à concessionária de energia elétrica (CEMIG), foram identificados o medidor e o alimentador que atende as edificações. A partir desta identificação foram solicitados os dados de memória de massa necessários para a verificação do comportamento da demanda energética média mensal. A memória de massa do alimentador foi solicitada à concessionária CEMIG, com o intuito de verificar o comportamento da demanda horária das cargas, assim como a determinação dos horários de maior e menor consumo de energia média diária.

O alimentador BHGT 23, que atende à instituição, encontra-se em uma área de zona urbana mista que contempla edificações residenciais, comerciais e de serviços.

Para determinar os horários de maior e menor consumo energético da região atendida por este alimentador, foram levantadas as curvas de demanda média diária e o perfil de carregamento nos dias úteis, sábados, domingos e feriados.

Esta análise justifica-se, uma vez que o carregamento do alimentador no final de semana e feriados é bem inferior ao dos dias úteis.

Com o levantamento dessas curvas obteve-se conhecimento do perfil da demanda média diária e mensal do alimentador. O período de tempo analisado foi o ano de 2009, coincidindo com o mesmo período cronológico do cálculo da geração do sistema FV hipotético.

Áreas de cobertura das edificações. A área do Campus encontra-se em uma região sem construções verticais e vegetações altas, que poderiam apresentar sombra às edificações (Fig. 3). Assim não foi considerado o percentual de sombreamento. As áreas de cobertura das quatro edificações apresentaram uma orientação apropriada e boa adequação para a inclinação quanto à instalação dos módulos FV, uma vez que são áreas planas.



Figura 3- Vista aérea do CEFET-MG - Campus I. Fonte: Acervo Digital do CEFET, 2009.

O quantitativo das áreas de cobertura construídas foi realizado mediante um levantamento da planta de cobertura das edificações em questão. Neste quantitativo, levou-se em consideração a área de cobertura construída existente, assim como as áreas consideradas disponíveis à integração dos sistemas FV. Nesse estudo foram subtraídas as áreas de caixas d'água e de elevador.

A Fig. 4 apresenta a planta de cobertura das edificações com o posicionamento do norte verdadeiro. Nesta, foram destacadas, em forma de hachuras, as áreas selecionadas para integração dos sistemas FV.

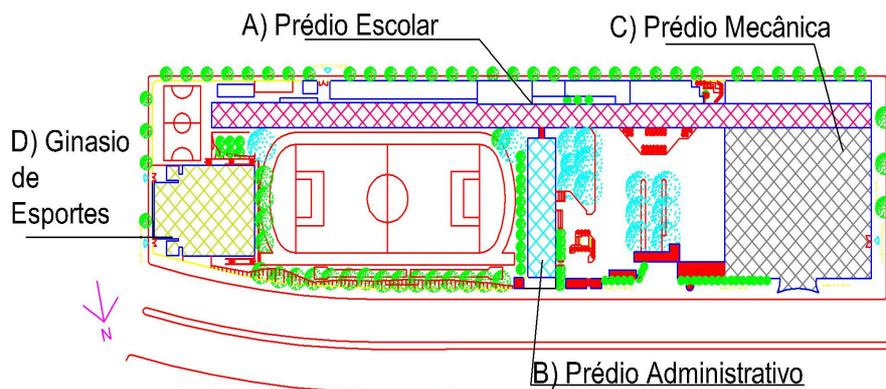


Figura 4- Planta de áreas de cobertura das edificações - Campus I. Fonte: CEFET- MG.

Irradiação solar da cidade de Belo Horizonte. Para quantificar a irradiação incidente em uma superfície utilizou-se o programa Radiasol, desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, 2002).

Analisando as médias anuais de irradiação difusa, direta, global horizontal e global, na inclinação da latitude média ($\text{Wh/m}^2/\text{dia}$) da cidade de Belo Horizonte (Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006) e, comparando-as com todas as capitais brasileiras verificaram-se altas médias, as quais merecem atenção, quando da aplicação da energia solar. Por esse fator, a cidade de Belo Horizonte destaca-se a nível nacional quando se trata da utilização dos sistemas solares de aquecimento.

A cidade de Belo Horizonte, localizada na latitude $19^{\circ} 93'$ sul e longitude 43° oeste, apresenta o valor médio de irradiação solar diária no plano horizontal e com desvio azimutal de zero grau em torno de $5,642 \text{ kWh/m}^2$.

3.3 Orientação e inclinação dos módulos FV

Com base nos dados de irradiação solar, orientação e disposição dos módulos foram realizadas simulações, considerando um desvio azimutal dos módulos (α) de 0° e de -12° . A partir daí foi efetuado o estudo da estimativa de geração FV do sistema hipotético proposto, considerando diferentes inclinações dos módulos FV, que variam entre 0° e 90° .

Considerando a localização das edificações, o melhor valor obtido de irradiação média solar diária para a cidade de Belo Horizonte foi para a inclinação de 20° . Assim, os módulos voltados para o norte receberão maiores níveis de irradiação solar.

3.4 Simulações do Potencial de Geração FV

No total foram simulados sete ângulos de inclinação para o desvio azimutal (α) de 0° e -12° , com o intuito de verificar a influência do plano inclinado no nível médio de irradiação - G_{POA} (kWh/m^2). Utilizou-se o programa Radiasol para simular diferentes inclinações dos módulos e selecionar a que melhor atendesse à integração com a edificação existente e que não oferecesse perdas significativas no potencial de geração FV, como mostra a Tab. 1.

Tabela 1. Ângulo de inclinação dos módulos (β) x irradiação solar (kWh/m^2). Fonte: Radiasol, 2009.

Ângulo β (graus)	0°	10°	15°	20°	25°	60°	90°
Irradiação (kWh/m^2) para $\alpha = -12^{\circ}$	5,352	5,550	5,606	5,633	5,630	4,834	3,330
Irradiação (kWh/m^2) para $\alpha = 0^{\circ}$	5,352	5,554	5,613	5,642	5,640	4,845	3,326

A partir do cálculo da potência FV para atender o consumo total médio diário do CEFET - MG, Campus I, foi possível estimar a área necessária para instalação dos módulos. Esta área seria necessária para tornar as edificações do Campus sustentáveis em termos da produção de energia elétrica, considerando os níveis de irradiação médios do programa Radiasol.

O valor da potência instalada no sistema fotovoltaico (P_{cc}), conforme a Eq. (1), foi obtido em função do consumo energético médio diário das edificações (E), do ganho por radiação solar (G_{POA}) e do rendimento do sistema inversor e conexões (R), cujo valor está situado entre 0,7 e 0,9, sendo adotado neste estudo o valor de 0,8.

$$P_{cc} = (E / G_{POA}) / R \quad (1)$$

Onde:

P_{cc} = potência média necessária em corrente contínua ($\text{kW}_{P_{cc}}$);

G_{POA} = Ganho por radiação solar: média mensal do total diário ($\text{kWh/m}^2/\text{dia}$);

E = consumo médio diário durante o ano (kWh/dia);

R = rendimento do sistema inversor e conexões.

A área requerida para a instalação do sistema FV foi obtida em função da potência instalada e da eficiência do módulo, conforme a Eq. (2).

$$A_{total} = (P_{cc} \times 100) / E_{ff} \quad (2)$$

Onde:

A_{total} = área de módulos (m^2);

P_{cc} = potência média necessária ($\text{kW}_{P_{cc}}$);

E_{ff} = eficiência de conversão da tecnologia fotovoltaica utilizada (potência instalada/ área do módulo x G_{POA} , (%)).

Foram consideradas nas simulações da geração FV três tecnologias com suas respectivas eficiências de conversão e características técnicas e físicas. A escolha da tecnologia dos módulos solares fotovoltaicos foi feita considerando o silício amorfo (a-Si), que possui uma menor eficiência, e a tecnologia do silício monocristalino e policristalino (c-Si e p-Si, respectivamente), que apresentam eficiências maiores. Sendo esta última tecnologia considerada uma tecnologia tradicional e madura no campo das aplicações integradas às coberturas das edificações, em vários países do mundo. Essas três tecnologias possuem grande aceitação no mercado mundial e apresentam aplicações em alguns sistemas experimentais no Brasil.

A tecnologia do silício cristalino apresenta uma eficiência maior do que a tecnologia do silício amorfo, de maneira que, para ela suprir a demanda diária de energia elétrica da instituição, necessitaria de uma menor área para implantação destes módulos FV.

Os módulos que foram selecionados para este estudo, foram os de silício cristalino (c-Si e p-Si) e silício amorfo (a-Si) com potências nominais de 120 W, 205 W e 144 W, respectivamente.

Para o estudo das tecnologias foram propostos três sistemas. A Tab.2 apresenta as tecnologias dos módulos selecionados para o cálculo da geração FV com o fabricante, o modelo, a eficiência, a potência e a área.

Tabela 2. Características das tecnologias FV selecionadas. Fonte: Dados dos Fabricantes, 2009.

Sistema	Tecnologia	Fabricante	Modelo	Eficiência (%)	Potência (W)	Área (m ²)
1	a-Si	Bekaert ECD Solar Systems	Uni-Solar	6,3	144	2,16
2	c-Si	Alfasolar	120 M	13,9	120	0,86
3	p-Si	Kyocera	KD205GX-LP	13,8	205	1,48

Deste modo, utilizando a metodologia descrita acima, foi quantificado o número de módulos FV e, em seguida, a partir dos dimensionamentos dos sistemas, estimou-se a geração FV para os três sistemas. Pelo fato do custo do sistema de geração FV ainda ser elevado, priorizou-se a sua aplicação e utilização nas edificações que possuem localização e condições favoráveis, ou seja, coberturas sem sombreamento, módulos orientados para o norte e com inclinação igual à latitude local. Isto, com o objetivo de agregar o máximo de valor à geração, de forma eficiente e, almejando a redução generalizada dos custos do sistema FV.

4. RESULTADOS

4.1 Análise histórica do consumo energético

O CEFET- MG, Campus I está enquadrado na tarifa hora-sazonal verde. O fornecimento de energia elétrica pela CEMIG ao Campus é realizado por ramal de 13,8 kV. Verificou-se, com base nos dados fornecidos pela CEMIG, que a instituição recebe energia elétrica de um único alimentador BHGT 23, por meio da rede de distribuição da concessionária.

A energia que abastece o Campus chega por uma subestação com uma tensão de 13,8 kV, passando por transformadores e sendo distribuída por cabos subterrâneos. A medição não é individualizada, sendo uma única conta emitida pela CEMIG para todo o Campus.

Analisou-se o histórico do consumo energético do CEFET-MG, Campus I, mediante o levantamento de dados do consumo de energia elétrica mensal no período de 16 anos, compreendendo janeiro de 1994 a dezembro de 2009, conforme o demonstrativo na fatura de energia elétrica da concessionária CEMIG, como mostra a Fig. 5.

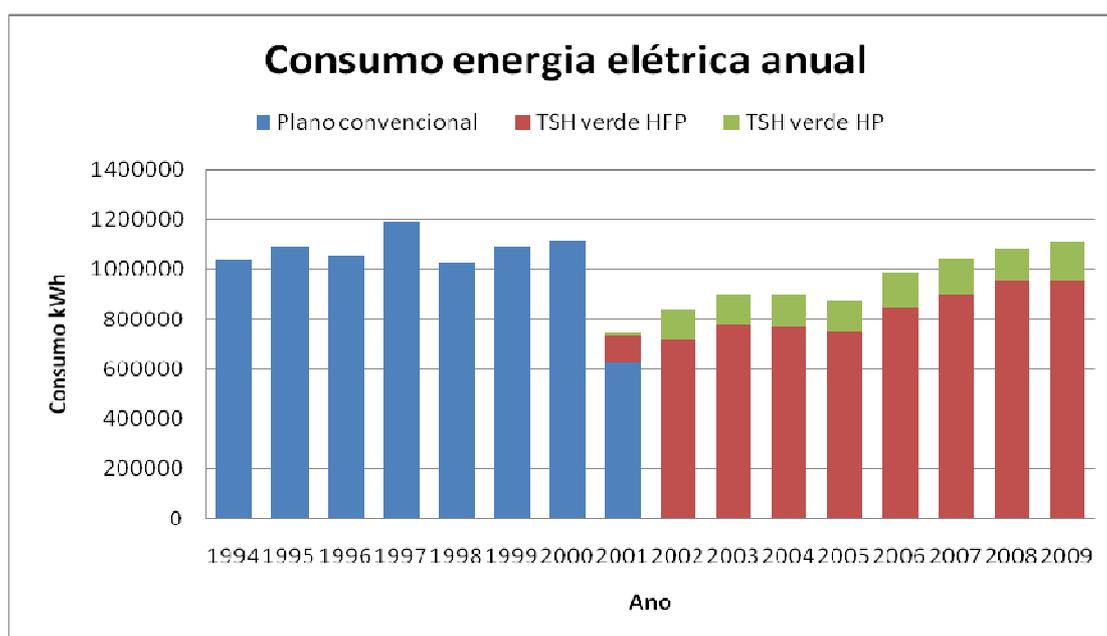


Figura 5- Gráfico do consumo energético anual. Fonte: CEMIG.

Durante os dezesseis anos levantados no estudo, houve uma variação considerável de consumo anual de 1113,4 kWh apresentado no ano de 2000 para 723 kWh no ano de 2001, coincidindo o programa de racionamento de energia elétrica em todo o país. Também, foi observado que se considerarmos somente o período entre o ano de 2001 a 2005 não ocorreu um aumento muito significativo do valor de consumo anual com uma variação neste período de 7,78%.

A partir do ano de 2005, o consumo de energia elétrica vem aumentando gradativamente, ano após ano, saindo de 750,6 kWh/ano para 1.110,1 kWh/ano em 2009, ou seja, aproximadamente 32,4% de aumento em quatro anos. Com essa análise percebe-se que em todo o período analisado o consumo de energia anual não apresentou uma característica constante de crescimento.

4.2 Cálculo da geração FV considerando toda a área útil da cobertura

Para o cálculo da geração FV considerou-se o consumo médio diário de 3.041 kWh/dia com base nos 365 dias do ano de 2009.

A análise considerou toda a área útil de cobertura disponível de cada edificação separadamente. Para cada edificação e tecnologia foi calculada a quantidade de potência instalada (kWp) máxima possível, sendo que nesse levantamento, também foi considerada uma margem para movimentação e segurança nas instalações dos módulos.

Foi considerada a possibilidade de que a implantação dos módulos FV fosse expandida para a área total, com a finalidade de gerar um excedente a ser repassado à rede elétrica pública local. Foram calculados os valores de contribuição da geração FV, utilizando as três tecnologias já descritas e com os módulos inclinados a 20°. A inclinação coincide com a latitude local da cidade de Belo Horizonte, sendo esta considerada a melhor posição para se instalar os módulos, pois apresenta o maior valor do G_{POA} .

Para cada sistema proposto no estudo, foram calculados os valores de geração FV (kWp), tendo as superfícies dos módulos voltadas para o norte verdadeiro.

Estudo do prédio escolar. A Tab. 3 e a Fig. 6 apresentam o levantamento dos módulos para a inclinação de 20°. Verifica-se que para cada um dos três sistemas, houve um valor distinto para a potência FV máxima possível, em função da tecnologia utilizada.

Tabela 3. Levantamento da potência FV máxima possível para as três tecnologias selecionadas.

Inclinação dos módulos a 20 graus	a-Si Sistema 1	c-Si Sistema 2	p-Si Sistema 3
Número de módulos	1536	3416	1950
Área utilizada m ²	2814	2732	2721
kWp	221	409	399



Figura 6- Distribuição dos módulos FV (p-Si) para a inclinação de 20°.

Estudo do prédio administrativo. A Tab. 4 e a Fig. 7 apresentam o levantamento dos módulos para a inclinação de 20°. Verificou-se que o maior valor de potência FV foi para o sistema, com a tecnologia do c-Si.

Tabela 4. Levantamento da potência FV para as três tecnologias.

Inclinação dos módulos a 20 graus	a-Si Sistema 1	c-Si Sistema 2	p-Si Sistema 3
Número de módulos	380	884	284
Área utilizada m ²	707	707	675
kWp	54	106	58

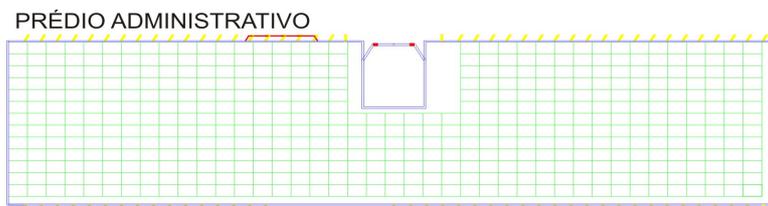


Figura 7- Distribuição dos módulos FV (p-Si) a 20°.

Estudo do prédio da mecânica. Para a edificação do Prédio da Mecânica foi levantada a Tab. 5, que mostra a quantificação dos módulos FV para cada inclinação e tecnologia selecionada. Na Fig. 8 pode-se visualizar a distribuição dos módulos FV.

Tabela 5. Levantamento da potência FV para as três tecnologias.

Inclinação dos módulos a 20 graus	a-Si Sistema 1	c-Si Sistema 2	p-Si Sistema 3
Número de módulos	2366	5460	3408
Área utilizada m ²	4340	4641	4322
kWp	340	654	698



Figura 8- Distribuição dos módulos FV (20°) de p-Si.

Estudo do prédio do ginásio. Finalmente, a Tab. 6 apresenta o levantamento dos módulos para a inclinação de 20° e a Fig. 9 mostra a distribuição dos módulos de p-Si na cobertura do Ginásio de Esportes.

Tabela 6. Levantamento da potência FV para as três tecnologias.

Inclinação dos módulos a 20 graus	a-Si Sistema 1	c-Si Sistema 2	p-Si Sistema 3
Número de módulos	862	2080	1208
Área utilizada m ²	1579	1656	1665
kWp	124	249	247

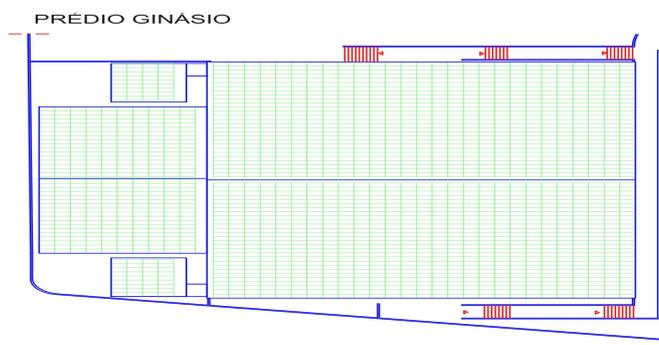


Figura 9- Distribuição dos módulos (p-Si) a 20°.

Verifica-se que, para uma melhor adequação arquitetônica das edificações, a escolha pela inclinação dos módulos neste trabalho deve ser considerada, uma vez que temos uma área suficiente para implantação dos módulos FV.

4.3 Quantificação da potência fotovoltaica por sistema e análise das tecnologias

Verifica-se que para todos os sistemas analisados se obtêm um valor de potência FV que leva a uma geração de energia superior ao consumo médio diário do Campus I - CEFET-MG. A Tab.7 apresenta a quantificação da potência instalada em kWp para os sistemas 1, 2 e 3.

Tabela 7. Quantificação da potência em kWp para os três sistemas.

Sistema	Edificação	Potência instalada a 20 graus (kWp)
Sistema 1: Tecnologia a-Si	Prédio Escolar	221
	Prédio Administrativo	54
	Prédio da Mecânica	340
	Ginásio de Esportes	124
	Total	740
Sistema 2: Tecnologia c-Si	Prédio Escolar	409
	Prédio Administrativo	106
	Prédio da Mecânica	654
	Ginásio de Esportes	249
	Total	1419
Sistema 3: Tecnologia p-Si	Prédio Escolar	399
	Prédio Administrativo	95
	Prédio da Mecânica	698
	Ginásio de Esportes	247
	Total	1441

Para cada sistema, calculou-se a sua geração fotovoltaica, contrastando-a com o consumo mensal das edificações. Desta forma, obteve-se o percentual de suprimento energético que a geração solar representa para o Campus I do CEFET-MG ao longo do ano.

Os valores da geração foram calculados considerando os módulos FV inclinados a 20° (latitude local). A Tab. 8 apresenta os valores obtidos na simulação do sistema hipotético proposto no estudo.

Tabela 8. Geração energética dos sistemas fotovoltaicos propostos.

Geração fotovoltaica para inclinação de 20 graus			
Mês	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Janeiro	110.752	212.306	215.481
Fevereiro	111.286	213.329	216.518
Março	102.042	195.608	198.533
Abril	92.975	178.228	180.893
Maio	78.220	149.944	152.185
Junho	72.176	138.357	140.426
Julho	76.087	145.854	148.035
Agosto	89.775	172.094	174.667
Setembro	98.131	188.111	190.924
Outubro	105.953	203.105	206.142
Novembro	100.619	192.882	195.766
Dezembro	106.130	203.446	206.488
Total anual (kWh/ano)	1.144.146	2.193.265	2.226.058

Conforme a simulação estudada, verificou-se que haverá uma considerável parcela de energia excedente para as tecnologias de p-Si e c-Si, conforme pode ser visualizado na Tab. 9. Com relação à tecnologia do a-Si a contribuição energética anual encontrada foi de aproximadamente 100%, assim a tecnologia seria suficiente para suprir a demanda da instituição, possuindo uma pequena parcela de energia excedente.

A implantação dos sistemas FV nas áreas de cobertura das edificações do Campus I - CEFET-MG poderá ser uma vitrine para a divulgação dessa nova tecnologia despertando na comunidade o conhecimento e, conseqüentemente, disseminar a aplicação dos sistemas FV conectados à rede elétrica.

Verificou-se que a escolha da tecnologia é determinante na parcela de geração de energia FV, podendo na mesma área disponível obter valores de geração diferentes. Observou-se que para a tecnologia a-Si, o valor da potência em kWp encontrado foi de 52,17% e 51,40% em relação aos valores encontrados para as tecnologias de c-Si e p-Si, respectivamente.

Tabela 9. Contribuição energética excedente dos sistemas fotovoltaicos.

Contribuição energética excedente anual dos sistemas FV para ser disponibilizada para à rede elétrica local.	
Sistema 2	97,57%
Sistema 3	100,52%

5. CONCLUSÕES

A partir dessa análise foi possível verificar a importância de estudos como este para divulgação do potencial de geração de energia solar FV. O trabalho mostrou a capacidade de um sistema solar FV em suprir o abastecimento energético de uma edificação e ao mesmo tempo injetar o excedente de energia na rede elétrica, funcionando como uma fonte complementar na geração de energia elétrica.

O estudo apresentou diferentes sistemas, com três tipos de tecnologias de módulos solares, com o intuito de mostrar a influência desta variável na geração de energia FV.

Os objetivos da pesquisa foram alcançados com resultados satisfatórios. Através dela foi possível verificar que as instituições de ensino apresentam, na maioria dos casos, uma grande área de cobertura disponível para a integração de sistemas solares FV, muitas vezes gerando mais energia do que o próprio consumo da edificação. Dessa forma os sistemas FV poderiam contribuir para o suprimento do consumo local, bem como funcionar como uma mini usina geradora, capaz de abastecer edificações adjacentes.

Neste contexto, é importante que sejam inseridos os princípios e as práticas de sustentabilidade, para apoiar o processo de conscientização de todos os elementos envolvidos, em todos os níveis, atingindo professores, funcionários e alunos. Além disso, por meio destes princípios e práticas, pode-se chegar à maior coerência nas tomadas de decisões sobre planejamentos, treinamentos, operações e outras atividades comuns na instituição de ensino.

Pode-se apontar uma série de dificuldades que esta nova tecnologia deve superar, tais como a ausência de legislação para compra e venda desta energia e o seu custo ainda elevado em comparação com a energia convencional, fatores que dificultam sua maior utilização e aplicação.

Espera-se que, com uma adequada regulamentação em nível nacional estabeleça os requisitos de qualidade da energia gerada sem comprometer a rede pública local, para que o sistema fotovoltaico possa vir a ser devidamente estudado como alternativa viável em novos projetos energéticos.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Atlas da Energia Elétrica do Brasil. 3ª ed. Brasília: ANEEL, 2008.
- MINTS, P. Review of Global Incentive Programs. Navigant Consulting, 1–72, 2008.
- RÜTHER, R. Edifícios Solares Fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública. Editora da UFSC. LABSOLAR Florianópolis, 2004.
- RÜTHER, R. ; CUETO, J. ; G.T.MANI, ; MONTENEGRO, A. A. ; ROEDERN, B. V. Performance test of amorphous silicon modules in different climates – year four: Progress in understanding exposure history stabilization effects. In: 33rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2008, San Diego –EUA. Proceedings of the 33rd IEEE Photovoltaic Specialist Conference. New York : IEEE, 2008. V 1 p 423-427.
- RÜTHER, R.;DACOREGIO, M.;SALAMONI, I.; KNOB, P. Performance of the first gridconnected BIPV installation in Brazil over eight years of continuous operation. In: Proceedings of the 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference, 2006. Anais. Dresden, Germany, 2006.v.p. 2761-2764
- SALAMONI, I. Um programa residencial de telhados solares no Brasil: diretrizes de política públicas para a inserção da geração fotovoltaica conectada à rede elétrica. Tese, 2009.
- SANTOS, I. P. A proposta de uma tipologia de Kits para a disseminação da tecnologia solar fotovoltaica. II Congresso de Energia Solar. Florianópolis, 2008.
- UFRGS. Radiosol. Porto Alegre, 2002. Disponível em:WWW. Mecânica.ufrgs. Acesso em: dezembro 2009.

VIANA, T. S. Potencial de Sistemas Fotovoltaicos concentradores no Brasil. II Congresso de Energia Solar. Florianópolis, 2008.

Abstract. *The need for the use of electricity in a sustainable manner has led to a growing concern worldwide, causing more and more scholars and researchers to engage in the search for applications targeting renewable energy sources. In countries with high solar incidence, such as Brazil, the interconnection of a solar photovoltaic (PV) integrated into the building and connected to the grid is setting a good example of alternative energy generation. For its ability to generate energy at the point of consumption and due to the possibility of being incorporated onto the building envelope, the solar photovoltaic system is capable of meeting local demand and to increase the capacity of the distribution network by reducing the peak load and with the transmission and distribution losses. This study evaluates the feasibility of implementing solar photovoltaic generation in the Federal Center for Technological Education of Minas Gerais, CEFET-MG - Campus I, located in Belo Horizonte. The study was based on three PV technologies - amorphous silicon, monocrystalline silicon and polycrystalline silicon, aiming to identify which one is best suited to meet the current demand. The study concluded that the MG-CEFET presents roofing areas sufficient to implement a PV system to generate more energy than the consumption of the whole campus.*

Key words: solar photovoltaic, renewable sources, BIPV (Building Integrated Photovoltaic)