

Projeto de cobertura fotovoltaica *BIPV* para o prédio II do CTI-TEC

Renato Archer

Robson Mayer, Bolsista PCI (CTI) rmayer@cti.gov.br

Resumo

Com o desenvolvimento contínuo de edifícios verdes e sustentáveis, o sistema de geração de energia fotovoltaica vem ganhando mais aderência. Sistemas fotovoltaicos integrados à edificação (BIPV) vêm contribuindo para reduzir a demanda de energia em construções urbanas, assim como atender a aspectos estéticos e funcionais no ambiente. O documento dará detalhes sobre o projeto BIPV de um sistema fotovoltaico para o parque tecnológico do CTI, incluindo as configurações do sistema, considerações de projeto, proteções, interface de conexão à rede, seu desempenho, dificuldades técnicas encontradas e experiências adquiridas.

Palavras-chave: Sistema fotovoltaico integrado à edificação, Energia renovável, Projeto sustentável.

1. Introdução

O desenvolvimento sustentável tornou-se uma tendência mundial para as cidades, onde a redução do consumo de energia e a redução da emissão de CO₂ agora é uma grande preocupação para engenheiros, arquitetos e também para o público em geral (A. Mehravaran, 2019). Projetos sustentáveis baseados no BIPV (*Building-Integrated Photovoltaics*), que é um sistema fotovoltaico integrado à edificação, vêm se tornando cada dia mais populares e fazendo parte indispensável na construção de novas e modernas edificações pelo mundo.

O projeto aqui tratado consiste em dimensionar um sistema fotovoltaico integrado à edificação a ser interligado à rede interna do prédio do CTI, no parque tecnológico do Centro. O sistema BIPV é enquadrado como microgeração, conforme a resolução normativa nº 482, de 12 de Abril de 2012 da ANEEL, e deve seguir todas as recomendações técnicas de um projeto fotovoltaico convencional.

Com um design cuidadoso e projeto apropriado em aplicações selecionadas adequadamente, o sistema fotovoltaico integrado à edificação BIPV pode atingir plenamente esse objetivo. Isso é especialmente indicado para edifícios de escritórios, empresas, pavilhões de exposições entre outras instalações urbanas com espaço de construção limitado. Para sistemas BIPV urbanos, acredita-se que o método *On-grid* (conectado à rede) é a melhor escolha porque reduz o consumo de energia drenada da rede, é um sistema mais econômico em relação ao *Off-grid* e desempenha características estéticas importantes (S. JOIS, 2019). Um breve diagrama esquemático sobre o conceito desses sistemas BIPV conectados à rede é ilustrado na Figura 1.

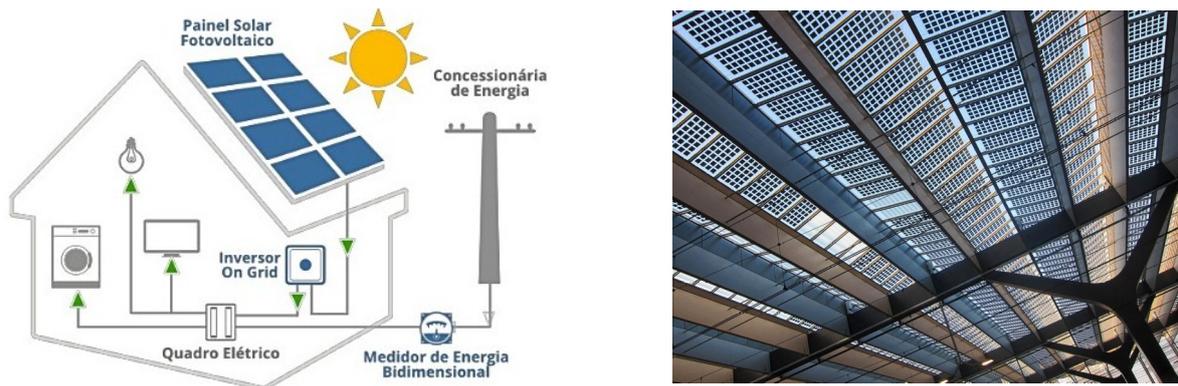


Figura 1 – Sistema fotovoltaico conectado à rede *On-grid* (esquerda) e edificação com BIPV (direita).

A maioria desses sistemas BIPV são conectados à própria rede elétrica da edificação, sem armazenamento de energia para eliminar os volumosos, caros e problemáticos bancos de baterias do sistema *Off-grid*. O dimensionamento destes sistemas deve considerar muitos fatores, como a situação climática local, localização da propriedade, perfil de sombreamento, orientação dos módulos fotovoltaicos, configuração do módulo, material em que foram confeccionados, tipo de fiação e interconexão, características do inversor solar, entre outros (X. CAI, 2016).

Convencionalmente, os principais obstáculos e desafios na aplicação da tecnologia fotovoltaica do tipo BIPV são:

- O alto custo dos painéis fotovoltaicos customizados (planos, curvos, flexíveis) aliado à confiabilidade de longo prazo da tecnologia;
- Requisitos estritos em termos estruturais, mecânicos, estéticos e de design com alto custo e complexidade;
- Dificuldade de orientação ótima dos módulos e gerenciamento de sombreamentos;
- Necessidade de manutenção do sistema, como limpeza para manter a geração;
- Segurança elétrica e estrutural do local.

Sistemas BIPV conectados à rede tem grandes vantagens quando aplicados a edifícios de áreas tropicais ou subtropicais (I. WEISS, 2018). Nestes edifícios, a maior parte da energia elétrica consumida é para manter o sistema de ar-condicionado, portanto, o pico de demanda de eletricidade ocorre por volta do meio dia ou início da tarde, no verão. Este horário de maior demanda energética obviamente corresponde ao horário de pico da geração elétrica do sistema fotovoltaico, o qual não apenas reduz a energia elétrica total consumida da rede, mas também reduz o pico de demanda em kVA/h da concessionária.

2. Sistema fotovoltaico

Em meados dos anos noventa, foram criadas políticas públicas em diversos países para incentivar o uso de energias renováveis, surgindo assim dois modelos distintos de tarifação, o *Feed-in tariff* (FIT) e o *Net metering*. No *Feed-in tariff*, ocorre a oferta de contratos de longo prazo aos produtores de energias renováveis, normalmente com base no custo de geração de cada tecnologia, recebendo em dinheiro o valor gerado excedente injetado na rede elétrica. No Brasil, isso ocorre por meio de um contrato de demanda quando a unidade for caracterizada e regulamentada como geração distribuída de média e grande capacidade.

No *Net metering*, a energia gerada é usada para abater o consumo de energia elétrica da própria unidade, onde um saldo positivo (excedente) de energia poderá ser utilizado para abater o consumo em outro posto tarifário ou na fatura do mês subsequente em até 60 meses, desde que esteja conectado à mesma rede de concessão da distribuidora onde a energia foi injetada. Este segundo método é aplicado no Brasil, onde toda a energia excedente do sistema será transformada em créditos. Assim, a rede de distribuição vai funcionar como um elemento de armazenamento de energia e a unidade consumidora terá um determinado tempo para consumir o saldo remanescente. Caso contrário, essa energia é contabilizada pela distribuidora a título gratuito em prol da modicidade tarifária para os demais consumidores cativos da distribuidora onde a geração está conectada.

A resolução normativa ANEEL 482/2012 foi, provavelmente, o maior avanço para a geração distribuída no Brasil, devido à normatização da micro (até 75 kW) e da mini (maior de 75 kW e menor que 5 MW) geração distribuída de energia elétrica com fontes renováveis. A resolução normatiza permitindo que os consumidores instalem geradores provenientes de fontes renováveis em suas unidades consumidoras e injetem a energia excedente na rede em troca de créditos.

Na Figura 2 é demonstrado um desenho ilustrativo da cobertura sobre a laje do prédio II do CTI Tec e os módulos reais montados no laboratório fotovoltaico com células monocristalinas. A cobertura será composta por 57 módulos (1337 x 720 mm de 17 kg cada) e a estimativa de massa total máxima da estrutura é de 2,5 toneladas.

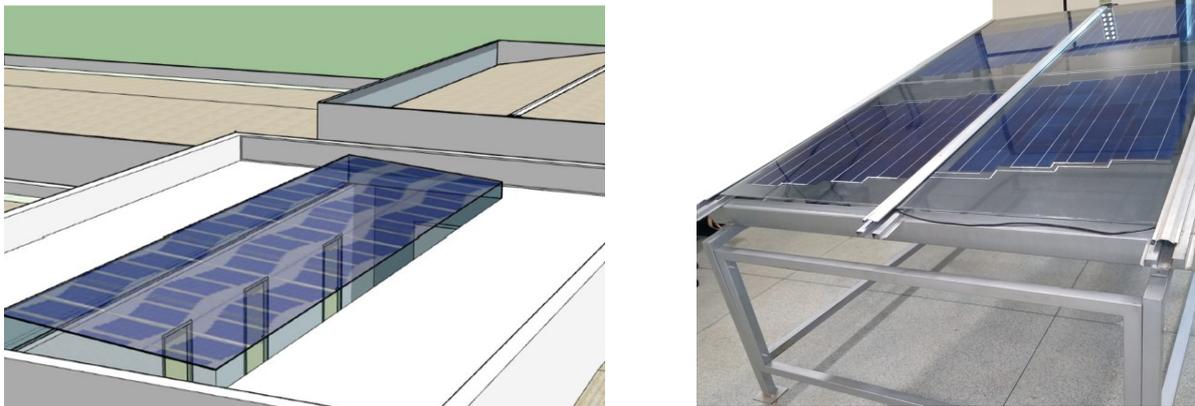


Figura 2 – Ilustração da cobertura sobre o prédio do CTI Tec (esquerda) e os módulos reais em estrutura experimental (direita) fabricados no laboratório do centro.

Os módulos fotovoltaicos customizados montados no laboratório do CTI, lado direito da Figura 2, possuem em média as seguintes características elétricas em STC (*Standard Test Conditions*), conforme norma IEC 60904-2: $V_{oc} = 12,34$ V, $V_{mp} = 9,7$ V, $I_{mp} = 7,4$ A, $I_{sc} = 9,2$ A, $P_{max} = 71,78$ W e $I_{max} = 15$ A. A Tabela 1 apresenta os dados elétricos do arranjo dos 57 módulos que serão conectados todos em série.

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
Tensão V_{oc} [V]	703,38	Tensão V_{mp} [V]	552,90
Corrente I_{sc} [A]	9,2	Corrente I_{mp} [A]	7,4
Corrente I_{max} [A]	15	Potência P_{max} [W]	4090
Fator de forma FF	0,6322	Emes [kWh/mês]	401

Fonte: do autor

Tabela 1 – Característica do arranjo total de módulos da cobertura.

Além dos módulos, será empregado um inversor fotovoltaico string centralizado da ABB modelo TRIO-8.5-TL-OUTD-S-400 tipo *Grid-tie*, uma string box da Phoenix Contact modelo PV-SET 1000DCSC/AC-3P-QPD - 2801604 e cabos de 4mm² apropriados para instalações em corrente contínua em sistemas fotovoltaicos, conforme determina norma NBR 16690.

Atualmente, no mundo, a grande maioria de módulos comercializados são de tecnologia policristalina e monocristalina, sendo essa última a mais difundida, com aproximadamente 80% do mercado. As principais diferenças entre elas são que a monocristalina é ligeiramente mais eficiente que a policristalina, na ordem de 2% a 3% para a mesma área de captação, e possui preço um pouco maior em função de ter um processo de fabricação mais complexo, já que utiliza maior quantidade de silício purificado (A. C. MARTINS, 2017).

Todos os módulos solares perdem eficiência quando aquecem. As duas tecnologias indicadas acima atualmente já apresentam desempenhos muito similares à elevação de temperatura da célula, sendo a monocristalina levemente mais sensível. Os módulos podem sofrer um incremento de aproximadamente 35°C acima da temperatura ambiente quando em plena produção e devem ser instalados de forma a permitir um autorresfriamento.

De todo o exposto, cabe comentar que a temperatura influi mais na tensão terminal do módulo do que outros parâmetros, à medida que esta aumenta, diminui o valor da máxima tensão, podendo atingir até 23% de redução, causando queda na potência máxima gerada.

3. Instalação de sistema BIPV na edificação

Como os módulos serão instalados na cobertura do prédio no CTI Tec e seu design vai formar uma espécie de claraboia semitransparente, permitindo que parte da luz penetre no ambiente do pavimento inferior da edificação para aproveitar a iluminação natural do sol, os módulos foram montados com um filtro UV na camada interna do vidro. Além disso, essa cobertura será inclinada para o norte geográfico com ângulo de 24°, aproximadamente o valor da latitude da instalação para maximizar a geração de energia.

A instalação será realizada sobre uma estrutura baseada em perfis de alumínio e aço galvanizado para evitar corrosão por conta de intempéries. A estrutura deve suportar o peso da carga do vento para a área em questão, a altitude da instalação e o próprio peso dos módulos de vidro. Além disso, ela deve ser construída de modo a evitar sombreamentos de paredes e objetos próximos.

As coordenadas geográficas de latitude e longitude do prédio no terreno do CTI Renato Archer, em Campinas-SP são 22°51'04.5"S e 47°07'39.3"W, respectivamente. A orientação e direção do sistema fotovoltaico tem como objetivo maximizar a radiação solar incidente nos módulos, maximizando a produção de eletricidade.

A quantidade de energia produzida por uma unidade fotovoltaica está diretamente relacionada com a radiação solar disponível. Assim, quanto maior a disponibilidade dos recursos solares maior será o potencial da produção de eletricidade (A. REINDERS, 2017). A produção do módulo é máxima quando este se encontra instalado perpendicularmente em relação aos raios solares, e isso sempre ocorre ao meio dia na linha do equador.

Um ponto importante a ser considerado é o fato de que a incidência solar varia com a posição geográfica e também varia ao longo do dia e ano. No entanto, os módulos BIPV aqui apresentados serão instalados para avaliar o conceito do projeto a longo prazo e um estudo de sombreamento não será necessário, já que a cobertura será posicionada no topo da edificação e na mesma altura do telhado.

O circuito elétrico que será conectado ao inversor solar é em corrente alternada trifásica e vem do primeiro pavimento, que fica no térreo da edificação. Este circuito é derivado de um QGBT (Quadro Geral de Baixa Tensão), e conecta o inversor no segundo andar com a instalação elétrica do prédio. Portanto, a produção de energia dos módulos pode ser diretamente consumida pelos dispositivos elétricos instalados no prédio e conectados à mesma rede elétrica. A Figura 3 ilustra o diagrama elétrico do projeto BIPV do CTI Tec.

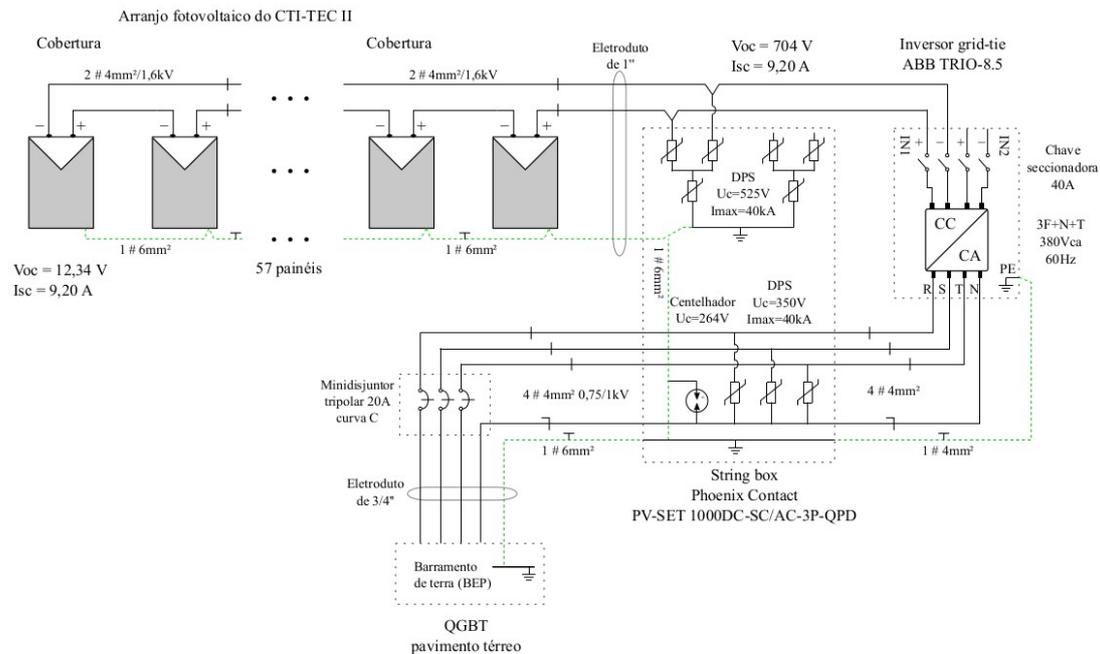


Figura 3 – Diagrama elétrico do projeto BIPV do CTI Tec Renato Archer.

Para o projeto e a instalação do sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), deve-se consultar as normas ABNT NBR 5419 e ABNT NBR 16785 quando aplicável. A NBR 16690 estabelece os requisitos de projeto das instalações elétricas de baixa tensão para arranjos fotovoltaicos, incluindo disposições sobre os condutores, dispositivos de proteção elétrica, dispositivos de manobra, aterramento e equipotencialidade do arranjo fotovoltaico. Esta norma trata de instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos e complementa a NBR5410 que trata de instalações elétricas de baixa tensão. O aterramento da estrutura metálica da cobertura será interligado com o aterramento e o SPDA da própria edificação.

As necessidades de manutenção dos módulos solares são mínimas, no entanto, a fim de impedir problemas e manter a eficiência da geração fotovoltaica, é necessária a manutenção regular do sistema, sendo uma boa prática a elaboração de um plano de manutenção periódica que atenda, além das especificações dos fabricantes, as especificações do projeto. A principal evidência que indica que os módulos devem passar por um processo de limpeza é a redução de geração energética. A sujeira encontrada na superfície dos módulos fotovoltaicos impacta diretamente a geração de energia, levando a uma redução da irradiação solar absorvida pelas células que compõem o módulo fotovoltaico, podendo, em casos extremos, causar sombreamento parcial, pontos quentes e, conseqüentemente, um estresse térmico nas células, que contribui para o desenvolvimento de microfissuras.

Para evitar o acúmulo de sujeira, dejetos de pássaros ou outros detritos, deve-se efetuar a limpeza dos módulos preferencialmente no começo da manhã ou final da tarde para que evite

um choque térmico devido à água fria com os módulos quentes. Usando apenas uma flanela e água, tomando muito cuidado para que partículas abrasivas presas na flanela, sabão, joias e relógios não riscuem o vidro. Deve-se evitar apoiar nos módulos, subir ou pisar no vidro a fim de não danificá-los. Perdas de até 10% no desempenho dos módulos podem ocorrer em regiões de muita poeira, portanto, recomenda-se nesses casos a limpeza com maior frequência.

4. Considerações finais

Neste artigo, conceitos, benefícios e um projeto de um sistema BIPV foram apresentados. Este projeto é apenas um pequeno passo para a plena utilização da tecnologia BIPV, e os resultados obtidos fornecem uma referência valiosa para engenheiros, designers e profissionais que desejam implementar sistemas BIPV eficientes em novas edificações.

A energia renovável certamente está se tornando mais comum e significativa em nossa vida diária a fim de alcançar um desenvolvimento mais sustentável. Cada vez mais, sistemas BIPV serão incorporados aos novos edifícios, contribuindo com a redução da demanda energética, picos de consumo, design e funcionalidade do espaço.

Referências

- S. JOIS, R. BHOSALE, K. RAMAMRITHAM & V. AGARWAL**, "Novel Scheme For Extracting Maximum Power From Façade Based Building Integrated Photovoltaics," 2019 IEEE 46th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), Chicago, IL, USA, 2019, pp. 2053-2059, doi: 10.1109/PVSC40753.2019.8981393.
- X. CAI, T. TANG & X. HUANG**, "Design of building integrated photovoltaic based on Ecotect analysis," 2016 China International Conference on Electricity Distribution (CICED), Xi'an, 2016, pp. 1-5, doi: 10.1109/CICED.2016.7576289.
- A. MEHRAVARAN, A. DERHEM & M. NASSEREDDINE**, "Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) for Residential and Industrial Properties," 2019 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET), Dubai, United Arab Emirates, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICASET.2019.8714466.
- I. WEISS, M. MACHADO, S. CHALLET & E. ROMÁN**, "PVSITES: Supporting large-scale market uptake of Building-Integrated Photovoltaic technologies," 2018 IEEE 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC) (A Joint Conference of 45th IEEE PVSC, 28th PVSEC & 34th EU PVSEC), Waikoloa Village, HI, 2018, pp. 0650-0653, doi: 10.1109/PVSC.2018.8547471.
- A. REINDERS, M. G. DEBIJE & A. ROSEMANN**, "Measured Efficiency of a Luminescent Solar Concentrator PV Module Called Leaf Roof," in IEEE Journal of Photovoltaics, vol. 7, no. 6, pp. 1663-1666, Nov. 2017, doi: 10.1109/JPHOTOV.2017.2751513.
- A. C. MARTINS, V. CHAPUIS, A. VIRTUANI & C. BALLIF**, "Ultra-Lightweight PV module design for Building Integrated Photovoltaics," 2017 IEEE 44th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), Washington, DC, 2017, pp. 2104-2108, doi: 10.1109/PVSC.2017.8366791.