

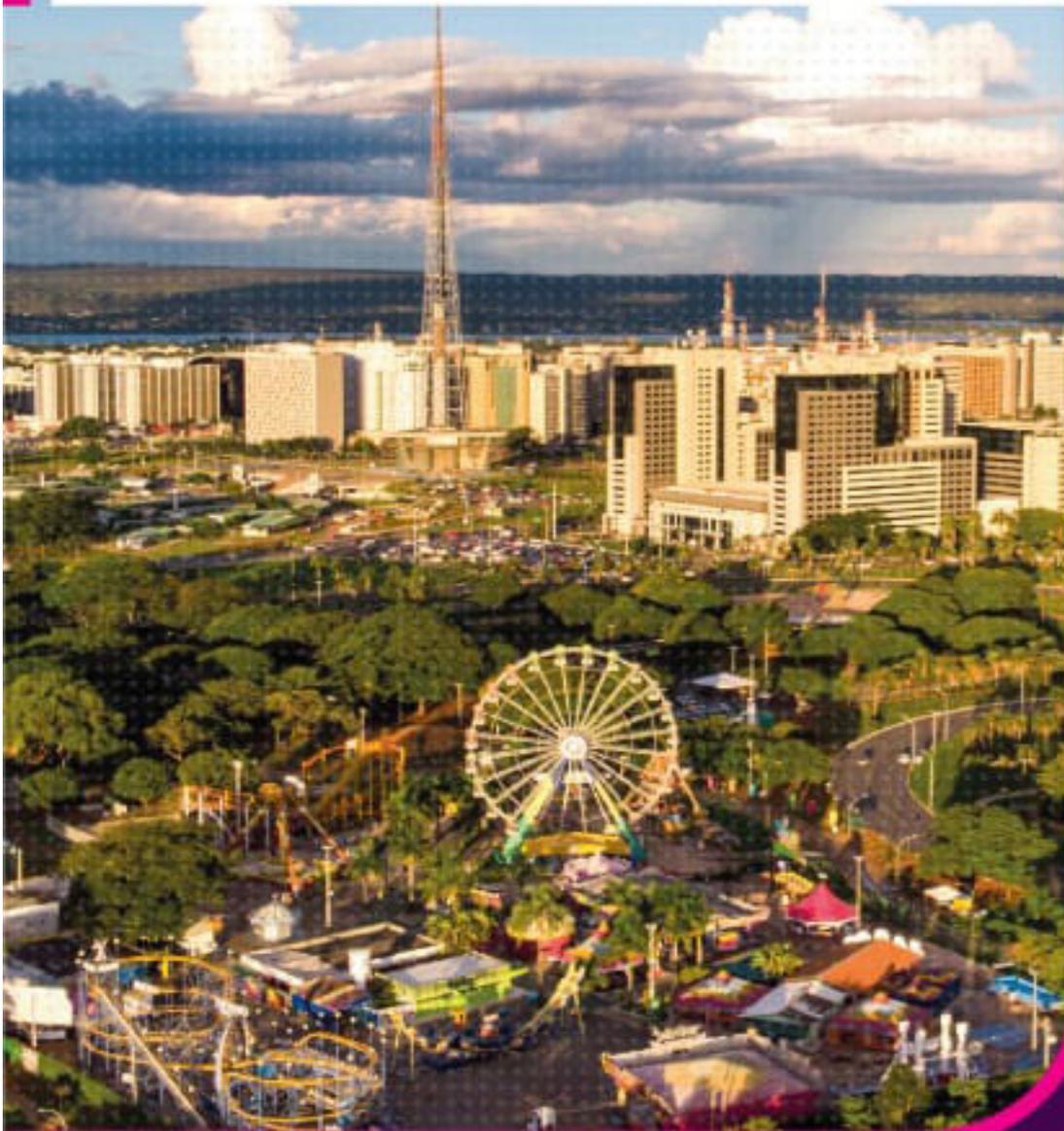
**CEUB**

EDUCAÇÃO SUPERIOR

ISSN: 2763-7298

REVISTA DA ARQUITETURA:

# CIDADE E HABITAÇÃO



**Obtenção de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos:** análise de tipos, modelos, eficiência e estudo de caso

**Obtaining electricity through photovoltaic panels:** analysis of types, models, efficiency and case study

Bruna Montarroyos Brito

VOLUME 2 - NÚMERO 1 - JAN./JUN. 2022

# Sumário

<b>APRESENTAÇÃO</b> .....	5
<b>A ADMISSÃO DA REURB NO DISTRITO FEDERAL: LEI COMPLEMENTAR Nº 986, DE 2021, E SEU DECRETO REGULAMENTADOR</b> .....	11
Fabiana Ferrari Dias	
<b>A GENTRIFICAÇÃO NA MALHA CICLOVIÁRIA DO DISTRITO FEDERAL</b> .....	23
Daniele Sales Valentini e Leonardo Pierre Firme	
<b>ESTUDO DA ERGONOMIA EM ATELIÊS DE ARQUITETURA E EM HOME OFFICE DURANTE E PÓS-PANDEMIA COVID-19</b> .....	39
Joyce de Araujo Mendonça	
<b>EXECUÇÃO DE UM PROJETO ESTRUTURAL DE EDIFICAÇÃO EM CONCRETOS DE DIFERENTES RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO: UM ESTUDO DE CASO COMPARATIVO DE CUSTOS COM BASE NO USO DO SOFTWARE EBERICK</b> .....	49
Wanderson de Andrade Simplicio	
<b>HABITAÇÕES COLETIVAS PARA PESSOAS PORTADORAS DE CÂNCER</b> .....	61
João Renato Carneiro de Aguiar e Eliete de Pinho Araujo	
<b>OBTENÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS: ANÁLISE DE TIPOS, MODELOS, EFICIÊNCIA E ESTUDO DE CASO</b> .....	71
Bruna Montarroyos Brito	
<b>O DIREITO DE CONSTRUIR E SEUS LIMITES</b> .....	83
Joyce de Araujo Mendonça	
<b>O DIREITO DO USO E OCUPAÇÃO DO SUBSOLO EM PRAÇA PÚBLICA: ESTUDO DE CASO DA PRAÇA DA ESTAÇÃO DE METRÔ CENTRAL ÁGUAS CLARAS, DISTRITO FEDERAL</b> .....	90
Rodrigo Bonna Nogueira	
<b>PLANEJAMENTO E INTEGRAÇÃO DOS PROFISSIONAIS EM PROJETOS DE EDIFÍCIOS SUSTENTÁVEIS</b>	103
Wanderson de Andrade Simplicio	
<b>PRIMÓRDIOS DA CASA RURAL NA ILHA DE SANTA CATARINA E SUA EVOLUÇÃO NA GLOBALIZAÇÃO</b>	110
Milton Luz da Conceição	

# Obtenção de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos: análise de tipos, modelos, eficiência e estudo de caso\*

## Obtaining electricity through photovoltaic panels: analysis of types, models, efficiency and case study

Bruna Montarroyos Brito\*\*

### Resumo

O presente artigo visa trazer um estudo detalhado sobre a energia fotovoltaica, mostrando como esta funciona e por meio de quais tipos de tecnologias ela se adequa. É trazido juntamente um estudo de painéis fotovoltaicos e suas características, como estes funcionam, de que materiais são fabricados, exemplificação de modelos existentes e em quais categorias de uso eles se alocam.

**Palavras-chave:** painéis fotovoltaicos; energia solar; arquiteturas bioclimáticas.

### Abstract

This article aims to bring a detailed study on photovoltaic energy, showing how it works and through which types of technologies it fits. A study of photovoltaic panels and their characteristics is brought together, how they work, what materials they are made of, examples of existing models and in which categories of use they are allocated.

**Keywords:** photovoltaic panels; solar energy; bioclimatic architectures.

## 1 Introdução

Historicamente, o efeito fotovoltaico (energia solar) foi descoberto no ano de 1839, pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel, durante a realização de experiências com eletrodos. Durante muitas décadas essa energia era vista como algo muito além de seu tempo, onde esta só seria utilizada para fins de pesquisas dos cientistas. Por possuir um alto custo inicial, acreditava-se que a energia solar não chegaria a ser utilizada de maneira geral.

Em 1954, o químico americano Calvin Fuller desenvolveu o processo de dopagem do silício e pesquisou semicondutores com a intenção de gerar energia a partir da luz solar. Fuller compartilhou sua descoberta com o físico Gerald Pearson, que melhorou o experimento. Ele descobriu que a amostra

\* Recebido em 01/11/2022  
Aprovado em 01/03/2023

\*\* Graduação em Arquitetura e Urbanismo pelo Centro Universitário de Brasília (2022). Mestranda pelo Programa do Mestrado em Arquitetura e Urbanismo do CEUB. É bolsista pela FAP/DF.

exibia um comportamento fotovoltaico e compartilhou a descoberta com o físico americano Daryl Chapin. Desta forma, Calvin Fuller, Gerald Pearson e Daryl Chapin desenvolveram a célula solar de silício, também conhecida como bateria solar. A apresentação da energia fotovoltaica foi feita oficialmente em 1954 para Bell Laboratories nos EUA. A primeira utilização de células fotovoltaicas ocorreu em 1958, feita por militares no satélite Vanguard I.

A primeira aplicação terrestre de energia fotovoltaica foi feita em 1966 em um farol no Japão, na ilha Ogami, o que permitiu que a utilização de gás de tocha fosse substituída por uma fonte de energia elétrica limpa e renovável. Essa primeira utilização de energia solar fotovoltaica foi de grande importância para o mundo, pois mostrou o potencial desta fonte de energia.

O uso generalizado da energia solar foi feito após aproximadamente duas décadas de melhorias da tecnologia em questão. Porém, a nova energia chegou ao mercado com um preço muito elevado, pois o mercado aeroespacial estava disposto a pagar qualquer valor para conseguir as células fotovoltaicas de melhor qualidade possível, sendo que no local o preço das células era determinado por indústrias de semicondutores. As figuras 1 a 3 contêm painéis fotovoltaicos em residências e prédios.

**Figura 1** – Painéis fotovoltaicos em residências



**Fonte:** Bruna Montarroyos, Arquivo pessoal, Havaí, EPA.

**Figura 2** – Painéis fotovoltaicos em centro comercial, bairro Porta Nova, Milão



**Fonte:** Bruna Montarroyos, Arquivo pessoal, Milão, EPA.

**Figura 3** – Painéis fotovoltaicos em centro comercial, fachada e cobertura, bairro Porta Nova, Milão



**Fonte:** Bruna Montarroyos, Arquivo pessoal, Milão, EPA.

## 1.1 Objeto de estudo: estudos de caso

Para a escolha da edificação e a fachada escolheu-se o Edifício Banco do Brasil Sede VII no Setor Bancário Norte (Figura 4), porque não existe um estudo nessa área envolvendo o tema.

**Figura 4** – Detalhe das edificações localizadas no Setor Bancário Norte do Distrito Federal, com destaque na edificação escolhida



**Fonte:** Google Maps.

## 2 Justificativa

Com a atual crise hídrica que assola o Distrito Federal, vem-se buscando alternativas que possam amenizar a recorrente situação. Com o período longo de seca e com dias mais quentes (em 2017, Brasília registrou a temperatura mais alta da história até então, com 37,3°C), uma alternativa que poderia ajudar a reduzir custos a curto e médio prazos é a instalação de painéis fotovoltaicos para a obtenção de eletricidade. O Distrito Federal possui um período de chuvas curto, sendo que na maior parte do ano a capital é banhada por intensa radiação solar. Esse fator aliado com o fato de que o DF possui centros urbanos majoritariamente compostos por grandes edificações com fachadas inutilizadas e amplos terraços, fortalecem a ideia e justificam a pesquisa. Além disso, para o enriquecimento do trabalho, serão estudados casos de exemplos bem-sucedidos ao redor do mundo relacionados ao tema proposto e como a cidade poderia utilizar tais exemplos em sua realidade.

## 3 Objetivos

### 3.1 Objetivo geral

Analisar os tipos de métodos utilizados para a obtenção de energia solar.

### 3.2 Objetivos específicos

- Identificar e diagnosticar as tecnologias possíveis de serem utilizadas nas fachadas e nos terraços de edifícios comerciais do centro urbano do DF para a obtenção de energia.
- Fazer um levantamento dos tipos de modelos de placas fotovoltaicas existentes no mercado atual e quais seriam mais adequados para a realidade do DF.
- Estudar o custo benefício e o impacto causado pela utilização da tecnologia fotovoltaica.
- Comparar a situação estudada com exemplos bem-sucedidos no mundo.

## 4 Revisão da bibliografia/fundamentação teórica

É importante realizar uma revisão crítica das legislações, normatizações e instruções em vigor, no tocante aos prédios existentes relacionados com a sustentabilidade, ou seja, com a economia de todas as energias renováveis.

Conforme Mascaro (1991) são utilizados os princípios da arquitetura bioclimática, que procura reconciliar a forma, a matéria e a energia, reunindo os elementos estéticos e dinâmicos do clima, as características da envolvente do edifício, sua forma e orientação em função da latitude.

De acordo com Caram e Neves (2003), o uso de modelos de edificações vindas de países estrangeiros, como as caixas de vidro, aplicadas sem consciência pelo seu valor estético, são impróprias ao clima brasileiro.

Segundo Araujo (2004), em Energia Eólica e Sol: a fonte de Energia, são abordados temas sobre as energias renováveis, como o vento e o sol, para serem utilizadas em edificações.

Em relação aos painéis fotovoltaicos, podem ocorrer diversas problemáticas tais como microfissuras, pontos quentes e delaminação.

As microfissuras são fissuras provocadas por pressão sobre os painéis fotovoltaicos. Estas rachaduras geralmente não são vistas ao olho nu e são uma das principais razões para mau funcionamento do painel solar, podendo até inutilizar as células antigas. As causas podem ser diversas, tais como células de silício de baixa qualidade, pessoas caminhando em cima dos painéis e quando os painéis não são transportados com cuidado no manuseio.

Os pontos quentes são a área aquecida no painel, causada por queda na corrente de saída em uma ou mais células. Os pontos quentes podem ser causados por uma série de fatores, como célula de eficiência distinta; micro rachaduras em células, bloqueio ou sombras e uma variação de velocidade de degradação celular. Isso pode resultar na acumulação de calor, que em casos mais graves, podem causar incêndios.

A delaminação é um fenômeno que acontece quando o suporte de plástico de um painel solar é separado do vidro, e isto ocorre com frequência em módulos que usam plástico de baixa qualidade. Quando isso acontece, a água pode infiltrar-se no painel e causar danos extremos. As causas da delaminação são a utilização de plásticos de baixa qualidade, pontos quentes, microfissuras e problemas relacionados à fabricação destes painéis.

A utilização de energia solar fotovoltaica possui suas deficiências, tais como a densidade que pode ser definida como o fluxo de potencial que chega a superfície terrestre. A energia solar disponível em uma localidade varia sazonalmente, além de ser afetada pelas condições climatológicas do local. Os equipamentos de captação e conversão requerem investimentos financeiros iniciais mais elevados que os sistemas convencionais.

O painel fotovoltaico para sistemas autônomos e configurados para fornecer tensões de 12 a 48 Volts, onde temos que tensões de 12V e 24V são as mais comuns e as de 48V são utilizadas para sistemas maiores. O painel é dimensionado para fornecer o potencial elétrico para um dia médio de uso. Essa energia será armazenada em baterias ou utilizada imediatamente, no caso dos sistemas fotovoltaicos sem armazenamento. Geralmente, são utilizados módulos de 36 ou 72 células, que têm as tensões nominais adequadas para os condutores de carga. Os módulos de sistemas isolados não possuem em sua grande maioria, cabos de conexão com conectores padrão.

Segundo o artigo Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica, divulgado pela empresa Blue Sol energia solar, o sistema fotovoltaico consiste em uma fonte de potência elétrica, onde as células fotovoltaicas realizam o processo de transformação da radiação solar diretamente em energia elétrica. A implantação dos sistemas fotovoltaicos pode ser realizada em qualquer local que possua presença de radiação solar suficiente para ser transformada em energia elétrica. Os sistemas fotovoltaicos não fazem uso de combustíveis e por serem dispositivos de estado sólido, requerem menor manutenção, porém, existem diversos cuidados que devem ser tomados em relação aos painéis fotovoltaicos. Durante seu funcionamento não produzem barulhos e tampou-

co diminuem a porcentagem de poluição ambiental existente.

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados por meio de sua forma de como é feita a geração ou a entrega da energia elétrica - sistemas isolados e sistemas conectados à rede elétrica.

O sistema fotovoltaico isolado é aquele que não tem contato direto ou indireto com a rede de distribuição de eletricidade das concessionárias, ou seja, deve realizar a distribuição da energia elétrica aos equipamentos consumidores, onde esta precisa chegar sempre de forma constante, o que pode ser um problema, pois a energia solar tem variações de acordo com clima. Caso esteja com muitas nuvens ou nublado sua captação de energia solar por meio dos painéis fotovoltaicos pode ser prejudicada. Estes sistemas isolados podem ser classificados em dois tipos.

O primeiro, denominado sistema híbrido, consiste no trabalho em conjunto com outro sistema de geração de elétrica, que pode ser um aerogerador (solar – eólico), um moto-gerador a combustível líquido (diesel), ou qualquer sistema de geração de energia elétrica. Este tipo de sistema pode ou não possuir sistemas de armazenamento de energia, e quando possui, geralmente tem autonomia menor ou igual a um dia.

O segundo é o sistema autônomo, que também é conhecido como sistema fotovoltaico puro, onde não possui outra forma de geração de eletricidade, devido ao fato do sistema só gerar eletricidade durante horas de Sol. Os sistemas autônomos são dotados de acumuladores que armazenam a energia para períodos sem sol, o que acontece durante todas as noites, e também nos períodos chuvosos ou nublados. Os acumuladores são dimensionados de acordo com a autonomia que o sistema deve ter, e essa varia de acordo as condições climatológicas da localidade onde será implantado o sistema fotovoltaico.

Já os sistemas fotovoltaicos conectados à rede, também chamados de on-grid, realizam o fornecimento de energia elétrica para as redes de distribuição, onde tudo aquilo que foi gerado deve rapidamente ser escoado para a rede, absorvendo a energia. Estes geralmente não utilizam sistemas de armazenamento de energia, e por isso são mais efi-

cientos que os sistemas autônomos, além de serem mais baratos.

Os sistemas on-grid possuem a dependência de acordo com a regulamentação e a legislação favorável, onde estes realizam a utilização da rede de distribuição das concessionárias para o escoamento da energia que for gerada.

Ainda no mesmo artigo da empresa Blue Sol, uma célula fotovoltaica é a unidade básica de um sistema fotovoltaico, sendo este responsável pela transformação da radiação solar captada pelos painéis fotovoltaicos em energia elétrica. Uma única célula fotovoltaica não é capaz de gerar potências elétricas elevadas necessárias para serem consumidas de forma constante. Os fabricantes realizam a relação de várias células fotovoltaicas, e as envolve para proteção, formando, assim, um módulo fotovoltaico.

Os módulos comerciais possuem diversas características entre si, sendo estes a capacidade de gerar potencial, chamado de potência-pico, fator de forma, área, dentre outros, onde essas características alteram os valores de acordo ao tipo de célula fotovoltaica utilizada.

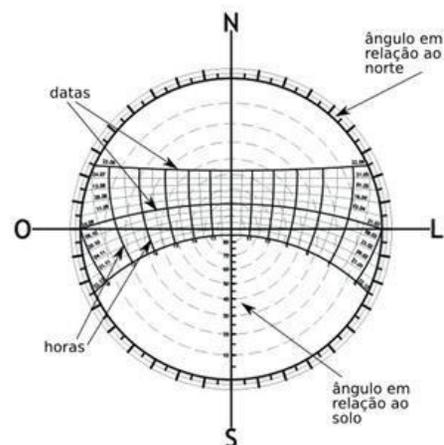
O silício cristalizado é o segundo material mais abundante na natureza. Quase 80% dos painéis fotovoltaicos no mundo são baseados em variações de silício. O silício está naturalmente combinado a outros materiais e se encontra como dióxido de silício e silicatos. Para a utilização de silício como matéria prima para a fabricação das células fotovoltaicas, esse deve ser purificado, onde quanto mais perfeitamente alinhadas às moléculas de silício, melhor será a célula solar (que virá a ser utilizada na conversão de energia solar em energia elétrica).

Outro tipo é a célula de película fina ou filme fino, que consiste em finas camadas de material fotovoltaico depositadas em uma ou mais camadas sobre um substrato. O desenvolvimento destas células para utilização vem desde a década de 90. O material semicondutor aplicado é um substrato, geralmente vidro, através das deposições por vaporização, deposição catódica ou banho eletrolítico. As células de película fina não têm o tamanho e o formato restritos, como as células de silício cristalizado.

Bittencourt (2004) tem como proposta preencher uma lacuna nas publicações que tratavam do controle solar, onde o leitor muitas vezes não sabia como utilizá-las. A ideia principal era de criar um texto didático com o objetivo de atender o estudante de arquitetura que desejasse trabalhar, levando em conta os aspectos relativos à insolação em seus projetos de arquitetura e urbanismo.

Segundo ele, os gráficos solares (Figura 5) ajudam na elaboração do desenho urbano de um determinado local, contribuindo para a definição de determinados fatores pertinentes aos projetos, além de poder determinar as espécies de plantas mais adequadas a compor o paisagismo. Também podem ser usados para determinar a melhor orientação para as construções, e também para determinar as máscaras de sombras, que são a representação nas cartas solares, dos obstáculos que impedem a visão da abóbada celeste por parte de um observador. As cartas solares são representações gráficas do percurso do sol na abóbada celeste da terra, nos diferentes períodos do dia e do ano. Elas são geradas a partir da altura solar, que é definida pelo ângulo formado entre o sol e o plano horizontal, o azimute, que é o ângulo formado pela projeção horizontal do raio solar com uma direção estabelecida, a projeção do percurso do sol, ao longo do ano, e nas diversas horas de um dia, num plano horizontal e a latitude de um local determinado.

Figura 5 - Exemplo de carta solar



Fonte: Google imagens.

Maragno (2000), explica que grandes foram as transformações que ocorreram no âmbito da construção no início do século XX; o uso de materiais locais e o respeito ao clima foram esquecidos e su-

perados pelas possibilidades de incorporação de novas tecnologias que despontaram. Paredes, antes usadas para fins estruturais, deram lugar a aberturas avantajadas e a descoberta da estrutura metálica trouxe às fachadas dos edifícios a pele de vidro.

Em geral, o desenvolvimento sustentável procura uma melhor qualidade de vida para todos, hoje e amanhã. É uma visão progressista que associa três aspectos chave: a justiça social, o desenvolvimento econômico e a proteção do ambiente. (AMADO, 2005)

Lamberts *et al.* (2006) comentam que os edifícios no Brasil consomem cerca de 48% de energia elétrica pelo uso do ar condicionado, apenas para geração de conforto ambiental ao usuário.

Lamberts *et al.* (2006) citam, ainda, pesquisas realizadas no Brasil e no exterior por alguns fabricantes (Blindex Vidros de Segurança Ltda. e Santa Marina) sobre os diversos tipos de vidro e as eficiências energéticas de cada um e, em especial, o vidro refletivo. Nestas pesquisas o vidro refletivo é apresentado pelos fabricantes como o que mais contribui para a redução de ganho de calor interno.

São as seguintes as ações necessárias para o planejamento energético e para a eficiência energética em edificações novas e existentes propostas por Lamberts *et al.* (2006):

Ações sobre o consumo energético:

- Formação de um banco de dados de consumos específicos de edificações por classe de uso e tipologia;
- Simulações de edificações típicas para várias classes de uso e regiões climáticas;
- Nova pesquisa de posse e hábitos de utilização para um melhor entendimento do consumo por eletrodomésticos e equipamentos de escritório.

Ações para eficiência energética em novas edificações:

- Desenvolvimento da normalização (envelope e equipamentos);
- Demonstrações de edificações de alta eficiência energética através da parceria com cons-

trutoras nas principais capitais (criação de uma linha de crédito);

- Escritórios de apoio a arquitetos interessados em otimização energética de seus projetos junto às escolas de arquitetura, engenharia e concessionárias.

Ações para eficiência energética em edificações existentes:

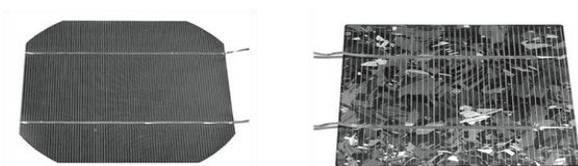
- Demonstrações de retrofits de edificações buscando alta eficiência energética. Buscar apoiar retrofits gerais que envolvam iluminação, a envolvente do prédio e o ar condicionado. O uso de uma metodologia padronizada, a monitoração pós retrofit para comprovar as economias e a ampla divulgação dos resultados são considerados fundamentais;
- Reativação das CICE's (Comissão Interna de Conservação de Energia) no setor público e incentivo à criação das mesmas no setor privado.

Carlo (2008), em sua tese, diz que a envoltória da edificação, associada com a carga térmica interna gerada pela ocupação, pelo uso de equipamentos e pela iluminação artificial, levam a um consumo maior do condicionamento de ar para conforto dos usuários. Afirma que o aumento no consumo de energia proveniente do resfriamento de ar é gerado majoritariamente por aberturas voltadas para Oeste, de modo que aberturas voltadas para Leste e Norte teriam uma influência um pouco menor, mas de igual importância, e as voltadas para Sul teriam a menor influência entre as demais. A unidade fotovoltaica básica é a "célula solar", que forma os "módulos fotovoltaicos", elementos de fácil manuseio que, conectados entre si, compõem o gerador elétrico de uma instalação fotovoltaica. Os módulos fotovoltaicos transformam diretamente a luz solar em energia elétrica e podem ser incluídos de muitas maneiras nos sistemas de vedação externa de uma edificação. Na maioria dos casos, estas "edificações fotovoltaicas" estão conectadas à rede elétrica, mas também existem edificações autônomas (CHIVELET; SOLLA, 2010).

Ainda segundo Chivelet e Solla (2010), são fabricados com materiais semicondutores, esses

dispositivos absorvem parte da radiação solar que incide sobre eles e a transformam, com maior ou menor eficácia, em eletricidade. Conectando uma célula solar a uma carga elétrica e ligando o sistema, será produzida uma diferença de potencial nesta carga que fará com que circule uma corrente elétrica. As células convencionais são fabricadas com finas lâminas de silício cristalino de cerca de 100 centímetros quadrados de superfície e décimos de milímetros de espessura. Sobre o silício se deposita uma película antirreflexiva, que melhora o rendimento e confere à célula um tom azulado. A essa película se imprime uma malha metálica que constitui o contato ôhmico da face voltada para o sol. O contato da superfície posterior da célula forma uma rede metálica de distribuição homogênea. Uma das células solares básicas é as de silício “monocristalino” (Figura 6).

**Figura 6** – Vista frontal de duas células solares convencionais de silício cristalino



**Fonte:** CHIVELET; SOLLA, 2010.

Dessa maneira, os painéis combinam duas funções em apenas um elemento: controle solar e produção energética (CHIVELET; SOLLA, 2010). Diz que uma primeira solução é o uso de brises fixos, que protegem do sol por cima da linha das janelas e que podem ser orientados do modo mais adequado para assegurar a máxima captação solar. As células fotovoltaicas podem estar inseridas em panos de vidro laminado fixados em perfis de alumínio, através dos quais passam as conexões elétricas até o interior do edifício. Outra variante são os brises metálicos revestidos com painéis solares de película delgada. Em ambos os casos, a limpeza costuma ser o ponto crítico, uma vez que não se pode contar apenas com a ação da água da chuva. Deve-se prever o acesso para a limpeza através da abertura das janelas do pavimento imediatamente superior, ou da cobertura, para o último pavimento, com a ajuda de um braço extensor conectado a uma mangueira (CHIVELET; SOLLA, 2010). Os brises podem ser móveis e orientáveis para o sol buscando oferecer simultaneamente a sombra máxima e o rendimento

também máximo. A energia elétrica necessária para esse ajuste fino ao longo do dia pode ser obtida pelos mesmos módulos fotovoltaicos.

O livro “Arquitetura no lugar: uma visão bioclimática da sustentabilidade em Brasília”, de Marta Romero (2011) busca contribuir para a reflexão sobre a problemática do clima e do meio ambiente, especificamente para o estudo das formas que as áreas abertas apresentam, voltado principalmente a estudantes e profissionais arquitetos e urbanistas. A proposta também é de que se possa contribuir para o início de um programa de reabilitação sustentável do espaço urbano, principalmente de áreas abertas e públicas.

Romero e Reis (2012) contextualizam a eficiência energética no cenário internacional e, principalmente, no cenário brasileiro, e analisam sua relação com a sustentabilidade, tendo como foco principal os edifícios e o ambiente construído, abordando três grandes temas: eficiência energética e desafios do desenvolvimento sustentável, conceitos básicos, políticas e programas relacionados à eficiência energética e projetos de eficiência energética em edifícios.

O conceito “desenvolvimento sustentável” apareceu pela primeira vez no artigo “The limites to Growth” em 1972, elaborado por um grupo de cientistas americanos do Massachusetts Institute of Technology (MIT), solicitado pelo Clube de Roma e conduzido por Dana Meadows (MCCORMICK, 2013).

De acordo com Borba *et al.* (2015), foram adotadas algumas medidas de proteção solar nos edifícios da Esplanada dos Ministérios, Plano Piloto de Brasília. Na fachada Oeste (sol da tarde) foram instalados brises metálicos, que fazem uso de persiana vertical e os vidros são pintados de branco acima dos brises, com a finalidade de evitar a incidência solar. Também é dito que se deve evitar o contraste excessivo e o desconforto térmico causados pela exposição direta da luz do sol em áreas de trabalho. A quantidade de radiação solar que incide em cada superfície externa de uma edificação é variável conforme a orientação solar e a época do ano.

Volumes interiores idênticos podem ter comportamentos térmicos e visuais distintos, dependendo das formas adotadas no projeto arquitetô-

nico. A distribuição das aberturas em diferentes fachadas pode proporcionar resultados favoráveis ao conforto térmico e visual, sem acrescentar consumo energético aos sistemas de climatização artificial. Essas podem ser formas mais alongadas ou mais compactas, mais verticalizadas ou horizontais e terão influência direta na exposição das fachadas à radiação solar. O conhecimento dessas variáveis pode ajudar na seleção de medidas para minimização do consumo energético, mesmo em edificações já construídas, pela adoção de elementos de proteção ou isolamento adequados.

Ainda consoante Borba *et al.* (2015), a orientação solar da edificação define o comportamento térmico devido à influência de radiação solar e dos ventos predominantes, basicamente. Em edificações comerciais e de serviços com climatização artificial, em geral não se faz uso de ventilação natural. Os projetos de *retrofit* (adaptação do prédio à tecnologia de hoje) podem considerar, dependendo da orientação solar da edificação, quais as melhores alternativas de proteção contra a radiação solar nos períodos mais críticos do ano. Por exemplo, fachadas orientadas para o Norte geográfico, na latitude de Brasília, recebem carga térmica significativa ao longo do ano, na direção vertical. As fachadas Leste e Oeste ficam sujeitas à radiação solar no início e no final do dia, respectivamente, com incidência mais horizontal. Desta forma, proteções solares devem ser projetadas de acordo com essas características das fachadas.

A aplicação de proteções solares em aberturas permite reduzir os ganhos de calor nas edificações, sendo de grande importância para o consumo de energia em prédios climatizados artificialmente. Por outro lado, sua adoção está geralmente associada à redução da disponibilidade de luz natural nas aberturas em questão, sendo, portanto, recomendada atenção no uso desse recurso no projeto ou no *retrofit* de edificações.

A proteção bloqueia a radiação direta, antes que esta atinja o fechamento transparente, evitando tanto a absorção de calor radiante pelo material (vidro, por exemplo), quanto a sua transmissão ao interior do edifício. Os tipos mais comuns de proteções externas são: toldo, *brise-soleil* (horizontal ou vertical), veneziana e *light shelf*. Para melhor aproveitamento

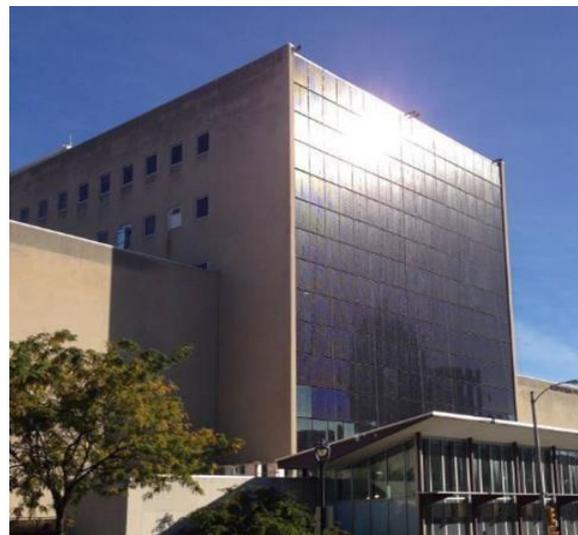
do efeito de sombreamento e permitir o controle da entrada de luz natural, essas proteções externas também podem ser móveis, com acionamento manual ou automático.

O art. 92 da lei nº 6.138, de 26 de abril de 2018 determina que as obras iniciais de reforma ou requalificação das edificações públicas devem atender aos requisitos de sustentabilidade e eficiência energética, de acordo com a legislação específica. A lei também caracteriza o *brise* como um elemento de proteção de fachadas, utilizado para impedir a incidência direta da radiação solar no interior do edifício, sem impedir a ventilação. (DISTRITO FEDERAL, 2018).

#### 4.1 Referenciais no mundo

O Museu Público de Milwaukee (Wisconsin), Figura 7, decidiu apostar em energia renovável e aproveitar sua fachada sul para produzir eletricidade limpa a partir de fontes solares. Como parte do projeto de restauração geral do edifício, o museu decidiu optar pela eficiência energética, substituindo a fachada original de mármore por outra formada por 234 painéis fotovoltaicos.

**Figura 7** – Museu Público de Milwaukee.



**Fonte:** <https://www.construible.es/2014/12/10/fachada-fotovoltaica-en-el-museo-publico-de-milwaukee>

A nova fachada, com sete andares de altura, gera uma quantidade estimada de energia em torno de 77.000 kWh por ano, o equivalente ao consumo de

442 lâmpadas de 60W que foram acesas oito horas por dia durante um ano inteiro. Além dessa importante economia, a instalação fotovoltaica servirá como uma experiência educacional para os milhares de pessoas que visitam o museu todos os anos.

A superfície coberta com brises como pele externa pode ser toda uma fachada, como ocorre na fachada sul da sede da Caltrans (Figura 8) em Los Angeles.

**Figura 8** – Sede da Caltrans District 9, Los Angeles. Arquitetos: Morphosis



Fonte: CHIVELET; SOLLA, 2010

A fachada Norte é envidraçada, enquanto o lado Sul (hemisfério norte) foi resolvido com uma pele dupla: no interior, uma parede-cortina de vidro; por fora, uma passarela de aço galvanizado; e, finalmente, uma pele vertical de brises fotovoltaicos de células monocristalinas com vidro laminado. As soluções construtivas das fachadas são extremamente simples, sem a preocupação com o detalhe da arquitetura *high-tech* (e também sem seus custos).

## 5 Metodologia

Foi feita a revisão da literatura sobre conforto térmico, abrangendo a conceituação, o clima, as normas e padrões do conforto térmico em ambientes naturais e artificiais e a adequação da edificação em estudo para atender às exigências térmicas dos usuários de Brasília. Ainda sobre a percepção humana e as fontes de luz natural, os padrões de exigên-

cia das necessidades humanas relativos ao conforto luminoso e as considerações sobre a iluminação natural e artificial. E também sobre os tipos de vidro utilizados como pele de vidro nas fachadas. Após, foram feitos levantamentos de projetos existentes relacionados ao tema e depois foram estudados diversos modelos de painéis fotovoltaicos, realizando comparações entre os mesmos, suas eficiências e valores de mercado.

Posteriormente, foi selecionado um edifício comercial no centro urbano de Brasília para estudo da instalação dos painéis fotovoltaicos que se julgaram mais adequados para a realidade atual da cidade. Nessa etapa foi feito um estudo da quantidade de radiação solar que cada edificação recebe e um estudo de quais fachadas seriam mais adequadas para o recebimento das placas. Após, foi realizada uma projeção da quantidade de energia elétrica que seria gerada pela edificação.

Finalmente foi feita uma discussão, geradas as conclusões, as recomendações e as limitações da pesquisa.

## 6 Conclusões

O tipo de clima não foi levado em conta na demanda de energia elétrica. O prédio estudado não foi satisfatório, nos seguintes aspectos: a fachada é em vidro para permitir iluminação natural ao usuário que trabalha junto à janela e para integrar o interior com o exterior. Por ser em vidro, recebe radiação solar direta, transmitindo calor para o interior. Por transmitir calor para o interior, deveria ser instalado o painel fotovoltaico para produzir energia elétrica para tomadas, iluminação artificial, equipamentos e aparelhos.

Apesar de não se obter dados de consumo, pode ser traçada uma projeção do potencial energético que pode ser gerado mensalmente pelos painéis fotovoltaicos, e calcular o quanto que será abatido da média mensal do gasto energético da edificação. Abstraiu-se dessa pesquisa a importância da conscientização por parte da população em geral, e principalmente dos arquitetos, engenheiros e investidores, para que pensem em construções integradas com os climas das regiões em que irão construir, e

que sempre integrem suas obras ao contexto urbano e histórico das cidades em questão.

A pesquisa torna-se não somente uma fonte de estudos para futuros projetos e pesquisas, e vai muito além do meio acadêmico, no qual está inserida naturalmente, gerando resultados com potencialidades reais de serem absorvidos e executados no meio urbano, atingindo pessoas e contribuindo para um desenvolvimento sustentável imediato. Pode-se observar a necessidade de haver uma forma de obtenção de energia a partir de meios limpos e sustentáveis.

## Referências

AMADO, Miguel Pires. *Planejamento urbano sustentável*. Lisboa: Caleidoscópio, 2005.

ARAÚJO, Eliete de Pinho. *Análise pós-ocupação de um edifício comercial em Brasília: aspectos do conforto térmico*. 1999. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

ARAÚJO, Eliete de Pinho. Sol: a fonte inesgotável de energia. *Arquitextos*, ano 5, nov. 2004. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/05.054/531>. Acesso em: 06 nov. 2020.

BERTOLETTI, André Luiz Primo. *Uso de tecnologia fotovoltaica em fachadas prediais com vidro refletivo: um estudo de alternativa de retrofit*. 2020. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2020.

BITTENCOURT, L. S. *O uso das cartas solares: diretrizes para arquitetos*. 4. ed. Maceió: Edufal, 2004.

BORBA, A. J. V. et al. *Guia para eficiência energética nas edificações públicas*. Brasília: CEP-PEL, 2015. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/GUIA+EFIC+ENERG+EDIF+PUB\\_L\\_1+0\\_12-02-2015\\_Compacta.pdf](http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/GUIA+EFIC+ENERG+EDIF+PUB_L_1+0_12-02-2015_Compacta.pdf). Acesso em: 15 abr. 2020.

CARAM, R. M.; NEVES, R. P. A. A. Identificação das tecnologias para conforto ambiental e eficiência energética utilizadas pelos chamados edifícios inteligentes. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

E CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 7., 2003, Curitiba. *Anais [...]*. Curitiba/PR: ANTAC, 2003.

CARLO, J. C. *Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética da envoltória de edificações não residenciais*. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

CHIVELET, N. M.; SOLLA, I. F. *Técnicas de vedação fotovoltaicas na arquitetura*. Porto Alegre: Bookman, 2010.

DI SOUZA, R. BlueSol Energia Solar. In: LAMBERTS, R. et al. *Eficiência energética em edificações: estado da arte*. Rio de Janeiro: Procel - Eletrobrás, 1996.

DISTRITO FEDERAL. *Lei n. 6.138, de 26 de abril de 2018*. Institui o Código de Obras e Edificações do Distrito Federal - COE. Disponível em: [https://www.seduh.df.gov.br/wp-conteudo/uploads/2017/10/LEI\\_6138-18\\_e\\_DECRETO-39272-18.pdf](https://www.seduh.df.gov.br/wp-conteudo/uploads/2017/10/LEI_6138-18_e_DECRETO-39272-18.pdf). Acesso em: 6 ago. 2020.

FERREIRA, Letícia Pires. *Eficiência energética nas instalações prediais estudo de caso de um edifício público em Brasília*. 2020. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2020.

LAMBERTS, R. et al. *Impactos da adequação climática sobre a eficiência energética e conforto térmico de edifícios no Brasil*. 2006. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/publicações/relatórios-de-pesquisa/>. Acesso em: 10 ago. 2020.

MARAGNO, G. V. *Eficiência e forma do brise-soleil na arquitetura de Campo Grande – MS*. 2000. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

MARAGNO, G. V. Eficiência e forma do brise-soleil na arquitetura de Campo Grande – MS. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2005, Maceió/AL. *Anais [...]*. Maceió/AL: ANTAC, 2005.

MASCARÓ, L. R. de. *Energia na edificação: estratégia para minimizar seu consumo*. 2. ed. São Paulo: Projeto Editores Associados Ltda, 1991.

MCCORMICK, K. Advancing sustainable urban transformation. *Journal of Cleaner Production*, v. 50, p. 1-11, 2013.

ROMERO, M. A. B. *Arquitetura do lugar: uma visão bioclimática da sustentabilidade em Brasília*. São Paulo: Nova Técnica, 2011.

ROMERO, M. A. B. *Princípios bioclimáticos para o desenho urbano*. Brasília: Editora UnB, 1988.

ROMÉRO, M. R.; REIS, L. B. *Eficiência energética em edifícios*. Barueri: Manole, 2012.

VENÂNCIO, H. *Minha casa sustentável: guia para uma construção residencial responsável*. 2. ed. Vila Velha-ES: Edição do Autor, 2010.