



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UniCEUB

PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

BRUNA MONTARROYOS BRITO

**OBTENÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE PAINÉIS
FOTOVOLTAICOS -
ANÁLISE DE TIPOS, MODELOS, EFICIÊNCIA E ESTUDOS DE CASO**

BRASÍLIA

2019



BRUNA MONTARROYOS BRITO

**OBTENÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE PAINÉIS
FOTOVOLTAICOS -
ANÁLISE DE TIPOS, MODELOS, EFICIÊNCIA E ESTUDOS DE CASO**

Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica
apresentado à Assessoria de Pós-Graduação e Pesquisa
Orientação: Prof. Dra. Eliete de Pinho Araujo

BRASÍLIA

2019

RESUMO

A pesquisa buscou alternativas para diminuir o impacto que as fachadas de vidro refletivo causam na cidade e no próprio edifício. Seu uso em países de clima tropical pode acarretar algumas consequências indesejadas, como o aumento da temperatura interna do ar causada pela entrada da radiação solar. Uma das opções é o *brise-soleil*. O *brise-soleil* é um elemento arquitetônico utilizado em edifícios, para impedir a incidência direta de radiação solar no seu interior, evitando a incidência de altas temperaturas. O uso de painéis fotovoltaicos nas fachadas dos edifícios de altura, na forma de *brises-soleils*, pode melhorar a rentabilidade energética do edifício, tanto por meio da diminuição de temperatura quanto pelo fornecimento de energia produzida pelos painéis fotovoltaicos. Definiu-se o uso de placas fotovoltaicas na forma de *brises-soleils* e foi abordada apenas a questão da rentabilidade energética para o edifício. Para tal, o enfoque foi sobre o gasto de energia mensal da edificação e o quanto os painéis fotovoltaicos são capazes de suprimir dessa demanda, já considerando o investimento para a sua instalação em cerca de 100% de sua fachada. O estudo de caso escolhido foi o Edifício Banco do Brasil Sede VII, na zona central de Brasília, pois possui uma fachada composta inteiramente por vidro refletivo voltada para oeste (sol poente) ou norte e teve como propósito a comprovação da rentabilidade para o edifício e quanto de energia uma fachada inteira com painéis fotovoltaicos em forma de *brises-soleils* pode suprir do seu consumo. Para isso, foi preciso obter dados sobre o gasto energético mensal da edificação (dificuldades foram encontradas em relação aos consumos energéticos em separado), informações técnicas sobre o modelo de painel fotovoltaico escolhido, dados sobre a incidência solar mensal na região bem como dados por estudos da carta solar. Com esses dados, foi 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. Esperou-se que a instalação sugerida atenda aos gastos de consumo do ar condicionado e ainda da iluminação artificial de todo o edifício.

Palavras-chave: Edificação. *Brise-soleil*. Painel fotovoltaico.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Painel fotovoltaico, fonte Eliete de Pinho Araujo – EPA.....	7
Figura 2: Painéis fotovoltaicos em centro comercial, bairro Porta Nova, Milão.....	7
Figura 3: Painéis fotovoltaicos em centro comercial, fachada e cobertura, bairro Porta Nova, Milão.....	8
Figura 4: Detalhe das edificações localizadas no Setor Bancário Norte do Distrito Federal, com destaque na edificação escolhida.....	8
Figura 5: Exemplo de carta solar.....	14
Figura 6: Vista frontal de duas células solares convencionais de silício cristalino.....	16
Figura 7: Museu Público de Milwaukee.....	19
Figura 8: Sede da Caltrans District 9, Los Angeles. Arquitetos: Morphosis.....	20
Figura 9: Edificações na zona central de Brasília com fachadas revestidas em vidro refletivo – Edifícios Carlton Tower e Lino Martins Pinto.....	28
Figura 10: Carta solar posicionada sobre a edificação escolhida.....	29

SUMÁRIO

1- Introdução.....	06
1.1- Objeto de estudo: estudo de caso.....	08
2- Justificativa.....	09
3- Objetivos.....	09
3.1- Geral.....	09
3.2- Específicos.....	09
4. Revisão bibliográfica/Fundamentação Teórica.....	10
4.1- Referenciais no Mundo.....	19
5. Metodologia.....	21
6. Desenvolvimento.....	21
6.1- Dificuldades encontradas.....	29
7. Resultados	29
8. Conclusões	30
9. Recomendações para futuros projetos.....	31
10. Limitações da pesquisa.....	31
Referências.....	32

1 - INTRODUÇÃO

O presente trabalho pretendeu abordar como tema a energia fotovoltaica, com foco em sua utilização nas fachadas de edifícios nos centros urbanos do DF. Estudando seus usos e a importância para a cidade.

Historicamente, o efeito fotovoltaico (energia solar) foi descoberto no ano de 1839, pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel, durante da realização de experiências com eletrodos. Durante muitas décadas essa energia era vista como algo muito além de seu tempo, onde está 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, um químico americano chamado 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 exibia um comportamento fotovoltaico e partilhou a descoberta com o físico americano Daryl Chapin. Desta forma Calvin Fuller, Gerald Pearson e Daryl Chapin desenvolveram a célula solar de silício, ou como também é conhecida bateria solar.

A apresentação da energia fotovoltaica foi feita oficialmente em 1954 para Bell Laboratories nos EUA. A primeira utilização de células fotovoltaicas foi 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, 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, e no local o preço das células era determinado por indústrias de semicondutores.

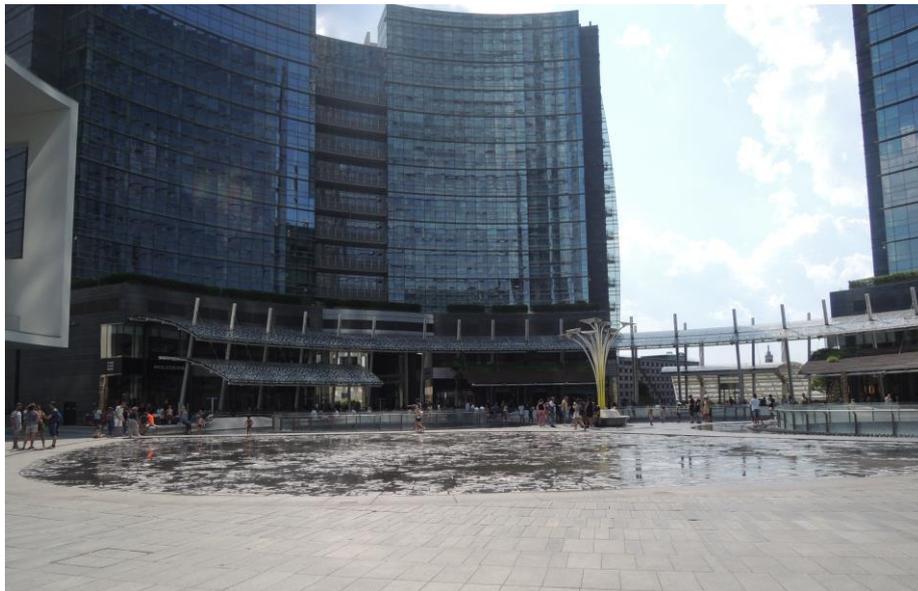
Ver Figuras 1 a 3, painéis fotovoltaicos em residências e prédios.

Figura 1: Painéis fotovoltaicos em residências.



Fonte: Arquivo pessoal, Havaí, EPA.

Figura 2: Painéis fotovoltaicos em centro comercial, bairro Porta Nova, Milão.



Fonte: Arquivo pessoal, Milão, EPA.

Figura 3: Painéis fotovoltaicos em centro comercial, fachada e cobertura, bairro Porta Nova, Milão.



Fonte: Arquivo pessoal, Milão, EPA.

1.1- OBJETO DE ESTUDO: ESTUDO 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: <https://is.gd/AsAZuw>, acesso em 19 de junho de 2019.

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 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- Geral

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

3.2- Específicos

- 3.2.1- 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;
- 3.2.2- Fazer um levantamento dos tipos de modelos de placas fotovoltaicas existentes no mercado atual e quais seriam mais adequados para a realidade do DF;
- 3.2.3- Estudar o custo benefício e o impacto causado pela utilização da tecnologia fotovoltaica;
- 3.2.4- 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.

McPhilipps (1985) fala de uma diversificada relação de exemplos de casas solares, com placas no telhado.

Mascaró (1991) utiliza 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 Neves e Caram (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.

Araujo (2004), em Energia Eólica e Sol: a fonte de Energia, fala 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, as causas podem ser diversas coisas, tais como, células de cilício 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 a 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 à superfície terrestre, e pequeno, quando comparado à energia gerada por meio de fontes fósseis. 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, e os módulos de sistemas isolados não possuem em sua grande maioria, cabos de conexão com conectores padrão.

Conceito de Sistema Fotovoltaico:

Segundo o artigo Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica (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 tampouco 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:

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, onde quando possui, geralmente este tem autonomia menor ou igual a um dia.

Sistema Autônomo: também 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 eficientes 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 BlueSol, 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, o que faz com que se tenha de um tipo de módulo fotovoltaico, sendo

estes a capacidade de gerar potencial, chamado de potência-pico, fator de forma, área, dentre outros; esses valores se alteram de acordo ao tipo de célula fotovoltaica utilizada:

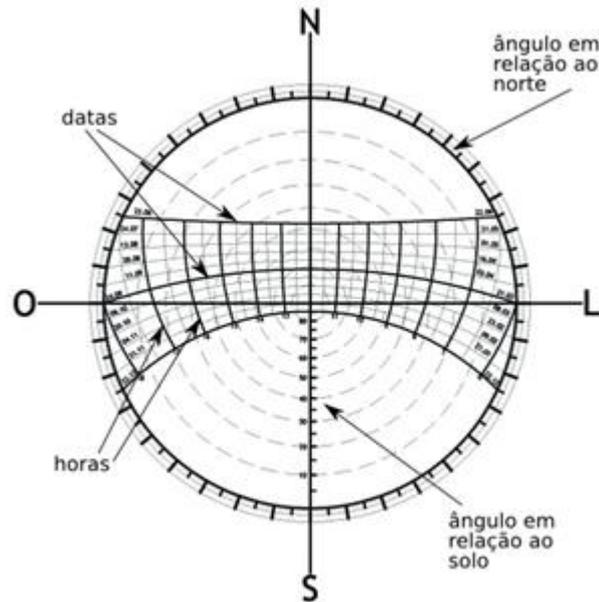
Silício Cristalizado: sendo o segundo material mais abundante na natureza, quase 80% dos painéis fotovoltaicos no mundo são baseados em variações de silício. O silício está naturalmente combinado a outros materiais se encontra com dióxido de silício e silicatos. Para a utilização de silício como matéria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

Célula de Película Fina ou Filme Fino: 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, sendo 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: <https://bit.ly/2YUXCNB>, acesso em 09 de agosto de 2019.

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 superados 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 (MARAGNO, 2005).

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 para a sua: a justiça social, o desenvolvimento económico e a proteção do ambiente. (AMADO, 2005)

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

Lamberts (op. cit.) cita 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 (op. cit.):

Ações sobre o consumo energético:

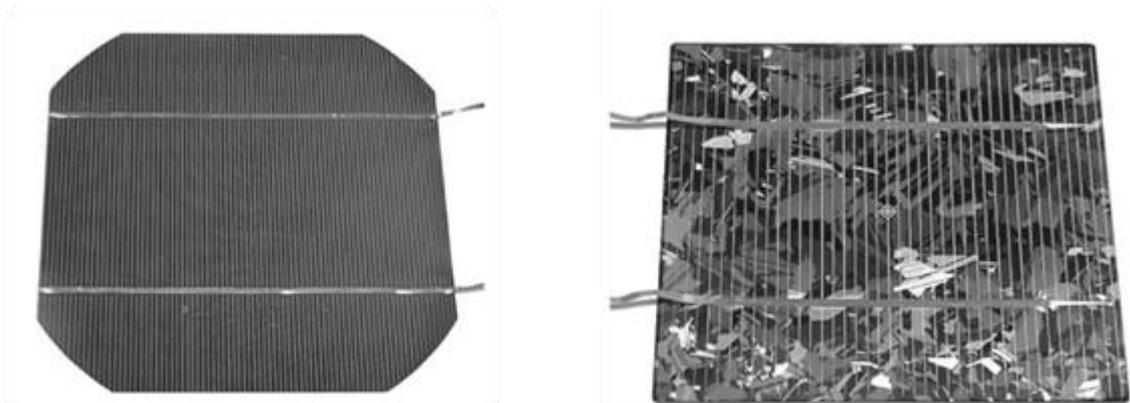
- Ações para planejamento energético:
 - . formação de um banco de dados de consumos específicos de edificações por classe de uso e tipologia;
 - . simulações de edificações típicas para várias classes de uso e regiões climáticas;
 - . nova pesquisa de posse e hábitos de utilização para um melhor entendimento 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 construtoras nas principais capitais (criação de uma linha de crédito);
 - . escritórios de apoio a arquitetos interessados em otimização energética de seus projetos junto à 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. Existem dois tipos básicos de células solares (Figura 6) as de silício “monocristalino”.

Figura 6: Vista frontal de duas células solares convencionais de silício cristalino.



Fonte: CHIVELET, Nuria Martín; SOLLA, Ignacio Fernández. Técnicas de Vedação Fotovoltaicas na Arquitetura. Porto Alegre: Bookman, 2010. 193 p.

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 pode-se 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 limits 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, 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 arquitetônico. 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. Formas mais alongadas ou mais compactas, mais verticalizadas ou horizontais, 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 Borba et al. (2015), diz que 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, dada a 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

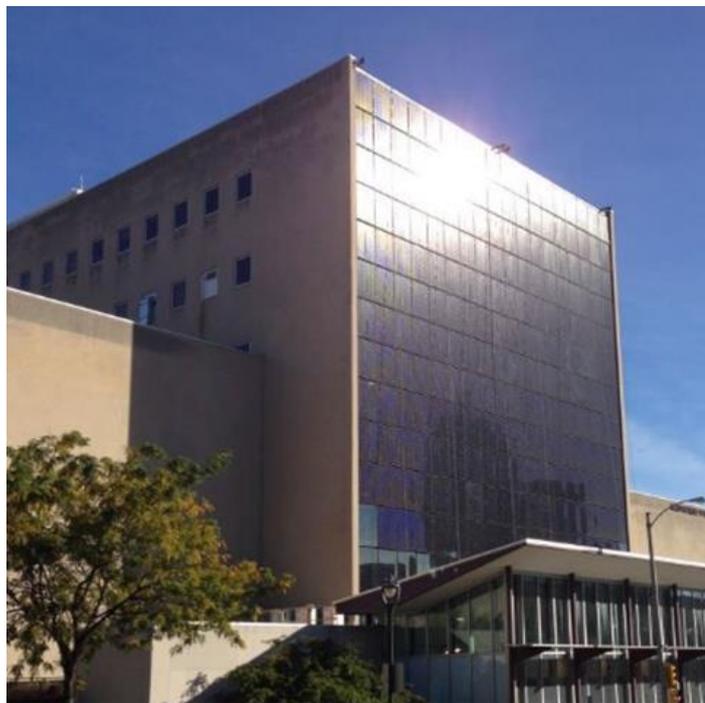
efeito de sombreamento e permitir o controle da entrada de luz natural, essas proteções externas também podem ser móveis, com acionamento manual ou automático.

Leis: o Art. 92. da lei Nº 6.138, de 26 de abril de 2018 do SINJ - DF 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.

4.1- REFERENCIAIS NO MUNDO

O Museu Público de Milwaukee (Wisconsin) na 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>, acesso em 21 de março de 2019.

A nova fachada, com sete andares de altura, gerará uma quantidade estimada de energia em torno de 77.000 kWh por ano; o equivalente ao consumo de 442 lâmpadas de 60 W 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, Nuria Martín; SOLLA, Ignacio Fernández.

Técnicas de Vedação Fotovoltaicas na Arquitetura. Porto Alegre: Bookman, 2010. 193 p.

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 exigência das necessidades humanas relativos ao conforto luminoso e as considerações sobre a iluminação natural e artificial. E sobre os tipos de vidro utilizados como pele de vidro nas fachadas.

Após, feitos levantamentos de projetos existentes relacionados ao tema, 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, as conclusões, as recomendações e as limitações da pesquisa.

6- DESENVOLVIMENTO

No decorrer dos anos, Brasília cresceu consideravelmente, principalmente em seus centros urbanos, compostos em sua grande maioria por edificações verticalizadas. Seus prédios mais recentes descartam alguns elementos do estilo modernista proposto por Lucio Costa no projeto inicial para a capital, abrindo mão dos *brise-soleils* nas fachadas e de outros elementos funcionais bloqueadores de radiação solar e controladores de temperatura. As novas construções comerciais adotaram uma estética internacional, com fachadas revestidas por peles de vidro e vidros refletivos, o que pode causar efeitos indesejados se implantados em regiões tropicais.

Faz-se necessário estudar alguns conceitos de conforto térmico, clima, conforto luminoso,

Conforto térmico dentro de um espaço é a condição em que a maior quantidade de pessoas está satisfeita, não preferindo outro ambiente, nem mais quente ou nem mais frio. Assim, com o organismo satisfeito a mente do indivíduo expressa satisfação com o ambiente térmico.

As condições de conforto térmico dependem da atividade desenvolvida pelo indivíduo, da sua vestimenta, do sexo, da idade, da raça, dos hábitos alimentares e, principalmente, dos seguintes elementos climáticos: temperatura do ar, umidade do ar, radiação e movimento do ar, que produzem efeitos térmicos sobre as pessoas.

Para compreender a interação dos elementos climáticos com o organismo humano é necessário examinar o processo térmico do corpo humano, como a fisiologia humana e o meio ambiente.

O homem tem três exigências fundamentais para que seu desenvolvimento seja normal: a disponibilidade de alimentos, a segurança diante da possível agressão de outros indivíduos e a adequação do seu organismo ao meio envolvente (condições precisas de temperatura, umidade, pressão, luminosidade, nível sonoro, salinidade, acidez, conteúdo de oxigênio, anidrido carbônico e nitrogênio).

O organismo humano necessita manter sua temperatura interna em 37°C, valor que pode variar entre os limites de sobrevivência que vão de 36,1°C a 37,2°C. O organismo produz energia interna pelo processo do metabolismo através das reações químicas internas, sendo a mais importante a combinação do carbono, introduzido no organismo pelo alimento, com o oxigênio, extraído do ar pela respiração. Esta energia adquirida pelo organismo é transformada em potencial de trabalho, cerca de 20%, e 80% se transforma em calor, que vai ser dissipado para que o organismo seja mantido em equilíbrio.

O aparelho termo-regulador do corpo comanda a redução ou o aumento das perdas de calor pelo organismo por meio de alguns mecanismos de controle. Na reação ao frio, a redução de trocas térmicas entre o indivíduo e o ambiente se faz por meio do aumento de resistência térmica da pele e, na reação ao calor, há o aumento das perdas de calor para o ambiente.

Ao se efetuar um trabalho mecânico, os músculos se contraem produzindo calor. Os corpos mais quentes perdem calor e os mais frios ganham calor e este calor envolvido é chamado calor sensível. O mecanismo de troca térmica entre o ambiente e o corpo é denominado troca seca, que se processa por meio da condução, da convecção e da radiação.

Quando o homem perde calor por evaporação, a troca é denominada úmida e o calor envolvido é chamado calor latente.

Clima é o conjunto de elementos meteorológicos que caracterizam a atmosfera de um lugar geográfico, resultante de diversos fatores geomorfológicos e espaciais (sol, latitude, altitude, ventos, massas de terra e água, topografia, vegetação, solo). Sua caracterização é definida por seus elementos (temperatura do ar, umidade do ar, movimentos das massas de ar e precipitações), tornando-se importante para a compreensão dos princípios de conforto térmico e do que deve ser controlado no ambiente a fim de se obter conforto térmico.

Dentre as variáveis climáticas que caracterizam uma região, as que mais interferem no desempenho térmico dos espaços construídos são a oscilação diária e anual da temperatura e dos índices médios da umidade relativa do ar, da quantidade de radiação solar incidente, do grau de nebulosidade do céu, da predominância do tempo e sentido dos ventos e dos índices pluviométricos.

A temperatura do ar é resultante de um balanço energético, ou seja, da energia solar incidente e da capacidade de absorção, acumulação e transmissão da superfície receptora, que determinam a troca de calor por condução, por convecção e por radiação e as perdas por evaporação. Com o resultado deste balanço energético a temperatura do ar começa a se elevar a partir do nascer-do-sol, chegando a um máximo que ocorre por volta do início da tarde como consequência do calor armazenado na Terra. A partir do pôr-do-sol o balanço é negativo, quando a Terra passa a perder calor para a atmosfera.

A umidade relativa do ar é a relação, em porcentagem, entre a quantidade de vapor d'água contida no ar e a quantidade de vapor d'água que o ar pode conter, a uma determinada temperatura.

A umidade contida na atmosfera é resultante da evaporação das águas e da transpiração vegetal e dos processos antropogênicos de produção de vapor.

Radiação solar é uma energia eletromagnética, de onda curta, que atinge a Terra após ser parcialmente absorvida pela atmosfera. Pode ser direta e difusa: radiação solar direta é aquela proveniente do Sol; radiação solar difusa é aquela proveniente da abóbada celeste e difundida pelas nuvens e pela massa de água da atmosfera, bem como pelas impurezas do ar nas camadas baixas da atmosfera.

Nebulosidade é o recobrimento do céu pelas nuvens. Pode dificultar a dissipação do calor desprendido do solo à noite na atmosfera. Chama-se céu claro, sem nuvens e céu médio, com nebulosidade média.

Vento é o movimento do ar na atmosfera. A determinante principal das direções e características do vento é a distribuição sazonal das pressões atmosféricas. Pressão atmosférica é a ação exercida pela massa de ar que existe sobre as superfícies. A variação das pressões atmosféricas pode ser explicada pelo aquecimento e esfriamento das terras e mares, pelo gradiente de temperatura no globo e pelo movimento de rotação da Terra. O movimento de rotação da Terra provoca a força desviadora das direções dos ventos.

As correntes de ar sofrem influência da topografia e das diferenças de temperaturas, causadas pelos diversos revestimentos do solo e da vegetação. Os dados dos serviços meteorológicos da direção e da velocidade do vento são importantes como guia na elaboração do projeto e na solução de muitos problemas da edificação, porém, às vezes, no espaço urbano, os edifícios os modificam totalmente. Na elaboração do projeto deve-se aproveitar as vantagens do vento e defender-se dos efeitos desfavoráveis.

Precipitação atmosférica é uma massa de ar úmido em ascensão esfriada rapidamente por contato com massas de ar frias. São representadas como orvalho, geada e chuvas.

As variáveis climáticas apresentam valores diferentes devido à influência dos fatores climáticos que são:

- circulação atmosférica
- distribuição de terras e mares ou continentalidade
- relevo do solo: topografia
- revestimento do solo
- latitude
- altitude
- movimento aparente do sol (movimentos de rotação e translação)

Brasília está situada no Planalto Central Brasileiro, com latitude de 15° 52', longitude de 47° 56' e altitude entre 1000 e 1061 metros.

O clima de Brasília tem sido caracterizado na literatura como clima tropical de altitude, com dois períodos distintos: quente e seco, com temperatura média de 19°C e quente

e úmido, com temperatura média de 22° C. As amplitudes diárias de temperatura são elevadas, podendo atingir mais de 16o C, principalmente no período seco. A radiação solar direta é alta, também principalmente no período seco.

O Ministério da Aeronáutica caracteriza Brasília como planalto ondulante, com latitude 15o 52, longitude 47o 56 e altitude 1061m.

Os dados do INMET & EMBRAPA in Inventário Hidrogeológico do DF (1986), para Brasília, indicaram:

- a temperatura do ar máxima anual de 26,9o C, a média mínima anual de 16,2° C e a média anual de 21,4° C;
- a média anual do total mensal de precipitação, durante 19 anos, de 1967 a 1986, foi de 1561,4 mm;
- a insolação média anual foi de 6,5 horas por dia;
- a predominância dos ventos, na estação da chuva, foi do quadrante N (com variação NW e NE) e no período da seca, foi de direção L, com maior incidência nesta orientação no mês de julho;
- a umidade relativa média foi de 68%;
- a menor evaporação foi de 49,1 mm, ocorrida em fevereiro de 86.

Na adequação local da arquitetura para atender às exigências térmicas, em locais com clima predominantemente quente deve-se evitar que a radiação solar direta penetre excessivamente nos ambientes, prevenindo-se ganhos demasiados de calor. Deve-se ainda considerar todas as superfícies exteriores do edifício, pois a quantidade de radiação solar que incide sobre cada superfície varia conforme a orientação solar e a época do ano.

Em relação ao partido arquitetônico a ser adotado, o amortecimento do calor recebido e o atraso significativo no número de horas que este calor leva para atravessar o material utilizado nas fachadas é importante para o calor atingir o interior da edificação durante a noite, quando há grandes amplitudes térmicas diárias.

Os fechamentos exteriores da construção são classificados como opacos ou transparentes ou translúcidos. As trocas de calor externo com interno podem ser feitas através das paredes opacas e transparentes. O vidro é um fechamento transparente às radiações visíveis, permite a iluminação natural do espaço interno e estabelece uma integração visual

entre o interior e o exterior (Mascaró, 1991). Pode também gerar problemas térmicos, acústicos, econômicos e construtivos, dificultando o cumprimento das funções.

A arquitetura contemporânea revolucionou seu uso projetando os edifícios como caixas de cristal, muitas vezes sem se preocupar com a adequação ao clima do local.

Em relação ao conforto luminoso, consideram-se a percepção humana e fontes de luz natural.

A luz ao atingir o olho humano provoca sensações visuais. Para que um corpo seja visto deve enviar luz aos nossos olhos. Os corpos que produzem luz são chamados corpos luminosos ou fontes primárias: o Sol, as lâmpadas elétricas acesas, as velas acesas. As fontes secundárias recebem luz das fontes primárias e refletem parte dessa luz. É o caso da abóbada celeste e do entorno natural ou construído.

A luz diurna que chega até nós, através de uma abertura, se diferencia em três fontes:

- luz direta do sol;
- luz difusa pela abóbada encoberta ou clara;
- luz refletida pelas superfícies externas, tais como as construções vizinhas, vegetação ou piso.

O entorno é outra fonte de luz secundária. Sua capacidade de refletir luz depende de sua cor, da distância entre os prédios e de sua orientação.

Em diversas regiões é necessário o controle permanente de radiação solar incidente na janela, pois a luz é excessiva na proximidade do envidraçado da janela e bastante reduzida a poucos metros no interior.

Elementos como treliçados de madeira, *brise-soleil*, veneziana, persiana, combogó e árvores são fatores de sombra que corrigem a luminosidade em excesso do céu, controlam o ambiente protegendo do sol e da ventilação e reduzem o ofuscamento.

O uso indiscriminado da iluminação artificial vem acontecendo nos projetos com enormes superfícies envidraçadas. Este modelo tem conotações extremamente sérias do ponto de vista econômico, pois implica em um gasto excessivo de energia, bem como em um custo de instalação e manutenção mais elevado, além de uma vida útil mais curta dessa instalação.

Nos dias de hoje, esse tema torna-se de extrema importância, pois a iluminação suplementar é uma realidade presente na quase totalidade dos edifícios. Teoricamente, a iluminação natural seria para ser utilizada durante o dia e a artificial à noite.

Quanto à evolução na fabricação do vidro, até recentemente o vidro transparente era o principal material usado em janelas. Apesar do vidro ser durável e ter alta transmissividade à luz natural, ele tem pouca resistência à passagem do calor. Durante as duas últimas décadas a tecnologia do vidro evoluiu muito.

O desenvolvimento com novos tipos de vidro criou uma nova geração de materiais que melhoram a eficiência das janelas para os usuários. Enquanto esta nova geração ganhou rapidamente aceitação no mercado, a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes continua.

Hoje, vários tipos de vidro e janelas, para controlar a perda ou ganho de calor, estão disponíveis no mercado. Estes avanços incluem vidro duplo e triplo com tratamentos como *Low-e* (baixa emissividade), *spectrally selective* (espectralmente selectivo), absorvente ou refletivo, vidro duplo com gás e janelas incorporando combinações destas opções.

Outra tecnologia consiste em usar vidro absorvente. Parte do calor, entretanto, continua a passar através do vidro por condução e reirradiação. Mas quando se usa vidro duplo, a camada de dentro pode ser colocada em vidro transparente ou outra de vidro absorvente para reduzir ainda mais a passagem do calor.

Pode-se ver que não existe um tipo de vidro bom para todos os usos. Muitos materiais estão disponíveis para fins diversos. O projetista pode descobrir que necessita de dois tipos de janelas diferentes devido à diferença de orientação solar. Para instalar o que se adapta melhor deve-se examinar as necessidades de refrigeração e aquecimento e priorizar o que se deseja de luz natural, aquecimento solar, sombreamento, ventilação e valores estéticos.

Esse tipo de revestimento de vidro para fachadas de edifícios foi projetado para países do hemisfério norte, com climas temperados, e se mostra uma boa solução para o aproveitamento do calor do sol durante períodos mais frios ao longo do ano, pois permite que uma grande quantidade de radiação e luz do sol entre no edifício, regulando sua temperatura interna, bem como refletindo uma parte do calor de volta para o ambiente externo. Porém, em regiões como Brasília, com clima tropical sazonal, caracterizado com inverno seco e temperaturas máximas próximas dos 30° C, tal solução arquitetônica não é recomendada porque provoca a elevação da temperatura interna e externa local, esta causada pela reflexão

da radiação solar pelos vidros de volta a atmosfera, e a diminuição da umidade, consequência do uso do ar condicionado no interior da edificação. A Figura 9 exemplifica a configuração de fachadas de alguns prédios da zona central de Brasília.

Figura 9: Edificações na zona central de Brasília com fachadas revestidas em vidro refletivo – Edifícios Carlton Tower e Lino Martins Pinto.

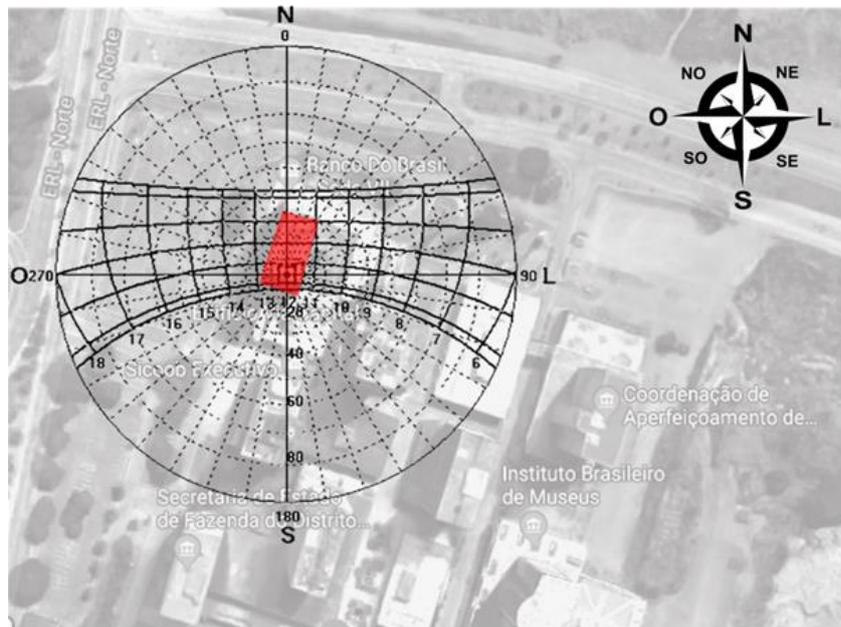


Fonte: Acervo André Bertolletti.

Devido à configuração dos edifícios analisados na região, o que se mostrou mais adequado para o estudo foi o Edifício Sede VII do Banco do Brasil, pois o mesmo possui uma fachada retangular revestida com vidro refletivo, voltada para o Oeste, sem nenhum tipo de obstrução ao seu redor, como outras edificações e vegetação, além disso, possui uma estrutura de concreto circundando a pele de vidro, se mostrando também adequado para a instalação da estrutura que irá receber os *brises-soleils* propostos.

Para os demais fatores de escolha, foram feitas análises de posicionamento em carta solar (Figura 10), sendo que se deu preferência às fachadas viradas para o Oeste geográfico, pois, em Brasília o sol se põe no Oeste, então a fachada estaria voltada para o sol da tarde, compreendendo um período de maior emissão de radiação solar, destacando melhor os resultados esperados. Também foi levado em consideração o formato da fachada, para efeitos de resultado e praticidade, priorizou-se fachadas com formato retangular, visto que, a grande maioria dos painéis fotovoltaicos disponíveis atualmente possuem tal formato.

Figura 10: Carta solar posicionada sobre a edificação escolhida.



Fonte: Acervo André Bertolotti.

6.1- DIFICULDADES ENCONTRADAS

6.1.1- Utilização de material para a pesquisa em campo;

6.1.2- Estudar o custo benefício mensal, a dificuldade em obter os valores em separado, pois o consumo engloba a energia elétrica gasta pelo sistema de ar condicionado e pelo sistema de iluminação artificial.

7- RESULTADOS

A partir dos estudos realizados, pode-se considerar que no prédio estudado as preocupações quanto ao desempenho térmico e luminoso da edificação e o consumo de energia não foram objetivamente levados em conta na elaboração do projeto de arquitetura, necessitando de um fator de sombra, como os *brises-soleil*. As variáveis formuladoras do projeto (variáveis de projeto/concepção, variáveis construtivas, variáveis de acabamento) interferem decisivamente no desempenho térmico e luminoso das edificações.

Pela revisão da bibliografia e fundamentação teórica nessa pesquisa, a instalação sugerida dos painéis fotovoltaicos posicionados como *brises-soleils* dispostos na fachada Oeste da edificação escolhida pode ser capaz de atender aos gastos mensais de consumo do ar

condicionado e ainda da iluminação artificial de todo o edifício, e que com essa economia o prédio consiga se pagar dentro do período de 5 anos, o que é uma expectativa de curto a médio prazos, que será abatido da média mensal do gasto energético da edificação em torno de 30% do custo atual.

Um sistema de gestão energética do edifício monitora constantemente a geração e o consumo energéticos, buscando o equilíbrio, para minimizar os custos de exploração, a automação.

Os brises móveis de alumínio e os painéis de vidro fotovoltaico atuam como elementos de sombreamento para aberturas envidraçadas. O edifício pode incorporar grande quantidade de elementos de arquitetura bioclimática, tanto passivos como ativos. Entre os sistemas passivos, pode-se citar os brises móveis, as paredes e a cobertura que atuam como termoacumuladores, e a ventilação, mediante energia geotérmica. Entre os sistemas ativos, além dos módulos fotovoltaicos, destacaram-se os coletores solares horizontais, que podem empregar a tecnologia de tubos a vácuo para resfriamento como sugestão para o prédio estudado. E ainda trabalharem como acumuladores da energia elétrica para ser aproveitada no consumo do prédio.

Obteve-se como resultados: difundir e promover o uso da tecnologia no País; fornecer uma contribuição teórica e prática para os futuros projetos de arquitetura nas fases de estudo preliminar e anteprojeto, visando a sustentabilidade; demonstrar como a qualidade de vida está diretamente ligada às questões ambientais; atingir os profissionais da área por meio da divulgação dos resultados.

8- 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.

9- RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS PROJETOS

- analisar o desempenho térmico de edificação com a mesma tipologia, com a incorporação de novas variáveis quanto à otimização do desempenho térmico, como o uso de outros materiais construtivos integrados ao vidro refletivo e novos elementos de acabamento.
- fazer parceria com escritórios de arquitetos, escolas de arquitetura / engenharia e concessionárias para simular a otimização energética dos projetos, envolvendo iluminação, ar condicionado e o vidro, utilizando laboratórios credenciados e divulgando a edificação de alta eficiência energética;
- desenvolver uma metodologia simplificada e padronizada para aplicação rápida em estudos preliminares para avaliação das economias do consumo por mês e divulgar os resultados.

10- LIMITAÇÕES DA PESQUISA

- o cálculo da economia no consumo de energia, quanto aos níveis de conforto térmico com o resfriamento e luminoso não foi feito, por falta de dados;
- a utilização de material para a pesquisa em campo;
- estudar o custo benefício mensal, a dificuldade em obter os valores em separado, pois o consumo engloba a energia elétrica gasta pelo sistema de ar condicionado e pelo sistema de iluminação artificial.

REFERÊNCIAS

AMADO, Miguel Pires. *Planeamento Urbano Sustentável*. Lisboa: Caleidoscópio, 2005.

ARAUJO, E. P. *Análise Pós-Ocupação de um Edifício Comercial em Brasília: Aspectos do Conforto Térmico*. 1999. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Concentração em Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

ARAUJO, E. P. *Sol: a fonte inesgotável de energia*. 2004. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/05.054/531>>. Acesso em: 06 nov. 2018.

BITTENCOURT, L. S. *O Uso das Cartas Solares Diretrizes para Arquitetos*. 4. ed. Maceió: Edufal, 2004. 96 p.

BORBA, A. J. V. et al. *Guia Para Eficiência Energética Nas Edificações Públicas*. 2015. Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPTEL. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/GUIA+EFIC+ENERG+EDIF+PUBL_1+0_12-02-2015_Compacta.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2019.

BRASIL. Art. 92. Lei Nº 6.138, de 26 de abril de 2018. *Institui o Código de Obras e Edificações do Distrito Federal - COE*. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/94156cc83d524f1ba6d0c0555ec9cd9d/Lei_6138_26_04_2018.html>. Acesso em: 6 ago. 2019.

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 – ENCAC-COTEDI, 7, 2003. Curitiba. Anais... ANTAC. Curitiba/PR, 2003.

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

CHIVELET, N. M.; SOLLA, I. F. *Técnicas de Vedação Fotovoltaicas na Arquitetura*. Porto Alegre: Bookman, 2010. 193 p.

DI SOUZA, R. Artigo BlueSol Energia Solar.

LAMBERTS, R.; LOMARDO, L. L. B.; AGUIAR, J. C. & THOMÉ, M. R. V. *Eficiência Energética em Edificações: Estado da Arte*. Procel - Eletrobrás, Rio de Janeiro, 1996.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; RAMOS, G. *Impactos da Adequação Climática Sobre a Eficiência Energética e Conforto Térmico de Edifícios no Brasil*. Florianópolis, 2006. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/publicações/relatórios-de-pesquisa/>>. Acesso em: 10 ago.2010

MCCORMICK, K. “Advancing sustainable urban transformation”. York: Journal of Cleaner Production, Vol. 50, pp. 1-11, 2013. Acesso em: 30 abril 2019.

MARAGNO, G. V. *Eficiência e Forma do Brise-Soleil na Arquitetura de Campo Grande – MS*. 2000. 219f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MARAGNO, G. V. *Eficiência e Forma do Brise-Soleil na Arquitetura de Campo Grande – MS*. In: Encontro Nacional Sobre Conforto no Ambiente Construído - Encac, 8, 2005. ANTAC. Maceió/AL, 2005.

MASCARÓ, L. R. de. *Energia na edificação: estratégia para minimizar seu consumo*. 2. ed. São Paulo: Projeto Editores Associados Ltda, 1991. 213 p.

McPHILIPPS (1985). *Uma diversificada relação de exemplos de casas solares, com placas no telhado*.

ROMÉRO, M. R.; REIS, L. B. *Eficiência energética em edifícios*. Barueri: Manole Ltda, 2012. 195 p

ROMERO, M. A. B. *Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano*. Projeto, SP, 1988.

ROMERO, M. A. B. *Arquitetura do Lugar: Uma Visão Bioclimática da Sustentabilidade em Brasília*. São Paulo: Nova Técnica, 2011. 164 p.

VENÂNCIO, H. *Minha Casa Sustentável. Guia para uma Construção Residencial Responsável*. 2. ed., Vila Velha, ES: Edição do Autor, 2010. 227 p.

SITE:

Disponível em: <https://blog.renovigi.com.br/2018/01/03/problemas-que-voce-pode-enfrentar-ao-usar-modulos-fotovoltaicos-de-baixa-qualidade/>, acesso em julho de 2019.