

ESTIMATIVA DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NO “BLOCO A” DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC CONSIDERANDO A PROJEÇÃO DE SOMBRAS NA DETERMINAÇÃO DA ÁREA ÚTIL

Priscila Alves Carneiro – priscila.carneiro@ufabc.edu.br

Heleno Quevedo de Lima – heleno.lima@ufabc.edu.br

Federico Bernardino Morante Trigo – federico.trigo@ufabc.edu.br

Universidade Federal do ABC – Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas

Programa de Pós-Graduação em Energia

Av. dos Estados, 5001 – Santo André – São Paulo – SP – Brasil – CEP 09210-971

Tel.: +55 11 4996-0101

Resumo. A geração de energia elétrica convencional é centralizada e distante do ponto de consumo. Isso ocasiona perdas na transmissão e distribuição, e consequentes danos econômicos às concessionárias, pelo aumento do custo de produção da energia, não esquecendo os danos ao meio ambiente. A conversão de radiação solar em eletricidade por sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (SFCR) tem se intensificado nos últimos anos, como uma das opções de geração de energia renovável e descentralizada. No caso das experiências em curso no Brasil, estes sistemas são projetados para operarem em paralelo com a rede de distribuição do sistema convencional de fornecimento de energia elétrica. Ou seja, o cliente consome eletricidade de ambas as fontes alternadamente, e caso o consumo de energia do mesmo seja menor do que a energia gerada pelo sistema fotovoltaico, o excedente pode vir a ser injetado à rede de distribuição. O presente trabalho visa avaliar o potencial de geração de eletricidade a partir da tecnologia solar fotovoltaica, considerando as características das edificações dos prédios da Universidade Federal do ABC (UFABC) campus Santo André, mais precisamente nas coberturas das três torres do bloco A. O objetivo do estudo foi estimar a energia elétrica fotogerada pelo sistema considerando a área útil da cobertura das três torres através da simulação da projeção de sombras. Assim, a área útil total sem incidência de sombras ao longo do ano será de 1018,23 m² e a potência total a ser instalada de 136,5 kW. Com isso, o estudo aqui desenvolvido vem possibilitar novas avaliações, bem como futuras pesquisas de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, proporcionando assim o desenvolvimento de projetos mais eficientes.

Palavras-chave: Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica, Edificações em Campus Universitários, Simulação de Sombras

1. INTRODUÇÃO

A geração de energia elétrica convencional é centralizada e distante do ponto de consumo, fazendo com que ocorram perdas na transmissão e distribuição, e consequentes danos econômicos às concessionárias, pelo aumento do custo de produção da energia, não esquecendo os danos ao meio ambiente. Por outro lado, o setor elétrico brasileiro busca alternativas de abastecimento energético que sejam capazes de garantir a oferta de eletricidade que vem de encontro à crescente demanda energética do país.

Assim, a geração distribuída apresentando a unidade de geração próxima ao ponto de carga e permitindo uma maior diversificação das tecnologias empregadas para a produção de energia acaba por oferecer inúmeras vantagens frente à geração centralizada (Rodrigues, 2002).

A conversão de radiação solar em energia elétrica por sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) tem se intensificado nos últimos anos, como uma das opções de geração de energia renovável e descentralizada. Nesse contexto, a tecnologia de geração fotovoltaica é vista como um caminho ideal para a geração de energia elétrica através de uma fonte inesgotável e não poluente, o Sol. Assim, a geração fotovoltaica, é um método de conversão sustentável de energia, que acaba por trazer benefícios tanto ambientais quanto energéticos (Marinoski *et al.*, 2004; Oliveira, 2002).

No mercado atual existem vários tipos de células solares fotovoltaicas, diferenciando entre si pela eficiência de conversão e tecnologia empregada, tecnologia essa relativa aos tipos de materiais utilizados em sua construção. Segundo Vieira *et al.* (2008), a de silício policristalino (p-Si) apresenta-se como uma das tecnologias geradoras de maior potência, sendo sua eficiência de conversão (Energia Solar em Energia Elétrica) variando numa faixa de 14 % a 16%.

Dependendo do uso que se queira dar à energia fotogerada e da configuração de instalação, os módulos fotovoltaicos podem ser utilizados de diferentes formas. Com relação aos SFCR duas formas de utilização atualmente são as mais difundidas: a primeira está representada pelas grandes centrais fotovoltaicas que geram grandes pacotes de energia de forma centralizada, e, a segunda, a que gera eletricidade de forma descentralizada e no próprio local onde esta será consumida (Oliveira, 2002).

Santos (2009) relata que os sistemas conectados à rede são projetados para operarem em paralelo com a rede de distribuição do sistema convencional de fornecimento de energia elétrica, ou seja, o cliente consome eletricidade de ambas as fontes (alternadamente) e o excedente da geração fotovoltaica é injetada na rede (*net metering*). Esta configuração, utilizada na Espanha e nos Estados Unidos, permite que usuário acumule créditos em kWh. Na Alemanha a energia gerada pelo sistema fotovoltaico é totalmente injetada na rede (concessionária compra a energia fotovoltaica gerada por um valor superior ao da energia disponível na rede) e a edificação consome somente da rede (*feed-in tariff*).

Hoff *et al.* (1996) citam que, a conexão de sistemas fotovoltaicos à rede, de maneira descentralizada, evita perdas na transmissão da energia fotogerada; permite o aumento da capacidade instalada de forma progressiva; adia a necessidade de realizar investimentos no aumento da capacidade de transporte das linhas como, por exemplo, a substituição de transformadores e, acima de tudo, não emite poluição atmosférica local, problema consideravelmente grave já que os sistemas são utilizados em ambiente urbano.

Para Marinovski *et al.* (2004) os sistemas solares fotovoltaicos podem apresentar vantagens ao serem integrados aos projetos arquitetônicos das edificações urbanas tornando-se um elemento indispensável para geração descentralizada. Assim, vários SFCR já estão em funcionamento em países como Alemanha, Espanha, Estados Unidos, Japão, entre outros. No Brasil, existem diversos projetos piloto em andamento como é o caso dos sistemas instalados no Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em prédios da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), no Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, etc. (Rüther, R. 2004).

Nesse contexto, o estudo apresentado a seguir mostra a possível utilização deste tipo de sistemas nos prédios ainda em construção da Universidade Federal do ABC (UFABC). Além disso, pretende-se contribuir para futuros projetos no importante aspecto do dimensionamento e instalação dos SFCR, bem como trazer à discussão o fundamental tema da inserção deste tipo de tecnologia de geração nas edificações urbanas do país.

2. OBJETIVO

O estudo visa analisar projeções de sombras para pré-dimensionar um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica para o Bloco A da Universidade Federal do ABC, bem como avaliar a quantidade de energia elétrica fotogerada e as vantagens advindas do sistema.

3. CONTEXTUALIZAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC

A Universidade Federal do ABC tem como limite territorial de atuação a região do ABC paulista, que compreende os municípios de Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano, Diadema, Mauá, Ribeirão Pires e Rio Grande da Serra, onde vivem cerca de 2,5 milhões de pessoas. A lei de criação da UFABC a caracterizou como multicampi, prevendo, assim, além do campus de Santo André, abertura de outros na região.

A denominada Unidade Santa Adélia situa-se na área onde está sendo construído o campus Santo André e onde está o edifício do Bloco B, que é a construção onde se concentram atualmente os principais recursos didáticos e de pesquisa da instituição. No entanto, o segundo campus, localizado no município de São Bernardo do Campo, com cerca de 120 mil m², já está na fase construtiva. Adicionalmente, existe a possibilidade de o terceiro campus ficar no município de Mauá, porém, isso ainda se encontra na fase de deliberação (UFABC, 2009).

Em setembro de 2006 foi assinada a primeira ordem de serviço para iniciar as obras de construção do primeiro campus, na cidade de Santo André. A meta é erigir uma área construída de cerca de 96 mil m² em um terreno de, aproximadamente 77 mil m², doado pela Prefeitura Municipal de Santo André (PMSA). Detalhes deste campus podem ser observados na maquete mostrada na figura 1 e algumas características das edificações estão indicadas na tabela 1.



Figura 1 – Maquete do campus Santo André da UFABC.

Tabela 1. Características das edificações do campus Santo André da UFABC.

EDIFICAÇÃO	ÁREA CONSTRUÍDA (m ²)	UTILIZAÇÃO / OBSERVAÇÕES
Bloco A: Edifício Administrativo e Acadêmico	39.426,07*	P1: Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas (10 andares). P2: Centro de Matemática, Computação e Cognição (8 andares). P3: Centro de Ciências Naturais e Humanas (9 andares).
Bloco B: Edifício Acadêmico (11 andares)	13.985,32	Salas de Aula; Salas de Docentes e Laboratórios de Pesquisa e Ensino.
Bloco C: Centro Cultural	9.738,11	Auditórios; Teatro e Biblioteca.
Bloco D: Restaurante Universitário	1.725,25	Matadouro pertencente ao patrimônio histórico do município de Santo André, restaurado com reconversão de uso.
Bloco E: Conjunto Esportivo	3.652,89	Quadras, Piscinas e Ginásio Poliesportivo Coberto.
Bloco F: Torre do Relógio	1.126,45	Relógio, Mirante (76 m) e Reservatório de água.
**		
		

Fonte: Elaboração própria com dados do projeto arquitetônico da UFABC – Campus Santo André.

* 1º, 2º e 3º pavimentos

** As fotos mostram detalhes internos e externos do denominado bloco A ainda em construção. A entrada em operação deste bloco está prevista para maio/junho de 2010 (fotos de fevereiro de 2010 disponíveis no site da UFABC acessado em 16/04/2010).

4. METODOLOGIA DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO DO SFCR DA UFABC

4.1. Escolha da área de estudo

O passo inicial para o planejamento de um sistema de energia solar fotovoltaica, antes do dimensionamento e respectivo orçamento, consiste na escolha do local de interesse, bem como, em uma visita ao mesmo para instalação do sistema. A visita preliminar possibilita uma análise da edificação e das condições disponíveis para instalação do sistema. Os pontos relevantes a serem observados durante a inspeção do envelope de uma edificação para instalação do sistema consistem em: disponibilidade de área no telhado e/ou fachadas, orientação e inclinação das estruturas adequadas à implantação do sistema, informações sobre projeções de sombras na área de interesse, o acesso para futuras operações e manutenção, análise estrutural adequada à instalação dos módulos fotovoltaicos, entre outras. Outras informações complementares para dimensionamento são plantas técnicas, fotografias, plano de localização e o modelo georreferenciado da edificação (GREENPRO, 2004).

4.2. Determinação da área de sombreamento

Um ponto relevante a ser considerado na concepção do sistema é a área de sombreamento. A projeção das sombras sobre a superfície dos módulos fotovoltaicos reduz o desempenho (*Yields¹*) da produção de energia. Os sombreamentos classificam-se como sombreamento temporário ou sombreamento constante.

O sombreamento temporário é todo aquele causado pela presença de poeira, de folhas, de dejetos de aves entre outros fatores que se depositam sobre a superfície obstruindo a captação da radiação solar pela célula fotovoltaica. A inclinação adequada além de favorecer a captação da radiação solar também contribui para auto-limpeza do módulo, auxiliada também pela ação da água da chuva. Entretanto, há determinados sombreamentos que são decorrentes da localização de objetos próximos, compreende todo o sombreamento constante gerado por obstáculos que não podem ser removidos, cito: prédios vizinhos, árvores, chaminés, antenas, pára-raios, cabos aéreos, torres e as sombras geradas pelo próprio edifício (sombras constantes).

Os impactos das sombras podem ser minimizados durante o desenvolvimento do projeto por meio de simulações computacionais que reproduzem as condições de iluminação solar sobre a edificação. Duas ferramentas, utilizadas no estudo, contribuem para desenvolvimento do projeto: a ferramenta Autodesk® Ecotect™ Analysis 2010², software para análise de projetos arquitetônicos, o qual baseia-se em modelos virtuais em 3D para realizar simulações da

¹ Relação entre a produtividade do sistema fotovoltaico e a capacidade instalada (Watt-pico).

² Autodesk® Ecotect™ Analysis 2010 - © Copyright 2009 Autodesk, Inc. Todos direitos reservados.

incidência solar, conforto térmico, acústico e luminoso e o software Google SketchUp Free³ ideal para criar modelos em 3D e simular projeção de sombras.

4.3. Determinação da radiação solar (Wh/m²)

A radiação solar diária média mensal, dado indispensável para dimensionamento de sistemas solares fotovoltaicos, pode ser obtida de maneiras variadas, sendo uma delas a utilização do software SunData⁴, formulado pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito – CRESESB.

O sistema desenvolvido pelo CRESESB possibilita consulta à Base de Dados de radiação solar incidente em qualquer ponto do território nacional. Ao entrar com os dados das coordenadas geográficas (na faixa de 12° Norte e 40° Sul e de longitude na faixa de 30° Oeste e 80° Oeste) do local escolhido para a instalação do sistema, na tela inicial do programa (Fig. 2), este nos fornece os dados de radiação solar (kWh/m².dia), para no mínimo três localidades com estações disponíveis próximas do ponto de interesse no plano horizontal, bem como, os valores de radiação solar convertidos do plano horizontal e para planos inclinados para três diferentes ângulos (inclinações vistas como mais favoráveis para instalação dos módulos fotovoltaicos): ângulo igual à latitude; ângulo que fornece a maior diária média anual de radiação solar e o ângulo que fornece o maior valor mínimo mensal de radiação solar, correspondentes às diárias médias mensais para os doze meses do ano, conforme Fig. 3.

Sundata - Busca por Coordenadas Geográficas

Latitude Sul Longitude Oeste

Formato Numérico:
 graus decimais (00.00°) graus, minutos e segundos (00°00'00")

Figura 2 – Tela de entrada do Programa SunData
 Fonte: CRESESB (2009)

Município:XXXXXX
 Estado:XX
 Latitude: XX,XX ° Norte|Sul
 Longitude:XX,XX ° Oeste
 Distância:XX,X Km

Ângulo	Inclinação [°]	Radiação diária média [kwh/m2.dia]												Média	Delta	
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez			
Ângulo igual a latitude	XX	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx
Maior média anual	XX	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx
Maior mínimo mensal	XX	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx

Figura 3 – Apresentação dos dados para as Coordenadas Geográficas escolhidas
 Fonte: CRESESB (2009)

Por meio do programa também é possível a visualização em gráfico da radiação incidente no local para as localidades detectadas como próximas ao ponto de interesse, bem como para as radiações em relação a cada estação em relação às três diferentes inclinações.

4.4. Determinação da quantidade e do layout dos módulos fotovoltaicos a serem instalados

Para determinar a quantidade de módulos e o layout do sistema elétrico de geração fotovoltaico é imprescindível conhecer a área útil total disponível e as especificações técnicas do sistema a ser instalado, tais como: dimensões externas do módulo, peso, potência máxima, eficiência de conversão, tensão, temperatura de instalação entre outras.

A partir das especificações técnicas dos módulos fotovoltaicos que irão compor o sistema e da posição exata dos mesmos, é importante especificar também a inclinação em relação à horizontal em que o arranjo ficará. De acordo às

³ Google SketchUp Free - ©2009 Google. Todos direitos reservados.

⁴ Disponível em: < <http://www.cresesb.cepel.br/>>. Acesso realizado: 20 de novembro de 2009.

recomendações, estes devem estar inclinados tomando como base o valor absoluto da latitude somando alguns graus conforme a localização geográfica (tabela 2).

Em geral, pode-se dizer que os sistemas fotovoltaicos, autônomos ou conectados à rede elétrica, quanto instalados em uma estrutura fixa podem apresentar uma inclinação igual à latitude local e com uma orientação solar favorável (voltados para o Norte Geográfico, quando localizados no Hemisfério Sul) possibilitando uma maior captação da energia emitida pelo sol. No entanto, dependendo da configuração arquitetônica da edificação e da adaptação dos módulos na estrutura, estes podem ficar até em posições verticais. Neste caso, as perdas de geração são compensadas com o aumento da quantidade de módulos.

Tabela 2. Inclinação necessária para instalação de módulos fotovoltaicos.

LATITUDE	ÂNGULO DE INCLINAÇÃO
0 a 4 graus	10 graus
5 a 20 graus	Latitude + 5 graus
21 a 45 graus	Latitude + 10 graus
46 a 65 graus	Latitude + 15 graus
66 a 75 graus	80 graus

4.5. Cálculo da geração fotovoltaica

Antes do cálculo da geração fotovoltaica é necessário o conhecimento da potência nominal instalada, dada através da Eq. (1).

$$P_{NI} = Q_{PI} \cdot P_N \quad (1)$$

Onde:

P_{NI} – Potência Nominal Instalada

Q_{PI} – Quantidade de módulos instalados

P_N – Potência Nominal de cada módulo

Levando em consideração o Fator de Capacidade (variável em função da posição geográfica e da tecnologia empregada), temos o cálculo da geração anual do sistema solar fotovoltaico, Eq. (2).

$$E_{FVG} = FCC \cdot P_{NI} \cdot 8760 \quad (2)$$

Onde:

E_{FVG} – Energia solar fotovoltaica gerada anualmente

FCC – Fator de Capacidade

P_{NI} – Potência nominal instalada

5. RESULTADOS

5.1. Localização da área de estudo

O estudo foi realizado para o Bloco A da UFABC localizado Campus de Santo André entre as coordenadas geográficas: 46°31'31"W de longitude Oeste e 23°38'35"S de latitude Sul (Fig. 4).

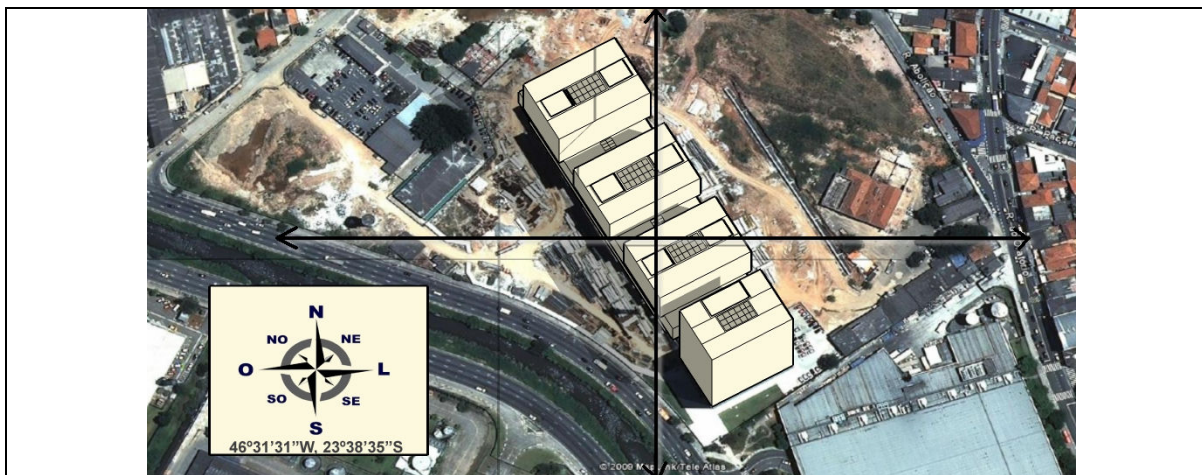


Figura 4 – Orientação Geográfica do Bloco A e B da UFABC, Campus Santo André – SP.

5.2. Determinação da radiação solar (Wh/m²)

Com base no Programa SunData, foram obtidos os valores de radiação solar médios para as três localidades próximas do ponto de estudo, tabela 3.

Tabela 3. Radiação Solar média para as três localidades mais próximas do campus da UFABC.

RADIÇÃO DIÁRIA MÉDIA [kWh/m ² .dia]																		
MUNICÍPIO	UF	LATITUDE [°]	LONGITUDE [°]	DISTÂNCIA [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	MÉDIA	DELTA
São Bernardo do Campo	SP	23,693888°S	46,565000°O	7,0	4,89	4,81	4,69	4,03	3,44	3,06	3,53	3,53	3,83	4,53	5,17	5,06	4,21	2,11
São Paulo	SP	23,547500°S	46,636111°O	15,5	4,50	5,00	4,06	3,61	3,19	2,94	3,22	3,72	3,75	4,03	5,00	4,53	3,96	2,06
Santos	SP	23,960833°S	46,333611°O	40,4	4,89	5,03	4,39	3,83	3,50	3,03	3,39	3,56	3,56	4,31	4,94	5,08	4,13	2,05

Fonte: CRESESB (2009)

Considerando que a radiação foi utilizada para a projeção de sombras através do programa Ecotect, o qual trabalha com a base de dados do U.S. Department of Energy⁵, foi considerado no estudo o valor de radiação para a localidade de São Paulo, distante 15,5 km da UFABC, conforme tabela 4, para os três ângulos de inclinação em relação à horizontal.

Tabela 4. Valores de radiação solar para São Paulo em três diferentes inclinações.

RADIÇÃO DIÁRIA MÉDIA MENSAL [kWh/m ² .dia]															
ÂNGULO	INCLINAÇÃO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	MÉDIA	DELTA
Plano Horizontal	0° N	4,50	5,00	4,06	3,61	3,19	2,94	3,22	3,72	3,75	4,03	5,00	4,53	3,96	2,06
Ângulo igual à latitude	24° N	4,10	4,77	4,15	4,04	3,91	3,79	4,09	4,37	3,96	3,93	4,59	4,08	4,15	,98
Maior média anual	21° N	4,17	4,83	4,16	4,01	3,85	3,71	4,01	4,31	3,96	3,96	4,67	4,16	4,15	1,12
Maior mínimo mensal	28° N	3,99	4,67	4,11	4,06	3,99	3,88	4,19	4,42	3,94	3,87	4,47	3,96	4,13	,81

Fonte: CRESESB (2009)

5.3. Determinação da área útil

Para o cálculo da área útil, necessária para a instalação dos módulos fotovoltaicos, primeiramente foi considerada apenas a cobertura do telhado com inclinação ótima (33° graus) voltada ao Norte, para uma das torres do bloco A, que corresponde à área coberta com telha metálica (532 m²), figura 5.

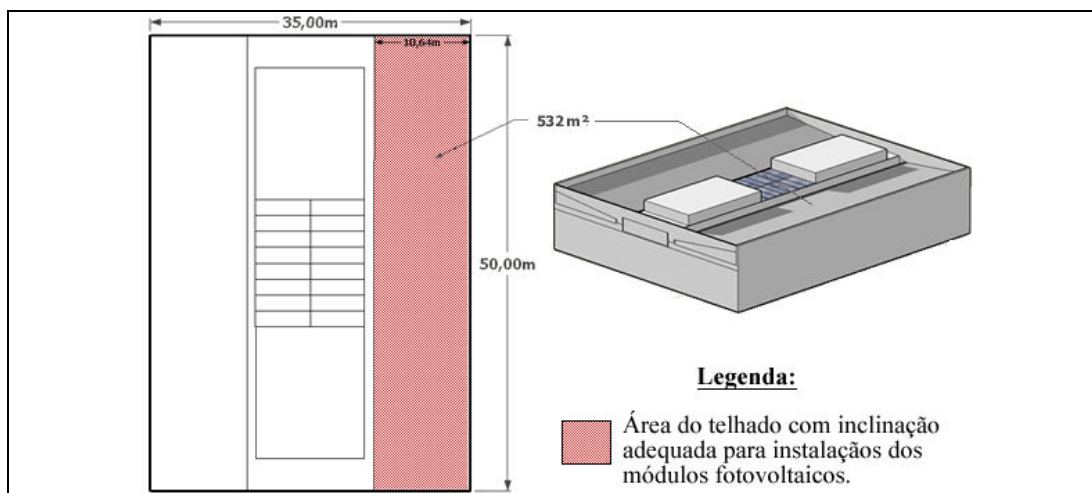


Figura 5 – Área total do telhado e modelo 3 dimensões.

⁵ EnergyPlus is a trademark of the United States Department of Energy. Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm>. Acesso realizado: 20 de novembro de 2009.

A simulação da projeção das sombras ocasionadas pelos obstáculos, presentes no local, estão apresentadas nas figuras 6 e 7, onde as áreas escuras representadas pelas setas mostram a evolução das sombras no terraço exatamente as 11 horas e 14 horas no solstício de inverno e de verão (faixa de horário do sol a pico). Estas simulações do movimento aparente do sol foram obtidas utilizando o programa Ecotect² e a partir dos dados de radiação solar para São Paulo.

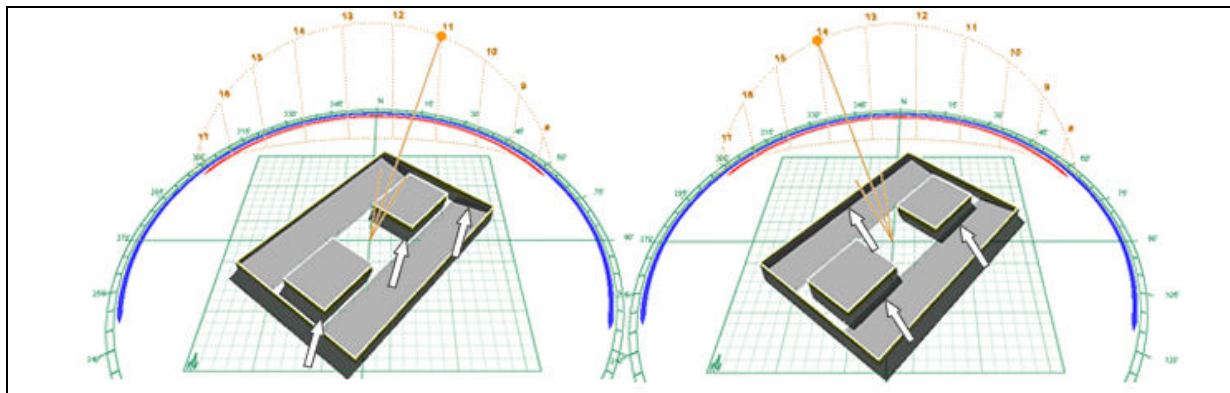


Figura 6 – Simulação da projeção de sombras na cobertura das torres do bloco A para solstício de inverno (21/jun) às 11 horas e 14 horas.

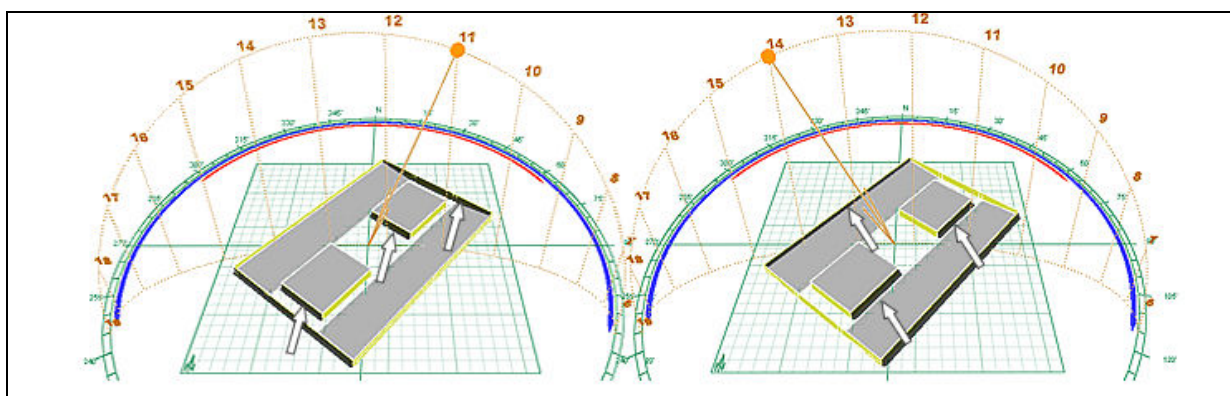


Figura 7 – Simulação da projeção de sombras na cobertura das torres do bloco A para o solstício de verão (21/dez) às 11 horas e 14 horas.

As simulações das projeções de sombras mostradas anteriormente correspondem a quatro datas distintas do ano (solstício de verão, solstício de inverno, equinócios de outono e equinócios de primavera) em quatro horários a destacar: 09:00 horas, 11:00 horas, 13:00 horas e às 15:00 horas. Como o pré-dimensionamento considerou apenas a área com inclinação adequada para captar radiação solar direta de uma das torres (532 m²) do Bloco A da UFABC, logo a área total, disponível para o estudo, somando as áreas com inclinação adequada nas três torres será de 1596 m².

Depois de identificada a projeção de sombra para os respectivos dias e horários citados anteriormente, por meio do programa Ecotect², foi possível sobrepor essas sombras em um único plano e identificar a área que não terá incidência de sombras. Deste modo, da área de 532 m² utilizada no estudo, 192,59 m² terão algum tipo de incidência de sombra em alguns períodos do ano causada por obstáculos que não podem ser removidos e 339,41 m² não terão nenhuma incidência de sombras causada pelos mesmos.

O valor dessas áreas foram calculadas através de modelos em três dimensões do obstáculo presente na edificação e dos telhados das torres do bloco A, modelados nos softwares Ecotect² e SketchUp³, os quais simularam as sombras das bordas laterais e de outras partes do prédio sobre o telhado.

Neste estudo, não foi considerado a possibilidade do uso de estrutura de suporte para melhorar a posição dos módulos para diminuição da incidência de sombras por objetos fixo. Portanto, a área do telhado com inclinação adequada e que não necessita de estruturas para suporte dos módulos, bem como, não possui incidência de sombras ao longo do ano, o que maximiza o *Yields*⁶, será de 339,41 m² (Fig. 8), totalizando uma área útil nas três torres de 1018,23 m² para instalação de módulos fotovoltaicos.

⁶ Relação entre a produtividade do sistema fotovoltaico e a capacidade instalada (Watt-pico).

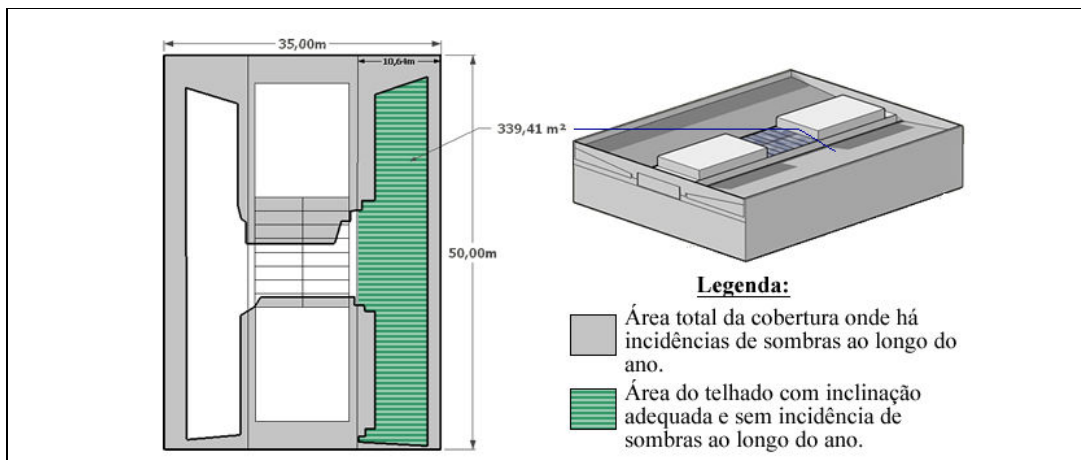


Figura 8 – Área útil para instalação dos módulos fotovoltaicos.

5.4. Dimensionamento da quantidade e do layout dos módulos a serem instalados

Como forma de realizar uma simples estimativa da quantidade de módulos a serem utilizados e, adicionalmente, desenhar uma possível configuração do arranjo fotovoltaico, nesta análise foram utilizados módulos fotovoltaicos modelo KC 130 TM fabricados pela empresa Kyocera, cujas especificações técnicas estão descritas na figura 9.

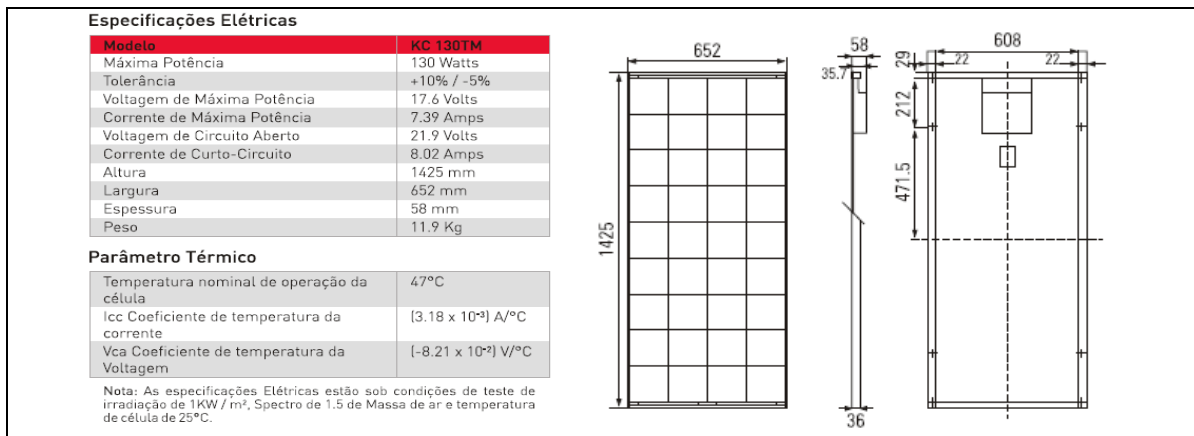


Figura 9 – Especificações técnicas do modelo de módulo utilizado no estudo.

Fonte: Kyocera (2009).

Da área total de 532 m^2 de cada torre do bloco A apenas 63,8% ($339,41 \text{ m}^2$) será utilizada para instalação dos módulos fotovoltaicos. Considerando as dimensões dos módulos selecionados esta área comportará 350 módulos distribuídos de acordo com o layout indicado na figura 10.

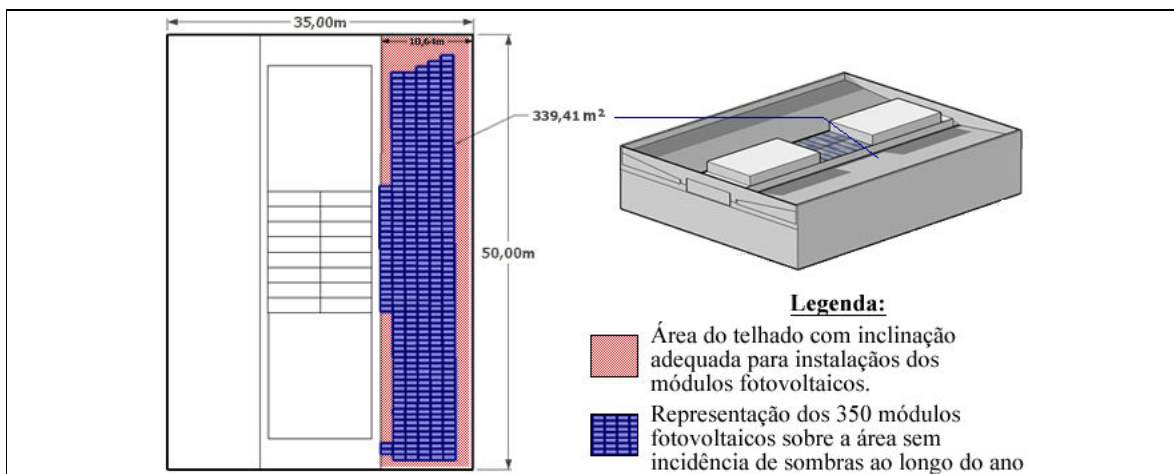


Figura 10. Layout da distribuição dos módulos fotovoltaicos sobre a área ideal.

5.5. Cálculo da Geração Solar Fotovoltaica

De acordo com a equação 1 indicada no item 4.5., considerando que a potência nominal de cada módulo a ser utilizado é de 130 W, e que cada área útil comporta 350 módulos, a potência nominal instalada será de 45,5 kWp em cada torre. Segundo a equação 2, a geração anual do arranjo fotovoltaico será então de 59,79 MWh/ano. Com a finalidade de oferecer maior confiabilidade ao estudo, o Fator de Capacidade utilizado foi de 15 %, dado coerente com os valores experimentais obtidos na cidade de São Paulo (14 % a 18 %).

Em conclusão, ao estender o cálculo para as três torres ter-se-á que a estimativa da energia total gerada pelo sistema fotovoltaico conectado à rede do Bloco A do campus Santo André da UFABC será de aproximadamente 180 MWh por ano, com uma potência instalada de 136,5 kWp.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio deste estudo constatou-se que a simulação computacional da projeção de sombras permite identificar a área da incidência de sombras ao longo do ano. Esta avaliação possibilita uma comparação entre o potencial de geração de toda a área da cobertura disponível e apenas a área sem incidência de zonas sombreadas. O desempenho de geração elétrica dos módulos fotovoltaicos, quando instalado na área total do telhado apresentariam um índice de produtividade (*Yields*) menor do que o sistema instalado apenas na área sem sombreamento. Entretanto, a ocorrência de sombras não ocorre de forma igualitária ao longo de todo o ano na área desfavorável. Desta forma a produção de energia, ao longo do ano, seria diferenciada ao optar por um sistema maior com módulos até nas zonas de sombras ou um sistema menor sem sombreamento.

Este pré-dimensionamento identificou a área adequada sem sombreamento na cobertura dos torres do Bloco A, que por meio da utilização de tecnologias de aproveitamento da energia solar pode produzir energia para atender em parte a futura demanda de eletricidade da instituição. Na área de cobertura disponível no Bloco A (1018,23 m²), a totalidade da potência instalada resultou em um sistema fotovoltaico com 136,5 kWp (instalação de 1050 módulos de 130 Wp), totalizando um custo de aproximadamente 1,5 milhões de reais apenas em módulos, sem levar em conta o custo dos inversores cc/ca, material elétrico, mão de obra, etc.

Evidentemente, este valor é relativamente alto e, além disso, ao fazer um simples cálculo do retorno do investimento comparando o custo da energia gerada pelo sistema e aquela comprada da empresa concessionária, qualquer profissional notaria a inviabilidade da sua materialização. Contudo, embora tudo isso seja verdade, seria um erro esquecer que existem outros parâmetros a serem levados em conta na hora de tomar as respectivas decisões.

Um aspecto fundamental é que a UFABC foi concebida como uma instituição de pesquisa onde a interdisciplinaridade é um de seus principais alicerces. Somente por este fato a inserção deste sistema no bloco A ou em outras edificações da universidade pode ficar justificado já que isso viabiliza um grande laboratório de pesquisa. Ao lado disso, tais sistemas podem assumir uma importante função estratégica ao fomentar a geração descentralizada de energia elétrica e, dessa maneira, contribuir com o desenvolvimento de novas pesquisas de caráter interdisciplinar, permitindo o aprimoramento dos métodos de dimensionamento e controle de sistemas conectados à rede.

Visto de outra forma, os estudos de caráter acadêmico que visam desenvolver meios para a utilização ampla da geração distribuída nas áreas urbanas do país, não podem ser descuidados já que cedo ou mais tarde isso será uma realidade. No caso dos sistemas fotovoltaicos, diversos programas de difusão e utilização desta tecnologia existentes em vários países, confirmam esse fato. Desta maneira, a integração dos geradores fotovoltaicos nas edificações urbanas precisará de uma sólida base de conhecimentos e recursos humanos com capacidade de materializar os projetos e produzir inovações adaptadas à realidade do país.

No caso da proposta objeto deste estudo, a energia elétrica produzida pelo sistema pode ser utilizada no próprio edifício por meio de variados equipamentos de usos finais. No entanto, fica em aberto a necessidade de realizar estudos relacionados com a medição do potencial real de radiação solar no campus da UFABC, bem como monitorar condições ambientais locais e avaliar a influência no rendimento do sistema fotovoltaico com ou sem sombreamento, entre outros.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos Professores da UFABC Sérgio Oliveira e Joel Felipe pelas contribuições prestadas, e aos alunos do Programa de Pós-graduação em Energia dessa universidade: Renato Brito Quaglia, Dilson Batista Ferreira e Patricia Zandonade pela disponibilidade de informações. O agradecimento também é extensivo à UFABC pelo apoio financeiro e intelectual proporcionado.

REFERÊNCIAS

- CRESESB. 2009. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, CRESESB. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso realizado em: 20 de novembro de 2009.
- GREENPRO. 2004. GREENPRO, Energia Fotovoltaica – manual sobre tecnologias, projecto e instalação. Comissão Européia. Disponível em: <<http://www.greenpro.de/po/fotovoltaico.pdf>>. Acesso em novembro de 2009.
- Hoff T. E., Wenger H. J., Farmer B. K.. 1996. Distributed Generation – An alternative to Electric Utility Investments in System Capacity, Energy Policy, v. 24. (2).
- Kyocera. 2009. Manual Técnico do Módulo Solar Kyocera - modelo KC 130T. Disponível em: <<http://www.kyocerasolar.com.br/>>. Acesso em novembro de 2009.
- Marinoski, D. L., Salamoni, I. T., Ruther, R. 2004. Pré-Dimensionamento de Sistema Solar Fotovoltaico: Estudo de Caso do Edifício Sede do CREA-SC. In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável & X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Anais da I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável & X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Paulo: ENTAC, 2004. v. 1. p. 678-691.
- Oliveira S. H. F. 2002. Geração Distribuída de Eletricidade: Inserção de Edificações Fotovoltaicas Conectadas à Rede no Estado de São Paulo. Tese de Doutorado, Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Oliveira, M. M. 2008. Análise do desempenho de um gerador fotovoltaico com seguidor solar azimutal. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Rodrigues, C., 2002. Mecanismos regulatórios, tarifários e econômicos na geração distribuída: o caso dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Rüther, R. 2004. Edificações Solares Fotovoltaicas: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil. Florianópolis: Editora UFSC / LABSOLAR, 113 p.
- Santos, I. 2009. Integração de módulos solares fotovoltaicos em edificações residenciais e sua contribuição em um alimentador de energia de zona urbana mista. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina Florianópolis.
- UFABC. 2009. PDI, Plano de Desenvolvimento Institucional da Universidade Federal do ABC. Fundação Universidade Federal do ABC. Santo André. Disponível em: <<http://www. www.ufabc.edu.br>>. Acesso realizado em: 20 de novembro de 2009.
- Vieira, C. S.; Takenaka, F. O.; Bracarense, M. S. S.; Ruther, R., 2008. Simulação de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede pública para suprir demanda de energia no CEFET-MG. In: II Congresso Brasileiro de Energia Solar & III Conferencia Latinoamericana da International Solar Energy Society, 2008, Florianopolis, Brasil. Anais do II Congresso Brasileiro de Energia Solar & III Conferencia Latinoamericana da International Solar Energy Society. Florianópolis: ABENS, v. 1. p. 1-12.

ESTIMATE OF GENERATION PHOTOVOLTAIC IN THE “BLOCK A” OF THE UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC CONSIDERING THE PROJECTION OF SHADES IN THE DETERMINATION OF THE USEFUL AREA

Abstract. *The conventional electric power generation is centralized and distanced from the point of consumption. It causes some losses in transmission and distribution, and consequential economic damage to the electricity companies, by increasing the cost of production of energy, including the damage to the environment. The conversion of solar radiation in electricity for grid-connected photovoltaics systems if has intensified in recent years as one of the options of generation of renewable and decentralized energy. In the case of the experiences in course in Brazil, these systems are designed to operate in parallel with the distribution grid of conventional delivery electrical power system. That is, the customer consumes electricity of both the sources in alternation form, and in case that the consumption of energy of either the same lesser of what the energy generated for the photovoltaic system, the excess can come to be injected to the distribution grid. The present paper aims at to evaluate the potential of generation of electricity from the photovoltaic solar technology, considering the characteristics of the constructions of the building of the Universidade Federal do ABC (UFABC) campus Santo André, more exactly in the coverings of the three towers of the block A. The aim of the study was appraise the photo-generated electric energy by the system considering the useful area of the covering of the three towers through the simulation of the projection of shades. Thus, the total useful area without incidence of shades throughout the year will be of 1018.23 m² and the total installed power of 136.5 kW. With this, the study developed here it comes to make possible new evaluations, as well as future research of grid-connected photovoltaic systems, thus providing the development of more efficient projects.*

Key words: *grid-connected photovoltaic systems, constructions in university areas, simulation of shadows.*