

**Universidade de Brasília - UnB**

**Faculdade UnB Gama - FGA**

**Curso de Engenharia de Energia**

**SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA DE  
AMBIENTES COM GERAÇÃO FOTOVOLTAICA**

**Autora: Adrianny Viana de Araújo Amorim**

**Orientador: Prof Luciano Gonçalves Noletto**

**Co-Orientador(a): Maria Vitória Duarte Ferrari**

**Brasília, DF**

**2019**



**Adrianny Viana de Araújo Amorim**

# **Simulação Termoenergética De Ambientes Com Geração Fotovoltaica**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Luciano Gonçalves Noletto.

Co-Orientador(a): Maria Vitória Duarte Ferrari.

**Brasília, DF**

**2019**

## **CIP – Catalogação Internacional da Publicação**

Amorim, Adrianny Viana de Araújo.

Simulação Termoenergética de Ambientes com Geração Fotovoltaica /Adrianny Viana de Araújo Amorim. Brasília: UnB, 2019. p. : il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília  
Faculdade do Gama, Brasília, 2018. Orientação: Luciano Noleto Gonçalves;  
Co-Orientação: Maria Vitória Duarte Ferrari

1.Edificação Eficiente. 2. Simulação Termoenergética. 3. Geração Fotovoltaica.

I. Noleto, Luciano Gonçalves. II. Simulação Termoenergética de Sistemas com Geração Fotovoltaica.

CDU Classificação



## **Simulação Termoenergética de Ambientes com Geração Fotovoltaica**

**Adrianny Viana de Araújo Amorim**

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em (09/07/2019) apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

---

**Prof. Dr Luciano Gonçalves Noletto / FGA**

Orientador

---

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Maria Vitória Duarte Ferrari / FGA**

Co-Orientador

---

**Prof<sup>a</sup> Roseany de Vasconcelos Vieira Lopes / FGA**

Membro Convidado

---

**Prof<sup>a</sup> Tallita Karolline Nunes Rocha / FGA**

Membro Convidado

Brasília, DF  
2019

Nossa maior fraqueza está em desistir. O caminho  
mais certo de vencer é tentar mais uma vez...  
(Thomas Edson)

## **Agradecimentos**

*Primeiramente a Deus, pela tua infinita bondade e misericórdia, sem as quais eu não teria a possibilidade de chegar até esta fase da minha vida.*

*À toda a minha família, por todo o amor, carinho e afeto que sempre me deram e especialmente a minha mãe Fernanda, ao meu padrasto Márcio e aos meus avós Francisco e Maria Auxiliadora, que sempre foram e serão as minhas bases e fazem o possível por mim e pelos meus irmãos.*

*A toda equipe da Presidência da República Federativa do Brasil, em especial à equipe da COENG que me possibilitou crescer junto, obter diversas conquistas pessoais e profissionais e fazer grandes amigos.*

*Ao meu orientador, Prof. Luciano Noletto, e a minha co-orientadora Maria Vitória Ferrari tema desenvolvido conjuntamente, pela ajuda oferecida e pelo acompanhamento do projeto. Agradeço ainda a todos os professores que contribuíram para minha formação como profissional e, principalmente, como cidadã, além de toda a comunidade da Universidade de Brasília – Faculdade Gama que me possibilitaram imenso crescimento pessoal e acadêmico.*

*Ao grupo de estudos ASHRAE Student Branch Brasília, sobretudo aos amigos Adrylle Faccio, Agda Gomes, Erika Cherubini, Guilherme Cavalheiro, Larissa Albuquerque, João Vitor Nunes, Murilo Prudente, e, por todo acompanhamento, pelos ensinamentos e auxílio em todas as simulações computacionais.*

*A Associação Atlética Acadêmica da Faculdade do Gama e a todos os integrantes do Corpo Institucional e associados por todos os aprendizados, amizades e carinhos criados durante essa caminhada juntos.*

*Ao Senhor Cauhe Simões Cardoso por todo amor dispensado, carinho e dedicação ao longo de toda a minha graduação.*

*A todos os meus amigos em especial Amanda Lins, Bianca Teixeira, Carlos Eduardo, Eduardo Aiala, Fernanda Pimenta, Guilherme Henrique, Larissa Ribeiro, Luís Fernando, Jaime Juan, João Matheus, Johnatan William, Ohana Berger e aos amigos do “bonde”, por todos os ensinamentos, companheirismo e por fazerem parte da minha formação.*

*Agradeço a todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para essa conquista.*

*Muito obrigado!*

*Adrianny Viana de Araújo Amorim.*

---

## RESUMO

Este trabalho surge como consequência da preocupação existente quanto à necessidade da redução do consumo energético em edificações, procurando a melhoria da eficiência energética em conjunto à utilização de energias renováveis. A proposta realizada trata-se de um estudo de viabilidade de implementação de um projeto de geração fotovoltaica, com enfoque na eficiência energética da edificação. Para tal, primeiramente foi realizado o estudo dos parâmetros construtivos e de carga do edifício, em seguida uma simulação termoenergética no software EnergyPlus, com intuito de modelar tais parâmetros e analisar as consequências no conforto e no consumo de energia da edificação. Os resultados demonstram uma queda do consumo de energia elétrica de 27%, o que é significativamente relevante pelo tamanho e estrutura do edifício. Perante os novos dados de consumo realizou-se uma simulação no software PVSyst, com o intuito de analisar os parâmetros do sistema de geração fotovoltaica, obtendo-se resultados satisfatórios de abastecimento do suprimento energético para um pavimento específico. Desta forma, durante todo o processo de pesquisa os resultados demonstram-se satisfatórios, concluindo que há a possibilidade de implementação do sistema fotovoltaico apresentado.

**Palavras-Chave:** Eficiência Energética; Edificações Eficientes; Geração Fotovoltaica.

---

## ABSTRACT

This work appears as an attempt to reduce energy consumption in buildings to improve the energy efficiency with the use of renewable energy. The proposal to be carried out is a feasibility study for the implementation of a photovoltaic generation project, focusing on the energy efficiency of the building. For such purpose, first was fulfilled a study of the constructive parameters and the building's load, followed by a thermoenergetic simulation in the EnergyPlus software, in order to model such parameters and analyze the consequences in comfort and the building's consumption of energy. The results show a 27% drop in electricity consumption, which is totally relevant to the size and structure of the building. Then, towards the new consumption data, were simulated at PVSyst software, in order to analyze the parameters of the photovoltaic generation system, obtaining satisfactory results of energy supply for a specific pavement. Thus, throughout the research process the results were very successful, concluding that there's a possibility of implementing the presented system.

**Keywords:** Energy Efficiency; Efficient Buildings; Photovoltaic Generation.

---

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	x
LISTA DE TABELAS .....	xii
LISTA DE SÍMBOLOS .....	xiii
1.INTRODUÇÃO .....	1
1.1. O TEMA EM ESTUDO E SUA RELEVÂNCIA.....	1
1.2. OBJETIVO GERAL .....	4
1.3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	5
1.4. METODOLOGIA .....	9
1.5. ESTRUTURA DO RELATÓRIO .....	10
2.REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1.LEIS DA TERMODINÂMICA .....	12
2.2.EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PREDIAL.....	14
2.2.1.ESTRATÉGIAS PASSIVAS .....	15
2.2.2.FORNECIMENTO DE ENERGIA .....	17
2.3.ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA .....	18
2.3.1.CENÁRIO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	19
2.3.2. RECURSO SOLAR NO BRASIL E NO DF .....	22
2.3.3.ÂNGULOS DA GEOMETRIA SOLAR .....	24
2.3.4.EFEITO FOTOVOLTAICO .....	27
2.3.5.SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	31
2.3.5.1.CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS SEGUNDO A NBR 11704:2008 .....	31
2.3.5.2.COMPONENTES BÁSICOS .....	34

2.3.6.MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA – RESOLUÇÕES NORMATIVAS Nº 482/2012 E 687/2015 DA ANEEL .....	46
3.ESTUDO DE CASO .....	49
3.1.CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO.....	49
3.1.1.LOCALIZAÇÃO .....	50
3.1.2.CONDIÇÕES CLIMÁTICAS LOCAIS .....	51
3.2.ARQUITETURA ATUAL .....	51
4.ANÁLISE ENERGÉTICA.....	56
4.1.FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO .....	56
4.2.ARQUIVO CLIMÁTICO .....	61
4.3.CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS PROPOSTAS .....	61
4.4.CARGAS INTERNAS .....	64
4.5.SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO .....	65
5.SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA.....	66
5.1.CONSUMO DE ENERGIA TOTAL .....	66
5.2.PVSystem .....	67
5.3.O SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	68
5.3.1.SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	69
6.CONCLUSÕES .....	74
6.1.CONCLUSÕES .....	74
6.2.PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....	75
7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
APÊNDICES .....	83
A.1 RELATÓRIO SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA.....	84
A.2 RELATÓRIO SIMULAÇÃO SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	109

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 – Composição da matriz energética brasileira (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2017).....	2
Figura 1-2 – Estrutura do consumo de eletricidade na rede brasileira, por classe (%) (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2015).....	3
Figura 2.3-1 – Evolução da Capacidade Instalada Mundial de Energia Solar Fotovoltaica até 2018 em GWp (PVPS, 2019). ....	20
Figura 2.3-2 – Geração Instalada e Capacidade de Potência Acumulada Solar Mundial – 2016 (PVPS, 2018).....	21
Figura 2.3-3 – Matriz de energia elétrica brasileira: Potência Instalada em Operação (MW) (ANEEL, 2019).....	22
Figura 2.3-4 – Média anual da radiação solar global horizontal no Brasil (PEREIRA <i>et al.</i> , 2006)..	23
Figura 2.3-5 – Declinação solar e estações do ano (SOUZA, 2016). ....	24
Figura 2.3-6 – Principais ângulos da geometria solar (SOUZA, 2016).....	26
Figura 2.3-7 – Irradiância direta incidente sobre superfície horizontal e inclinada (PINHO <i>et al.</i> , 2014).....	26
Figura 2.3-8 – Cristal de Silício Intrínseco (i) (SOUZA, 2016).....	28
Figura 2.3-9 – Silício dopado com Fósforo (SOUZA, 2016). ....	28
Figura 2.3-10 – Silício dopado com Boro (SOUZA, 2016).....	29
Figura 2.3-11 – Junção p-n com detalhe da difusão e da ação do campo elétrico interno sob elétrons e lacunas (LAMBERT, 2014).....	30
Figura 2.3-12 – Representação do processo de conversão fotovoltaica (LAMBERT, 2014).....	31
Figura 2.3-13 – Sistema Autônomo (TORRES e CAMARGO, 2015).....	32
Figura 2.3-14 – Diagrama esquemático de sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (RÜTHER, 2004).....	33
Figura 2.3-15 – Tipos de Módulos a) Módulo monocristalino; b) Módulo policristalino(GONÇALO, 2012).....	35
Figura 2.3-16 – Curva característica de corrente versus tensão de duas células solares ligadas em série e em paralelo (TORRES e CAMARGO, 2015). ....	37
Figura 2.3-17 – A influência da irradiação e da temperatura na curva característica de um módulo fotovoltaico (PINHO <i>et al.</i> , 2014). ....	38
Figura 2.3-18 – Expectativa de vida útil de uma bateria pela profundidade de descarga (SOUZA, 2016).....	41
Figura 2.3-19 – Esquemático do sistema de compensação de energia (ANEEL, 2016).....	47

Figura 2.3-20 – Sistema de tarifação <i>net metering</i> com um medidor bidirecional (PICCINI, 2009).	48
Figura 2.3-21 – Sistema de tarifação <i>net metering</i> com um medidor unidirecional (PICCINI, 2009). .....	48
Figura 3-1 - Fachada Edifício Sede da Polícia Federal - Brasília, DF. Fonte: Google Imagens, 2019. .....	49
Figura 3-2: Gráfico do consumo de energia elétrica por equipamento em kWh referente ao sistema atual. Fonte: Relatório da simulação OpenStudio. ....	50
Figura 3-3 Modelagem geométrica do Edifício Sede da Polícia Federal. Fonte: Aguiar (2017). ....	52
Figura 4-1 – Esquema de blocos do <i>EnergyPlus</i> (SCHAEDLER, 2014). ....	57
Figura 4-2 – Balanço de calor em superfícies externas (SCHAEDLER, 2014). ....	58
Figura 4-3 – Balanço de calor em superfícies internas (SCHAEDLER, 2014). ....	59
Figura 4-4 – Zona de balanço de calor (SCHAEDLER, 2014). ....	60
Figura 4-5 Fachada do Edifício com 40% dos vãos envidraçados. ....	62
Figura 4-6 - Parede Básica proposta na simulação. ....	63
Figura 4-7 - Cobertura Básica proposta na simulação. ....	64
Figura 4-8 - Gráfico representativo do padrão de ocupação do edifício. ....	65
Figura 5-1 - Demanda de energia por categoria. ....	66
Figura 5-2 - Consumo de energia elétrica do edifício. ....	67
Figura 5-3 - Fluxograma de processos de simulação no PVSyst. ....	68
Figura 5-4 - Geração de energia necessária do sistema fotovoltaico. ....	69
Figura 5-5 - Produção de energia normalizada para os meses do ano. ....	72

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 2.2-1 – Hierarquia das opções de fontes renováveis para uso em edificações eficientes. .....	17
Tabela 2.3-1 – Principais funções dos inversores .....	43
Tabela 4-4-1 – Propriedades dos envidraçados. ....	62
Tabela 4-2 - Valores de carga térmica referente às pessoas, iluminação e equipamentos. ....	64
Tabela 4-3 - Padrão de ocupação do edifício. ....	65
Tabela 4-4- Características técnico operacionais das URL. ....	65
Tabela 5-1 - Características Elétricas do Sistema Fotovoltaico .....	71
Tabela 5-2- Saldos e principais resultados. ....	73

## LISTA DE SÍMBOLOS

### Símbolos Latinos

$a_s$	Ângulo azimutal do sol	[°]
$a_w$	Ângulo azimutal da superfície	[°]
$CA$	Corrente alternada	[A]
$CC$	Corrente contínua	[A]
$CLT$	Cross Laminated Timber	[-]
$E_{dif}$	Radiação difusa	[MJ.m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup> ]
$E_{dir}$	Radiação solar direta	[MJ.m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup> ]
$E_g$	Radiação solar global	[MJ.m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup> ]
$E_{ref}$	Radiação refletida pela superfície terrestre	[MJ.m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup> ]
$G_{d\beta}$	Componente direta de irradiância normalmente a uma superfície inclinada	[-]
$G_{dh}$	Componente direta de irradiância normalmente a um plano inclinado	[-]
$I_{MP}$	Corrente de máxima potência	[A]
$I_{SC}$	Corrente de curto circuito	[A]
$LED$	Light emitting diode	[-]
$MPPT$	Maximum power point tracker	[-]
$P_{MAX}$	Potência nominal máxima	[W]
$Q_{cond}$	Energia conduzida entre os materiais da parede	[J]
$Q_{conv}$	Energia de convecção entre a superfície e o ar na zona	[J]
$Q_{LWrad}$	Radiação de onda longa	[J]
$Q_{LWradExch}$	Energia térmica de onda longa de fontes internas de calor	[J]
$Q_{solar}$	Radiação solar absorvida pela superfície interna	[J]
$Q_{SWlights}$	Radiação de ondas curtas de lâmpadas absorvida pela superfície	[J]
$Q_{SWrad}$	Energia de convecção entre a superfície e o ar na zona	[J]
$V_{MP}$	Tensão de máxima potência	[V]
$V_{OC}$	Tensão de circuito aberto	[V]

## Símbolos Gregos

$\alpha$	Ângulo solar	[°]
$\beta$	Inclinação	[°]
$\gamma$	Ângulo de inclinação	[°]
$\delta$	Declinação Solar	[°]
$\eta$	Eficiência	[-]
$\theta_z$	Ângulo Zenital	[°]
$\omega$	Ângulo Horário do Sol	[°]

# 1. INTRODUÇÃO

*Este capítulo apresenta o tema em estudo e sua relevância, além de sintetizar o que já existe de avanço e pesquisa na área e os objetivos pretendidos ao fim do projeto.*

## 1.1. O TEMA EM ESTUDO E SUA RELEVÂNCIA

A Revolução Industrial, ocorrida inicialmente na Inglaterra, no século XVIII, modificou de forma profunda o modo de vida de todos os seres humanos. Por meio desta, foram descobertos novos processos produtivos, tendo sempre como objetivo a obtenção de maiores lucros. Na época, entretanto, o fruto dessas ações humanas sobre o meio ambiente não foi perceptível, devido ao grande número de territórios inexplorados existentes (RODRIGUES, 2009).

Com o crescimento populacional e a crescente demanda energética, as indústrias expandiram-se notadamente em número, áreas de atuação e variedade de produtos oferecidos. Contudo, as preocupações ambientais fizeram-se ausentes durante muitos anos deste crescimento, tendo assim graves consequências para o meio ambiente e para todos os seres que o habitam.

Atualmente, o grande desafio é o de modificar um pensamento cristalizado há mais de séculos em toda a sociedade. É necessário reformular o tipo de desenvolvimento adotado em um passado fundamentado no intenso consumo, até mesmo desperdício, de recursos naturais não renováveis. O ano de 1972 se tornou um marco de mudança desse pensamento, na Conferência de Estocolmo, ocorrida na Suécia, o tema eficiência energética pela primeira vez tomou grandes proporções. Uma produção desta conferência foi o relatório “Nosso Futuro Comum”, o qual trouxe um novo conceito, o desenvolvimento sustentável, capaz de satisfazer às necessidades das atuais gerações não comprometendo os direitos das próximas gerações (BRUNDTLAND, 1987).

Um dos primeiros países a tomarem providências relacionadas à Conferência de Estocolmo foi os Estados Unidos da América, a nação propôs normas legais que orientassem a utilização correta e ponderada dos recursos energéticos. Motivada por todo este contexto, surgiu no país, em 1975, a *American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning*

*Engineers* (ASHRAE), a qual foi a autora da *Standard 90 – Energy Conservation in New Design*.

O ingresso do Brasil rumo às diretrizes do desenvolvimento é recente, tendo como marco o ano de 1985 mediante o lançamento do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL, pelo Ministério de Minas e Energia e de Indústria e Comércio. Resumidamente, o programa promove a produção e o consumo eficientes da energia elétrica, visando à eliminação do desperdício e a redução dos custos e dos investimentos setoriais (ELETROBRÁS, 2017).

A Oferta Interna de Energia Brasileira do ano de 2016 no Brasil, como demonstra a Figura 1-1, demonstrou que a matriz energética se diversificou, apresentando uma proporção de 81,4% de energias de fontes renováveis. Como forma de comparativo em países desenvolvidos o indicador atinge 23,1% e nos demais, 22,5%. Apesar desta posição de destaque mundial na utilização de fontes renováveis, o país é afetado diretamente quando há uma menor oferta de energia advinda da fonte hidráulica, o que tem sido recorrente nos últimos anos.

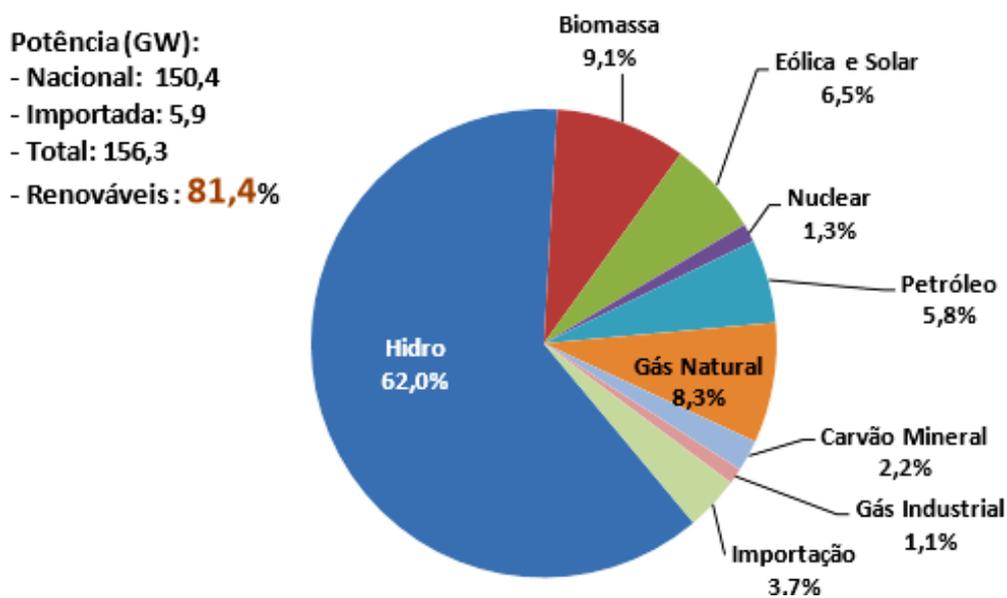
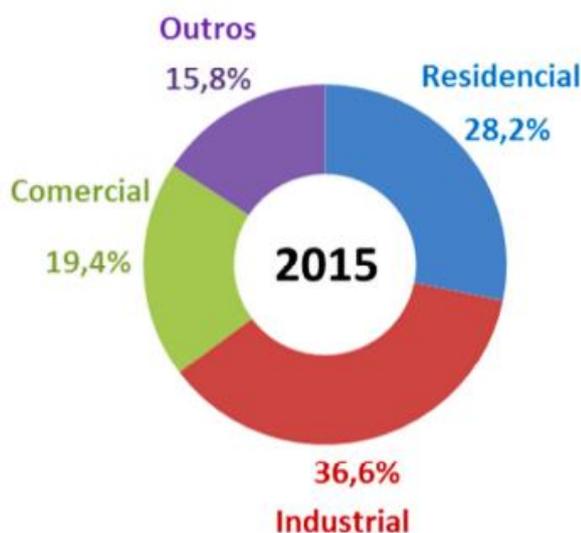


Figura 1-1 – Composição da matriz energética brasileira (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2017).

Neste cenário, há um maior estímulo em relação ao uso eficiente de energia, influenciando, então, o desenvolvimento de tecnologias que possam otimizar e economizar os custos do consumo atual. Dentre estas tecnologias, cabe destaque os projetos que visam ao melhoramento de estruturas arquitetônicas, com o objetivo da redução do consumo energético, os estudos baseados na geração de energia por novas fontes, como é o caso da energia solar fotovoltaica, o desenvolvimento de simulações energéticas de edificações, entre outros.

As edificações são responsáveis pelo consumo de 18% de energia total do planeta. No Brasil, cerca de 40 % do consumo de energia elétrica é exclusivo das edificações. Destas, cabe destaque as edificações comerciais, responsáveis por 19,4% do consumo de eletricidade, como demonstrado na Figura 1-2.



**Figura 1-2 – Estrutura do consumo de eletricidade na rede brasileira, por classe (%) (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2015).**

A energia consumida nas edificações públicas comerciais inclui a utilização de equipamentos e sistemas existentes nas instalações, como os de iluminação, refrigeração e aquecimento, bem como das suas quantidades, capacidades e regimes de funcionamento.

Novos conceitos e tecnologias vêm ganhando espaço no cenário atual na busca por eficiência e baixo consumo energético. O grande destaque deste mercado são os chamados

edifícios de alto desempenho, ou edifícios eficientes, que em linhas gerais significam construções, residenciais ou comerciais, que são resultado de uma ampla abordagem de desempenho, transformando seus ambientes em ambientes confiáveis, seguros, saudáveis, confortáveis ao usuário e principalmente eficientes.

A construção desse tipo de edificação deve ser resultado de abordagens passivas, das altas eficiências: isotérmica de processos e de equipamentos elétricos. Além, da produção de energia através de fontes renováveis, de fontes naturais, dentre várias outras aplicações que podem ser inseridas dentro dessas construções.

Em relação à produção de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos, a cidade de Brasília se destaca para a implementação de edifícios de alto desempenho, em consequência de suas características climáticas de interesse como temperatura, umidade relativa do ar, e a irradiância global (DOMINGOS et al., 2014).

De acordo com a Associação Brasileira de Energia Fotovoltaica (ABSOLAR), o recurso solar disponível na região Centro-Oeste é equivalente ao encontrado nas regiões Nordeste e Sudeste, sendo o Distrito Federal, uma das melhores irradiações do Centro-Oeste e do Brasil. Dados climatológicos e solarimétricos obtidos do Distrito Federal indicam média de irradiação no DF de 5,8 kWh/m<sup>2</sup>.ano (acima da média nacional). O que, aliado a outros fatores, como baixo índice de nebulosidade e pluviometria, além de temperatura média inferior à do Nordeste, faz com que a irradiação do Distrito Federal seja excelente para a geração de energia solar fotovoltaica.

Neste cenário, este trabalho analisa a viabilidade da implementação de um projeto de geração de energia fotovoltaica em um edifício público comercial. Propondo a otimização energética da edificação, agregada a uma produção de energia renovável, com a predisposição do alcance da intitulação de alto desempenho energético. O enfoque principal do trabalho é tornar esta alternativa técnica viável e de possível implementação.

## **1.2. OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho tem por objetivo a elaboração de um projeto de um sistema solar fotovoltaico aplicado em um edifício público comercial, localizado na cidade de Brasília – DF.

### 1.2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos para a melhor compreensão do estudo em questão podem ser divididos em:

- Propor a otimização das envoltórias da edificação, realizando uma modelagem energética nos ambientes da edificação;
- Averiguar a carga térmica total dos ambientes da edificação;
- Propor novo consumo de energia para a edificação e, por conseguinte, propor um sistema de geração fotovoltaica adequado à edificação.
- Avaliar a eficiência energética do edifício modelado e a viabilidade das propostas apresentadas.

### 1.3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O tema eficiência energética ganhou grande enfoque a partir da agenda mundial nos anos 1970, quando ocorreram os choques no preço do petróleo, quando o mundo entendeu que o uso de recursos fósseis teria um custo elevado. Essa busca por redução e gerenciamento do consumo de energia, que teve início por questões econômicas, potencializou-se com as mudanças climáticas.

Como consequência dessa preocupação mundial, surgiu uma crescente atenção com relação ao consumo energético de edifícios, sejam estes comerciais ou residenciais. Os edifícios de balanço energético nulo têm sido objeto de estudo de muitos pesquisadores, que desenvolveram vários estudos para se chegar ao panorama atual, em que já há possibilidades técnicas e econômicas de construção deste tipo de edificações. Os principais estudos, publicações e iniciativas estão relacionados a seguir.

O primeiro indício no desenvolvimento de edifício de balanço energético nulo tem seu início em 1939 com a “*MIT Solar House I*”, que incorporou um coletor solar de grandes dimensões em um conjunto com armazenamento de água (BUTTI; PERLIN, 1980). Alguns exemplos mais recentes, tendo como consequência principal a crise do petróleo, são a “*Vagn Korsgaard Zero Energy House*” na Dinamarca (ESBENSEN; KORSGAARD, 1977) e a “*Saskatchewan Conservation House*” (BESANT et al., 1979), ambos os estudos empregaram coletores solares e depósitos de água para armazenamento, utilizados para aquecimento dos

ambientes e da água quente sanitária. Esses projetos preliminares, na realidade eram embasados em um balanço nulo do ponto de vista térmico e não energético, e acarretaram assim, a criação das bases da arquitetura bioclimática.

No âmbito das normas de eficiência energética de edificações é importante ressaltar a Norma 90.1 19 (ASHRAE, 1989), vigente nos Estados Unidos da América, esta norma refere-se à edificações eficientes, abordando todos os aspectos de um edifício como a envoltória, os sistemas de condicionamento de ar, a iluminação artificial e o aquecimento de água, incluindo ainda motores e equipamentos. Ela ainda classifica os climas, em unidades de graus/dia de aquecimento e resfriamento, sendo estes os representantes dos limites para os componentes opacos e transparentes. Por fim, além de classificar o clima das cidades americanas, a ASHRAE Standard 90.1 classifica também oito cidades brasileiras.

Anos mais a frente, já com a difusão das ideias das edificações ambientais, surgiu a necessidade da criação de sistemas para avaliação de desempenho dessas edificações. Em 1998, foi criado pelo *United States Green Building Council* (USGBC), o sistema de certificação *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED). Este define-se como um método de classificação baseado na harmonização, ponderação de créditos (em conformidade ao impacto ambiental e à saúde humana) e regionalização. Os dois pontos de maior relevância neste sistema são a eficiência energética e a redução de emissão de CO<sub>2</sub> que estas edificações promovem (USGB, 2012).

No início dos anos 2000, o Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia deram um passo muito importante em busca da melhoria da eficiência energética das edificações, aprovando um instrumento legislativo denominado de Diretiva 2002/91/CE sobre o desempenho energético dos edifícios (EPBD). Esta Diretiva faz parte de uma série de medidas tomadas sobre as alterações climáticas e de compromissos firmados no âmbito do Protocolo de Quioto (TAVARES, 2013).

Tal Diretiva tornou possível a criação da certificação energética dos edifícios europeus, considerada a primeira ação em grande escala no continente europeu com vista a uma maior preocupação ao desempenho energético dos edifícios, tanto aos já existentes, quanto aos novos. A obtenção do certificado é realizada quando o edifício é construído, vendido ou alugado, sendo válida por um período de 10 anos (TAVARES, 2013).

Com relação aos edifícios eficientes não residenciais é importante destacar o exemplo de Portugal com “Edifício Solar XXI”, edifício erguido em 2002 na cidade de Lisboa., sendo um dos mais importantes projetos pioneiros da utilização de energias renováveis na região do Sul da Europa. A concepção passiva do edifício e a potencialização do uso de energias renováveis são os grandes destaques da edificação. O prédio ainda é composto por: um sistema de arrefecimento passivo constituído por tubos enterrados; fachada fotovoltaica ao Sul, para o aproveitamento elétrico, o qual está vinculado a outro sistema fotovoltaico no parque de estacionamento do mesmo edifício; otimização térmica envolvente; aumento da área de captação de ganhos solares na fachada Sul; dispositivos de sombreamento exteriores nos vãos orientados a Sul; iluminação natural; entre outros grandes benefícios (GONÇALVES; AELENEI; RODRIGUES, 2012).

Na Grécia, Balaras et al. (2007), formulou uma metodologia para os edifícios residenciais, com a finalidade de reduzir às emissões de CO<sub>2</sub> dos mesmos. Durante o trabalho, pôde-se observar que as medidas que mais contribuem para a redução proposta são: o isolamento térmico das paredes exteriores, obtendo-se uma redução de 33% a 60% da energia de aquecimento; a instalação de coletores solares para a produção de água quente sanitária, obtendo-se uma redução por volta de 50 a 80% da energia consumida para o aquecimento de água; a utilização de sombreamento exterior, com uma redução de 10 a 20% da energia de aquecimento; a instalação de vidros duplos, com redução em torno de 14 a 20% da energia de aquecimento e por fim o emprego de lâmpadas mais eficientes, obtendo assim uma redução de 60% na energia de iluminação.

Já o trabalho de Fonseca (2007) propôs a concepção de uma habitação unifamiliar, com base na arquitetura bioclimática e das boas normas de construção, tendo como inovação o uso de energias renováveis. Neste mesmo caso, assumiu-se ainda que o balanço entre a energia consumida em um ano e a energia produzida neste mesmo ano fosse igual a zero e que suas emissões de CO<sub>2</sub> fossem nulas. A habitação proposta era equipada com um sistema de coletores solares térmicos de água quente sanitária e um sistema de coletores fotovoltaicos para a produção da energia elétrica necessária para alimentar os equipamentos e dispositivos de iluminação, o sistema de climatização e o sistema de apoio à produção de água sanitária quente. O autor obtém resultados técnicos e economicamente favoráveis, demonstrando que mesmo na época este tipo de tecnologia já se tornara viável.

Um projeto denominado “*Towards Net Zero Energy Solar Buildings*” do *Solar*

*Heating & Cooling Programme*, que é um programa da *International Energy Agency* (IEA), com participação de vários países da Europa, Estados Unidos da América, Canadá e Nova Zelândia, foi implementado em 2008 com o intuito de estudar os edifícios energia zero, quase energia zero e os edifícios com baixo consumo de energia desenvolvidos na época, a fim de prover um entendimento comum e global de definições, ferramentas, soluções inovadoras e produção industrial. Este estudo levantou cerca de 30 edifícios de elevado desempenho energético com características nZEBs, residenciais e não residenciais e em climas diferenciados onde se descreveram as soluções técnicas aconselhadas, os custos específicos da construção destes edifícios, as metas de desempenho energético definidas para cada um, e monitorizações de desempenho real, para aferir desvios relativamente à concepção inicial e corrigir os consumos de energia com a experiências adquiridas com o funcionamento dos edifícios (LAUSTSEN, 2008).

Um trabalho realizado no Brasil, publicado em 2009, e que merece destaque foi o Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), resultado de uma parceria do Inmetro e do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) (PROCEL, 2010). Este Regulamento Técnico estabeleceu os parâmetros para a definição do nível de eficiência energética de um edifício e posterior fornecimento da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). Esse trabalho surge como modo de atender à Lei nº 10.295 (BRASIL, 2001a), a primeira lei de eficiência energética no Brasil, que discorre sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e que foi regulamentada por meio do Decreto nº 4.059, de 19 de outubro de 2001 (BRASIL, 2001b). Esse Decreto foi responsável pela criação do “Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética – CGIEE” e, tornando ainda mais específica essa discussão sobre as edificações, o “Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações Construídas no Brasil”, em busca do uso racional de energia elétrica.

Com a Resolução Normativa nº 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em abril de 2012, o Brasil obteve um grande avanço em relação às possibilidades de Net Zeros. A resolução estabelece as condições gerais para o sistema de compensação de energia elétrica, onde a energia ativa injetada por unidade consumidora com micro ou mini geração distribuída é entregue, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e subsequentemente compensada, com o consumo de energia elétrica ativa (ANEEL, 2012).

Um estudo interessante é apresentado por Pacheco (2013), o qual aponta que as residências unifamiliares apresentam condições técnicas ótimas para a implantação de uma edificação de energia zero com o potencial de proteger os cidadãos privados dos efeitos do aumento do custo de energia. O autor utiliza duas filosofias distintas para o alcance do conforto térmico, avaliadas por meios de simulações termoenergéticas computacionais para aplicações referentes às cidades brasileiras de Belém e de Curitiba. Um sistema é baseado na climatização artificial do ar e no superisolamento, isolando os usuários do ambiente exterior, mais indicado para climas frios, e o segundo é fundamentado na otimização da ventilação natural e no uso do modelo adaptativo de conforto térmico da Standart 55 (ASHRAE, 2010) em contato com o meio externo.

Um dos preceitos de um edifício de alto desempenho energético é a redução do consumo de energia primária da edificação. Este preceito pode ser alcançado quando se trabalha o conceito de *Passivhaus*, um padrão de construção de baixo consumo de energia desenvolvido em 1988, na Alemanha, por Bo Adamson e Wolfgang Feist. Em seu trabalho Dalbem, Freitas & Cunha (2015) propõem uma edificação residencial que atende aos padrões de uma *Passivhaus* adaptada ao clima brasileiro, utilizando alternativas compositivas e tecnológicas observando a definição de equipamentos e sistemas aprimorados para a implementação no sul do Brasil, demonstrando que este tipo de conceito já pode ser desenvolvido em algumas partes do país, principalmente na região sul que possui um clima frio, com resultados satisfatórios.

O trabalho Aguiar (2017) propõe a exploração do desempenho energético do sistema de climatização do Edifício Sede da Polícia Federal, um prédio público comercial localizado na cidade de Brasília, DF. A autora realiza a análise da envoltória e do sistema de condicionamento de ar da edificação e analisa o nível de eficiência energética da edificação.

#### **1.4. METODOLOGIA**

A metodologia utilizada constituiu-se, sobretudo, na proposta de um sistema de geração fotovoltaico em um edifício público comercial, analisado no trabalho de Aguiar (2017), mediante um estudo mais detalhado da eficiência energética da edificação, com propostas de modificações em sua envoltória, realização de simulações termoenergéticas, além do dimensionamento otimizado do sistema fotovoltaico.

O estudo teve início com uma apresentação do tema e sua contextualização dentro da conjectura atual, com o objetivo de demonstrar a relevância do tema proposto. Por conseguinte, realizou-se uma revisão bibliográfica da literatura visando mostrar aspectos teóricos que regem a eficiência energética na concepção de edificações e aspectos concernentes à geração de energia fotovoltaica.

Em seguida, realizou-se a apresentação do estudo de caso e suas especificações, juntamente aos aspectos gerais do trabalho desenvolvido por Aguiar (2017), visando dar contexto ao presente relatório.

Diante das diretrizes de projeto propostas, analisou-se as conformidades energéticas do edifício modelado, de acordo com as normas técnicas vigentes, sendo proposta uma atualização em parâmetros de envoltória, cargas internas e por consequente consumo de energia elétrica. Para tal, foi realizada uma simulação termoenergética por meio do software *EnergyPlus*, com o intuito de comprovar e melhor analisar o novo consumo energético.

Por fim, ao se alcançar o novo consumo de energia elétrica, realizou-se o dimensionamento de um sistema fotovoltaico, por meio do software *PVSystem*. Neste sentido, o objetivo geral de abastecer a edificação com um sistema de geração de energia fotovoltaica eficiente foi alcançado.

## **1.5. ESTRUTURA DO RELATÓRIO**

O trabalho está estruturado em seis capítulos e apêndices ao final, de modo que cada capítulo destaca uma etapa do estudo necessária para a proposta final da habitação unifamiliar proposta.

O capítulo 1 aborda uma perspectiva geral sobre o problema proposto e sua importância, apresentando uma revisão bibliográfica sobre eficiência energética, edificações eficientes, parâmetros regulamentares de eficiência energética predial, utilização da geração fotovoltaica como fonte de energia principal dessas edificações, bem como os objetivos e metodologia utilizada.

O capítulo 2 contém uma revisão de conceitos teóricos referentes às leis da termodinâmica, que regem os princípios de edificações eficientes, assim como conceitos e soluções já empregadas em edificações eficientes, por fim traz com maiores detalhes as propriedades da geração solar fotovoltaica, bem como suas perspectivas no Brasil e no mundo destacando-se as principais características desse sistema e dos elementos que o constituem.

O capítulo 3 apresenta o sistema atual a ser estudado, que consiste no Edifício Sede da Polícia Federal na localidade de Brasília-DF, bem como as principais características físicas, arquitetônicas e de funcionamento do edifício conforme analisado por Aguiar (2017).

O capítulo 4 exibe uma análise crítica do conceito inicial do edifício sob o ponto energético, apresentando uma proposta de nova modelagem, incluindo modificações em seus parâmetros arquitetônicos e de funcionamento de sistemas e de ocupação. Expõe também, as ferramentas de simulação adotadas, juntamente a uma explicação dos parâmetros de funcionamento do software. Ademais, são demonstrados os parâmetros adotados para a simulação do consumo energético anual proposto.

O capítulo 5 apresenta os resultados da simulação termoenergética realizada, uma apresentação do software utilizado para a simulação do sistema de geração fotovoltaica, assim como os resultados obtidos, as características do sistema e uma análise da proposta final.

As conclusões finais e propostas para trabalhos futuros estão dispostas no último capítulo.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

*Esta parte apresenta uma abordagem dos conceitos concernentes às edificações eficientes e uma breve discussão das estratégias e tecnologias aplicáveis a este tipo de edifícios.*

### 2.1. LEIS DA TERMODINÂMICA

A primeira lei da termodinâmica, também conhecida como princípio da conservação, conforme Çengel (2009) estabelece que “a energia não pode ser criada nem destruída durante um processo; pode apenas mudar de forma”. O que significa que em um sistema durante um processo a diferença de energia total líquida é equivalente à diferença entre a energia recebida e a energia rejeitada pelo sistema durante esse processo.

Desta forma, temos:

$$\left( \begin{array}{c} \text{Energia} \\ \text{total na entrada} \\ \text{do sistema} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{c} \text{Energia} \\ \text{total na saída} \\ \text{do sistema} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{Mudança de} \\ \text{energia total} \\ \text{no sistema} \end{array} \right) \quad (2.1-1)$$

Pode-se notar que a energia pode ser transferida para o sistema ou do sistema por meio de calor, trabalho e fluxo de massa, e que a energia total de um sistema simples é a soma das energias interna, cinética e potencia, e o seu balanço de energia para qualquer sistema sofrendo qualquer tipo de processo como:

$$E_{entra} - E_{sai} = \Delta E \quad (J) \quad (2.1-2)$$

ou na forma de taxas, como:

$$\dot{E}_{entra} - \dot{E}_{sai} = \frac{dE_{sistema}}{dt} \quad (W) \quad (2.1-3)$$

No caso de ausência de efeitos consideráveis de eletricidade, magnetismo, movimento, gravidade e tensão superficial, ou seja, para sistemas compressíveis simples e estacionários, a variação da energia total do sistema durante um processo reduz-se a mudança de sua energia interna (ÇENGEL, 2009). Portanto, o sistema é modelado como apresentado na Equação 2.1-4.

$$\Delta E_{sistema} = \Delta U_{sistema} \quad (2.1-4)$$

A formulação geral da Primeira Lei da Termodinâmica reconhece que uma variação na energia interna de um sistema pode ser acompanhada por uma troca de calor, uma realização de trabalho, ou a combinação dos dois fatores, como se pode observar na Equação 2.1-5 abaixo.

$$\Delta U_{sistema} = Q + W \quad (2.1-5)$$

Sendo,

$\Delta U$  = variação de energia interna do sistema

$Q$  = quantidade líquida de calor adicionada ao sistema

$W$  = trabalho realizado pelo sistema

Além da variação de energia interna, calor e trabalho trocados podem acarretar em variações de energia potencial gravitacional, energia cinética do sistema, assim como as energias dos fluxos mássicos afluentes e efluentes, sendo possível obter a seguinte expressão:

$$\begin{aligned} \frac{dE_{sistema}}{dt} = & Q - W_{eixo} + m_e \left( u_e + P_e V_e + \frac{V_e^2}{2} + g z_e \right) \\ & - m_s \left( u_s + P_s V_s + \frac{V_s^2}{2} + g z_s \right) \end{aligned} \quad (2.1-6)$$

Para a Termodinâmica clássica de fluidos, em sua grande maioria de aplicações, os termos de energia cinética e potencial tornam-se desprezíveis. Essa abordagem é

extremamente utilizada e constitui uma parte essencial para o estudo da termodinâmica e suas diretrizes (ÇENGEL et al., 2013).

A primeira lei da termodinâmica aborda uma restrição quantitativa no processo de conversão de energia. As transformações podem alterar a forma, porém não alteram a quantidade de energia. A segunda lei impõe limites sobre os processos de conversão de calor em trabalho.

A segunda lei trata da quantidade de trabalho que pode ser obtida nos processos de transformação de energia. Enquanto a energia é transformada, é possível realizar trabalho útil, como resultado parcial da mudança de forma de energia. O resultado da segunda lei é que a completa conversão de calor em trabalho é impossível. Entretanto, não existe nenhuma objeção em converter qualquer quantidade de trabalho em calor.

Há dois enunciados clássicos da Segunda Lei da Termodinâmica – o enunciado de Kelvin-Planck, o qual é orientado à máquinas térmicas, e o enunciado de Clausius, relacionado a refrigeradores e bombas de calor.

## **2.2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PREDIAL**

Omer (2007) relaciona o conceito de eficiência energética com o fornecimento das condições ambientais adequadas ao usuário com o consumo de energia mínimo. As medidas empregadas para melhorar o desempenho energético em edificações podem ser classificadas em aquelas que estão relacionadas imediatamente com a envoltória do edifício, como no caso dos elementos de construção e, aqueles relacionados com a operação dos sistemas de energia usados para aquecimentos, arrefecimento, ventilação, abastecimento de água e afins.

A concepção de um edifício eficiente requer conhecimentos especializados, colaboração e integração de todos os envolvidos. Este trabalho constitui uma atividade multidisciplinar que busca o alcance da melhor integração de seus sistemas e componentes. A concepção de tal projeto exige um conhecimento de cada detalhe como, por exemplo, o clima local, a envoltória do edifício, bem como a escolha por inúmeras estratégias passivas como a melhor disposição de espaços, o uso de elementos arquitetônicos que permitam a utilização otimizada de fatores naturais como luz, calor, frio, ventos, a utilização de equipamentos

eficientes, de uma iluminação elétrica também eficiente, dentre vários outros aspectos que devem ser analisados ao se conceber edifícios como esse (BRAJAL, 2012; TEIXEIRA, 2015).

Um projeto de uma edificação segundo este conceito envolve várias áreas do conhecimento que devem se integrar no projeto, as estratégias e tecnologias adotadas em sua concepção visam a otimização da interação dos diversos aspectos desde suas características arquitetônicas com as fontes de energia renováveis e as condições climáticas do local a ser implementado, sem interferir no conforto térmico do ambiente interior.

O projeto desse tipo de edifício não deve ser limitado apenas pela implementação de fontes de energia renováveis como forma de atender o consumo energético do edifício. O seu desempenho energético depende fundamentalmente de dois pressupostos, a redução do consumo energético do edifício com a otimização através de medidas passivas e a produção de energia elétrica ou outros tipos de energia a partir de fonte de energia renováveis (GONÇALO, 2012).

### **2.2.1. ESTRATÉGIAS PASSIVAS**

#### **a) Forma do Edifício**

A forma do edifício é uma grande responsável pela transferência de calor para o ambiente exterior do calor gerado no interior, este fenômeno é uma das variantes do denominado fluxo térmico. Quanto maior seja a superfície (S) envolvente do volume (V), maior será a transferência de calor realizada. Em relação à eficiência energética, quanto menor for o fator de forma (FF) do edifício, o qual é representado pela relação entre a superfície e o seu volume, maior será sua eficiência (BRAJAL, 2012).

#### **b) Localização e Orientação**

A escolha da localização e da orientação do edifício conforme as condições de zona climática é uma medida importante, pois a uma orientação correta deve ser feita em função do percurso solar, otimizando assim o ganho da energia do sol como fonte de conforto térmico e luminoso.

Algumas vezes não se é possível determinar a orientação do edifício durante o projeto, principalmente onde se estabelecem em áreas urbanas já consolidadas, já que a disposição geral do plano urbano já foi definida anteriormente. Para estes casos, é de extrema

importância levar-se em consideração a incidência dos raios solares em todas as orientações existentes de uma forma que o conforto dos espaços interiores seja otimizado (GANHÃO, 2011).

#### **c) Vãos envidraçados**

As superfícies envidraçadas constituem grande parte da envoltória dos edifícios comerciais e residenciais, sendo assim, desempenham funções importantes na eficiência energética destes. Contribuem significativamente nos ganhos solares em termos de calor, bem como para a dissipação do calor, influenciando então os sistemas de aquecimento e arrefecimento do edifício.

O dimensionamento adequado das áreas envidraçadas em função da orientação solar é um fator que contribui de maneira significativa para o conforto térmico das habitações, porém existem outros fatores que influenciam neste dimensionamento, como por exemplo, o tipo do envidraçado e a qualidade da caixilharia.

#### **d) Sombreamento**

Os elementos que compõem o dimensionamento funcionam conforme uma proteção aplicada pelo exterior ou interior dos vãos envidraçados, utilizados como modo de reduzir e/ou controlar a incidência da radiação solar, evitando ao máximo ganhos térmicos indesejáveis. Estes elementos de sombreamento podem ser classificados em fixos, como é o caso de palas, e amovíveis, como estores, portadas e toldos (GANHÃO, 2011).

#### **e) Ventilação Natural**

Este fenômeno contribui para a otimização do conforto e da qualidade do ar no ambiente interno das habitações. A ventilação natural é um fenômeno que acontece quando há uma diferença de temperatura entre a fachada mais fresca e a fachada mais quente da envoltória, devido a pressão causada pela ação do vento. O ar quente, sob ação da pressão, tende a subir e arrastar o vento frio, conseqüentemente ocorre uma ventilação advinda da diferença de temperatura entre as divisões (ARRIFANO, 2009).

#### **f) Características da envolvente opaca**

A envoltória é o ponto inicial para o alcance da eficiência energética, condicionando a quantidade de energia para ventilar, aquecer e arrefecer um edifício. Por esses motivos é considerado o aspecto mais crítico na concepção de um edifício eficiente.

A envolvente opaca do edifício corresponde às paredes, coberturas e pavimentos que compõem a sua estrutura. A transmissão do calor por condução através da envolvente depende do tipo de material utilizado, sendo importante a avaliação do poder isolante e sua contribuição para a inércia térmica da habitação (GANHÃO, 2011).

## 2.2.2. FORNECIMENTO DE ENERGIA

Em edificações eficientes é de grande relevância a utilização de fontes de energia renováveis, em substituição às energias provenientes de combustíveis fósseis. Estas implementações devem ser um ponto estratégico para a segurança do abastecimento, para o crescimento econômico e para a criação de novos postos de trabalho.

As tecnologias para a produção de energia térmica e de energia elétrica por meio de fontes renováveis em edificações podem ser facilmente integradas de forma eficiente, principalmente se forem avaliadas logo na fase de projeto do edifício. Na concepção de uma construção deste modelo a prioridade de instalação, sempre que possível, é das energias geradas no local, ou seja, energias on-site. Se necessário, após esta instalação, pode-se recorrer à compra de energia advinda de outros locais, desde que esta seja proveniente de uma fonte renovável, neste caso ela é denominada como energia off-site.

Torcellini (2006) apresenta uma hierarquia, conforme a Tabela 2.2-1, em que as opções de fornecimento de energia são priorizadas conforme três conceitos: 1- processos de transporte, transmissão e conversão livres de emissões de gases do efeito estufa, além de terem suas perdas reduzidas; 2- disponibilidade durante o tempo de vida do edifício; 3- soluções escaláveis e com elevado potencial de replicação para próximos edifícios eficientes.

**Tabela 2.2-1 – Hierarquia das opções de fontes renováveis para uso em edificações eficientes.**

<b>Número de Opção</b>	<b>Opções de locais de fornecimento de energia</b>	<b>Exemplos</b>
<b>0</b>	Reduzir consumo de energia por meio de tecnologias de baixo consumo de energia	Iluminação natural, sistemas de condicionamento de ar, equipamento de alta eficiência, ventilação natural,

resfriamento evaporativo.		
<b>Opções de Fornecimento <i>On-Site</i></b>		
<b>1</b>	Uso de fontes de energia disponíveis de energia dentro da implementação do edifício.	Sistema fotovoltaico, aquecimento solar de água e sistemas eólicos localizados na edificação.
<b>2</b>	Uso de fontes renováveis disponíveis dentro do terreno.	Sistema fotovoltaico, aquecimento solar de água, geração hidrelétrica de baixo impacto, sistema eólico localizado nas proximidades da edificação, mas fora do terreno.
<b>Opções de Fornecimento <i>Off-Site</i></b>		
<b>3</b>	Uso de fontes renováveis de energia disponíveis fora do terreno com o objetivo de gerar energia no terreno.	Biomassa, lenha, etanol ou biodiesel podem ser importados para fora do terreno ou subprodutos do terreno que podem ser processados no local para gerar eletricidade e calor.
<b>4</b>	Compra de energia renovável fora do terreno	Compra de energia gerada por sistemas eólicos, fotovoltaicos, crédito de carbono ou outras opções sustentáveis para compra de energia.

Fonte: Adaptado de Torcellini *et al.* (2006)

Desta forma, os sistemas de geração de energia renovável que podem ser utilizadas On-Site e serem capazes de satisfazer as necessidades do edifício são:

- Sistema Solar Térmico (SST) – utilizado na produção de águas quentes sanitárias (AQC) e no aquecimento da edificação;
- Sistema de Geração Fotovoltaico – utilizado para o fornecimento de energia elétrica;
- Sistema de Geração Eólico – utilizado para o fornecimento de energia elétrica.

### **2.3. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

A radiação solar é a principal força motriz para processos térmicos, dinâmicos e químicos na Terra. A energia advinda do Sol atinge a superfície propagando-se como energia radiante, também denominada radiação. Um campo de radiação tem como característica principal a radiância, ou intensidade de radiação, que é uma grandeza que aborda a quantidade de energia radiante em um intervalo de tempo unitário de comprimento de onda, que atravessa

uma unidade de área tomada perpendicularmente à direção considerada, na unidade de tempo. Ao se determinar a radiância, pode-se definir uma outra grandeza muito importante, chamada de densidade de fluxo de radiação, ou irradiância. Esta grandeza representa a quantidade de energia que passa através de um plano, na unidade de tempo e de área (MARTINS et al., 2004).

A radiação solar possui diversas componentes: a radiação solar direta,  $E_{dir}$ , proveniente do sol e que atinge a superfície da Terra sem nenhuma mudança de direção; a radiação difusa, que chega aos olhos de um observador por meio da difusão de moléculas de ar, partículas de pó,  $E_{dif}$ ; e a radiação refletida pela superfície terrestre,  $E_{ref}$ . Ao se somar todas estas componentes obtêm-se a radiação solar global, com é demonstrado pela Equação 2-3-1.

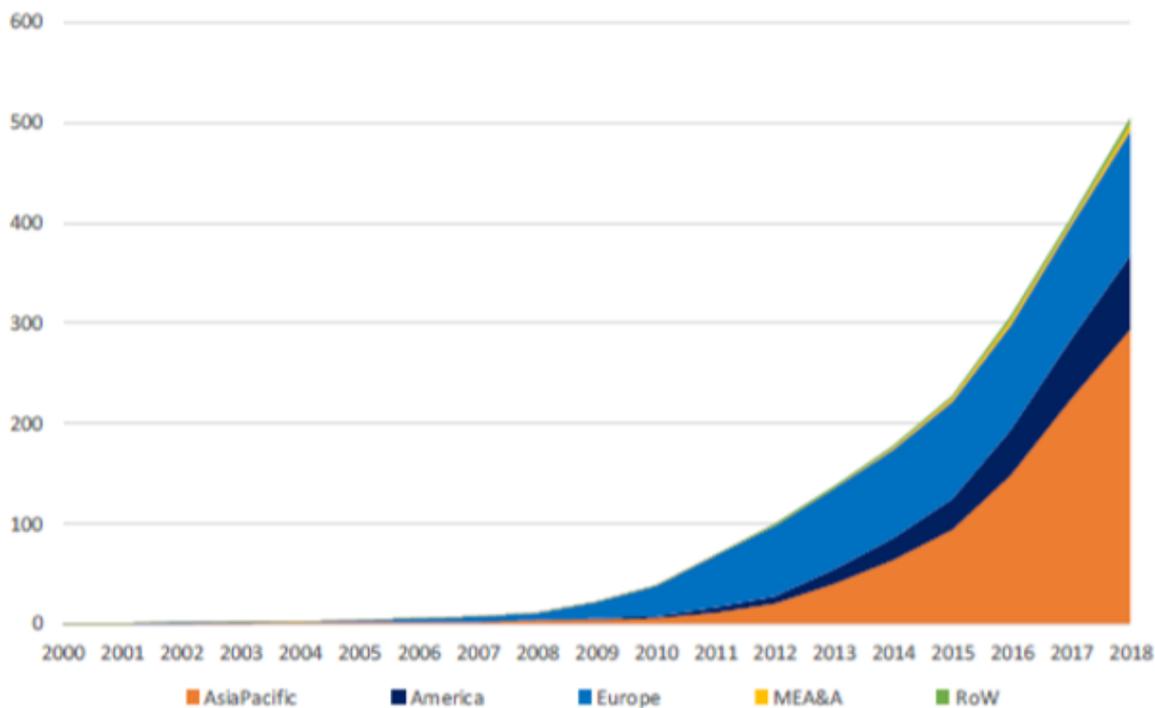
$$E_g = E_{dir} + E_{dif} + E_{ref} \quad (2.3-1)$$

Alguns fatores influenciam no alcance da radiação solar sobre a superfície terrestre, como a latitude, as condições atmosféricas, o horário e o dia do ano, devido à inclinação de  $23,5^\circ$  do eixo imaginário em torno do qual a terra gira diariamente, denominado movimento de rotação, e a trajetória elíptica que a terra percorre ao redor do sol, denominado movimento de translação (EPE, 2007).

A radiação que atinge a superfície da terra ao longo de um ano é suficiente para atender milhares de vezes o consumo anual de energia do planeta. Dentre as inúmeras aplicações da energia solar, a geração direta de eletricidade através do efeito fotovoltaico se apresenta como uma das mais nobres formas de gerar potência elétrica (RÜTHER, 2004).

### **2.3.1. CENÁRIO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

O mercado mundial dos sistemas fotovoltaicos cresceu exponencialmente a partir do ano de 2003, conforme a *International Energy Agency* (2019), atingindo a capacidade total instalada de 505 GWp em 2018, como é demonstrado na Figura 2.3-1. Só no ano de 2018, a capacidade instalada atingiu aproximadamente 100GWp, o que demonstra um grande interesse do mercado mundial em investimentos em solar fotovoltaicos (PVPS, 2019).



**Figura 2.3-1 – Evolução da Capacidade Instalada Mundial de Energia Solar Fotovoltaica até 2018 em GWp (PVPS, 2019).**

Ainda considerando o ano de 2018 o grande destaque cabe a China com 45,0 GW de potência instalada, totalizando 176,1 GW de potência acumulada. Logo em seguida, os Estados Unidos detém a maior capacidade acumulada de 62,2GW, seguido de Japão e Alemanha. Cabe ainda ressaltar a participação da Índia como segunda detentora da maior capacidade de potência instalada com 10,8 GW, como mostra a Figura 2.3-2.

**TABLE 1: TOP 10 COUNTRIES FOR INSTALLATIONS AND TOTAL INSTALLED CAPACITY IN 2018**

FOR ANNUAL INSTALLED CAPACITY				FOR CUMULATIVE CAPACITY			
1		China	45,0 GW	1		China	176,1 GW
2		India	10,8 GW	2		USA	62,2 GW
3		USA	10,6 GW	3		Japan	56,0 GW
4		Japan	6,5 GW	4		Germany	45,4 GW
5		Australia	3,8 GW	5		India	32,9 GW
6		Germany	3,0 GW	6		Italy	20,1 GW
7		Mexico	2,7 GW	7		UK	13,0 GW
8		Korea	2,0 GW	8		Australia	11,3 GW
9		Turkey	1,6 GW	9		France	9,0 GW
10		Netherlands	1,3 GW	10		Korea	7,9 GW

**Figura 2.3-2 – Geração Instalada e Capacidade de Potência Acumulada Solar Mundial – 2018 (PVPS, 2018).**

O Brasil possuía ao final do ano de 2018 uma capacidade de 1,2 GW instalados, totalizando 2,4 GW de capacidade instalada. Colocando assim, o país no ranking mundial de potência instalada solar fotovoltaica adicionada em 2018 (PVPS, 2018).

Com relação ao comparativo com outros países, mesmo admitindo a necessidade de avanço brasileiro com relação à utilização da fonte solar, cabe ressaltar que diferentemente dos países líderes em produção mundial, onde a matriz energética é predominantemente dependente de combustíveis fósseis, a matriz energética brasileira é baseada em fontes renováveis, com destaque para a hidráulica, o que certamente dificultou, no início, as políticas de incentivo à fonte solar, sendo hoje essas dificuldades ultrapassadas diariamente.

Conforme a tabela apresentada na Figura 2.3-2, é possível observar uma nova tendência de expansão e aproveitamento da energia solar mundial, devido à significativa diminuição da participação dos países europeus e o grande destaque dos países asiáticos, como a China e o Japão, que lideraram a instalação de painéis fotovoltaicos nos últimos anos.

De acordo com o Banco de Informações de Geração (BIG), atualizado pela ANEEL, do total de empreendimentos de geração de energia em operação, correspondentes a 165,46 GW, apenas 1,25%, ou algo próximo de 2.074 MW, correspondem à geração por centrais geradoras solares fotovoltaicas (ANEEL, 2019). A figura abaixo realça como a energia solar fotovoltaica ainda é pouco expressiva em nossa matriz.

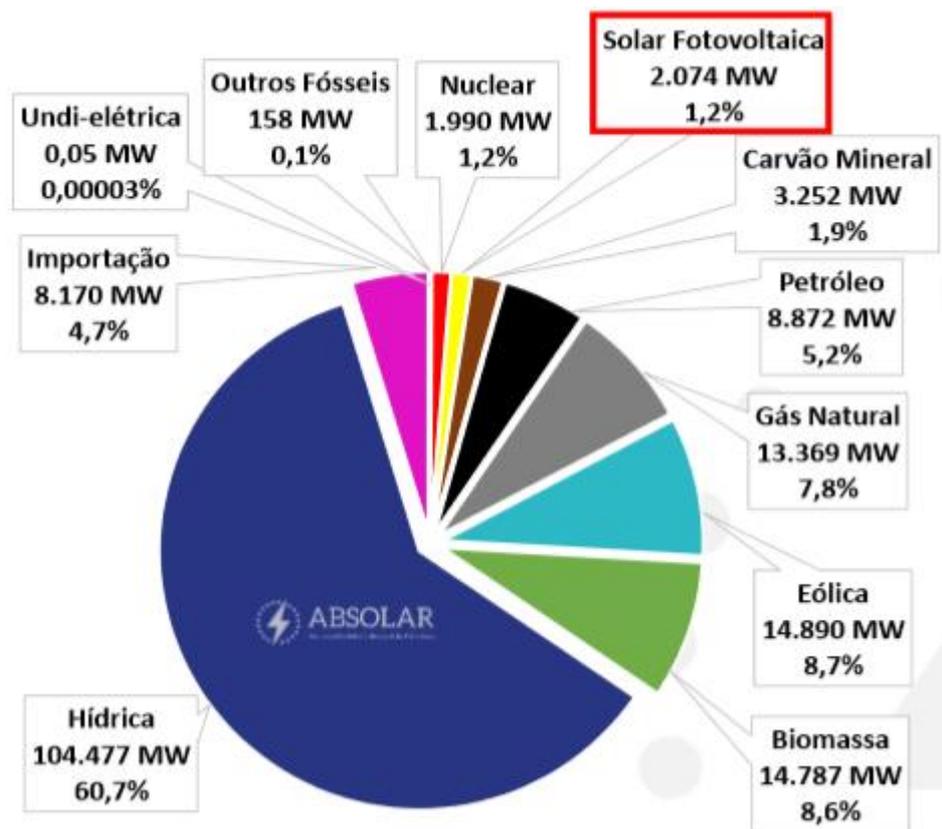


Figura 2.3-3 – Matriz de energia elétrica brasileira: Potência Instalada em Operação (MW) (ANEEL, 2019).

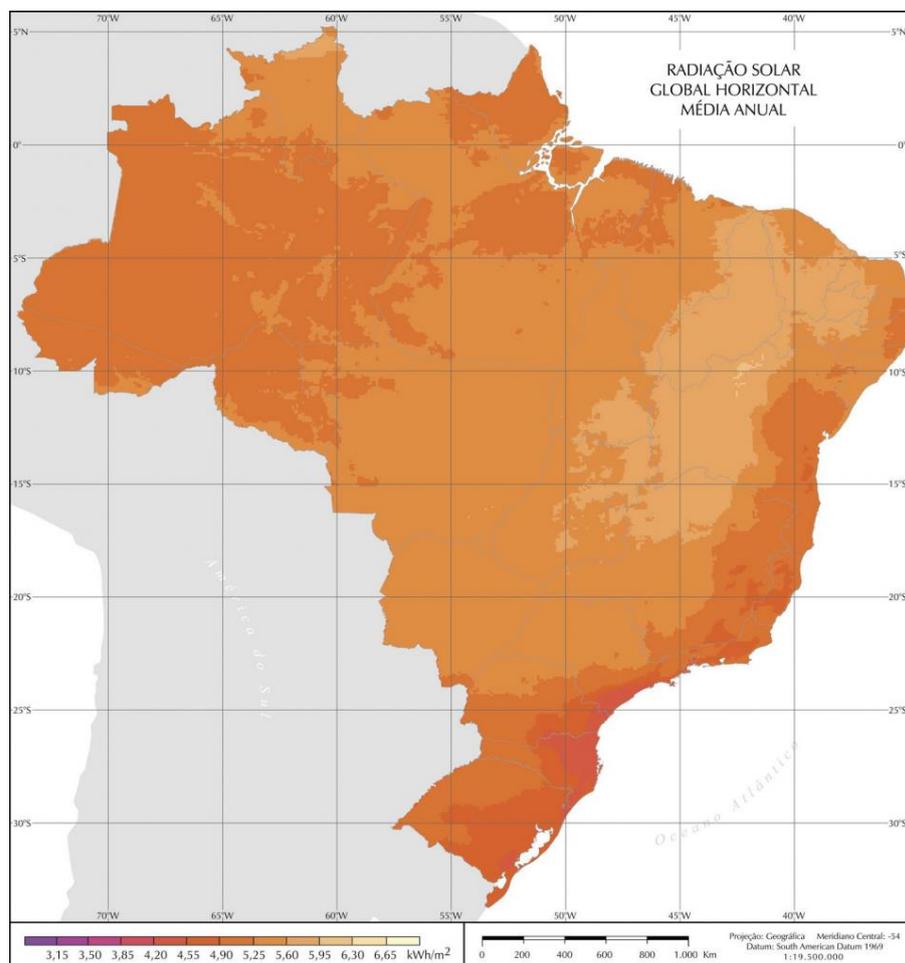
Em um cenário moderado dimensionado pela Agência Internacional de Energia (IEA), a energia solar poderá ser responsável por cerca de 11% da oferta mundial de energia elétrica em 2050, o que resultaria em algo em torno de 5.000 TWh. A área coberta pelas instalações alcançaria de 8 mil km<sup>2</sup> (300 W/m<sup>2</sup> e FC de 25%), equivalente a um quadrado de 90 km de lado (PVPS, 2018).

### 2.3.2. RECURSO SOLAR NO BRASIL E NO DF

A média diária de irradiação solar ao longo de praticamente todo território do Brasil é em torno de 5kWh/m<sup>2</sup>.dia. As regiões centro-oeste e nordeste do país são as mais atingidas em termos de irradiação solar e o Distrito Federal apresenta um dos melhores níveis de irradiação do país (TIBA, 2000).

Segundo Pereira (2006), a média anual de irradiação global retrata uma boa uniformidade no território brasileiro, com médias relativamente altas em todo o país. . A Figura 2.3-4 mostra a média anual da radiação solar global que incide sobre o país. Os valores

de irradiação solar global incidente em qualquer região (1500 – 2500 Wh/m<sup>2</sup>) são superiores em sua maioria as dos países europeus, como Alemanha (900 – 1250 Wh/m<sup>2</sup>), França (900 – 1650 Wh/m<sup>2</sup>) e Espanha (1200 – 1850 Wh/m<sup>2</sup>), locais estes onde se há um grande investimento em sistemas de aproveitamento solar.



**Figura 2.3-4 – Média anual da radiação solar global horizontal no Brasil (PEREIRA *et al.*, 2006).**

Ao analisar o mapa do Atlas Brasileiro de Energia Solar comprova-se que a média de irradiação global diária do Distrito Federal (DF) situa-se em torno de 5,25kWh/m<sup>2</sup> e 5,95 kWh/m<sup>2</sup> (PEREIRA *et al.*, 2006). Pode-se observar também que a temperatura média do ar é em torno de 23,84°C, uma temperatura média inferior à da região Nordeste, e seus índices de nebulosidade e pluviometria são baixos. Tais parâmetros são favoráveis à implementação e ao bom desempenho de sistemas de geração solar fotovoltaica.

### 2.3.3. ÂNGULOS DA GEOMETRIA SOLAR

Ao se elaborar um projeto de sistema solar fotovoltaico, é necessário levar em consideração, antes de tudo, se o recurso solar disponível é o mais adequado ou suficiente para a geração demandada. Entretanto, é essencial o entendimento de como a irradiação solar é aproveitada pelos módulos fotovoltaicos, o que inclui a compreensão sobre os ângulos solares.

O primeiro conceito a ser analisado é que o sol nasce a leste e se põe a oeste, elevando no céu. Essa elevação é maior ou menor conforme a época do ano. A Terra se movimenta em uma órbita elíptica em torno do sol e seu eixo de rotação forma um ângulo de  $23,5^\circ$  com a normal do plano da elipse de sua órbita. Esse é o ângulo responsável pelas durações dos dias e das noites nas diferentes estações do ano, é também incumbido pela variação da elevação do sol no horizonte à mesma hora, ao longo dos períodos do ano (SOUZA, 2016).

A posição angular do sol ao meio dia solar, em relação ao plano do Equador (Norte positivo) é denominada **Declinação Solar** ( $\delta$ ) - Figura 2.3-5 . A declinação difere de acordo com o dia do ano dentro do limite de  $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$ , sendo positivo ao Norte e negativo ao Sul (PINHO et al., 2014):

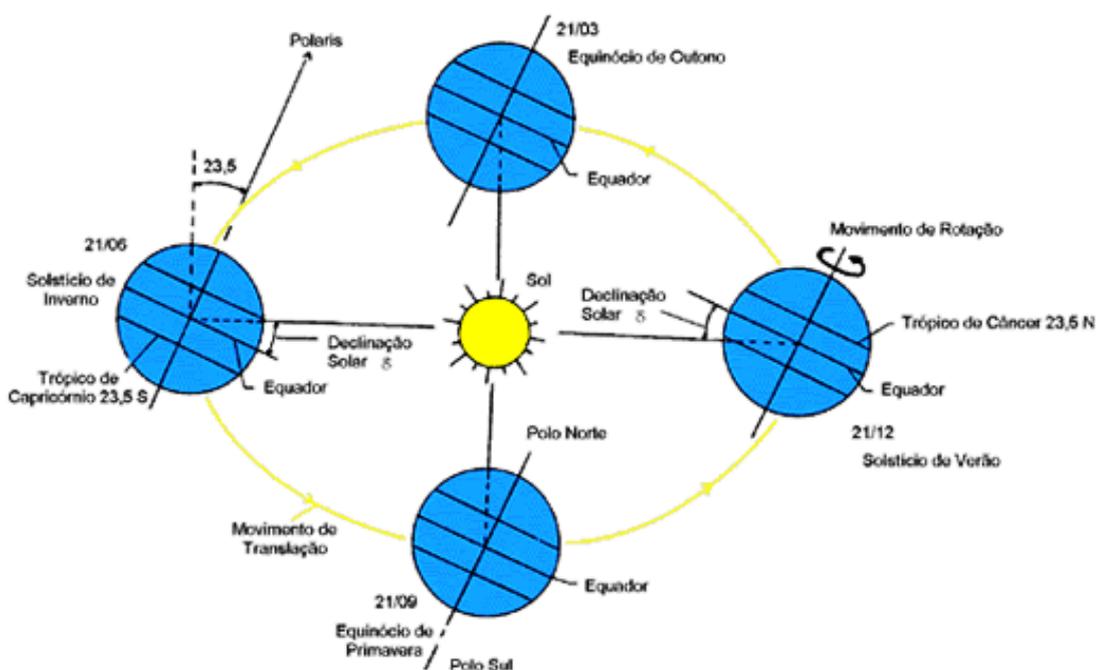


Figura 2.3-5 – Declinação solar e estações do ano (SOUZA, 2016).

A soma da declinação com a latitude de certo local determina a trajetória do movimento aparente do Sol em um dia determinado. As relações geométricas entre os raios solares, que variam conforme o movimento aparente do Sol, e a superfície terrestre são descritas por meio de vários ângulos, conforme demonstrado na Figura 2.3-6. De acordo com Souza (2016) estes ângulos são definidos da seguinte forma:

- Ângulo de Incidência ( $\gamma$ ): é formado entre os raios do Sol e a normal à superfície da captação. Quanto menor for este ângulo, maior será a energia captada.
- Ângulo Azimutal de Superfície ( $a_w$ ): é o ângulo entre a projeção da normal à superfície do painel solar e a direção Norte-Sul. Para o hemisfério sul o azimute é o Norte e, desse modo, o deslocamento angular será a partir deste ponto cardinal, sendo positivo em sentido horário (leste) e negativo no sentido anti-horário (oeste). O ângulo azimutal de superfície encontra-se dentro de  $-180^\circ \leq a_w \leq 180^\circ$ . No âmbito internacional convencionou-se o azimute  $0^\circ$  como sendo o Sul, e o Norte possui ângulo azimutal de  $180^\circ$ .
- Ângulo Azimutal do Sol ( $a_s$ ): é o ângulo que se encontra entre a projeção dos raios solares no plano horizontal e a direção Norte-Sul. Possui as mesmas convenções do Ângulo Azimutal de Superfície.
- Altura Solar ( $\alpha$ ): ângulo entre os raios solares e sua projeção sobre um plano horizontal.
- Inclinação ( $\beta$ ): ângulo entre o painel solar e o plano horizontal.
- Ângulo Horário do Sol ou Hora Angular ( $\omega$ ): é considerado como o deslocamento angular do sol, no sentido Leste-Oeste, a partir do meridiano local, por conta do movimento de rotação da Terra. O planeta completa uma volta ( $360^\circ$ ) em torno de si durante um período de 24 horas. Logo, cada hora é correspondente a um deslocamento de  $15^\circ$ .
- Ângulo Zenital ( $\theta_z$ ): é o ângulo descrito entre os raios solares e a vertical (Zênite). O ângulo zenital é o inverso do ângulo de altura solar. O Sol só atinge o Zênite em localidades entre os trópicos (zona tropical). Fora desta região, em nenhuma localidade ocorrerá, ao meio dia solar, o ângulo zenital zero.

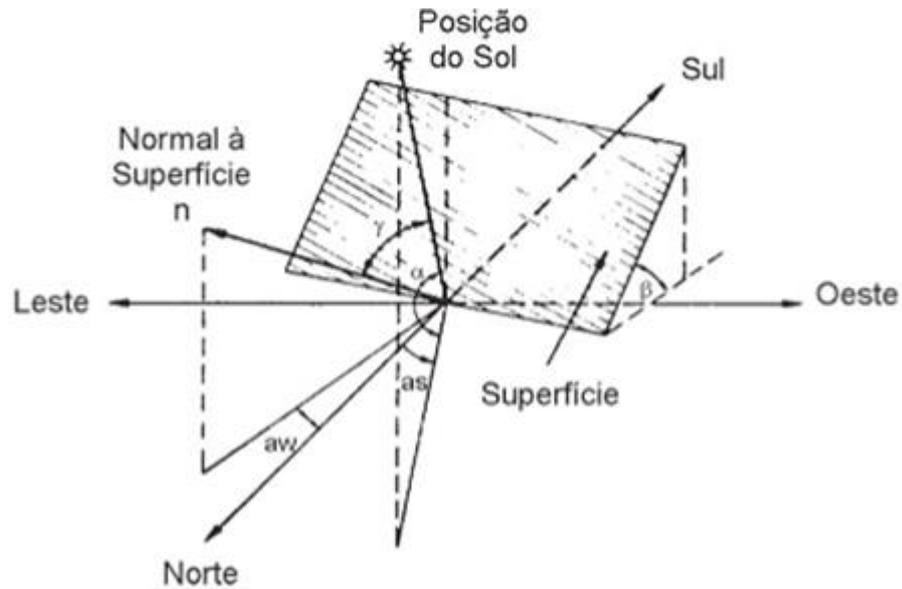


Figura 2.3-6 – Principais ângulos da geometria solar (SOUZA, 2016).

Os ângulos ( $\gamma$ ) e ( $\theta_z$ ) permitem o cálculo da componente direta da irradiância incidente normalmente a um plano horizontal ( $G_{d,h}$ ) ou qualquer superfície inclinada ( $G_{d,\beta}$ ), desde que se conheça a componente direta da irradiância incidente sobre a superfície (PINHO et al., 2014), conforme a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e a Figura 2.3-7.

$$\frac{G_{d,\beta}}{G_{d,h}} = \frac{G_d \cdot \cos\theta}{G_d \cdot \cos\theta_z} = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \quad (2.3-2)$$

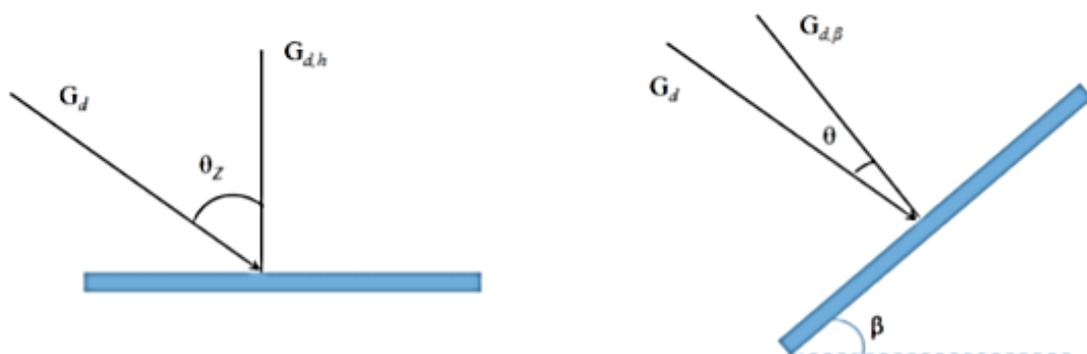


Figura 2.3-7 – Irradiância direta incidente sobre superfície horizontal e inclinada (PINHO et al., 2014).

É importante ressaltar que, em geral, para que os módulos de um arranjo fotovoltaico operem de um modo mais eficaz é recomendado que eles estejam orientados em direção à linha do equador. De modo que, para um sistema instalado em um local do hemisfério sul, a face das placas solares deve estar orientada para o Norte.

Para uma geração máxima é recomendado que os módulos possuam um ângulo de inclinação com relação à horizontal de um ângulo próximo ao da latitude local. Entretanto, pequenas variações de inclinação não resultam em grandes modificações na energia anualmente de modo que o ângulo de inclinação da placa pode variar em até 10° em torno da latitude do local instalado. Mais próximo ao Equador, o melhor posicionamento é o horizontal, sendo aplicada, no entanto, uma inclinação mínima de 10°, a fim de favorecer a drenagem de água na superfície externa do equipamento (PINHO et al., 2014).

#### **2.3.4. EFEITO FOTOVOLTAICO**

Na natureza existem materiais classificados como semicondutores, que são caracterizados por possuírem uma banda de valência preenchida por elétrons e uma banda de condução inteiramente “vazia” a temperaturas muito baixas. A separação entre as duas bandas de energia, denominada de *gap* de energia, é por volta de 1 eV.

Os semicondutores apresentam várias características especiais, como o aumento da sua condutividade com a temperatura, devido à excitação térmica dos elétrons da banda de valência para a banda de condução. Outra característica importante é a possibilidade de fótons, na faixa do visível e com energia suficiente, excitarem elétrons à banda de condução. Somente esse efeito, que acontece em semicondutores puros, chamados de intrínsecos (i), não confirma exatamente o funcionamento de células fotovoltaicas, devido que a maioria dos elétrons volta a se recombinar (SOUZA, 2016).

O semicondutor mais utilizado é o silício. Seus átomos são caracterizados por possuírem quatro elétrons de valência que se ligam aos vizinhos, para formarem uma configuração estável e, por conseguinte, uma rede cristalina. Neste caso, não se têm elétrons livres (SOUZA, 2016).

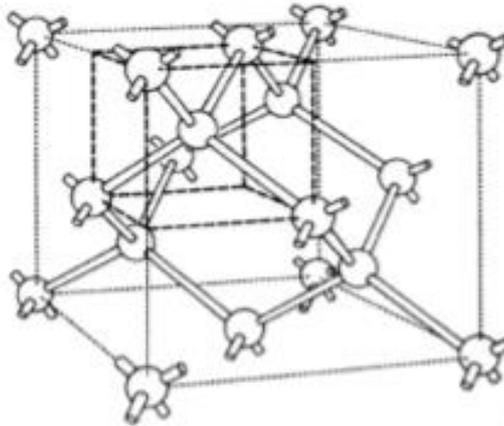


Figura 2.3-8 – Cristal de Silício Intrínseco (i) (SOUZA, 2016).

A fim de potencializar o efeito fotovoltaico, o cristal de silício é dopado com substâncias que modificam sua rede cristalina. Ao adicionarem-se átomos com cinco elétrons de ligação, como é o caso do fósforo ou do arsênio, haverá um elétron livre, o qual não poderá ser emparelhado e se tornará fracamente conectado ao seu átomo de origem. Este fato permitirá que com pouca energia térmica, esse elétron restante “salte” para a banda de condução. Diz-se então, que este tipo de impureza é uma doadora de elétrons, ou **dopante n** (SOUZA, 2016).

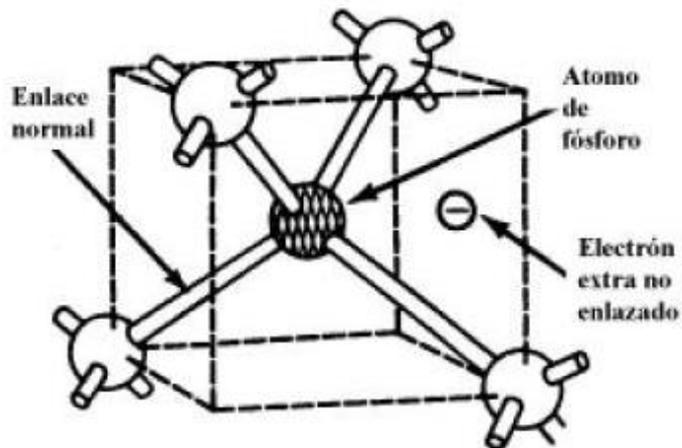


Figura 2.3-9 – Silício dopado com Fósforo (SOUZA, 2016).

Se por outro lado dopar-se o silício com matérias que contêm apenas três elétrons de ligação, como é o caso do boro e do alumínio, haverá a falta de um elétron para satisfazer as

ligações com os átomos de silício da rede. Este buraco reage como uma carga positiva, e ocorre, que com pouca energia térmica, um elétron de um sítio vizinho pode passar a ocupar esta região, fazendo com que o buraco se desloque. Esse tipo de impureza é denominado como **dopante p** (SOUZA, 2016).

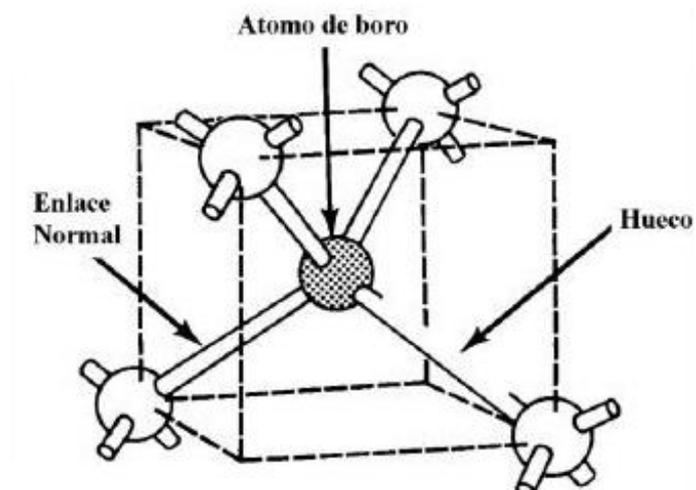


Figura 2.3-10 – Silício dopado com Boro (SOUZA, 2016).

Ao introduzirem-se em um silício puro os dois tipos de impurezas, forma-se então uma Junção P-N. O que ocorre nesta junção, é que os elétrons livres do semiconductor Tipo-N passam para ao lado p onde encontram os buracos do semiconductor Tipo-P, até que seja formado um campo elétrico que impeça a passagem permanente de elétrons do lado n para o lado p (SOUZA, 2016).

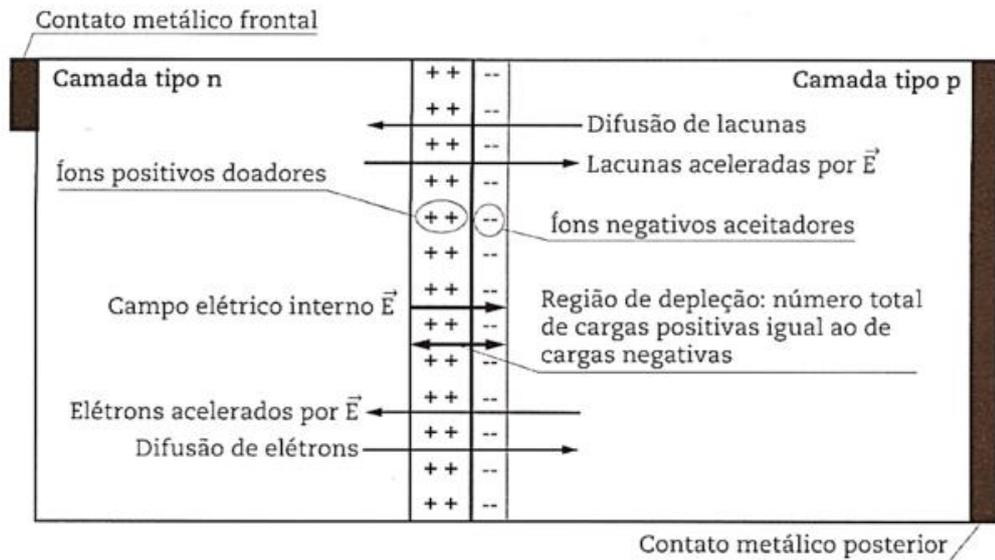


Figura 2.3-11 – Junção p-n com detalhe da difusão e da ação do campo elétrico interno sob elétrons e lacunas (LAMBERT, 2014).

Se a Junção P-N for exposta à radiação solar, os fótons, com energia maior que o gap, liberam mais pares de elétron-lacuna livres que uma corrente elétrica na área da junção. Este deslocamento de cargas gera uma diferença de potencial, à qual se chama **Efeito Fotovoltaico**. Se duas extremidades da “fração” de silício forem conectadas através de um fio, ocorrerá um fluxo de elétrons sobre ele. Este é o princípio de funcionamento das células fotovoltaicas (PINHO et al., 2014).

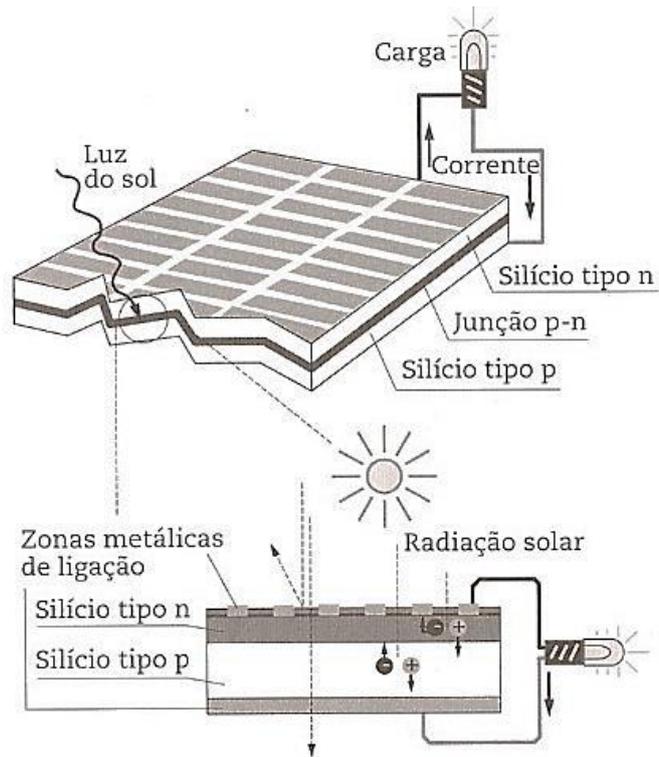


Figura 2.3-12 – Representação do processo de conversão fotovoltaica (LAMBERT, 2014).

Um fator limitante neste processo de conversão é o de que cada fóton só consegue excitar um elétron. Por isso, fótons com energia superior à energia do gap, ocasionam calor desnecessário, o que acarreta uma menor eficiência da célula fotovoltaica (PINHO et al., 2014).

### 2.3.5. SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema fotovoltaico é formado por painéis fotovoltaicos, controladores de carga, inversores, dispositivos para controle, proteção e supervisão, dispositivos para armazenamento de energia elétrica, fiação e estrutura de suporte (ABNT, 2013).

#### 2.3.5.1. CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS SEGUNDO A NBR 11704:2008

- a) Quanto à interligação com o sistema público de fornecimento de energia elétrica.

## I. Sistemas isolados ou autônomos:

São aqueles que não possuem qualquer conexão com o sistema público de fornecimento de energia elétrica, também chamados de off-grid. Um sistema fotovoltaico autônomo é concebido para alimentar um conjunto de cargas sem a presença de rede elétrica conectada, geralmente são utilizados em localidades onde o acesso à rede elétrica é difícil ou inexistente.

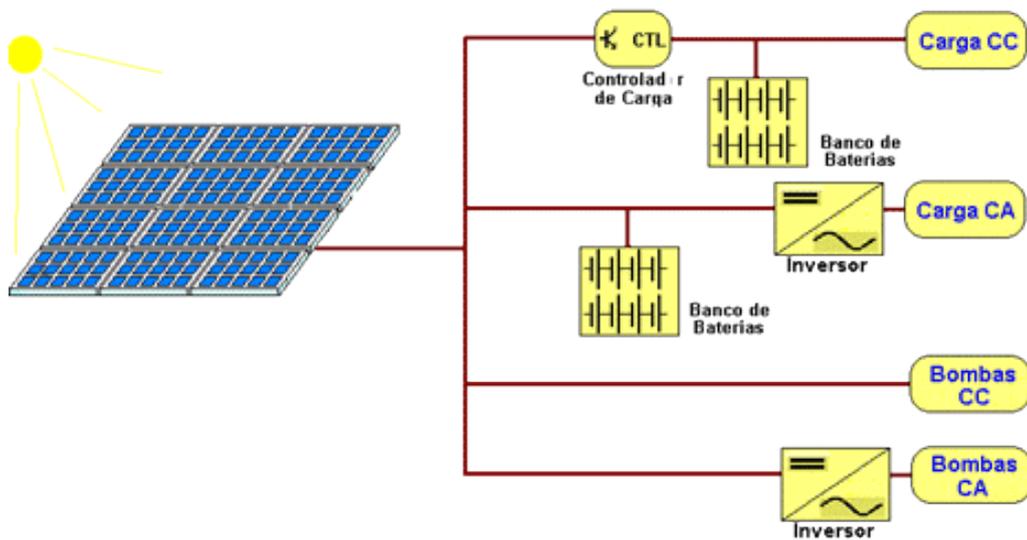


Figura 2.3-13 – Sistema Autônomo (TORRES e CAMARGO, 2015).

Em geral, este tipo de sistema possui os seguintes componentes:

- Painel Fotovoltaico;
- Banco de baterias;
- Controlador de carga/descarga das baterias;
- Inversor autônomo, para atender cargas em corrente alternada (CA);
- Cargas de corrente contínua ou corrente alternada.

## II. Sistemas conectados à rede elétrica:

São aqueles efetivamente conectados ao sistema público de fornecimento de energia elétrica, também conhecido como *on grid*. Este tipo de sistema dispensa o uso de um banco de baterias, pois toda a potência gerada pelo sistema fotovoltaico é consumida pelas cargas ou injetadas de modo direto na rede elétrica. O sistema é composto de painéis fotovoltaicos que entregam energia elétrica em corrente contínua a um inversor de frequência, que converte a corrente em corrente alternada, com frequência e tensão compatíveis com os valores da rede elétrica (GEHRING et al., 2015). Nestes sistemas ainda se utilizam medidores bidirecionais e o consumidor paga apenas a energia líquida recebida da rede pública.

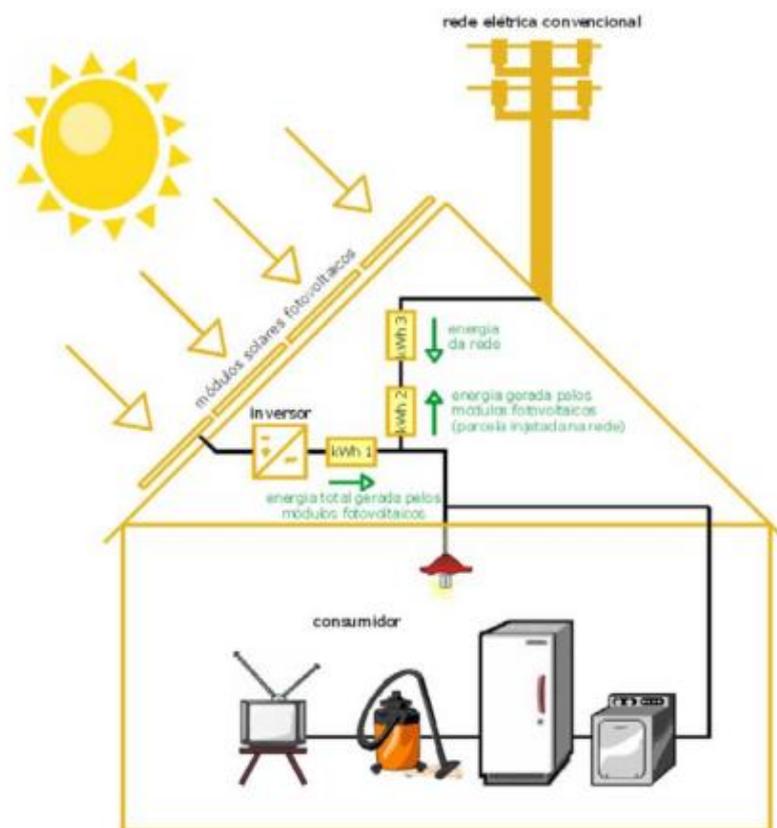


Figura 2.3-14 – Diagrama esquemático de sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (RÜTHER, 2004).

## **b) Quanto à configuração**

### **I. Sistemas puros:**

São aqueles que utilizam gerador fotovoltaico como o único gerador de energia elétrica. Devido ao fato de o sistema só gerar energia elétrica durante as horas de sol, os sistemas puros são compostos de acumuladores que armazenam a energia para períodos de abstenção de luz solar, o que acontece durante os períodos da noite, períodos chuvosos ou nublados. Os acumuladores devem ser dimensionados conforme a autonomia desejada, e essa condição pode variar de acordo com as condições climatológicas do local de implementação do sistema.

### **II. Sistemas híbridos:**

São aqueles que utilizam a associação do gerador fotovoltaico com outros tipos de geradores de energia elétrica. Estes sistemas possuem maior complexidade e carecem de algum tipo de controle capaz de integrar os vários geradores, de forma a otimizar a operação para o usuário do sistema. Existem assim, várias configurações possíveis de aplicação, como também, estratégias de uso de cada fonte de energia (PINHO et al., 2014).

## **2.3.5.2. COMPONENTES BÁSICOS**

Um sistema fotovoltaico integra-se de um conjunto de módulos em painéis fotovoltaicos e de outros elementos relativamente convencionais, que transformam ou armazenam a energia elétrica produzida, tendo como finalidade a melhor e mais simplificada utilização em suas várias aplicações finais.

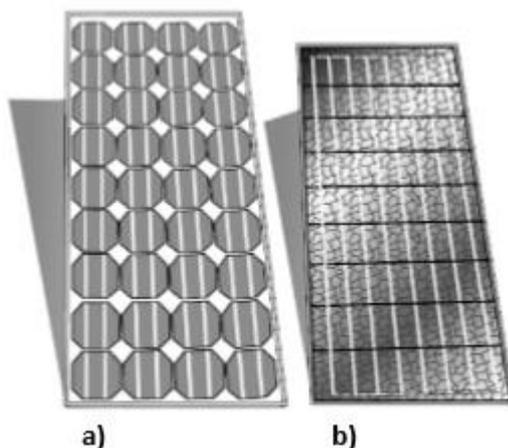
A configuração do sistema, geralmente, é apresentada da seguinte forma: o arranjo dos módulos, o subsistema de condicionamento de potência, que tem a função de converter a saída do arranjo em potência útil, e as baterias, com o intuito de armazenar a energia elétrica gerada (PINHO et al., 2014).

A célula solar, que se encontra no módulo, é o dispositivo de maior importância dentro do sistema, pois é ela quem converte a energia advinda da luz solar em energia elétrica. Já o subsistema de condicionamento de potência compreende: o controlador de carga, o inversor, o

conversor e o seguidor do ponto máximo de potência (MPT). Estes são os equipamentos de maior relevância que controlam a energia emitida às baterias e aos pontos de consumo (PINHO et al., 2014).

#### a) Módulo Fotovoltaico

O módulo fotovoltaico é a unidade básica de todo o sistema fotovoltaico. O módulo é composto por células conectadas em arranjos produzindo tensão e corrente suficientes para a utilização da energia.



**Figura 2.3-15 – Tipos de Módulos a) Módulo monocristalino; b) Módulo policristalino(GONÇALO, 2012).**

É indispensável a conexão de vários módulos, devido a condição de que cada célula fotovoltaica de silício produz uma tensão muito baixa, sendo da ordem de 0,5 a 0,8 V. Sendo assim, para se obterem níveis de tensão adequados, os fabricantes de módulos fotovoltaicos elaboram uma conexão, geralmente em série, produzindo uma tensão resultante à soma das tensões individuais de cada célula. Esta conexão é realizada por meio de um processo em que se soldam os terminais da parte frontal de uma célula à parte de trás de outra célula, e assim por diante (CRESESB, 2014).

O número de células conectadas em um módulo, bem como a disposição destas, em série e/ou paralelo, são de extrema importância, pois se podem obter maiores tensões ou correntes conforme estas características (FREITAS, 2008).

Os módulos são caracterizados no mercado conforme a potência-pico ( $W_p$ ) e ao seu tipo de célula. Entretanto, para um técnico ou projetista, existem outras peculiaridades que precisam ser analisadas.

Relacionando primeiramente às características construtivas desses módulos, pode-se citar que as células são, em sua maioria de silício, encapsuladas em módulos, tendo como objetivo a proteção de intempéries, principalmente da umidade do ar. Para carregar baterias de 12V é necessário que os módulos fotovoltaicos produzam aproximadamente 16V, por conta de perdas devido à temperatura, cabos e diodos de bloqueio (SOUZA, 2016).

Outra característica mecânica é a de que os módulos comerciais possuem forma quadrada ou retangular e suas espessuras, sem a molduras, são em torno de 4 cm. Além de não serem muito pesados e de suportarem ligeiras deformações, conseguem adaptar-se a esforços mecânicos (SOUZA, 2016).

Ainda podem ser caracterizados por suas curvas características de corrente *versus* tensão e pelos seus dados nominais. Estas curvas são resultantes das curvas características das células fotovoltaicas e vinculadas ao arranjo elétrico das células, em série ou em paralelo, como ilustra a Figura 2.3-16.

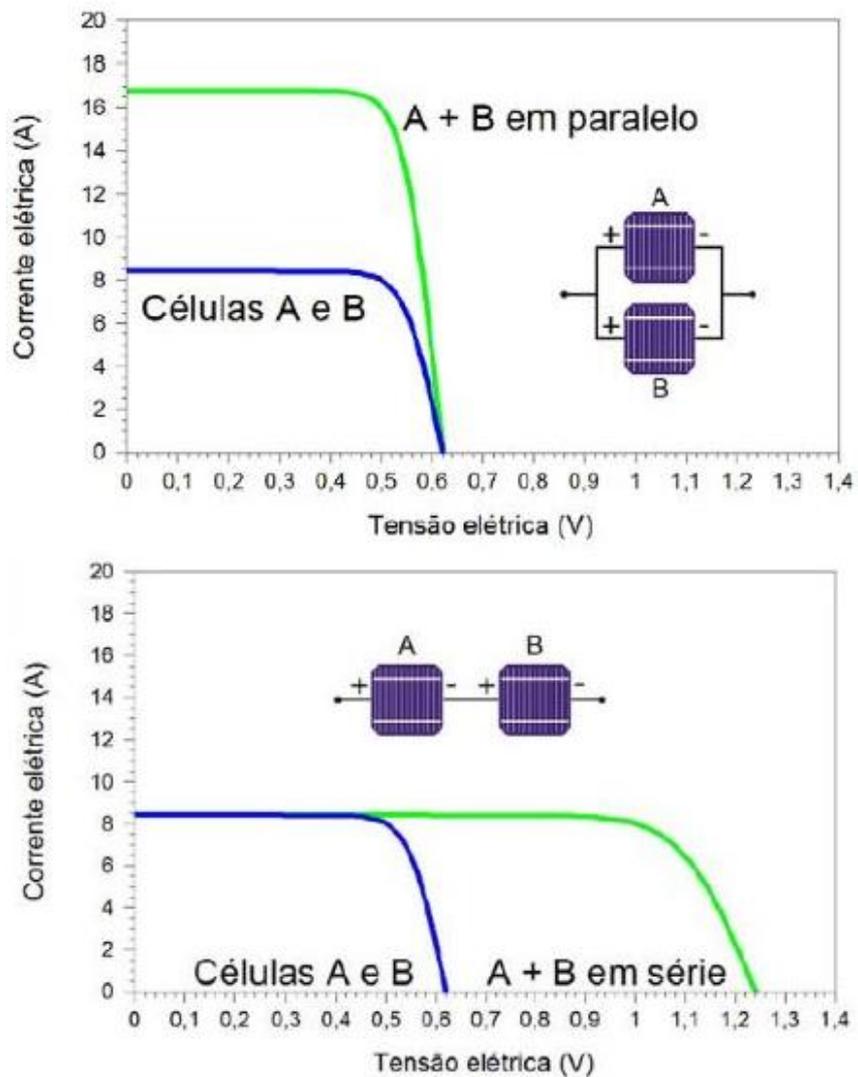


Figura 2.3-16 – Curva característica de corrente versus tensão de duas células solares ligadas em série e em paralelo (TORRES e CAMARGO, 2015).

Por meio das curvas características de módulos fotovoltaicos, fornecidas pelos fabricantes, se torna possível identificar seu ponto de máxima potência (MPP), assim como, outros fatores como temperatura e nível de irradiação na corrente e na tensão gerada pelos módulos.

Níveis maiores de incidência de irradiação solar sobre o painel o levarão a produção de correntes mais elevadas, entretanto, a tensão de saída do módulo não é significativamente afetada pela variação dos níveis de irradiação. Por outro lado, a variação de temperatura influencia fortemente o desempenho das células fotovoltaicas. Conforme acontece o aumento da temperatura a tensão de circuito aberto abaixa e a corrente de curto circuito eleva-se. Esses efeitos podem ser observados na Figura 2.3-17.

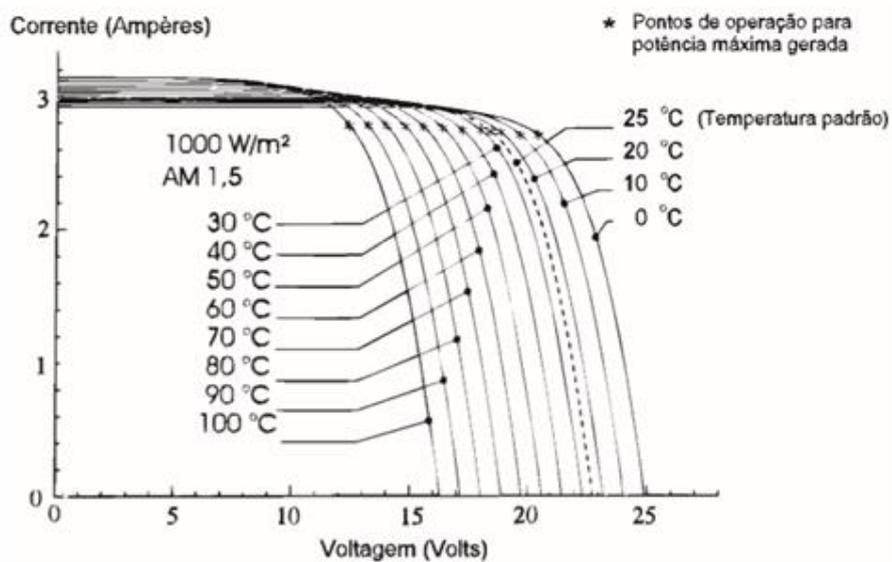
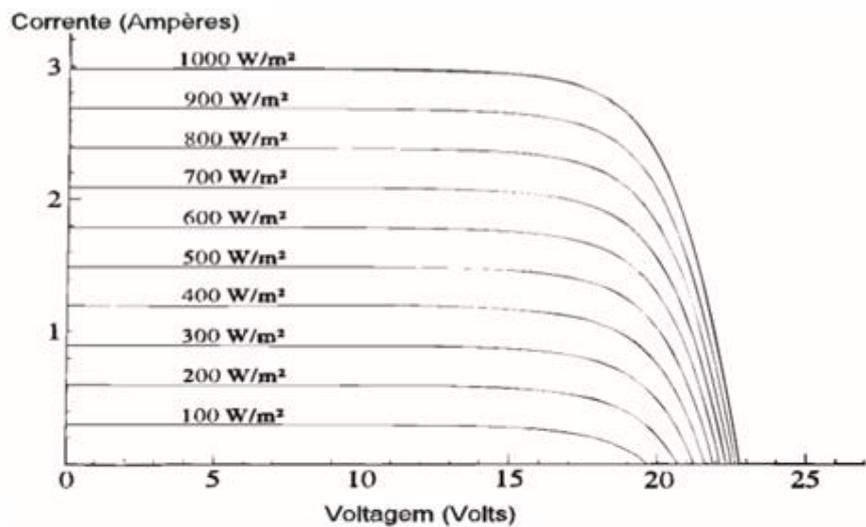


Figura 2.3-17 – A influência da irradiação e da temperatura na curva característica de um módulo fotovoltaico (PINHO *et al.*, 2014).

A partir das curvas características é possível analisar ainda os principais parâmetros que definem o módulo fotovoltaico:

- Tensão Ótima de Operação ou Tensão de Máxima Potência ( $V_{MP}$ ): é a tensão máxima que o módulo gerará em seu ponto de máxima potência, em condições de testes;
- Tensão de Circuito Aberto ( $V_{OC}$ ): é a tensão máxima que o módulo fornece em seus terminais a vazio (sem carga presente);
- Corrente de Curto Circuito ( $I_{SC}$ ): é a máxima corrente que o módulo fotovoltaico fornece nos seus terminais quando a tensão é nula;

- Corrente Ótima de Operação ou Corrente de Máxima Potência ( $I_{MP}$ ): é a corrente máxima que um módulo fotovoltaico pode fornecer a uma carga, sob condições de teste;
- Potência Nominal Máxima ( $P_{MAX}$ ): é a máxima potência de saída para o módulo, obtida com os valores de  $I_{MP}$  e  $V_{MP}$  sob as condições de teste.
- Eficiência ( $\eta$ ): define o rendimento do módulo na conversão de energia solar em elétrica, ou seja, é o resultado da razão entre a potência elétrica gerada e a irradiância incidente sobre o módulo.

É importante levar em consideração que os dados nominais de uma placa solar são validados sob condições de teste padrão, isto é, sob irradiação solar de  $1.000 \text{ W/m}^2$ , espectro de AM 1,5 Hz e temperatura da célula de  $25^\circ\text{C}$  (SOUZA, 2016).

### **b) Baterias**

Em um sistema fotovoltaico autônomo, considerando que a produção e o consumo de energia por vezes não atingem os mesmos valores, quer seja ao longo de um dia, ou durante os dias do ano, o armazenamento de energia é um fator de extrema relevância. Sendo assim, são utilizadas baterias que devem ter como característica o tempo de vida útil longo em condições de carga e descarga, sendo conhecidas, portanto, como baterias de alta profundidade de carga. Também deve-se considerar fatores como uma eficiência elevada de carga, mesmo para pequenas correntes de carga e uma baixa razão de auto-descarga (FREITAS, 2008).

Baterias são uma forma de armazenamento de energia, pois quando conectadas a um circuito elétrico, há uma ocorrência de fluxo de corrente, em consequência de uma transformação eletroquímica em seu interior, ou seja, verifica-se uma produção de corrente contínua através da conversão de energia química em energia elétrica (PINHO, 2014).

De acordo com Souza (2016), em sistemas autônomos, as baterias possuem as seguintes funções:

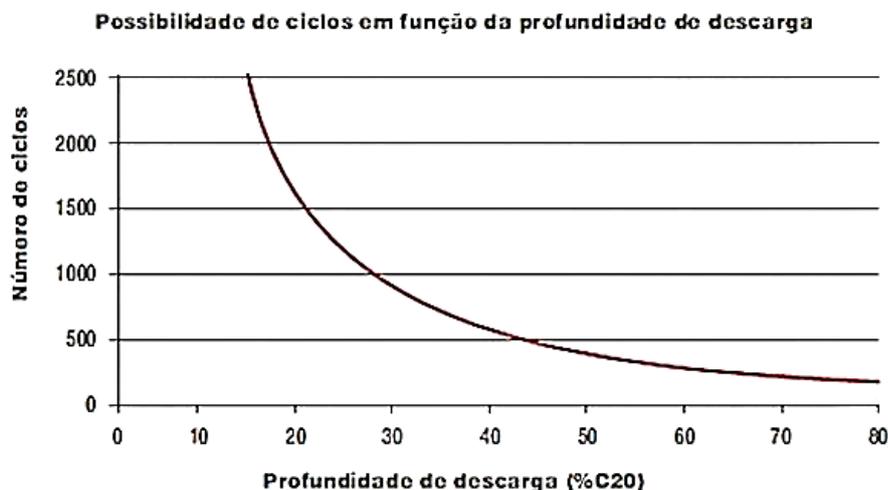
- Autonomia: é a sua principal função, que é suprir a demanda energética imposta, quando a energia gerada pelo painel não é capaz de suprir essa. Esta situação pode ocorrer durante os períodos noturnos, chuvosos ou nublados, que também podem ocorrer durante o período diurno.

- Estabilizar a tensão: os módulos fotovoltaicos possuem uma grande variação de tensão, conforme a incidência de irradiância. A conexão de cargas de consumo de modo direto nos módulos pode ocasionar a exposição destes às tensões muito altas ou muito baixas para o seu funcionamento adequado. As baterias possuem uma faixa de tensões muito estrita, mais que as dos módulos, garantindo assim uma faixa de operação mais uniforme para as cargas.
- Fornecer correntes elevadas: a bateria opera como um *buffer*, fornecendo correntes de partida elevada. Alguns elementos, como, por exemplo, motores, requerem altas correntes, chegando a alcançar de 4 a 9 vezes a corrente nominal, para iniciar o seu funcionamento, estabilizando e operando em correntes mais brandas após alguns segundos. Outros dispositivos entrarão em funcionamento por um pequeno período de tempo, e devem ser carregados lentamente pelo painel fotovoltaico durante o dia.

O dimensionamento adequado da bateria, assim como da sua capacidade, é uma etapa crucial, pois é o que garante o adequado funcionamento do sistema solar autônomo e propicia um longo tempo de vida útil. As baterias podem ser classificadas em primárias e secundárias. As baterias primárias só podem ser utilizadas apenas uma vez, ou seja, não podem ser recarregadas. Quando as células primárias dessas baterias descarregam completamente sua vida útil termina e elas se tornam inutilizáveis. As secundárias, por sua vez, podem ser recarregadas por meio da aplicação de uma corrente elétrica aos seus terminais. Os sistemas fotovoltaicos operam com baterias do tipo secundárias sendo as de chumbo-ácido e as de níquel-cádmio as mais frequentes (PINHO et al., 2014).

Quando o sistema fotovoltaico recarrega a bateria, ocorre um fluxo de elétrons em sentido contrário, ou seja, do polo positivo para o polo negativo, revertendo a reação química. O processo, entretanto, não é totalmente reversível, dado que, para as baterias de chumbo-ácido, pequenas quantidades de sulfato de chumbo não se dissolvem. Este processo chama-se sulfatação, que eleva-se à medida que a frequência de ciclos de carga e descarga se tornam mais frequentes, sucedendo em uma menor capacidade da bateria.

Quanto maior a profundidade de descarga (Figura 2.3-18) – o nível de reação química que acontece quando há descarga, antes que a bateria volte a ser carregada – maior será a perda de capacidade. Com pequenas profundidades de descarga mais ciclos de carga e descarga a bateria tolerará.



**Figura 2.3-18 – Expectativa de vida útil de uma bateria pela profundidade de descarga (SOUZA, 2016).**

### **c) Controlador de Carga**

Ao se analisar um sistema fotovoltaico é relevante verificar a dependência da tensão nos terminais do painel com a temperatura. O que ocorre é que para temperaturas elevadas a tensão gerada deve ser suficientemente elevada para possibilitar a carga das baterias, já para temperaturas de menor amplitude é conveniente garantir que a tensão do painel fotovoltaico não supere a tensão de carga da bateria.

Sendo assim, os controladores de carga são inseridos na maioria dos sistemas fotovoltaicos, com a finalidade básica de facilitar uma ótima transferência de energia do arranjo fotovoltaico para a bateria ou, em alguns casos, para o banco de baterias e protege-las contra ocasiões de carga e descarga excessivas, otimizando assim, a sua vida útil (SOUZA, 2016).

Estes equipamentos são compostos por um circuito de controle e outro de comutação. Levando em consideração que a tensão máxima de carga e mínima de descarga da bateria são inteiramente ligadas ao seu estado de carga, o circuito de controle monitoriza a tensão, a corrente, bem como a temperatura da bateria, processa as informações e transmite sinais de controle para o circuito de comutação. Este último é formado por dispositivos semicondutores de potência que tem a capacidade de controlar a tensão e/ou a corrente de carga ou de descarga das baterias (FREITAS, 2008).

As principais funções de um controlador de cargas das baterias são:

- Assegurar o carregamento da bateria;
- Evitar a sobrecarga da bateria;
- Bloquear corrente inversa entre a bateria e o painel;
- Prevenir descargas profundas (em especial para as baterias de chumbo-ácido).

Os controladores de carga são, em geral, classificados quanto à grandeza utilizada para o controle, forma de conexão do painel fotovoltaico e estratégia de controle utilizada. As grandezas de controle que mais se empregam são: estado de carga (integração do fluxo de corrente na bateria), tensão e densidade de eletrólito da bateria (CRESESB, 2014).

Já quanto à forma realizada para desconectar o painel fotovoltaico da bateria quando esta se encontra em plena carga, o controlador pode ser classificado como paralelo (*shunt*) ou série (CRESESB, 2014).

Um controlador em paralelo utiliza um dispositivo de estado sólido ou um relé eletromecânico, que desliga ou reduz o fluxo de corrente que passa para a bateria, quando esta se encontra completamente carregada. Deste modo, parte da corrente que é fornecida pelo gerador é desviada através de um dispositivo em paralelo com a bateria e somente uma pequena parcela desta corrente prossegue carregando a bateria.

A fração de corrente que se deve desviar é dependente do limite de tensão determinado para a bateria. O controlador em paralelo exemplar comporta-se como um tipo de carga variável, fazendo com que a tensão na saída do gerador seja mantida constante e igual ao valor limite. Especificamente neste caso de controladores paralelos, ainda se recomenda a instalação de um diodo de bloqueio entre a bateria e o transistor por segurança, com o intuito de conter qualquer dissipação de energia das baterias através dos transistores (CRESESB, 2014).

Por outro lado, os controladores ligados em série interrompem a conexão entre os painéis e as baterias quando a tensão alcança o valor correspondente à tensão máxima de carga. O interruptor utilizado neste caso pode ser um dispositivo eletromecânico, como, por exemplo, um relé, ou estático, como um transistor (FREITAS, 2008).

Os controladores em paralelo e em série em alguns casos não alcançam o melhor aproveitamento da energia solar advinda dos painéis. As perdas nestes tipos de controlador

podem atingir valores de 10% a 40%, dependendo da tensão da bateria, da radiação e da temperatura.

Tais perdas podem ser controladas, ou até mesmo evitadas, por um sistema de controlador denominado SPPM (Seguimento do Ponto de Máxima), o qual é composto essencialmente de um conversor CC/CC regulado. A regulação é realizada por este controlador, que durante um intervalo de tempo percorre a curva característica corrente-tensão do gerador fotovoltaico e determina o SPPM. Os controladores de carga do tipo SPPM são mais complexos e possuem uma sofisticação de circuito eletrônico, deste modo, seu uso é benéfico em sistemas com potência de pico superior a 500 Wp (SOUZA, 2016).

#### **d) Inversor**

Os inversores são responsáveis por converter a corrente contínua (CC) produzida pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada (CA), a que é utilizada nas habitações ou serviços, e ajustam esta energia para a frequência e o nível de tensão da rede em que os sistemas estão ligados (GONÇALO, 2012). O inversor também pode ser chamado de subsistema de condicionamento de potência, ou ainda, sistema de conversão de potência (ABNT, 2013).

Estes componentes podem ser classificados conforme sua aplicação em dois tipos: inversores de rede, que são utilizados em sistemas com ligação à rede, e inversores autônomos, que são utilizados em sistemas autônomos. A Tabela 2.3 1 apresenta as funções desses dois tipos de inversores.

**Tabela 2.3-1 – Principais funções dos inversores**

<b>Tipos de Inversores</b>	<b>Funções</b>
<b>Inversores de Rede</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. Conversão de corrente CC em corrente CA, segundo requisitos técnicos e de segurança estipulados para a conexão à rede;</li> <li>ii. Ajuste do ponto de operação do inversor ao MPP do gerador fotovoltaico (rastreamento do ponto MPP);</li> <li>iii. Registro de dados de operação e sinalização;</li> <li>iv. Dispositivos de proteção dos equipamentos ligados ao sistema (desliga automaticamente quando a corrente fornecida é inferior à necessidade dos equipamentos ligados).</li> </ul>

---

<b>Inversores Autônomos</b>	i.	Obter corrente CA com tensão e frequência estáveis;
	ii.	Ter um bom rendimento de conversão, inclusive quando a bateria não se encontra completamente carregada;
	iii.	Adaptar condições em face de flutuações na tensão da bateria;
	iv.	Proteger a bateria contra grandes descargas;
	v.	Ter proteção contra curto-circuito;
	vi.	Ter uma boa compatibilidade eletromagnética;
	vii.	Ter proteção contra sobre-tensão.

---

**Fonte: Adaptado de Leote (2009).**

Durante a transferência de energia os inversores podem apresentar uma perda 5 a 15%; devido a isso, recomenda-se o uso de inversores de alto rendimento, próximo à 95% (FREITAS, 2008).

Afim de fornecer o máximo de energia à rede, o inversor conectado à rede deve trabalhar no ponto de máxima potência (MPP) do arranjo fotovoltaico. Como o MPP varia conforme condições climatológicas, o inversor deve possuir um sistema de seguimento do ponto de máxima potência (MPPT - *maximum power point tracker*), que ajusta automaticamente a tensão de entrada do inversor, de acordo com a tensão MPP em cada período de tempo.

Para inversores ligados à rede, a tensão de saída deve ser sincronizada com a tensão de rede e os equipamentos devem atender às exigências de distribuição correlacionadas à questões de segurança e qualidade de energia injetada na rede (PINHO, 2014) . Este tipo de inversor ainda divide-se em:

- Centrais: inversores trifásicos de grande porte com potência que se concentra de centenas de kWp a MWp, geralmente utilizados em usinas fotovoltaicas;
- *Multistring*: inversores que podem ser trifásicos ou monofásicos, com potência da ordem de dezenas de kWp. Possuem várias entradas para ligações de variadas strings e é apropriado para instalações urbanas nas quais a arquitetura dos módulos esteja sujeita a diferentes condições de irradiância e/ou sombreamento.

- *String*: inversores monofásicos reduzidos à uma entrada, adequados à instalações de até 10kWp;
- Microinversor integrado ao módulo: inversor empregado diretamente na saída de uma placa solar. Não é necessário muito cabeamento em corrente contínua e sua utilização permite que cada módulo possua seu próprio rastreamento MPPT (*maximum power point tracker*), mas apresenta um alto custo por cada watt instalado.

Uma propriedade importante dos inversores utilizados na conexão de sistemas fotovoltaicos com a rede, denominados também de *grid-tie*, é a capacidade de se desligarem da rede elétrica pública quando esta se encontrar desligada ou estiver fora das condições normais de operação, a fim de fornecer o máximo de energia. Em razão disso, um inversor muito utilizado em sistemas conectados à rede é o que possui a função anti-ilhamento, tendo a capacidade de deixar de fornecer energia à rede pública quando esta estiver fora das condições normais de operação de frequência e/ou tensão (ABNT, 2013).

O fenômeno de ilhamento (formação de ilhas) pode oferecer riscos aos operadores da rede, dado que a mesma poderá ser energizada. Por esta razão, é exigido um isolamento galvânico, resultado do uso de transformadores na saída dos inversores. De forma a prevenir a operação ilhada devem ser utilizados variados métodos de monitoramento de parâmetros como de tensão, frequência e impedância da rede, harmônicos e variações de potência. Além disso, é de extrema relevância a consideração de outros parâmetros de segurança como: isolamento e aterramento do sistema, instalação de para-raios, fusíveis, disjuntores, entre outros. Quando se exigir isolamento galvânico, de acordo com a concessionária local, entre as partes CC e CA, haverá a necessidade de utilização de um transformador externo (ARNS RAMPINELLI, 2010).

Quando a geração fotovoltaica interligada à rede opera fora das condições normais de tensão e frequência e não está sob o controle da distribuidora, essa pode ocasionar danos aos sistemas e/ou equipamentos e causar acidentes a pessoas que estejam efetuando manutenção na rede. O inversor com função anti-ilhamento detecta a falta de energização pela distribuidora e interrompe o fornecimento de energia para a rede pública, prevenindo possíveis danos e garantindo a segurança da residência ainda que a energia gerada pelo sistema fotovoltaico possa continuar sendo consumida pela carga local (ZILLES, 2012).

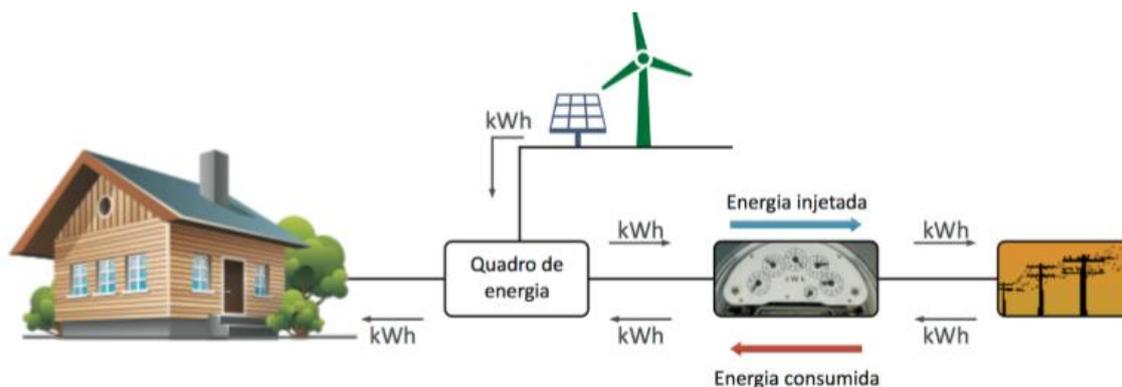
### **2.3.6. MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA – RESOLUÇÕES NORMATIVAS Nº 482/2012 E 687/2015 DA ANEEL**

A micro e minigeração distribuída consistem na produção de energia elétrica a partir de pequenas centrais geradoras que empregam fontes renováveis de energia elétrica ou cogeração qualificada, conectadas à rede de distribuição através de instalações de unidades consumidoras. A diferenciação entre as duas gerações se dá pelo fato de que a microgeração é definida por uma geradora de energia elétrica, com potência menor ou igual a 75 quilowatts (kW). Por outro lado, a minigeração distribuída refere-se a uma central geradora com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 megawatt (MW), para a fonte hídrica, ou 5MW para as demais fontes (ANEEL, 2016).

A ANEEL publicou a REN nº482, em 17 de abril de 2012, a fim de estabelecer as condições gerais de acesso da micro e minigeração distribuída ao sistema de distribuição de energia elétrica. Esta resolução normativa foi posteriormente revisada pela REN nº 687/2015, em que o principal objetivo é reduzir os custos e o tempo para a conexão da micro e minigeração, conformar o Sistema de Compensação de Energia Elétrica com as Condições Gerais do Fornecimento (REN nº 414/2010), aumentar o público alvo e otimizar as informações na fatura de energia (ANEEL, 2016).

A Resolução Normativa apresenta ainda a modalidade de geração compartilhada, isto é, consumidores de uma mesma área de concessão, por meio de consórcio ou cooperativa, podem instalar um sistema de micro ou minigeração e usufruírem dos créditos de energia gerados para abater a fatura dos consorciados ou cooperados. Existe também a possibilidade de geração distribuída em empreendimentos com variadas unidades consumidoras, como são os casos de condomínios. Neste caso, especificamente, os créditos de energia podem ser divididos de acordo com porcentagens pré-definidas entre os condôminos.

O tipo de conexão à rede definido para sistemas de geração distribuída é por compensação (*net metering*). O Sistema de Compensação é definido na Resolução Normativa como um arranjo em que o excedente de energia gerado pelas unidades consumidoras que possuem microgeração ou minigeração distribuída é injetado na rede da distribuidora gerando assim créditos em energia (kWh) em sua próxima fatura (ANEEL, 2012).



**Figura 2.3-19 – Esquemático do sistema de compensação de energia (ANEEL, 2016).**

Neste tipo de sistema, o fluxo de potência e a energia podem ser registrados por um único medidor que tenha capacidade de registrar o fluxo em ambos os sentidos no ponto de conexão ou a utilização de dois medidores, um medindo o consumo e o outro a geração. Em casos de ocorrência de medição dupla, os medidores trabalham um em cada sentido, registrando separadamente a compra e a venda de energia, à vista disso, valores diferentes podem ser atribuídos a cada uma das parcelas, incentivando deste modo a geração distribuída. No entanto, só é vendido o excedente de produção de energia que não é consumido diretamente pela carga. Uma medição da geração por um medidor se torna opcional (LAMBERT, 2014).

A opção de medição única é dependente de a concessionária remunerar a energia produzida pelo gerador no mesmo preço que o consumidor compra direto da concessionária. Um único medidor pode registrar a entrada ou saída de energia, apresentando o balanço final entre energia consumida e energia entregue à rede (LAMBERT, 2014).

Por fim, a forma de tarifação permite ao consumidor compensar seu consumo de eletricidade com sua própria geração em um período de 36 meses, aproveitando os créditos, caso existentes, em qualquer unidade consumidora registrada em seu Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou jurídica (CNPJ). No caso de não aproveitamento de créditos até este período, os mesmos serão perdidos sem qualquer remuneração (PICCINI, 2009).

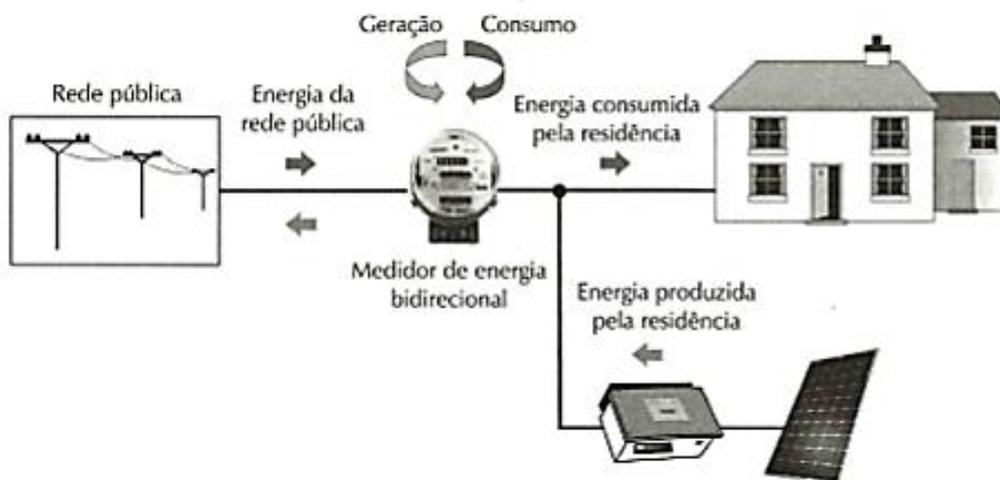


Figura 2.3-20 – Sistema de tarifação *net metering* com um medidor bidirecional (PICCINI, 2009).

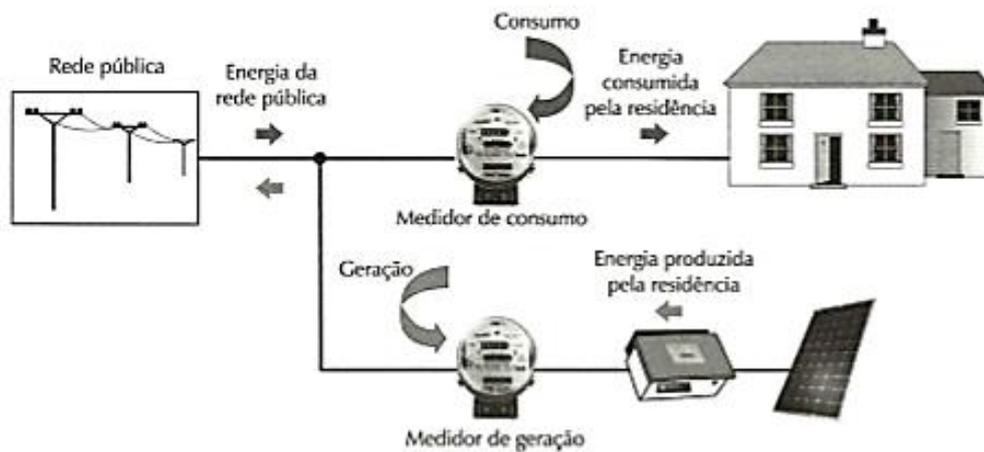


Figura 2.3-21 – Sistema de tarifação *net metering* com um medidor unidirecional (PICCINI, 2009).

## 3. ESTUDO DE CASO

*Este capítulo apresenta aspectos gerais da arquitetura da edificação em sua fase atual, bem como as principais condições de projetos da analisada.*

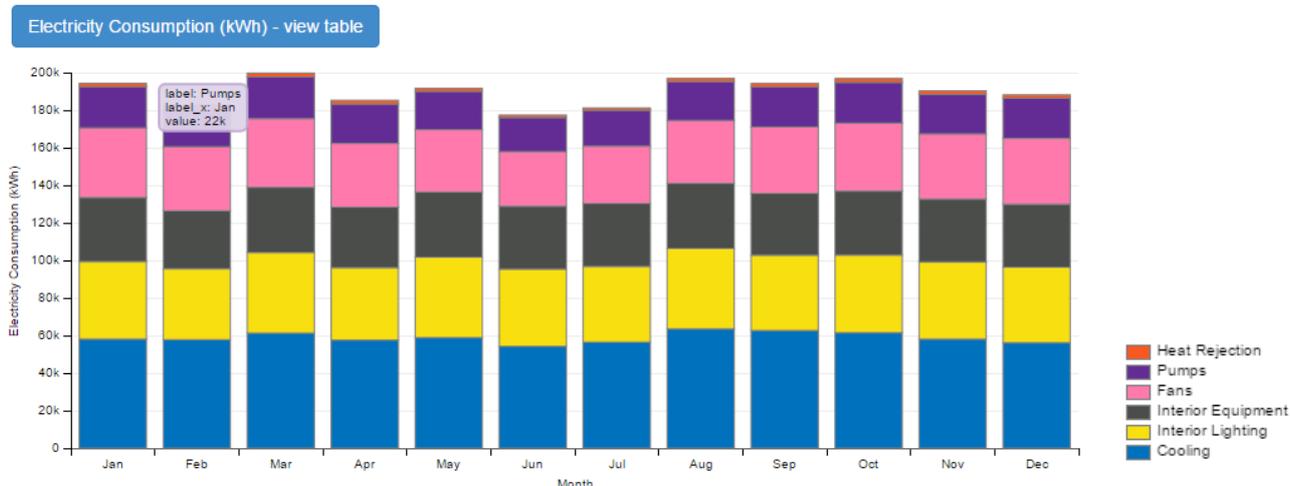
### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

No trabalho de Aguiar (2017) é explorado o desempenho energético do sistema de climatização do Edifício Sede da Polícia Federal (Figura 3-1). Localizado em Brasília – DF, este edifício sofreu um processo de *retrofit* - processo de modernização de algum equipamento já considerado ultrapassado ou fora de norma, utilizando o protocolo denominado PIMVP (Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance).



**Figura 3-1 - Fachada Edifício Sede da Polícia Federal - Brasília, DF. Fonte: Google Imagens, 2019.**

A edificação possui aproximadamente 22.000,00 m<sup>2</sup>, conta com quinze pavimentos, sendo 10 pavimentos tipo, sobreloja, térreo e três subsolos. O consumo anual total de energia elétrica do edifício é de 2.278.520,00 kWh e o consumo de energia elétrica mensal é apresentado na Figura 3-2.



**Figura 3-2: Gráfico do consumo de energia elétrica por equipamento em kWh referente ao sistema atual. Fonte: Relatório da simulação OpenStudio.**

Este edifício será tomado como estudo de caso no trabalho em questão, onde tal modelo será analisado e será proposta uma nova modelagem, conforme suas necessidades energéticas, com o propósito final do alcance de um maior desempenho energético, para fins da implementação do sistema de geração de energia fotovoltaica.

### 3.1.1. LOCALIZAÇÃO

O edifício a ser analisado, mais conhecido como “Máscara Negra”, foi inaugurado no dia 21 de julho de 1977 e está localizado em Brasília, DF, no Setor de Autarquias Sul, quadra 6, lotes 9 e 10 (PF, 2019).

As coordenadas geográficas do local são:

Latitude:  $-15.87^{\circ}$

Longitude:  $-47.93^{\circ}$

Elevação: 1160 m

### **3.1.2. CONDIÇÕES CLIMÁTICAS LOCAIS**

O clima de Brasília é caracterizado como Tropical de Altitude, pelo fato de possuir características térmicas e de precipitação impostas pela altitude.

Caracterizando-se por grandes amplitudes diárias e duas estações definidas: quente-úmida (verão) e seca (inverno). Ao se realizarem análises climáticas do local pode-se concluir que o mês de Outubro é predominantemente o mês mais quente do ano, pois possui a mais elevada temperatura média das médias, em cerca de 23°C, e média das máximas de 29,2°C. Entretanto, o mês de setembro apresenta um dos piores resultados com relação ao conforto térmico, por combinar elevadas temperaturas e baixa umidade (MACIEL, 2002).

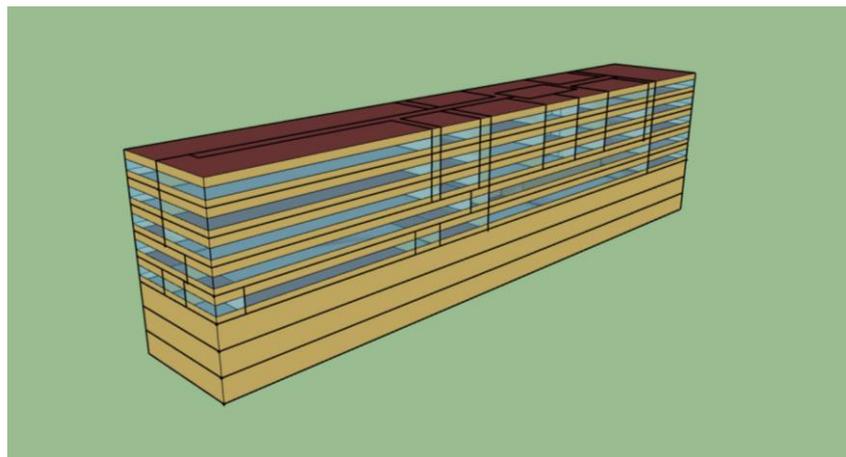
Com respeito à precipitação, Brasília é definida por sua escassez de chuva no inverno. Os meses de maio a setembro apresentam baixas taxas de pluviosidade, além de serem típicos períodos de seca que ultrapassam o período de dois meses (PINTO, 2014).

Os ventos são predominantemente da direção leste, com respectivas variações para sudeste ou nordeste. A intensidade desses ventos varia conforme a época do ano, exibindo picos máximos de até 8m/s no mês de agosto.

### **3.2. ARQUITETURA ATUAL**

O edifício simulado conta com um total de sete pavimentos. É importante salientar que, para a análise realizada, levou-se em consideração as características do último andar, representando a cobertura, do térreo e de um pavimento tipo, o qual irá representar todos os demais pavimentos, pois os resultados explorados não variam de forma significativa de um andar para outro.

Foi realizada uma modificação importante com relação a porcentagem envidraçada da edificação na proposta inicial, conforme demonstrado na Figura 3-3. A nova porcentagem de envidraçados é 40% do total da fachada do edifício.



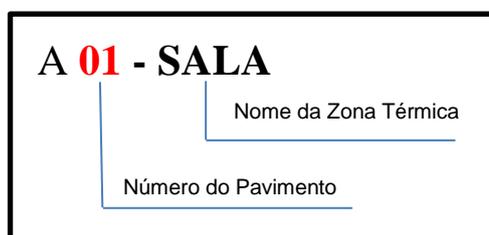
**Figura 3-3 Modelagem geométrica do Edifício Sede da Polícia Federal. Fonte: Aguiar (2017).**

Cada pavimento do edifício em questão foi dividido em zonas térmicas, conforme suas finalidades e aplicações.

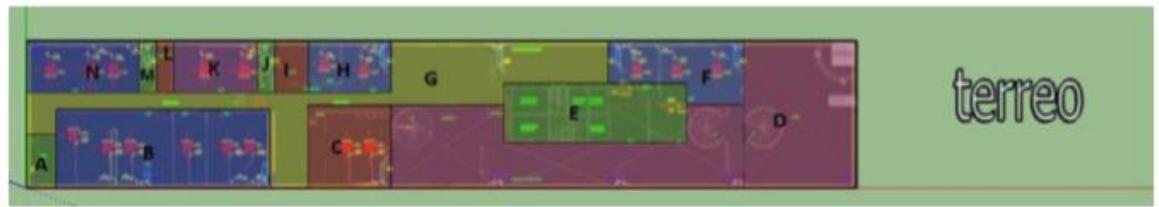
### **3.2.1. ZONAS TÉRMICAS**

Uma zona térmica pode ser definida como um espaço ou grupo de espaços dentro de um edifício condicionado que são suficientemente similares, onde as condições desejadas (temperatura) podem ser controladas usando um único sensor (termostato ou sensor de temperatura). Desta forma, este conceito é mais térmico do que geométrico.

Sendo assim, as zonas térmicas dos ambientes desenhados estão divididas conforme a seguinte nomenclatura:



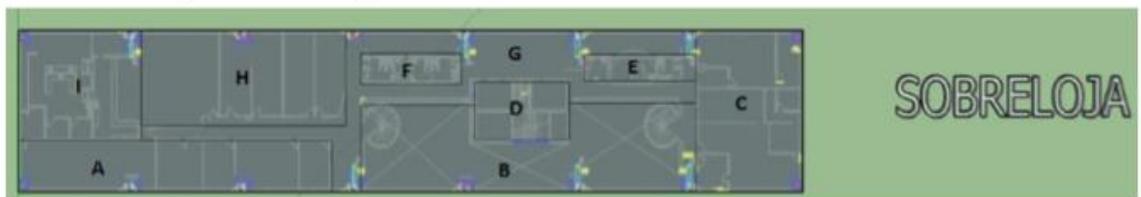
- TÉRREO



### TÉRREO

<b>A 00</b> - COPA	<b>K00</b> - CERIMÔNIAL / DCS
<b>B, C, F, H e N 00</b> - ESCRITÓRIO	<b>M00</b> - BANHEIRO
<b>L 00</b> - DEPÓSITO	<b>I00</b> - COPA
<b>D 00</b> - ÁTRIO	<b>G00</b> - CORREDOR/CIRCULAÇÃO
<b>E 00</b> - ELEVADORES	<b>J00</b> - BANEHIRO

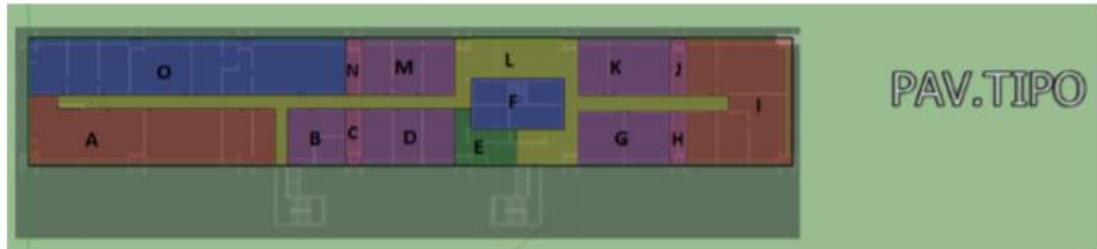
- SOBRELOJA



### SOBRELOJA

<b>A, C e H 01</b> - ESCRITÓRIOS	<b>E e F 01</b> - BANHEIROS
<b>B 01</b> - ÁTRIO	<b>G 01</b> - CORREDOR/CIRCULAÇÃO
<b>D 01</b> - ELEVADORES	<b>I 01</b> - SERVIÇOS GERAIS

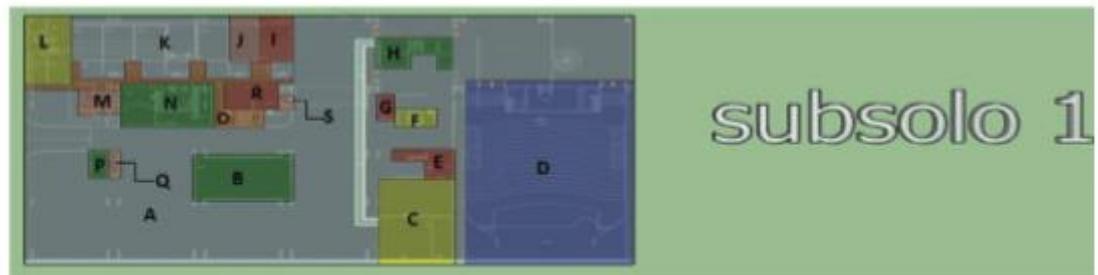
- PAVIMENTO TIPO



### PAVIMENTO TIPO

**A, B, D, G, I, K, M e O 02** - ESCRITÓRIOS      **F02** - ELEVADOR  
**E 02** - COPA      **L 02** - CORREDOR/CIRCULAÇÃO  
**C, N, H e J 02** - BANHEIROS

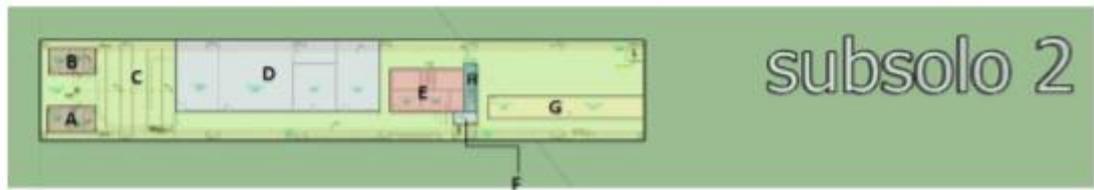
- SUBSOLO 1



### SUBSOLO 1

**A 03** - ESTACIONAMENTO      **H 03** - ELEVADORES  
**B 03** - FÁBRICA DE CARTEIRA      **I 03** - ARQUIVISTAS AUDITÓRIO  
**C 03** - SALA ELÉTRICA      **J 03** - FÁBRICA DIGITAÇÃO  
**D 03** - AUDITÓRIO      **K e N 03** - DEPÓSITOS  
**E 03** - MARCENEIRO      **L 03** - INFORMÁTICA  
**F 03** - ESCADA      **M, Q e S 03** - BANHEIROS  
  
**G 03** - QUADROS ELÉTRICOS      **P e R 03** - ESCRITÓRIO  
**O 03** - CORREDOR/CIRCULAÇÃO

- SUBSOLO 2



#### SUBSOLO 2

- |                                |                         |
|--------------------------------|-------------------------|
| <b>A e B 04 - VENTILADORES</b> | <b>F 04 - DEPÓSITO</b>  |
| <b>C 04 - CIRCULAÇÃO</b>       | <b>G 04 - VESTIÁRIO</b> |
| <b>D 04 - SALAS</b>            | <b>H 04 - BANHEIRO</b>  |
| <b>E 04 - ESCADAS</b>          |                         |

- SUBSOLO 3



#### SUBSOLO 3

- A 05 - CASA DE MÁQUINAS**

## 4. ANÁLISE ENERGÉTICA

*Este capítulo apresenta uma análise crítica do sistema atual sob o ponto energético, as ferramentas de simulação adotadas e os parâmetros adotados para a simulação do consumo energético anual.*

De acordo com Pinto (2014), uma simulação termoenergética de uma edificação possui quatro objetivos principais:

1. Analisar o conforto térmico em evolução livre;
2. Otimizar as características construtivas;
3. Calcular a carga térmica e;
4. Estimar o consumo de energia anual do edifício.

Assim sendo, a simulação termoenergética realizada teve como principal objetivo introduzir e analisar um novo consumo anual de energia elétrica para a edificação. Para isso, foram introduzidos como *inputs* aos programas os vários parâmetros iniciais apresentados em Aguiar (2017) e apresentados no capítulo 3 deste trabalho, modificando as principais características construtivas impactantes em seu desempenho energético, as quais serão apresentadas a seguir.

### 4.1. FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO

O *EnergyPlus* é um programa de simulação energética, disponibilizado pelo Departamento de Energia norte-americano, utilizado, por exemplo, para fins de análise termoenergética de projetos de alta eficiência. O programa dispõe de modelos de sistemas reais de aquecimento, arrefecimento, ventilação, iluminação, dentre outros fluxos de energia e uso da água. Um grande diferencial deste programa é a possibilidade de modelar diversas alternativas de construção e utilização da edificação, executar modelos de cálculo aprimorados e, por conseguinte, apresenta confiabilidade em seus resultados.

Outra característica importante é a sua capacidade de incluir os chamados de “*time-step*”, isto é, simulações de cálculo menores que uma hora. O cálculo das necessidades

energéticas é exercido por meio dos dados inseridos pelo utilizador (*inputs*) – relativos à geometria, matérias da envoltória, sistemas e regimes de climatização, arquivo de dados climáticos do local de implementação – produzindo o balanço energético com recursos aos variados módulos que o programa possui.

O programa constitui-se de diversos módulos, como apresenta a Figura 4-1, que trabalham juntos para calcular a energia necessária para o aquecimento e arrefecimento de um edifício, empregando uma variedade de sistemas da edificação e fontes de energia. Este cálculo é realizado por meio de uma simulação do edifício e sistemas de energia associados, os quais são expostos a diferentes condições ambientais e de funcionamento. O elemento principal dessa simulação é um modelo de edifício que se baseia em princípios de equilíbrio de calor fundamentais (ENERGYPLUS,2014).

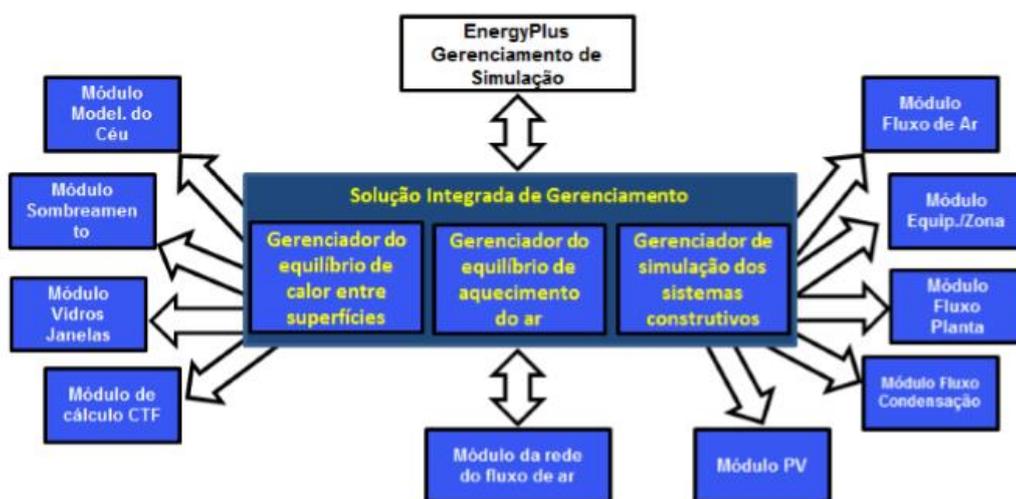


Figura 4-1 – Esquema de blocos do *EnergyPlus* (SCHAEDLER, 2014).

No *EnergyPlus*, cada elemento da edificação a ser analisada é descrito por equações que descrevem os processos de transferência de calor por condução, convecção e radiação que ocorrem nas superfícies, tanto internas como externas. As hipóteses a seguir são analisadas para a abordagem do balanço de energia:

- Temperaturas de superfícies uniformes;
- Radiação de onda curta e longa uniforme;
- Troca de radiação entre as superfícies;

- Condução no interior do elemento;
- Zona térmica apresenta temperaturas uniformes.

O *EnergyPlus* realiza o balanço de energia para as paredes da edificação em três níveis diferentes, analisando o balanço entre as superfícies internas e externas e o volume de ar encontrado nesta zona, como demonstrado na Figura 4-2 (STRAND, 2001).

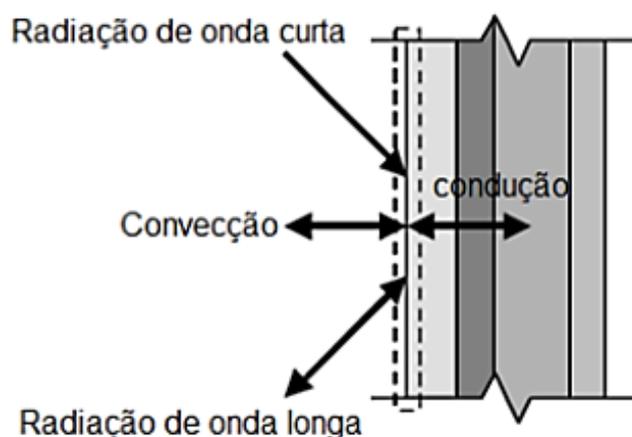


Figura 4-2 – Balanço de calor em superfícies externas (SCHAEDLER, 2014).

O balanço de energia das superfícies externas considera a condução, a convecção e a irradiação de calor. A radiação de onda curta engloba a radiação solar direta e difusa incidente na superfície, a qual é resultado da localização, inclinação da superfície, propriedades dos materiais e das condições climáticas. O fluxo de calor é calculado por meio da absorvidade, das temperaturas e pelo fator de forma da superfície.

Com o intuito de modelar a superfície externa tem-se que o fluxo condutivo por meio dos materiais da parede ( $Q_{cond}$ ) é igual a soma das quantidades de radiação solar absorvida pela superfície ( $Q_{SWrad}$ ), radiação térmica trocada entre a superfície e o meio circundante – radiação de onda longa ( $Q_{LWrad}$ ) e energia trocada por meio de convecção entre a superfície e o ambiente ( $Q_{conv}$ ), conforme a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

$$Q_{cond} + Q_{SWrad} + Q_{LWrad} + Q_{conv} = 0 \quad (4.1-1)$$

Já para a modelagem do balanço de energia das superfícies internas são examinadas quatro formas de troca de calor: condução através dos elementos do prédio, convecção, radiação de onda curta absorvida e refletida e radiação de onda longa entre as superfícies. Em tal caso, a radiação de onda curta inclui a radiação que incide pelas janelas e a emitida pelas fontes internas, como, por exemplo, a radiação incidida por lâmpadas do ambiente interno. A radiação de onda longa compreende a absorção e emissão de radiação por fontes de baixa temperatura, tais como outras superfícies, equipamentos e pessoas.

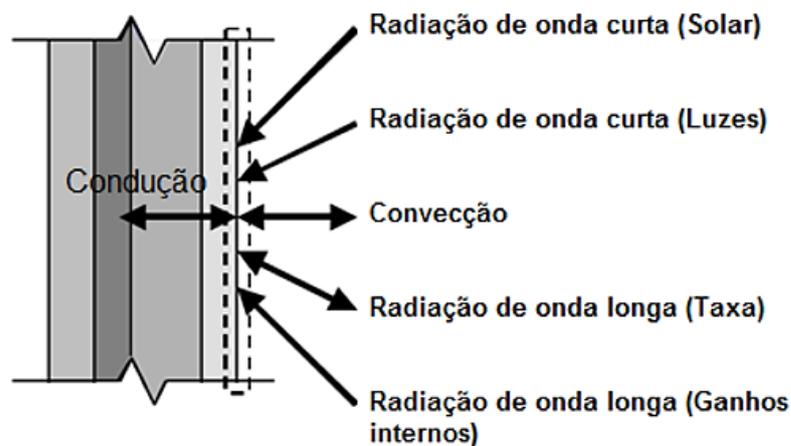


Figura 4-3 – Balanço de calor em superfícies internas (SCHAEDLER, 2014).

A equação que descreve o balanço de energia da superfície é dada pela Equação 4.1-2 a seguir:

$$Q_{solar} + Q_{SWlights} + Q_{LWradExch} + Q_{LWradIntGain} + Q_{conv} + Q_{cond} = 0 \quad (4.1-2)$$

Sendo,

$Q_{solar}$  – Radiação solar absorvida pela superfície interna;

$Q_{SWlights}$  – Radiação de ondas curtas de lâmpadas absorvida pela superfície;

$Q_{LWradExch}$  – Energia térmica que é trocada com outra superfície com outra superfície na zona;

$Q_{LWradIntGain}$  – Radiação térmica de onda longa de fontes internas de calor;

$Q_{conv}$  – Convecção entre a superfície e o ar na zona;

$Q_{cond}$  – Energia conduzida entre os materiais da parede.

Para delimitar as áreas à serem analisadas são criadas as zonas térmicas, as quais são caracterizadas separadamente para que possa simular e obter balanços térmicos em cada uma, permitindo assim uma análise aprofundada dos consumos e discriminando com rigor apurado as fontes consumidoras de maior energia (simulação *multi-zona*).

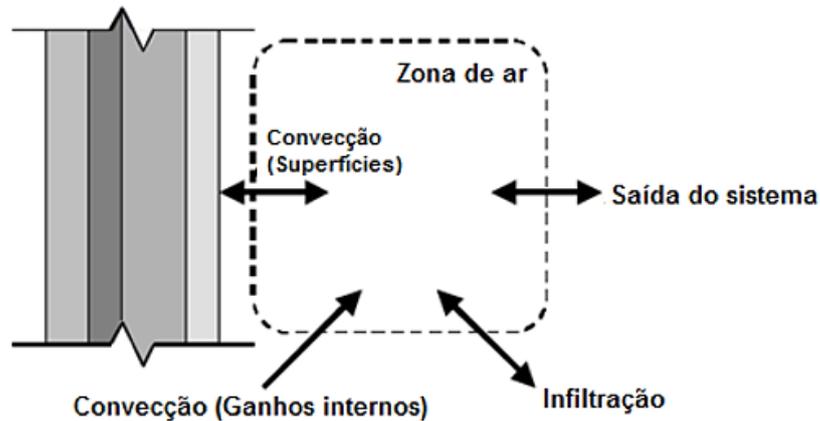


Figura 4-4 – Zona de balanço de calor (SCHAEDLER, 2014).

Entretanto, o *EnergyPlus* é apenas o motor de cálculo da simulação, pois possui uma interface pouco amigável ao usuário. Isso significa que, caso não seja utilizada uma interface gráfica acoplada, todos os componentes do edifício, incluindo das paredes aos sistemas de geração de energia, devem ser transcritos em um arquivo textual ou em um editor básico de informações, o que torna o projeto por vezes inviável. Sendo assim, é essencial a utilização de um programa complementar a fim de realizar as entradas principais da simulação.

A Interface Gráfica de Usuário empregada na simulação foi o programa *OpenStudio*, disponibilizado de maneira gratuita pelo *National Renewable Energy Laboratory* (NREL). O *OpenStudio* carrega a maioria das funções do *EnergyPlus* já inseridas em sua interface,

entretanto, alguns pacotes ainda não são incorporados e, caso necessário, deve-se exportar o arquivo do *OpenStudio* para se realizar a inserção desses módulos diretamente no *EnergyPlus*.

Além do *EnergyPlus* e do *OpenStudio*, foi utilizado o programa *SketchUp* afim de determinar a geometria do edifício, como dimensões básicas do edifício, as dimensões dos vãos envidraçados e dos pontos de acesso.

## 4.2. ARQUIVO CLIMÁTICO

O *EnergyPlus* precisa que seja fornecido o arquivo climático do local onde se encontra a edificação. Este arquivo deve conter informações como temperaturas médias anuais, dados de umidade relativa, pressão, precipitações, ventos, intensidade solar, entre outros.

Assim sendo, o arquivo climático utilizado nas simulações no *EnergyPlus* é o arquivo climático INMET 2016, o qual passou por correções nas variáveis de radiação global e horizontal e de temperatura de bulbo seco com relação ao arquivo INMET 2012. Além de que, os dados deste arquivo são apresentados em horários, contemplando as 8760 horas do ano, viabilizando dessa forma, uma avaliação horária precisa nas simulações.

O arquivo climático INMET 2016 apresenta as seguintes coordenadas geográficas:

- Latitude: - 15° 46' 48";
- Longitude: - 47° 55' 45";
- Elevação: 1160 m.

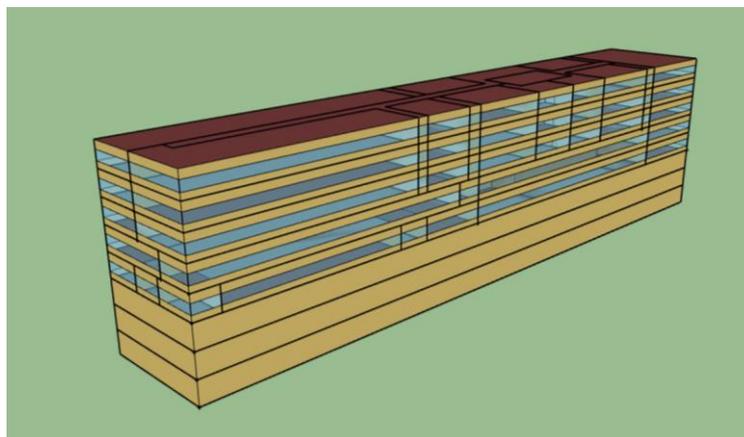
## 4.3. CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS PROPOSTAS

Nesta etapa serão caracterizadas as propriedades físicas e as configurações dos elementos internos e externos que compõem a edificação. As especificações de cada material utilizado estão descritas a seguir.

- **Vãos envidraçados**

Um critério muito importante no que diz respeito aos vãos envidraçados é a área que eles ocupam. Esta área deve ser determinada considerando que os ganhos solares, através dos envidraçados, são favoráveis durante a estação de aquecimento e prejudiciais durante a estação de arrefecimento. Para tanto, foi considerada uma área

total de 40% de vãos envidraçados, apresentando o novo conceito proposto na Figura 4-5.



**Figura 4-5 Fachada do Edifício com 40% dos vãos envidraçados.**

O vidro, comumente, ocupa uma grande parte da área do vão, sendo uma zona altamente propícia a trocas de energia térmica, através de ganhos solares, bem como por fenômenos de condução. Assim, uma escolha adequada do tipo de vidro pode incrementar o desempenho térmico do edifício.

Os envidraçados considerados para esta simulação foram os insulados neutros da linha SK da fabricante Cebrace, com baixa reflexão e alta seletividade e desempenho, conforme o envidraçado número 154 do Catálogo de Vidros do fabricante.

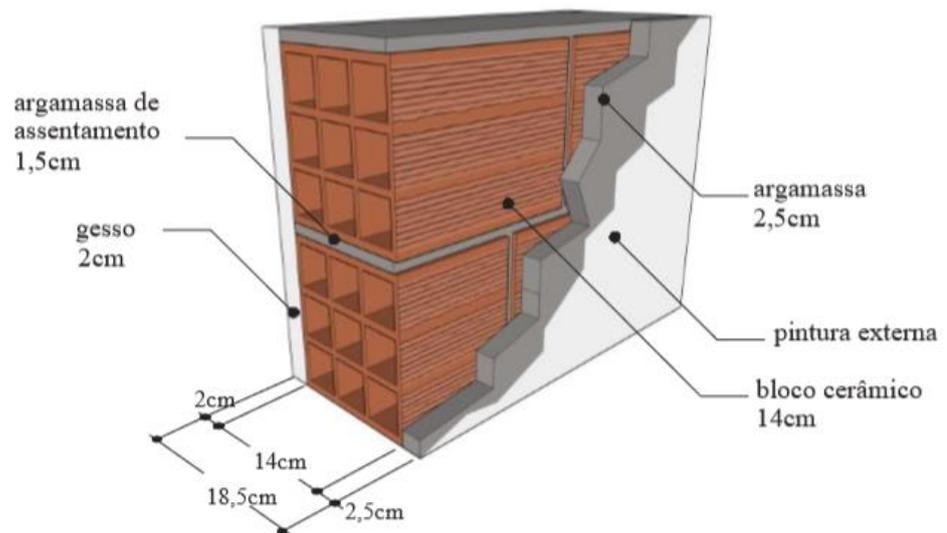
**Tabela 4-4-1 – Propriedades dos envidraçados.**

Produto	Transmissão Luminosa (%)	Reflexão Luminosa Externa (%)	Reflexão Luminosa Interna (%)	Transmissão Energética (%)	Absorção Energética (%)	Fator Solar	Coefficiente de Sombreamento	Valor de UW/m <sup>2</sup> K
Cool								
Lite	49	18	22	23	46	0,27	0,31	1,5
SKN								

- **Paredes**

As paredes exteriores e interiores são constituídas de tijolo furado com 20 cm de espessura, com reboco pelo lado externo com revestimento de baixa absorção solar e pelo lado interno uma placa de gesso de 2 cm. O valor do coeficiente global de transferência de calor (U) resulta em  $1,74 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

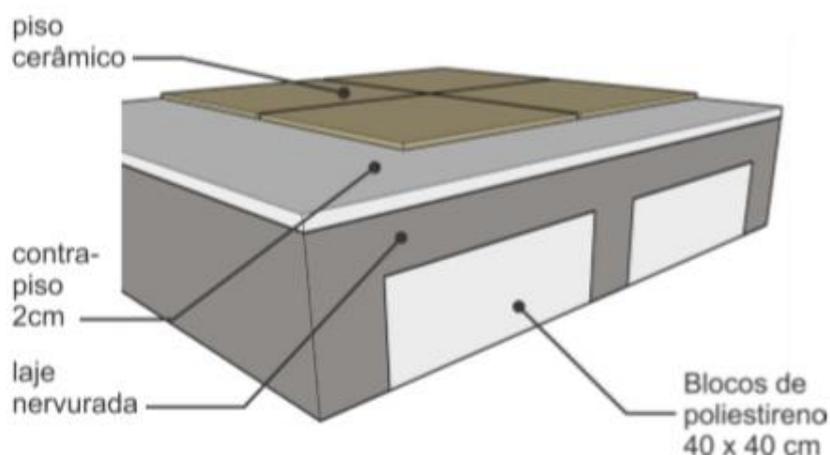
As resistências térmicas de convecção superficiais interiores e exteriores são calculadas pelo próprio software *EnergyPlus*. Os valores do coeficiente global de transferência de calor (U) serão retratados já considerando tal resistência, em virtude dessa ser a maneira mais comumente empregada, possibilitando mais facilmente a comparação com os valores de U de outras construções.



**Figura 4-6 - Parede Básica proposta na simulação.**

- **Coberturas**

A cobertura do edifício é em laje nervurada com vazios com preenchimento de poliestireno, com blocos cerâmicos de 0,75cm para as coberturas internas à edificação. E na análise do terraço, sem telhamento, visando à instalação dos painéis fotovoltaicos.



**Figura 4-7 - Cobertura Básica proposta na simulação**

#### **4.4. CARGAS INTERNAS**

As taxas de ocupação para cada tipo de ambiente foram estimadas com base no layout apresentado, conforme a norma NBR 16401-1 (ABNT, 2008). Os níveis de iluminância e os equipamentos foram especificados conforme a norma ASHRAE 90.1 (ASHRAE, 2010).

Os valores de todas as cargas internas da edificação consideradas na simulação são apresentados na Tabela 4-2.

**Tabela 4-2 - Valores de carga térmica referente às pessoas, iluminação e equipamentos.**

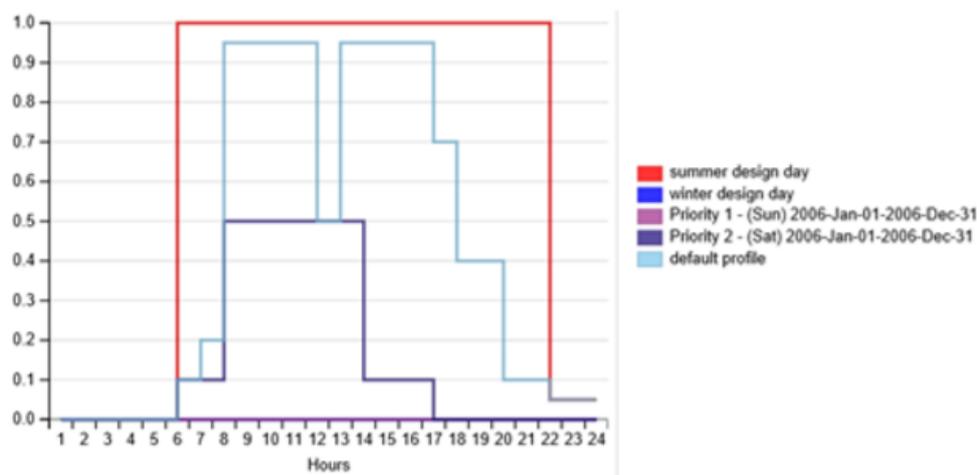
<b>CARGAS INTERNAS</b>			
	<b>Iluminação</b>	<b>Equipamentos</b>	<b>Pessoas</b>
<b>Carga (W/m<sup>2</sup>)</b>	16,00	6,888903	130

As cargas por infiltrações serão consideradas desprezíveis, pois o sistema de ventilação mecânica deverá manter os ambientes pressurizados por meio do ar de renovação. Além da pressurização, as janelas deverão ser bem vedadas de modo a contribuir para a redução das infiltrações.

O padrão de ocupação da edificação é apresentado na Tabela 4-3. A partir desse padrão é possível modelar *Schedules* de ocupação na plataforma do Open Studio conforme demonstra a Figura 4-8.

**Tabela 4-3 - Padrão de ocupação do edifício.**

<b>Padrão de Ocupação</b>	
Domingo a	07:00 -18:00 = 100% da capacidade
Domingo	18:00 – 21:00 = 75% da capacidade



**Figura 4-8 - Gráfico representativo do padrão de ocupação do edifício.**

#### **4.5. SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO**

Os pavimentos foram analisados considerando-se um sistema de climatização de expansão indireta com condicionadores centrais por zona térmica do edifício, conforme as características do sistema operante na edificação.

Os equipamentos do sistema de climatização são apresentados a seguir:

**Tabela 4-4- Características técnico operacionais das URL.**

<i>Chillers</i>	
<b>Quantidade</b>	3
<b>Fabricante / Capacidade</b>	1 unidade – York Max/369 TR 2 unidades – Trane/161,4 TR
<b>Condensação</b>	Água
<b>Refrigerante</b>	R 134-a
<b>Compressor</b>	Parafuso

## 5. SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA

*Este capítulo apresenta os resultados obtidos através da simulação realizada. O consumo foi avaliado para todas as demandas elétricas do edifício incluindo o sistema de climatização, iluminação e equipamentos. E a geração analisada é considerada somente para o pavimento tipo.*

### 5.1. CONSUMO DE ENERGIA TOTAL

A energia elétrica consumida foi simulada para cada hora de um ano típico no software EnergyPlus, analisando a demanda por iluminação, sistema condicionamento de ar e funcionamento de equipamentos, conforme é apresentado na Figura 5-1.

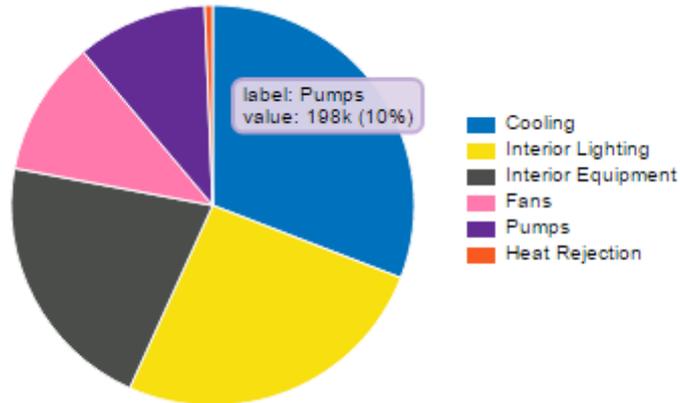
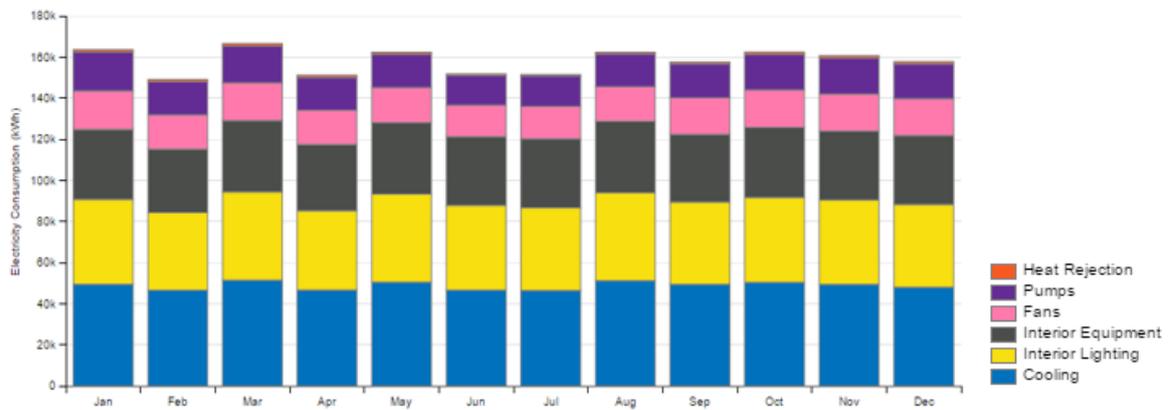


Figura 5-1 - Demanda de energia por categoria

O consumo total de energia em virtude de todas as demandas foi de 6.827,51 GJ/ano ou 1.896.530,56 kWh/ano. Comparado ao consumo anterior às modificações propostas, a redução de energia consumida é de 27%, uma redução significativamente alta considerando os valores altos de consumo. A distribuição de consumo mensal é apresentada na Figura 5-2.



**Figura 5-2 - Consumo de energia elétrica do edifício.**

Da Figura 5-2, infere-se que:

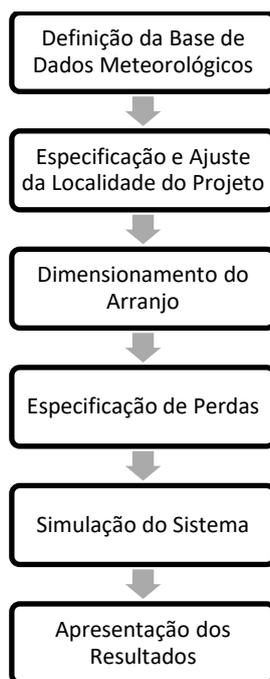
- O consumo de energia elétrica por equipamentos e iluminação apresentou-se constante ao longo dos meses, devido ao fato desses componentes não possuírem alteração significativa de uso ao longo das épocas do ano;
- O sistema de condicionamento de ar apresenta-se como o principal elemento de consumo de energia;
- A carga pelo sistema de condicionamento de ar atinge seus picos nos meses de março e agosto, como é esperado ao se analisar o clima do local da edificação, visto que durante esses meses são encontradas as maiores temperaturas e baixas taxas de umidade.
- Nos meses de junho e julho, o consumo devido ao sistema de condicionamento de ar é reduzido, como é esperado ao se realizar a análise do clima local da edificação, visto que durante esses meses são encontradas temperaturas menores e baixas taxas de umidade.

## 5.2. PVSyst

O programa PVSyst – Photovoltaic Systems, em sua versão utilizada, 6.7, foi escolhido para dimensionar os arranjos fotovoltaicos e simular a produtividade do sistema estudado. Essa ferramenta teve sua criação na Universidade de Genebra, na Suíça em 1992 e é, atualmente, comercializado pela empresa PVSyst SA. Sua principal aplicabilidade é o dimensionamento e simulação dos dados de SFV, o programa conta com uma base de dados

meteorológicos própria, permitindo também a importação de outros arquivos climáticos. Apresenta também uma vasta gama de informações técnicas a cerca de módulos e inversores existentes no mercado.

O fluxograma, da Figura 5-3, apresenta a sequência necessária para a utilização do PVSyst, tendo este como base de entrada os dados técnicos de cada projeto solar fotovoltaico.



**Figura 5-3 - Fluxograma de processos de simulação no PVSyst.**

### **5.3. O SISTEMA FOTOVOLTAICO**

A produção de energia elétrica local da edificação foi voltada para o abastecimento por meio de módulos fotovoltaicos. Entretanto, não foi considerado o uso de módulos fotovoltaicos sob as fachadas devido à proximidade da edificação com os outros prédios públicos ao redor.

O consumo de energia total da edificação apresenta o valor de 1.896.530,56 kWh/ano, sendo necessária uma área de aplicação dos painéis fotovoltaicos de cerca de 7.000 m<sup>2</sup> para suprir tal consumo, área esta que tonar a aplicação do sistema inviável, pois a cobertura não comportaria todo este espaço. Para tanto, na análise do sistema de geração fotovoltaica deste projeto considerou-se somente o consumo de energia do pavimento tipo. Além disso, como

visto na seção anterior, o consumo do sistema de condicionamento de ar representa a maior parte do consumo da edificação (266.697,5 kWh/ano), o que também não se torna viável de agregar ao sistema fotovoltaico, sendo assim também não analisado no trabalho.

Desta forma, o consumo total de energia a ser suprido pelo sistema de geração fotovoltaica é de 89.575 kWh/ano, com uma área de aplicação dos painéis de 342 m<sup>2</sup>. Obtendo-se assim uma potência nominal necessária do sistema de 51,3 kWp. A Figura 5-4 apresenta um gráfico da quantidade necessária geração de energia em kWh desse sistema para abastecer todo o edifício.

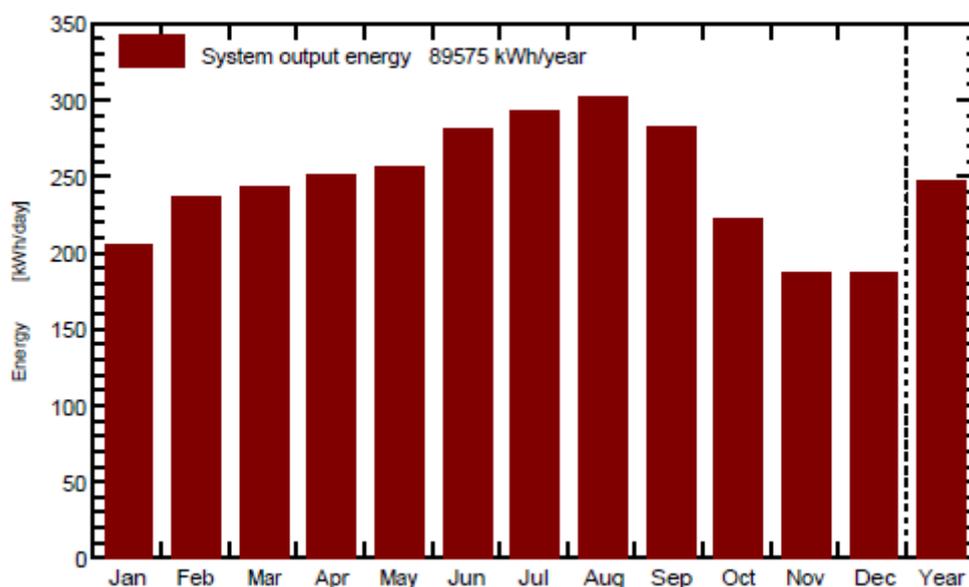


Figura 5-4 - Geração de energia necessária do sistema fotovoltaico.

### 5.3.1. SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A simulação do sistema fotovoltaico conectado a rede foi realizada no software PVSyst. Devido a limitação do sistema do software, que só realiza projetos de até 30 kWp, a simulação foi realizada com uma potência de 26,60 kWp, que é abaixo da potência necessária. Sendo, portanto, necessária a consideração de dois projetos similares para o total abastecimento elétrico do sistema a ser considerado.

Foi considerada uma inclinação dos módulos fotovoltaicos de 23° em relação à superfície plana do telhado. Com relação à orientação, em instalações localizadas no

hemisfério sul a face dos módulos deve estar orientada em direção ao norte verdadeiro. Já com relação a inclinação, é recomendado, para que se tenha maior geração de energia ao longo do ano, que o ângulo de inclinação do gerador fotovoltaico seja igual à latitude do local (PINHO et. al., 2014).

Os valores de perdas adotados para o sistema são:

- Térmicas: adotou-se  $U_c=19\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ , por certo que os painéis serão instalados diretamente sobre o telhado, mas ainda sim terão frestas que separam a parte traseira do painel do telhado permitindo circulação de ar;
- Ôhmicas: utilizou-se o valor padrão de 1,5% sugerido pelo PVSyst;
- Qualidade do módulo: adotou-se o valor padrão de 0,5% sugerido pelo PVSyst;
- Degradação pela Luz: adotou-se o valor padrão de 2% sugerido pelo PVSyst;
- Incompatibilidade: utilizou-se o valor padrão sugerido de 2% pelo PVSyst;
- Acúmulo de sujeira: apesar do local em que o sistema será instalado ser um local de clima seco durante boa parte do ano, o valor adotado para as perdas por acúmulo de sujeira foi de 5%. Um modo de se justificar essa escolha é aconselhar a limpeza e manutenção frequente dos módulos fotovoltaicos.

A eficiência dos inversores foi computada com base no inversor escolhido no dimensionamento.

Os equipamentos que compõem o sistema são as placas e inversores. Esses equipamentos foram selecionados para o sistema proposto a fim de se encontrar a melhor disposição para os arranjos, de modo tal que a potência do arranjo seja compatível com a potência dos inversores, além de se adequar os parâmetros de saída dos módulos, como corrente nominal, corrente de curto circuito, tensão nominal e tensão de circuito aberto. Cabe salientar ainda que os inversores escolhidos devem ser do tipo grid-tie já que o sistema será conectado diretamente à rede. A seção de Project Design do PVSyst já ajusta os parâmetros do arranjo com os do inversor selecionado automaticamente, avisando caso exista alguma incompatibilidade.

Levou-se em consideração também a disponibilidade dos equipamentos no mercado, sendo assim, a ordem de prioridade se deu de forma que os selecionados foram equipamentos

mais facilmente encontrados em lojas fornecedoras e de marcas já conhecidas no mercado mundial. Em vista disso, os painéis escolhidos foram os módulos monocristalinos de 380W da Canadian Solar e os inversores são do modelo Fronius IG Plus 35V-1 (especificações técnicas encontram-se no Apêndice A.2).

Os equipamentos foram escolhidos como uma sugestão e para fins de simulação no programa PVSyst. No entanto, existem outros equipamentos cujas especificações se encaixam nos arranjos dimensionados e que podem ser utilizadas no projeto.

Pelo design preliminar do PVSyst, o sistema ocuparia cerca de 123 m<sup>2</sup>, o que é viável no telhado da edificação. Os resultados do dimensionamento são explicitados na Tabela 5-1.

**Tabela 5-1 - Características Elétricas do Sistema Fotovoltaico**

<i>Características do SFV</i>	
<b>Potência nominal dos módulos (W)</b>	380
<b>Voc módulo (V)</b>	48
<b>Vmpp módulo (V)</b>	40
<b>Isc módulo (A)</b>	10,01
<b>Quantidade de módulos</b>	70
<b>Quantidade de módulos série (string)</b>	10
<b>Número de strings</b>	7
<b>Voc máx (V)</b>	492
<b>Vmpp mín (V)</b>	322
<b>Vmpp max (V)</b>	396
<b>Potência Nominal do arranjo (kWp)</b>	26,6
<b>Área Ocupada (m<sup>2</sup>)</b>	139
<b>Potência nominal dos inversores (kW)</b>	3,5
<b>Quantidade de inversores</b>	7
<b>Faixa de tensão MPPT (V)</b>	230-500
<b>Tensão de entrada máxima (V)</b>	600
<b>Corrente máxima de entrada (A)</b>	15,20
<b>Geração Anual do Arranjo (MWh)</b>	<b>44,92</b>

O sistema projetado, portanto, será capaz de gerar, em seu primeiro ano, 44,92 MWh. Sendo considerado dois sistemas de mesmas características a serem instalados na edificação o total de energia gerada seria de 89,84 MWh, o suficiente para suprir a carga total do pavimento tipo, conforme analisado anteriormente. A Figura 5-5 apresenta a produção normalizada por kWp instalado para uma potência nominal de 26,60 kWp, durante os meses do ano.

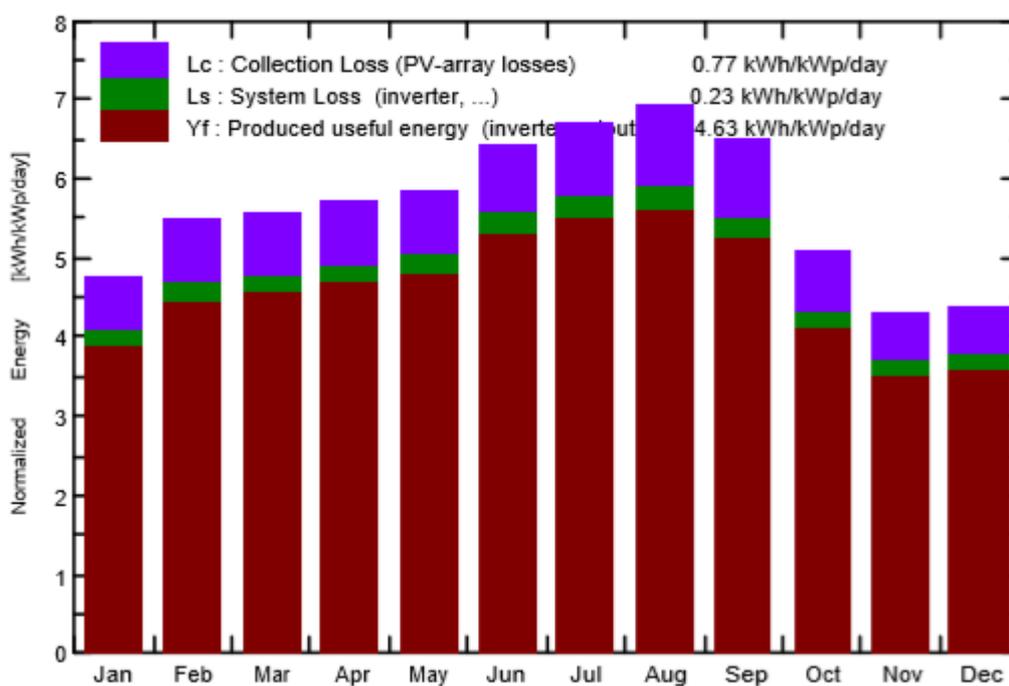


Figura 5-5 - Produção de energia normalizada para os meses do ano.

A Tabela 5-2 apresenta valores mensais do sistema de:

- GHI;
- Temperatura Ambiente;
- Irradiação global sobre o plano inclinado em que os módulos serão instalados;
- Irradiação global efetiva, considerando correção das perdas por IAM e sombreamento;
- Energia gerada pelo arranjo;

- Energia injetada na rede, considerando perdas na condução e queda de eficiência dos inversores;
- Razão entre a energia gerada e a área ocupada pelo arranjo;
- Razão entre a energia injetada na rede e a área ocupada pelo arranjo.

**Tabela 5-2- Saldos e principais resultados.**

	<b>GlobHor</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>DiffHor</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>T Amb</b> °C	<b>GlobInc</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>GlobEff</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>EArray</b> MWh	<b>E_Grid</b> MWh	<b>PR</b>
<b>January</b>	165.8	76.00	22.87	147.1	143.2	3.389	3.220	0.823
<b>February</b>	163.3	67.30	22.70	153.3	149.7	3.507	3.335	0.818
<b>March</b>	170.4	79.10	22.42	172.5	168.6	3.963	3.773	0.822
<b>April</b>	154.8	62.60	22.13	171.8	168.5	3.931	3.743	0.819
<b>May</b>	150.0	53.00	20.80	180.8	177.7	4.181	3.984	0.828
<b>June</b>	150.3	37.50	19.26	192.3	189.3	4.464	4.256	0.832
<b>July</b>	164.2	36.40	19.60	206.8	203.8	4.766	4.543	0.826
<b>August</b>	183.1	41.60	21.10	214.4	211.0	4.879	4.652	0.816
<b>September</b>	182.8	59.10	22.70	194.2	190.4	4.404	4.195	0.812
<b>October</b>	163.7	77.50	23.84	156.8	152.7	3.575	3.401	0.816
<b>November</b>	143.5	72.30	22.16	128.9	125.1	2.981	2.832	0.826
<b>December</b>	153.8	85.00	22.50	135.3	131.3	3.145	2.989	0.830
<b>Year</b>	1945.7	747.40	21.84	2054.3	2011.3	47.186	44.925	0.822

Por meio dos dados de irradiação descritos na Tabela 5-2, pode-se concluir que o período de novembro, dezembro e janeiro são os de menor irradiação global incidente, o que, por conseguinte,

+++++torna este o período de menor geração de energia pelos painéis solares. Já o mês de agosto se destaca pela maior irradiação global incidente, 214,4 kWh/m<sup>2</sup>, o que o torna o mês com maior geração de energia pelos painéis. Esses níveis de irradiação podem ser explicados pela latitude do local.

## 6. CONCLUSÕES

*Este capítulo apresenta um panorama geral sobre o trabalho em função dos resultados obtidos e as propostas para subsidiar diretrizes futuras.*

### 6.1. CONCLUSÕES

O contexto histórico relacionado ao uso de energia conduz a uma reflexão no que diz respeito à sua produção e uso final, considerando as mudanças de pensamento que surgem no planeta em virtude das questões ambientais e econômicas. No que diz respeito ao consumo energético, as edificações possuem uma grande parcela de energia consumida.

O presente trabalho apresenta a relevância do tema da eficiência energética em edificações, uma vez que estas são responsáveis por 40% do consumo de energia elétrica no Brasil e que pode haver uma redução nesse consumo implementando algumas estratégias.

Para se atingir o objetivo de redução do consumo, faz-se necessário uma nova visão com relação à concepção, projeto e uso final de todos os tipos de edificação. Há uma significativa relevância quando se considera o projeto arquitetônico, pois este é o principal responsável pela implementação de medidas passivas para a edificação, obtendo-se assim diretrizes diferenciadas já em sua fase de concepção. No que diz respeito às soluções ativas, o grande destaque vai para a utilização de equipamentos eficientes e uma geração de energia de forma renovável, sempre levando em consideração as características da edificação, bem como, o espaço disponível e as necessidades energéticas.

O edifício estudado por Aguiar (2017) possibilitou uma análise termoenergética superficial dos sistemas de condicionamento de ar e suas eficiências, entretanto, algumas propostas puderam ser levantadas para que os parâmetros energéticos da edificação possam ser otimizados, buscando um padrão de eficiência predial.

Diante disso, o presente trabalho apresentou, primeiramente, uma análise termoenergética das condições arquitetônicas e funcionais do edifício, propondo melhoria nos parâmetros energéticos, sendo tais mudanças responsáveis fortemente para a redução do consumo anual de energia. Posteriormente, realizou-se o dimensionamento de um sistema solar fotovoltaico para abastecimento de energia elétrica do edifício.

Para tal, executou-se uma modelagem energética dos ambientes, com novas propostas estruturais, visando à análise da carga térmica da edificação e de seu consumo final. Tal

modelagem obteve resultado significativo, reduzindo o consumo da edificação em 27% do consumo inicial.

Após a apresentação do consumo de energia elétrica simulado, elaborou-se o dimensionamento de um sistema fotovoltaico para o abastecimento de energia de um dos pavimentos da edificação. O dimensionamento apresentou resultados satisfatórios, com uma produção final de 89,84 MWh, o que supre totalmente a demanda apresentada.

Entretanto, é notório que a implantação de soluções sustentáveis para um projeto que ainda não foi executado é extremamente mais fácil em comparação com um projeto de *retrofit* de uma edificação já concluída para torná-la de alto desempenho energético. Na fase de projeto, a alteração de qualquer tipo de parâmetro da construção, como paredes, vãos envidraçados, coberturas, dentre outros, se torna mais viável sem haver um impacto de grandes proporções nos custos. Já a alteração destes tipos de parâmetros possui maior complexidade em uma edificação já construída. Estes desafios tornam as soluções termoenergéticas em edifícios já existentes de difícil implementação. No entanto, com base nos resultados obtidos, pode-se afirmar que o projeto de alto desempenho do edifício analisado é viável. Pesquisas já realizadas em outros países ditam a viabilidade de edificações comerciais fotovoltaicas, ou seja, que utilizam energia advinda de painéis solares como fonte primária de consumo elétrico.

## **6.2. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS**

Para os próximos trabalhos, aconselha-se, sobretudo, aprimorar ainda mais a simulação termoenergética, de modo a buscar um maior índice de eficiência energética em dois níveis: em primeiro lugar, nos sistemas instalados e, em segundo lugar, nos componentes empregados na composição dos sistemas analisados. Sendo o principal sistema a ser analisado o condicionamento de ar, pois é o que apresenta o maior consumo na conjuntura atual.

Outra possibilidade de desenvolvimento do tema de estudo é avaliar a viabilidade econômica das mudanças arquitetônicas propostas e do sistema de geração de energia solar fotovoltaica. Considerando a soma do custo de implantação e custo de manutenção dos sistemas, assim como, a análise do tempo de retorno do investimento e da economia na conta de luz da edificação.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV)–Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.** Publicação. [S.l: s.n.]. , 2013

ABNT. 2008. **NBR 16401: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários.** Rio de Janeiro : ABNT, 2008.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **Standard 90.1 - 1989: energy standard for buildings except low-rise residential buildings.** Atlanta: [s.n.], 1989.

AMORIM, Cláudia Naves David e MARIN, Patricia. **Estratégias para a eficiência energética de residências unifamiliares na serra gaúcha: uma análise baseada no RTQ-R.** In: XIV ENTAC, 14., 2012, Juiz de Fora, n. 1, p. 2270–2278. Juiz de Fora: UFJF, 2012.

ANEEL. **Micro e minigeração distribuídas.** Cadernos Temáticos ANEEL, p. 34, 2016. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset\\_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introducao-1/656827?inheritRedirect=false](http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introducao-1/656827?inheritRedirect=false)>.

ANEEL. **Resolução Normativa, Nº 482, 17 de Abril de 2012.** . [S.l.]: Agência Nacional de Energia Elétrica. , 2012

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Capacidade de Geração do Brasil.** Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 10 jun 2019.

ARNS RAMPINELLI, Giuliano. **Estudo de Características Elétricas e Térmicas de Inversores Para Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede.** p. 285, 2010.

ARRIFANO, Ricardo Abel dos Reis. **Desempenho Ambiental e Soluções Arquitectónicas Sustentáveis em Complexos Desportivos.** . [S.l: s.n.]. , 2009

ASHRAE. **Standard 55-2010:“Thermal Environmental Conditions for Human**

Occupancy”; ASHRAE. Atlanta USA, 2010.

BALARAS, Constantinos A *et al.* **European residential buildings and empirical assessment of the Hellenic building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings.** Building and environment, v. 42, n. 3, p. 1298–1314, 2007.

BESANT, Robert W e DUMONT, Robert S e SCHOENAU, Greg. **The Saskatchewan conservation house: some preliminary performance results.** Energy and Buildings, v. 2, n. 2, p. 163–174, 1979.

BRAJAL, Fernando Manuel Gomes. **Edifícios de emissão quase zero - Guia de requisitos para a construção.** 2012. Universidade de Aveiro, 2012.

BRASIL. **Decreto 4.059, de 19 de Dezembro de 2001. Ano CXXXVII, n 242, seção 1.** Brasília. [S.l: s.n.]. , 2001a

BRASIL. **Lei n 10.295, de 17 de Outubro de 2001. Ano CXXXVII, n 200, seção 1.** Brasília, v. 18, n. 10, p. 2001, 2001b.

BRUNDTLAND, G. H. **Report of the World Commission on Environment and Development: our common future Oslo.** . [S.l: s.n.]. , 1987

BUTTI, Ken e PERLIN, John. **A golden thread: 2500 years of solar architecture and technology.** [S.l.]: Cheshire books, 1980.

CARRILHO DA GRAÇA, GUILHERME AUGUSTO, André e LERER, Maria M. **Solar powered net zero energy houses for southern Europe: Feasibility study.** Solar Energy, v. 86, n. 1, p. 634–646, 2012.

ÇENGEL, Yunus A. et al. **Termodinâmica. 7º Edição.** Porto Alegre: AMGH, p338. 2013.

CRESESB. **Energia elóica, principios e tecnologias.** Cresesb, p. 51, 2008. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/downloads/energia-eolica-principios-tecnologias.pdf>>.

CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: [s.n.]. v. 1.

DALBEM, R. e FREITAS, J.M.R. e CUNHA, E.G. **Conceito Passivhaus Aplicado ao Clima Brasileiro.** Revista de Arquitetura IMED, v. 4, n. 1, p. 26–36, 2015. Disponível

em: <<http://www.bibliotekevirtual.org/index.php/2013-02-07-03-02-35/2013-02-07-03-03-11/1659-arqimed/v04n01/17206-conceito-passivhaus-aplicado-ao-clima-brasileiro.html>>.

DOMINGOS, Lucas *et al.* Definição de uma classificação climática para o estudo de edificações com balanço anual zero de energia no Brasil. XV Encontro Nacional de Tecnologia Do Ambiente Construído, Maceió, Brazil. [S.l: s.n.], 2014. p. 213–222.

ELETROBRÁS. **Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.** Disponível em: <<https://www.eletronbras.com/ELB/data/Pages/LUMIS0389BBA8PTBRIE.htm>>. Acesso em: 30 ago 2017.

ELETROBRAS e PROCEL. **Avaliação Do Mercado De Eficiência Energética Do Brasil.** Avaliação do mercado de eficiência energética do Brasil, p. 77, 2009. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98%7D&Team=&params=itemID=%7B99EBBA5C-2EA1-4AEC-8AF2-5A751586DAF9%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>>.

ENERGYPLUS. **Engineering Reference.** The Reference to EnergyPlus Calculations. [S.l: s.n.], , 2014

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030–PNE 2030.** Rio de Janeiro: EPE/MME. [S.l: s.n.], , 2007

ESBENSEN, Torben V e KORSGAARD, Vagn. **Dimensioning of the solar heating system in the zero energy house in Denmark.** Solar Energy, v. 19, n. 2, p. 195–199, 1977.

FONSECA, Daniel António da Silva Da. **A casa de emissões nulas – Estudo conceptual.** 2007. Universidade de Aveiro, 2007.

FREITAS, Susana Sofia Alves. **Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.** . [S.l.]: Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e de Gestão. , 2008

GANHÃO, António Miguel Ganço Dias. **Construção Sustentável -Propostas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação.** . [S.l: s.n.], , 2011

GEHRING, ADRIANO DE ARAÚJO e LOPES, LUCAS FERNANDO DA SILVA e DALMOLIN, RODRIGO SCHWEITZER. **SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

**CONECTADOS À REDE: acompanhamento dos índices de mérito no escritório verde da UTFPR e análise da viabilidade econômica de implantação em residências.** Universidade Tecnológica Federal Do Paraná. [S.l: s.n.]. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3885/1/CT\\_COELE\\_2014\\_2\\_10.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3885/1/CT_COELE_2014_2_10.pdf)>. , 2015

GONÇALO, Carlos Rosário da Costa. **A Contribuição Dos Sistemas Solares Térmicos E Fotovoltaicos Para O Balanço Energético Dos Edifícios Residenciais Unifamiliares.** . [S.l: s.n.]. , 2012

GONÇALVES, Helder e AELENEI, Laura e RODRIGUES, Carlos. **Solar XXI: a portuguese office building towards net zero-energy building.** The REHVA European HVAC Journal, p. 34–40, 2012.

ISOLANI, Pieraldo. **Eficiência energética nos edifícios residenciais.** Lisboa, Deco, 2008.

JORGE, Delmar F. e LOPES, Ricardo F. “ **NET ZERO BUILDINGS ” – APPLYING TO AN EXISTING BUILDING.** . [S.l: s.n.]. , 2017

LAMBERT, José Antônio. **Energia Solar Fotovoltaica Conectada à Rede de Energia Elétrica em Cuiabá: Estudo de Caso.** 2014. Universidade Federal do Mato Grosso, 2014.

LAUSTSEN, Jens. **Energy efficiency requirements in building codes, energy efficiency policies for new buildings.** International Energy Agency (IEA), v. 2, n. 8, p. 477–488, 2008.

MACIEL, Alexandra Albuquerque. 2002. **Projeto Bioclimático em Brasília: Estudo de Caso em Edifício de Escritórios.** Florianópolis : s.n, 2002.

MARTINS, Fernando Ramos e PEREIRA, Enio Bueno e ECHER, Mariza Pereira De Souza. **Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geostacionário: o Projeto Swera.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 26, n. 2, p. 145–159, 2004.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 5 anos (2016-2020).** Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/Série Estudos de Energia/DEA 19-15](http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/Série%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2019-15) -

Projeções da Demanda de Energia Elétrica 2016-2020.pdf>.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Resenha Energética Brasileira - Exercício 2016**. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/02+-+Resenha+Energética+Brasileira+2017+-+ano+ref.+2016+\(PDF\)/13d8d958-de50-4691-96e3-3ccf53f8e1e4?version=1.0](http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/02+-+Resenha+Energética+Brasileira+2017+-+ano+ref.+2016+(PDF)/13d8d958-de50-4691-96e3-3ccf53f8e1e4?version=1.0)>. Acesso em: 1 jan 2017.

MME, Ministério de Minas e Energia. **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro - dezembro 2016**. . Brasília: [s.n.] , 2017

MME, Ministério de Minas e Energia. **Energia Solar no Brasil e no Mundo**. n. 55 61, p. 3–6, 2016.

PACHECO, Miguel Teixeira Gomes. **Ventilação Natural E Climatização Artificial : Crítica Ao Modelo Superisolado Para Residência De Energia Zero Em Belem E Curitiba**. p. 292, 2013.

PEREIRA, E B *et al.* **Atlas brasileiro de energia solar**. . São José dos Campos: INPE: ISBN 978-85-17-00030-0, 2006.

PEREIRA, Enio Bueno *et al.* **Brazilian Atlas of Solar Energy**. [S.l: s.n.], 2006. Disponível em: <[http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil\\_solar\\_atlas\\_R1.pdf%5Cnhttp://sonda.cst.inpe.br/publicacoes/atlas\\_solar.html](http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf%5Cnhttp://sonda.cst.inpe.br/publicacoes/atlas_solar.html)>.

PICCINI, Anderson Rodrigo. **Análise da Viabilidade da Conexão de Geração Solar Fotovoltaica na Rede de Distribuição de Palmas-TO via MATLAB/PSAT**. 2009. 12f. 2009.

PINHO, João Tavares; e GALDINO, Marco Antonio e ROGÉRIO DOS SANTOS ALVES; ALEX SOARES DE SOUZA, Et all. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. [S.l: s.n.], 2014.

PINTO, Geraldo Souza Python. **Proposta de edificação experimental com balanço energético nulo para a Universidade de Brasília**. . Brasília: [s.n.] , 2014

PORTAL DA POLÍCIA FEDERAL. Disponível em <<http://www.pf.gov.br/>>. Acesso em 20 de junho de 2019.

PROCEL, ENCE. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência**

**Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C).** . [S.l.]: Brazil. , 2010

PROENÇA, Emanuel Dâmaso Rodrigues Brinquete (Instituto Superior Técnico). **A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM PORTUGAL - Estado-da-Arte e Perspectivas de Desenvolvimento.** Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial - Lisboa, Portugal, p. 88, 2007.

PVPS, I E A. **Snapshot of Global Photovoltaic Markets.** IEA Photovoltaic Power Systems Programme Report, 2018.

PVPS, I E A. **Snapshot of Global Photovoltaic Markets.** IEA Photovoltaic Power Systems Programme Report, 2019.

RODRIGUES, F. **Homem , Trabalho E Meio Ambiente : Desenvolvimento E Sustentabilidade.** [s.l.] Universidade de Caxias do Sul, 2009.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil.** [S.l: s.n.], 2004.

SALGUEIRO, Andreia. **A contribuição de um sistema solar térmico no desempenho energético do do Edifício Solar XXI.** . [S.l.]: Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Energia e Bioenergia. Departamento de Ciências e Tecnologia da Biomassa da. , 2011

SCHAEDLER, Luciano. **Simulação computacional de uma residência visando a análise do consumo energético.** . Horizontina: [s.n.], , 2014

SOLARKW. **Energia Fotovoltaica.** Disponível em: <<http://www.solarkw.com.br/>>. Acesso em: 1 jan 2017.

SOUZA, Ronilson Di. **Os sistemas de energia solar fotovoltaica - Livro digital de introdução aos sistemas solares.** Bluesol, p. 114, 2016. Disponível em: <<http://programaintegradoronline.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Livro-Digital-de-Introdução-aos-Sistemas-Solares-novo.pdf>>.

STRAND, Richard K. Modularization and simulation techniques for heat balance-based energy and load calculation programs: the experience. 2001, [S.l.]: Citeseer, 2001.

TAVARES, Francisco Mousinho Latino. **Metodologia para edifícios de balanço**

**energético nulo.** 2013. Universidade Nova de Lisboa, 2013.

TEIXEIRA, HPF. **Proposta De Um Edifício De Caráter Experimental Segundo O Conceito Nzeb Para a Universidade De Brasília.** Bdm.Unb.Br, 2015. Disponível em: <[http://bdm.unb.br/bitstream/10483/11783/1/2015\\_HugodePaulaFrancoTeixeira.pdf](http://bdm.unb.br/bitstream/10483/11783/1/2015_HugodePaulaFrancoTeixeira.pdf)>.

TIBA, Chigeru. **Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de Dados Terrestres.** Atlas Solarimétrico do Brasil, v. 1, p. 111, 2000. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes>>.

TOMÁS, Nuno. **Integração de Energias Renováveis em Edifícios.** . [S.l: s.n.] , 2009

TORCELLINI, P e PLESS, S e DERU, M. **Zero Energy Buildings : A Critical Look at the Definition Preprint.** ACEE Summer studay, v. 2, p. 15, 2006. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/docs/fy06osti/39833.pdf>>.

TORRES, Vinícius Azevedo e CAMARGO, Roberto Cruz De. **Sistemas de Energia Solar Interligados a Rede Elétrica da Concessionária.** . Rio de Janeiro: [s.n.] , 2015

U S DOE. **Energypplus engineering reference.** The reference to energypplus calculations, 2010.

UNITED STATES GREEN BUILDING CONCIL (USGBC). **No Title.** Disponível em: <<http://www.usgbc.org>>. Acesso em: 1 jan 2017.

ZILLES, Roberto. **Energia solar fotovoltaica.** USP, São Paulo, 2012.

## **APÊNDICES**

## A.1 RELATÓRIO SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA

### OpenStudio Results

#### Model Summary

##### Building Summary

Information	Value	Units
Building Name	Polícia Federal	building_name
Net Site Energy	1,791,299	kBtu
Total Building Area	14,769	ft <sup>2</sup>
EUI	121.28	kBtu/ft <sup>2</sup>

##### Weather Summary

	Value
Weather File	BRASILIA - BRA IWEC Data WMO#=833780
Latitude	-15.9
Longitude	-47.9
Elevation	1061.00
Time Zone	-3.0
North Axis Angle	-72.0

##### Sizing Period Design Days

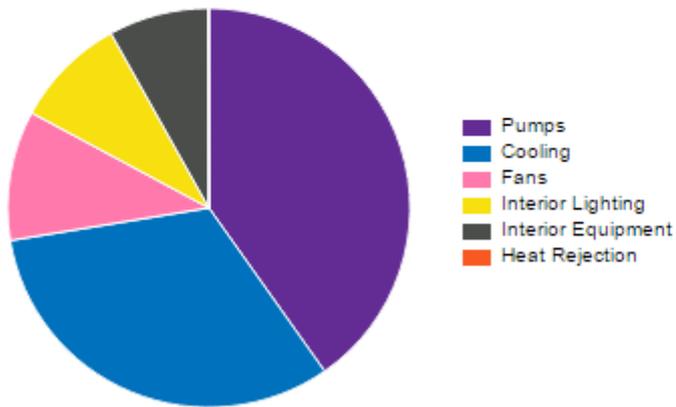
	Maximum Dry Bulb (F)	Daily Temperature Range (F)	Humidity Value	Humidity Type	Wind Speed (mph)	Wind Direction
BRASILIA ANN CLG .4% CONDNS DB=>MWB	89.78	52.34	64.22	Wetbulb [F]	7.38	60.0
BRASILIA ANN CLG .4% CONDNS DP=>MDB	74.12	52.34	69.98	Dewpoint [F]	7.38	60.0
BRASILIA ANN CLG .4% CONDNS ENTH=>MDB	79.7	52.34	30.44	Enthalpy [Btu/lb]	7.38	60.0
BRASILIA ANN CLG .4% CONDNS WB=>MDB	79.52	52.34	71.96	Wetbulb [F]	7.38	60.0
BRASILIA ANN HTG 99.6% CONDNS DB	49.64	32.0	49.64	Wetbulb [F]	0.89	270.0
BRASILIA ANN HTG WIND 99.6% CONDNS WS=>MCDB	72.32	32.0	72.32	Wetbulb [F]	17.22	270.0
BRASILIA ANN HUM_N 99.6% CONDNS DP=>MCDB	77.0	32.0	37.4	Dewpoint [F]	0.89	270.0

### Unmet Hours Summary

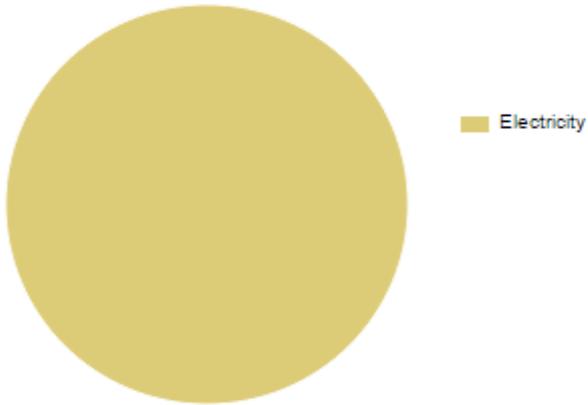
Time Setpoint Not Met	Value (hr)
During Heating	0.0
During Cooling	0.0
During Occupied Heating	0.0
During Occupied Cooling	0.0

## Annual Overview

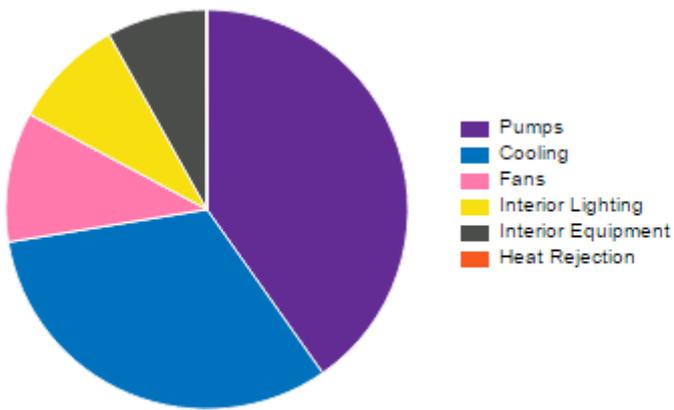
### End Use - view table



### Energy Use - view table

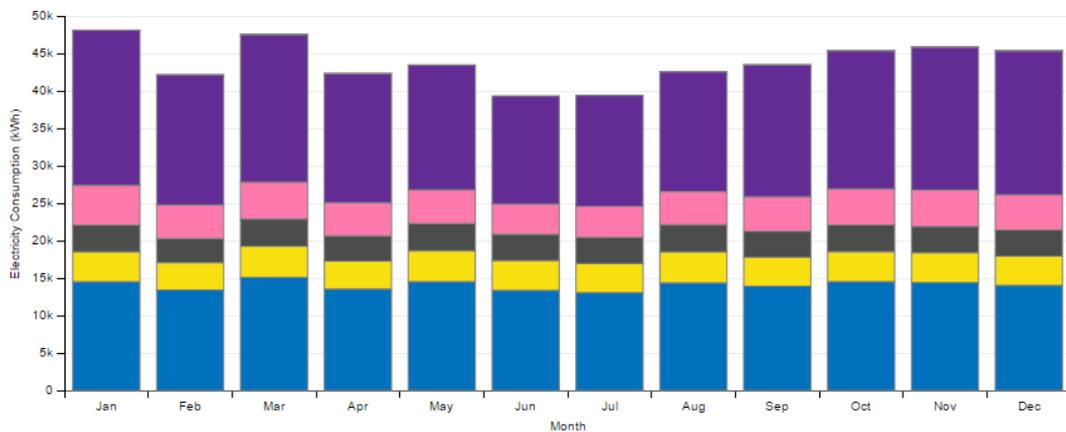


### EUI - Electricity - view table

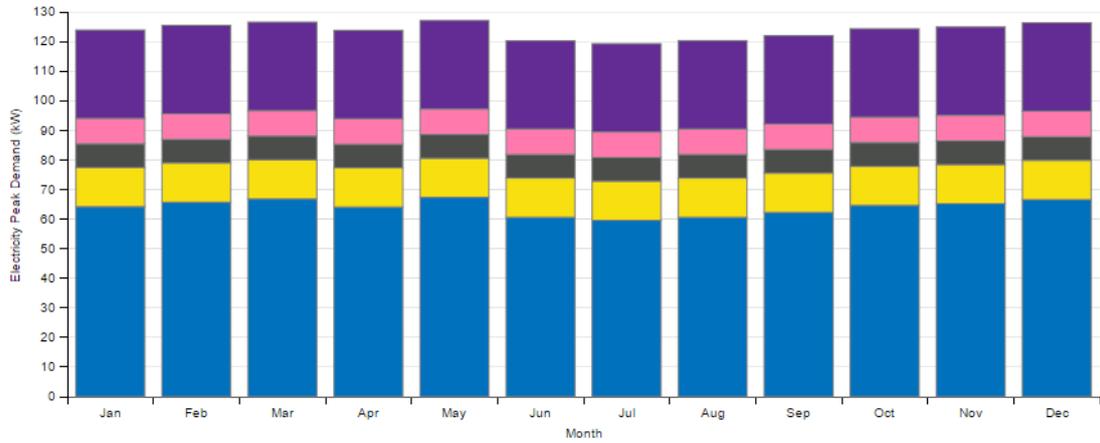


## Monthly Overview

### Electricity Consumption (kWh) - view table



Electricity Peak Demand (kW) - view table



## Utility Bills/Rates

No Data to Show for Utility Bills/Rates

## Envelope

Base Surface Constructions

Construction	Net Area (ft <sup>2</sup> )	Surface Count	R Value (ft <sup>2</sup> ·h·R/Btu)
LAJE_FORRO_U1.75	116,341	22	2.31
PAREDE_U1.74	78,475	94	2.41

Sub Surface Constructions

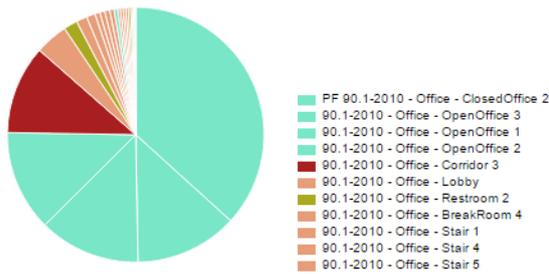
Construction	Area (ft <sup>2</sup> )	Surface Count	U-Factor (Btu/ft <sup>2</sup> ·h·R)
Vidro_cebrace_U1.5	13,557	93	0.2642

### WWR & Skylight Ratio

Description	Total (%)	North (%)	East (%)	South (%)	West (%)
Gross Window-Wall Ratio	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0
Skylight-Roof Ratio	0.0				

## Space Type Breakdown

### Space Type Breakdown - view table



## Space Type Summary

### 90.1-2010 - Office - BreakRoom 1 (1 spaces and 0 thermal zones)

Definition	Value	Unit	Inst. Multiplier
90.1-2010 - Office - BreakRoom People Definition	0.0500	people/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - BreakRoom Electric Equipment Definition	4.4600	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - BreakRoom Lights Definition	0.7300	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - BreakRoom Infiltration 1	0.0446	cfm/ext surf area ft^2	
90.1-2010 - Office - BreakRoom Ventilation (outdoor air method Sum)	5.0000	cfm/person	
90.1-2010 - Office - BreakRoom Ventilation (outdoor air method Sum)	0.0600	cfm/floor area ft^2	

### 90.1-2010 - Office - BreakRoom 2 (1 spaces and 0 thermal zones)

Definition	Value	Unit	Inst. Multiplier
90.1-2010 - Office - BreakRoom People Definition	0.0500	people/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - BreakRoom Electric Equipment Definition	4.4600	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - BreakRoom Lights Definition	0.7300	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - BreakRoom Infiltration 2	0.0446	cfm/ext surf area ft^2	
90.1-2010 - Office - BreakRoom Ventilation (outdoor air method Sum)	5.0000	cfm/person	
90.1-2010 - Office - BreakRoom Ventilation (outdoor air method Sum)	0.0600	cfm/floor area ft^2	

90.1-2010 - Office - BreakRoom 4  
(1 spaces and 0 thermal zones)

Definition	Value	Unit	Inst. Multiplier
90.1-2010 - Office - BreakRoom People Definition	0.0500	people/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - BreakRoom Electric Equipment Definition	4.4600	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - BreakRoom Lights Definition	0.7300	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - BreakRoom Infiltration 4	0.0446	cfm/ext surf area ft^2	
90.1-2010 - Office - BreakRoom Ventilation (outdoor air method Sum)	5.0000	cfm/person	
90.1-2010 - Office - BreakRoom Ventilation (outdoor air method Sum)	0.0600	cfm/floor area ft^2	

90.1-2010 - Office - BreakRoom 3  
(1 spaces and 0 thermal zones)

Definition	Value	Unit	Inst. Multiplier
90.1-2010 - Office - BreakRoom People Definition	0.0500	people/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - BreakRoom Electric Equipment Definition	4.4600	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - BreakRoom Lights Definition	0.7300	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - BreakRoom Infiltration 3	0.0446	cfm/ext surf area ft^2	
90.1-2010 - Office - BreakRoom Ventilation (outdoor air method Sum)	5.0000	cfm/person	
90.1-2010 - Office - BreakRoom Ventilation (outdoor air method Sum)	0.0600	cfm/floor area ft^2	

90.1-2010 - Office - BreakRoom 5  
(1 spaces and 1 thermal zones)

Definition	Value	Unit	Inst. Multiplier
90.1-2010 - Office - BreakRoom People Definition	0.0500	people/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - BreakRoom Electric Equipment Definition	4.4600	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - BreakRoom Lights Definition	0.7300	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - BreakRoom Infiltration 5	0.0446	cfm/ext surf area ft^2	
90.1-2010 - Office - BreakRoom Ventilation (outdoor air method Sum)	5.0000	cfm/person	
90.1-2010 - Office - BreakRoom Ventilation (outdoor air method Sum)	0.0600	cfm/floor area ft^2	

90.1-2010 - Office - BreakRoom 6  
(1 spaces and 0 thermal zones)

Definition	Value	Unit	Inst. Multiplier
90.1-2010 - Office - BreakRoom People Definition	0.0500	people/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - BreakRoom Electric Equipment Definition	4.4600	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - BreakRoom Lights Definition	0.7300	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - BreakRoom Infiltration 6	0.0446	cfm/ext surf area ft^2	
90.1-2010 - Office - BreakRoom Ventilation (outdoor air method Sum)	5.0000	cfm/person	
90.1-2010 - Office - BreakRoom Ventilation (outdoor air method Sum)	0.0600	cfm/floor area ft^2	

90.1-2010 - Office - Corridor 3  
(5 spaces and 1 thermal zones)

Definition	Value	Unit	Inst. Multiplier
90.1-2010 - Office - Corridor People Definition	0.0010	people/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - Corridor Electric Equipment Definition	0.1600	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - Corridor Lights Definition	0.6600	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - Corridor Infiltration 3	0.0446	cfm/ext surf area ft^2	
90.1-2010 - Office - Corridor Ventilation (outdoor air method Sum)	0.0600	cfm/floor area ft^2	

90.1-2010 - Office - Lobby  
(2 spaces and 0 thermal zones)

Definition	Value	Unit	Inst. Multiplier
90.1-2010 - Office - Lobby People Definition	0.0100	people/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - Lobby Electric Equipment Definition	0.0700	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - Lobby Lights Definition	0.9000	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - Lobby Infiltration	0.0446	cfm/ext surf area ft^2	
90.1-2010 - Office - Lobby Ventilation (outdoor air method Sum)	5.0000	cfm/person	
90.1-2010 - Office - Lobby Ventilation (outdoor air method Sum)	0.0600	cfm/floor area ft^2	

90.1-2010 - Office - Lobby 1  
(1 spaces and 0 thermal zones)

Definition	Value	Unit	Inst. Multiplier
90.1-2010 - Office - Lobby People Definition	0.0100	people/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - Lobby Electric Equipment Definition	0.0700	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - Lobby Lights Definition	0.9000	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - Lobby Infiltration 1	0.0446	cfm/ext surf area ft^2	
90.1-2010 - Office - Lobby Ventilation (outdoor air method Sum)	5.0000	cfm/person	
90.1-2010 - Office - Lobby Ventilation (outdoor air method Sum)	0.0600	cfm/floor area ft^2	

90.1-2010 - Office - OpenOffice 1  
(1 spaces and 0 thermal zones)

Definition	Value	Unit	Inst. Multiplier
90.1-2010 - Office - OpenOffice People Definition	0.0052	people/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - OpenOffice Electric Equipment Definition	0.7100	W/ft^2	1.0
PF CARGA ILUMINACAO	1.4864	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - OpenOffice Infiltration 1	0.0446	cfm/ext surf area ft^2	
90.1-2010 - Office - OpenOffice Ventilation (outdoor air method Sum)	5.0000	cfm/person	
90.1-2010 - Office - OpenOffice Ventilation (outdoor air method Sum)	0.0600	cfm/floor area ft^2	

90.1-2010 - Office - OpenOffice 2  
(1 spaces and 0 thermal zones)

Definition	Value	Unit	Inst. Multiplier
90.1-2010 - Office - OpenOffice People Definition	0.0052	people/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - OpenOffice Electric Equipment Definition	0.7100	W/ft^2	1.0
PF CARGA ILUMINACAO	1.4864	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - OpenOffice Infiltration 2	0.0446	cfm/ext surf area ft^2	
90.1-2010 - Office - OpenOffice Ventilation (outdoor air method Sum)	5.0000	cfm/person	
90.1-2010 - Office - OpenOffice Ventilation (outdoor air method Sum)	0.0600	cfm/floor area ft^2	

90.1-2010 - Office - OpenOffice 3  
(1 spaces and 0 thermal zones)

Definition	Value	Unit	Inst. Multiplier
90.1-2010 - Office - OpenOffice People Definition	0.0052	people/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - OpenOffice Electric Equipment Definition	0.7100	W/ft^2	1.0
PF CARGA ILUMINACAO	1.4864	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - OpenOffice Infiltration 3	0.0446	cfm/ext surf area ft^2	
90.1-2010 - Office - OpenOffice Ventilation (outdoor air method Sum)	5.0000	cfm/person	
90.1-2010 - Office - OpenOffice Ventilation (outdoor air method Sum)	0.0600	cfm/floor area ft^2	

90.1-2010 - Office - Restroom  
(2 spaces and 0 thermal zones)

Definition	Value	Unit	Inst. Multiplier
90.1-2010 - Office - Restroom People Definition	0.0100	people/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - Restroom Electric Equipment Definition	0.0700	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - Restroom Lights Definition	0.9800	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - Restroom Infiltration	0.0446	cfm/ext surf area ft^2	
90.1-2010 - Office - Restroom Ventilation (outdoor air method Sum)	0.0600	cfm/floor area ft^2	

90.1-2010 - Office - Restroom 1  
(1 spaces and 0 thermal zones)

Definition	Value	Unit	Inst. Multiplier
90.1-2010 - Office - Restroom People Definition	0.0100	people/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - Restroom Electric Equipment Definition	0.0700	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - Restroom Lights Definition	0.9800	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - Restroom Infiltration 1	0.0446	cfm/ext surf area ft^2	
90.1-2010 - Office - Restroom Ventilation (outdoor air method Sum)	0.0600	cfm/floor area ft^2	

90.1-2010 - Office - Restroom 2  
(13 spaces and 4 thermal zones)

Definition	Value	Unit	Inst. Multiplier
90.1-2010 - Office - Restroom People Definition	0.0100	people/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - Restroom Electric Equipment Definition	0.0700	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - Restroom Lights Definition	0.9800	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - Restroom Infiltration 2	0.0446	cfm/ext surf area ft^2	
90.1-2010 - Office - Restroom Ventilation (outdoor air method Sum)	0.0600	cfm/floor area ft^2	

90.1-2010 - Office - Stair 1  
(1 spaces and 0 thermal zones)

Definition	Value	Unit	Inst. Multiplier
90.1-2010 - Office - Stair Lights Definition	0.6900	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - Stair Infiltration 1	0.0446	cfm/ext surf area ft^2	
90.1-2010 - Office - Stair Ventilation (outdoor air method Sum)	0.0600	cfm/floor area ft^2	

90.1-2010 - Office - Stair 2  
(1 spaces and 0 thermal zones)

Definition	Value	Unit	Inst. Multiplier
90.1-2010 - Office - Stair Lights Definition	0.6900	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - Stair Infiltration 2	0.0446	cfm/ext surf area ft^2	
90.1-2010 - Office - Stair Ventilation (outdoor air method Sum)	0.0600	cfm/floor area ft^2	

90.1-2010 - Office - Stair 3  
(1 spaces and 0 thermal zones)

Definition	Value	Unit	Inst. Multiplier
90.1-2010 - Office - Stair Lights Definition	0.6900	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - Stair Infiltration 3	0.0446	cfm/ext surf area ft^2	
90.1-2010 - Office - Stair Ventilation (outdoor air method Sum)	0.0600	cfm/floor area ft^2	

90.1-2010 - Office - Stair 4  
(1 spaces and 1 thermal zones)

Definition	Value	Unit	Inst. Multiplier
90.1-2010 - Office - Stair Lights Definition	0.6900	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - Stair Infiltration 4	0.0446	cfm/ext surf area ft^2	
90.1-2010 - Office - Stair Ventilation (outdoor air method Sum)	0.0600	cfm/floor area ft^2	

90.1-2010 - Office - Stair 5  
(1 spaces and 0 thermal zones)

Definition	Value	Unit	Inst. Multiplier
90.1-2010 - Office - Stair Lights Definition	0.6900	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - Stair Infiltration 5	0.0446	cfm/ext surf area ft^2	
90.1-2010 - Office - Stair Ventilation (outdoor air method Sum)	0.0600	cfm/floor area ft^2	

PF 90.1-2010 - Office - ClosedOffice  
(1 spaces and 0 thermal zones)

Definition	Value	Unit	Inst. Multiplier
90.1-2010 - Office - ClosedOffice Electric Equipment Definition	0.6400	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - ClosedOffice Lights Definition	1.1100	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - ClosedOffice Infiltration	0.0446	cfm/ext surf area ft^2	
90.1-2010 - Office - ClosedOffice Ventilation (outdoor air method Sum)	5.0000	cfm/person	
90.1-2010 - Office - ClosedOffice Ventilation (outdoor air method Sum)	0.0600	cfm/floor area ft^2	

PF 90.1-2010 - Office - ClosedOffice 1  
(1 spaces and 0 thermal zones)

Definition	Value	Unit	Inst. Multiplier
90.1-2010 - Office - ClosedOffice Electric Equipment Definition	0.6400	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - ClosedOffice Lights Definition	1.1100	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - ClosedOffice Infiltration 1	0.0446	cfm/ext surf area ft^2	
90.1-2010 - Office - ClosedOffice Ventilation (outdoor air method Sum)	5.0000	cfm/person	
90.1-2010 - Office - ClosedOffice Ventilation (outdoor air method Sum)	0.0600	cfm/floor area ft^2	

PF 90.1-2010 - Office - ClosedOffice 2  
(32 spaces and 8 thermal zones)

Definition	Value	Unit	Inst. Multiplier
90.1-2010 - Office - ClosedOffice Electric Equipment Definition	0.6400	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - ClosedOffice Lights Definition	1.1100	W/ft^2	1.0
90.1-2010 - Office - ClosedOffice Infiltration 2	0.0446	cfm/ext surf area ft^2	
90.1-2010 - Office - ClosedOffice Ventilation (outdoor air method Sum)	5.0000	cfm/person	
90.1-2010 - Office - ClosedOffice Ventilation (outdoor air method Sum)	0.0600	cfm/floor area ft^2	

# Interior Lighting Summary

## Interior Lighting Summary

	Zone	Lighting Power Density (W/ft <sup>2</sup> )	Total Power (W)	Schedule Name	Scheduled Hours/Week (hr)	Actual Load Hours/Week (hr)	Return Air Fraction	Consumption (kWh)
THERMAL ZONE: 03 – COPA 90.1-2010 - OFFICE - BREAKROOM LIGHTS 5	THERMAL ZONE: 03 – COPA	0.73	284.49	OFFICE BLDG LIGHT	61.85	61.85	0.0000	916.67
THERMAL ZONE: 03 – CORREDOR - CIRCULACAO 90.1-2010 - OFFICE - CORRIDOR LIGHTS 3	THERMAL ZONE: 03 – CORREDOR - CIRCULACAO	0.66	1725.89	OFFICE BLDG LIGHT	61.85	61.85	0.0000	5566.67
THERMAL ZONE: 03 – BANHEIRO 1 90.1-2010 - OFFICE - RESTROOM LIGHTS 2	THERMAL ZONE: 03 – BANHEIRO 1	0.98	133.18	OFFICE BLDG LIGHT	61.85	61.85	0.0000	430.56
THERMAL ZONE: 03 – BANHEIRO 2 90.1-2010 - OFFICE - RESTROOM LIGHTS 2	THERMAL ZONE: 03 – BANHEIRO 2	0.98	139.73	OFFICE BLDG LIGHT	61.85	61.85	0.0000	450.0
THERMAL ZONE: 03 – BANHEIRO 3 90.1-2010 - OFFICE - RESTROOM LIGHTS 2	THERMAL ZONE: 03 – BANHEIRO 3	0.98	135.61	OFFICE BLDG LIGHT	61.85	61.85	0.0000	436.11
THERMAL ZONE: 03 – BANHEIRO 4 90.1-2010 - OFFICE - RESTROOM LIGHTS 2	THERMAL ZONE: 03 – BANHEIRO 4	0.98	136.55	OFFICE BLDG LIGHT	61.85	61.85	0.0000	441.67
THERMAL ZONE: 03 - ELEVADOR 90.1-2010 - OFFICE - STAIR LIGHTS 4	THERMAL ZONE: 03 - ELEVADOR	0.69	498.62	OFFICE BLDG LIGHT	61.85	61.85	0.0000	1608.33
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 1 90.1-2010 - OFFICE - CLOSED OFFICE LIGHTS 2	THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 1	1.11	2959.05	OFFICE BLDG LIGHT	61.85	61.85	0.0000	9544.44

THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 2 90.1-2010 - OFFICE - CLOSED OFFICE LIGHTS 2	THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 2	1.11	863.77	OFFICE BLDG LIGHT	61.85	61.85	0.0000	2786.11
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 3 90.1-2010 - OFFICE - CLOSED OFFICE LIGHTS 2	THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 3	1.11	859.55	OFFICE BLDG LIGHT	61.85	61.85	0.0000	2772.22
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 4 90.1-2010 - OFFICE - CLOSED OFFICE LIGHTS 2	THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 4	1.11	2262.69	OFFICE BLDG LIGHT	61.85	61.85	0.0000	7297.22
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 5 90.1-2010 - OFFICE - CLOSED OFFICE LIGHTS 2	THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 5	1.11	2422.45	OFFICE BLDG LIGHT	61.85	61.85	0.0000	7813.89
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 6 90.1-2010 - OFFICE - CLOSED OFFICE LIGHTS 2	THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 6	1.11	552.4	OFFICE BLDG LIGHT	61.85	61.85	0.0000	1780.56
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 7 90.1-2010 - OFFICE - CLOSED OFFICE LIGHTS 2	THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 7	1.11	879.49	OFFICE BLDG LIGHT	61.85	61.85	0.0000	2836.11
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 8 90.1-2010 - OFFICE - CLOSED OFFICE LIGHTS 2	THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 8	1.11	839.98	OFFICE BLDG LIGHT	61.85	61.85	0.0000	2708.33

## Plug Loads Summary

### Electric Plug Load Consumption

	Electricity Annual Value (kWh)
InteriorEquipment:Electricity:Zone:THERMAL ZONE: 03 – COPA	8233.33
InteriorEquipment:Electricity:Zone:THERMAL ZONE: 03 – CORREDOR - CIRCULACAO	1980.56
InteriorEquipment:Electricity:Zone:THERMAL ZONE: 03 – BANHEIRO 1	44.44
InteriorEquipment:Electricity:Zone:THERMAL ZONE: 03 – BANHEIRO 2	47.22
InteriorEquipment:Electricity:Zone:THERMAL ZONE: 03 – BANHEIRO 3	47.22
InteriorEquipment:Electricity:Zone:THERMAL ZONE: 03 – BANHEIRO 4	47.22
InteriorEquipment:Electricity:Zone:THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 1	8080.56
InteriorEquipment:Electricity:Zone:THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 2	2358.33
InteriorEquipment:Electricity:Zone:THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 3	2347.22
InteriorEquipment:Electricity:Zone:THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 4	6180.56
InteriorEquipment:Electricity:Zone:THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 5	6616.67
InteriorEquipment:Electricity:Zone:THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 6	1508.33
InteriorEquipment:Electricity:Zone:THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 7	2402.78

## Exterior Lighting

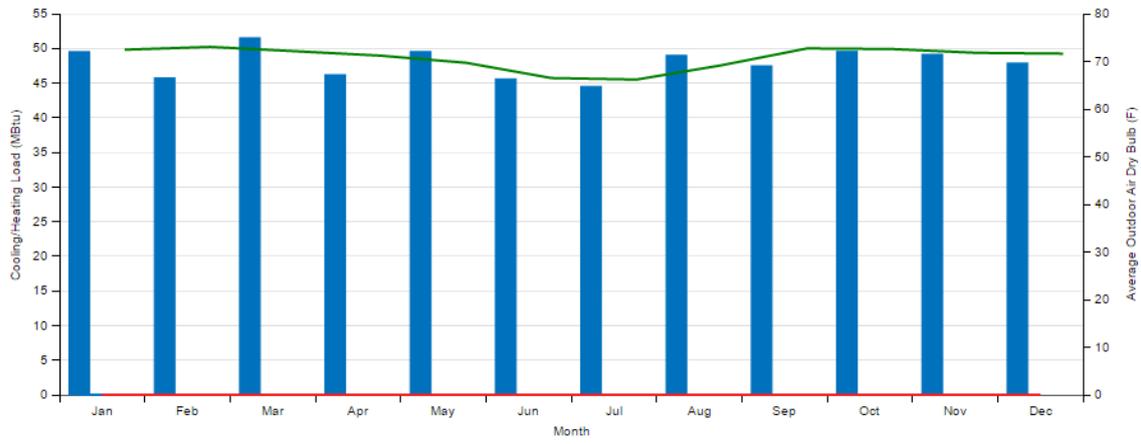
No Data to Show for Exterior Lighting

## Water Use Equipment

No Data to Show for Water Use Equipment

## HVAC Load Profiles

Monthly Load Profiles - view table



## Zone Conditions

Temperature (Table values represent hours spent in each temperature range)

Zone	Unmet Heating Hours (hr)	< 56 (F)	56-61 (F)	61-66 (F)	66-68 (F)	68-70 (F)	70-72 (F)	72-74 (F)	74-76 (F)	76-78 (F)	78-83 (F)	>= 88 (F)	Unmet Cooling Hours (hr)	Mean Temp (F)
THERMAL ZONE: 03 - ELEVADOR	0	0	8	89	126	207	325	558	966	706	1015	821	0	87.9 (F)
THERMAL ZONE: 03 - BANHEIRO 1	0	10	83	410	325	545	1112	944	514	472	876	839	0	80.4 (F)
THERMAL ZONE: 03 - BANHEIRO 2	0	12	119	458	355	623	1079	837	500	454	886	842	0	80.0 (F)
THERMAL ZONE: 03 - BANHEIRO 3	0	5	42	324	261	428	1053	1142	575	483	1137	1019	0	79.6 (F)
THERMAL ZONE: 03 - BANHEIRO 4	0	11	110	450	339	589	1070	807	492	409	957	851	0	80.0 (F)
THERMAL ZONE: 03 - COPA	0	0	0	2	6	16	24	57	115	196	1096	1664	0	101.4 (F)

THERMAL ZONE: 03 – CORREDOR - CIRCULACAO	0	5	41	301	246	377	747	1145	641	482	986	934	0	81.7 (F)
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 1	0	6	44	273	211	344	645	7237	0	0	0	0	0	72.5 (F)
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 2	0	4	33	255	224	341	613	7290	0	0	0	0	0	72.5 (F)
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 3	0	5	36	271	233	343	641	7231	0	0	0	0	0	72.5 (F)
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 4	0	11	96	370	287	440	763	6793	0	0	0	0	0	72.1 (F)
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 5	0	5	44	279	224	373	669	7166	0	0	0	0	0	72.4 (F)
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 6	0	3	26	224	214	319	562	7412	0	0	0	0	0	72.6 (F)
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 7	0	0	15	120	162	229	380	7854	0	0	0	0	0	72.9 (F)
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 8	0	4	34	258	215	337	605	7307	0	0	0	0	0	72.5 (F)

Humidity (Table values represent hours spent in each Humidity range)

Zone	< 30 (%)	30-35 (%)	35-40 (%)	40-45 (%)	45-50 (%)	50-55 (%)	55-60 (%)	60-65 (%)	65-70 (%)	70-75 (%)	>= 80 (%)	Mean Relative Humidity (%)
THERMAL ZONE: 03 - ELEVADOR	2569	706	654	589	631	843	712	568	668	378	225	44.7 (%)
THERMAL ZONE: 03 – BANHEIRO 1	48	34	43	81	111	216	354	443	440	470	578	85.9 (%)
THERMAL ZONE: 03 – BANHEIRO 2	50	36	46	84	117	239	361	408	449	422	543	86.1 (%)
THERMAL ZONE: 03 – BANHEIRO 3	5	27	75	159	207	279	339	286	354	385	386	86.8 (%)
THERMAL ZONE: 03 – BANHEIRO 4	7	41	105	188	250	321	254	358	355	306	340	86.4 (%)
THERMAL ZONE: 03 – COPA	262	216	188	203	209	348	237	187	249	409	511	82.7 (%)
THERMAL ZONE: 03 – CORREDOR - CIRCULACAO	184	371	607	739	782	675	541	506	517	557	660	65.2 (%)
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 2	0	0	2	39	79	93	104	143	343	754	1954	82.4 (%)
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 3	0	0	3	40	81	92	107	153	370	736	1974	82.1 (%)
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 4	0	0	3	47	83	83	72	122	367	2088	988	82.9 (%)
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 5	0	0	0	36	82	87	84	114	157	2099	877	83.5 (%)
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 6	0	0	0	21	77	103	103	122	205	1212	1825	82.4 (%)
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 7	0	0	0	9	75	97	121	94	200	1263	1717	82.9 (%)
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 8	0	0	0	29	86	104	99	122	223	1038	2017	82.1 (%)

## Zone Overview

### Zone Summary

	Area (ft <sup>2</sup> )	Conditioned (Y/N)	Part of Total Floor Area (Y/N)	Volume (ft <sup>3</sup> )	Multiplier	Gross Wall Area (ft <sup>2</sup> )	Window Glass Area (ft <sup>2</sup> )	Lighting (W/ft <sup>2</sup> )	People (ft <sup>2</sup> /person)	Plug and Process (W/ft <sup>2</sup> )
THERMAL ZONE: 03 – BANHEIRO 1	135.95	No	Yes	1297.46	1.00	0.0	24.0	0.98	100.0	0.07
THERMAL ZONE: 03 – BANHEIRO 2	142.62	No	Yes	1361.38	1.00	0.0	25.19	0.98	100.0	0.07
THERMAL ZONE: 03 – BANHEIRO 3	138.42	No	Yes	1321.12	1.00	0.0	24.0	0.98	100.0	0.07
THERMAL ZONE: 03 – BANHEIRO 4	139.28	No	Yes	1330.3	1.00	0.0	25.19	0.98	100.0	0.07
THERMAL ZONE: 03 – COPA	389.76	No	Yes	3720.75	1.00	0.0	91.71	0.73	20.02	4.46
THERMAL ZONE: 03 – CORREDOR - CIRCULACAO	2614.98	No	Yes	24966.06	1.00	0.0	291.7	0.66	999.97	0.16
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 1	2665.79	Yes	Yes	25451.28	1.00	0.0	553.48	1.11	3.44	0.64
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 2	778.12	Yes	Yes	7429.5	1.00	0.0	137.46	1.11	21.2	0.64
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 3	774.36	Yes	Yes	7393.13	1.00	0.0	136.81	1.11	27.23	0.64
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 4	2038.47	Yes	Yes	19461.56	1.00	0.0	502.89	1.11	4.63	0.64
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 5	2182.38	Yes	Yes	20835.65	1.00	0.0	473.72	1.11	5.49	0.64

THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 6	497.62	Yes	Yes	4751.24	1.00	0.0	86.33	1.11	17.33	0.64
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 7	792.33	Yes	Yes	7564.75	1.00	0.0	137.46	1.11	11.95	0.64
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 8	756.7	Yes	Yes	7224.67	1.00	0.0	136.81	1.11	21.2	0.64
THERMAL ZONE: 03 - ELEVADOR	722.58	No	Yes	6899.07	1.00	0.0	0.0	0.69	0.0	0.0
Total	14769.48			141007.58		0.0	2646.63	0.99	7.97	0.6
Conditioned Total	10485.88			100111.79		0.0	2164.84	1.11	5.81	0.64
Unconditioned Total	4283.5			40895.8		0.0	481.79	0.71	154.89	0.51
Not Part of Total	0.0			0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Zone Cooling and Heating Sizing

Heating/Cooling	Calculated Design Load	Design Load With Sizing Factor	Calculated Design Air Flow (ft <sup>3</sup> /min)	Design Air Flow With Sizing Factor (ft <sup>3</sup> /min)	Date/Time Of Peak	Outdoor Temperature at Peak Load (F)	Outdoor Humidity Ratio at Peak Load (lbWater/lbAir)
-----------------	------------------------	--------------------------------	---	---	-------------------	--------------------------------------	---

## Zone Equipment Detail

Thermal Zone: 03 – Escritorio 1

Object	Sizing	Sizing Units	Description	Value	Value Units	Count
OS:ZoneHVAC:UnitVentilator						

Thermal Zone: 03 – Escritorio 2

Object	Sizing	Sizing Units	Description	Value	Value Units	Count
OS:ZoneHVAC:UnitVentilator						

Thermal Zone: 03 – Escritorio 3

Object	Sizing	Sizing Units	Description	Value	Value Units	Count
OS:ZoneHVAC:UnitVentilator						

Thermal Zone: 03 – Escritorio 4

Object	Sizing	Sizing Units	Description	Value	Value Units	Count
OS:ZoneHVAC:UnitVentilator						

Thermal Zone: 03 – Escritorio 5

Object	Sizing	Sizing Units	Description	Value	Value Units	Count
OS:ZoneHVAC:UnitVentilator						

Thermal Zone: 03 – Escritorio 6

Object	Sizing	Sizing Units	Description	Value	Value Units	Count
OS:ZoneHVAC:UnitVentilator						

Thermal Zone: 03 – Escritorio 7

Object	Sizing	Sizing Units	Description	Value	Value Units	Count
OS:ZoneHVAC:UnitVentilator						

Thermal Zone: 03 – Escritorio 8

Object	Sizing	Sizing Units	Description	Value	Value Units	Count
OS:ZoneHVAC:UnitVentilator						

## Air Loops Detail

No Data to Show for Air Loops Detail

## Plant Loops Detail

### Circuito de agua de condensacao

Object	Sizing	Sizing Units	Description	Value	Value Units	Count
<b>(supply)</b>						
OS:Pump:ConstantSpeed	Autosized	gal/min	Rated Power Consumption	Autosized	W	
OS:CoolingTower:SingleSpeed (cont) - Water	34,135.16	cfm	Fan Power at Design Air Flow Rate	Autosized	W	
OS:SetpointManager:Scheduled			Control Variable - Temperature	85.1 to 85.1	F	
OS:CoolingTower:SingleSpeed (cont) - Water	34,135.16	cfm	Fan Power at Design Air Flow Rate	Autosized	W	
OS:CoolingTower:SingleSpeed (cont) - Water	34,135.16	cfm	Fan Power at Design Air Flow Rate	Autosized	W	
OS:CoolingTower:SingleSpeed (cont) - Water	34,135.16	cfm	Fan Power at Design Air Flow Rate	Autosized	W	
<b>(demand)</b>						
OS:Chiller:Electric:EIR			Plant Loop	Circuito de agua gelada		
OS:Chiller:Electric:EIR			Plant Loop	Circuito de agua gelada		
OS:Chiller:Electric:EIR			Plant Loop	Circuito de agua gelada		
<b>(controls)</b>						
Loop Flow Rate Range	Autosized	gal/min	Minimum Loop Flow Rate	0.0	gal/min	
Loop Temperature Range				32.0 to 212.0	F	
Design Loop Exit Temperature				85.10	F	
Loop Design Temperature Difference				19.80	R	

### Circuito de agua gelada

Object	Sizing	Sizing Units	Description	Value	Value Units	Count
<b>(supply)</b>						
OS:Pump:VariableSpeed	Autosized	gal/min	Rated Power Consumption	Autosized	W	
OS:Chiller:Electric:EIR (cont)			Chiller Source	Circuito de agua de condensacao		
OS:SetpointManager:Scheduled			Control Variable - Temperature	44.6 to 44.6	F	
OS:Chiller:Electric:EIR (cont)			Chiller Source	Circuito de agua de condensacao		
OS:Chiller:Electric:EIR (cont)			Chiller Source	Circuito de agua de condensacao		
<b>(demand)</b>						

<b>(demand)</b>						
Air Terminal Connections						8
<b>(controls)</b>						
Loop Flow Rate Range	Autosized	gal/min	Minimum Loop Flow Rate	0.0		gal/min
Loop Temperature Range				32.0 to 212.0		F
Design Loop Exit Temperature				44.60		F
Loop Design Temperature Difference				12.01		R

## Outdoor Air

### Average and Minimum Outdoor Air During Occupied Hours

	Average Number of Occupants	Nominal Number of Occupants	Zone Volume (ft^3)	Avg. Mechanical Ventilation (ach)	Min. Mechanical Ventilation (ach)	Avg. Infiltration (ach)	Min. Infiltration (ach)
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 1	467.6	783.75	25451	0.0	0.0	0.047	0.001
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 2	21.94	36.77	7429	0.0	0.0	0.04	0.0
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 3	16.98	28.46	7393	0.0	0.0	0.04	0.0
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 4	261.79	438.78	19462	0.0	0.0	0.056	0.001
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 5	239.25	401.01	20836	0.0	0.0	0.05	0.001
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 6	17.15	28.74	4751	0.0	0.0	0.04	0.0
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 7	39.71	66.56	7565	0.0	0.0	0.04	0.0
THERMAL ZONE: 03 – ESCRITORIO 8	21.33	35.76	7225	0.0	0.0	0.041	0.001

## Cash Flow

No Data to Show for Cash Flow

# Site and Source Summary

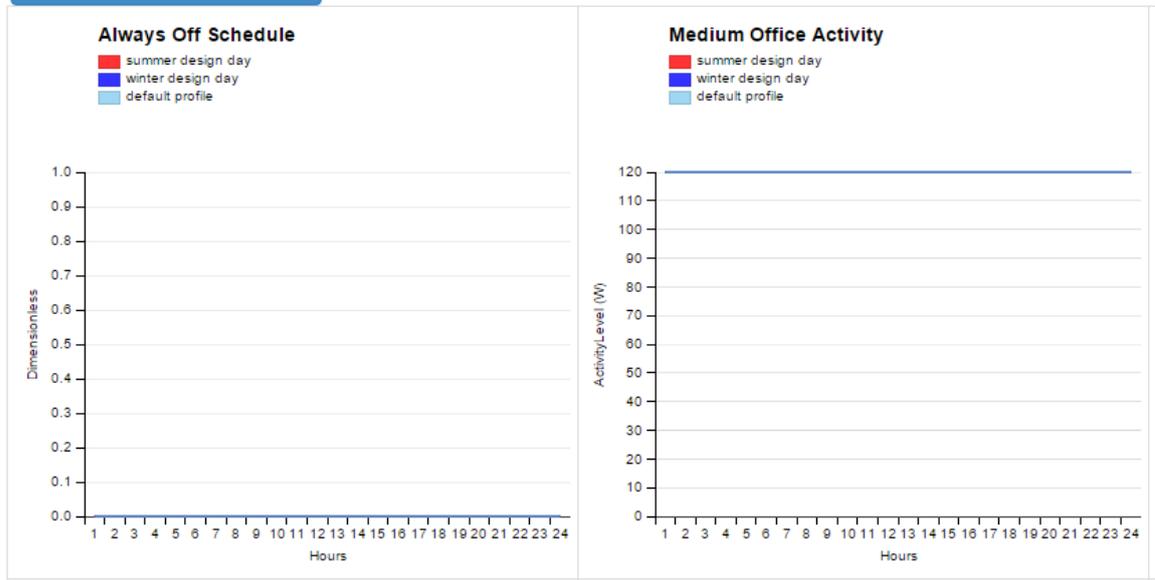
## Site and Source Energy

	Total Energy (kBtu)	Energy Per Total Building Area (kBtu/ft^2)	Energy Per Conditioned Building Area (kBtu/ft^2)
Total Site Energy	1791298.6	121.3	170.8
Net Site Energy	1791298.6	121.3	170.8
Total Source Energy	5673036.3	384.1	541.0
Net Source Energy	5673036.3	384.1	541.0

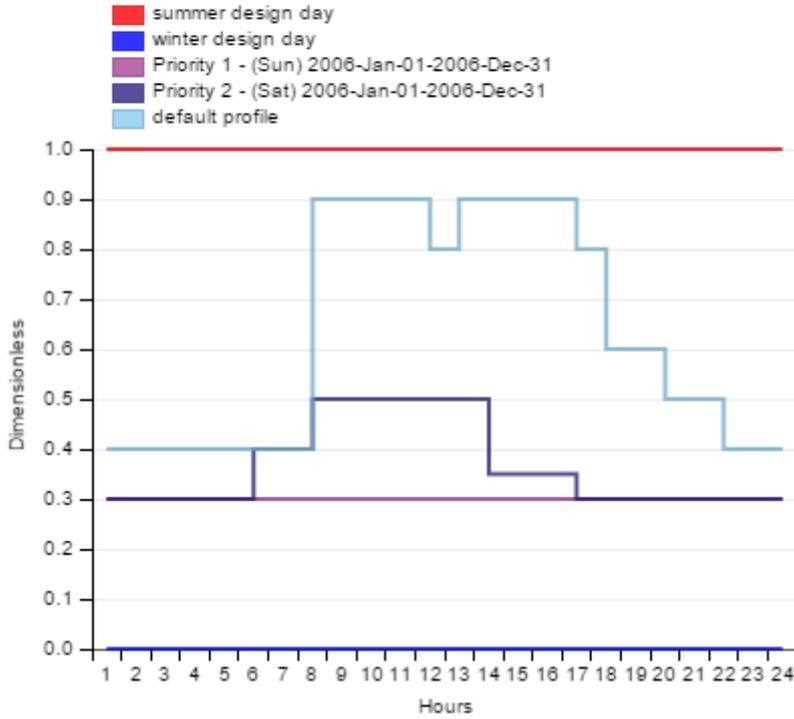
## Site to Source Energy Conversion Factors

	Site=>Source Conversion Factor
Electricity	3.167
Natural Gas	1.084
District Cooling	1.056
District Heating	3.613

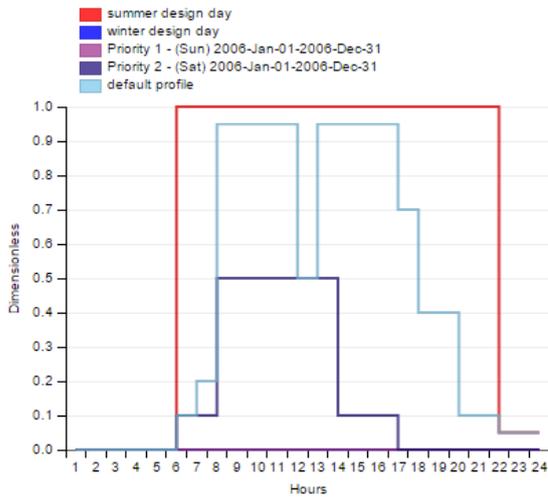
## Schedule Overview - view table



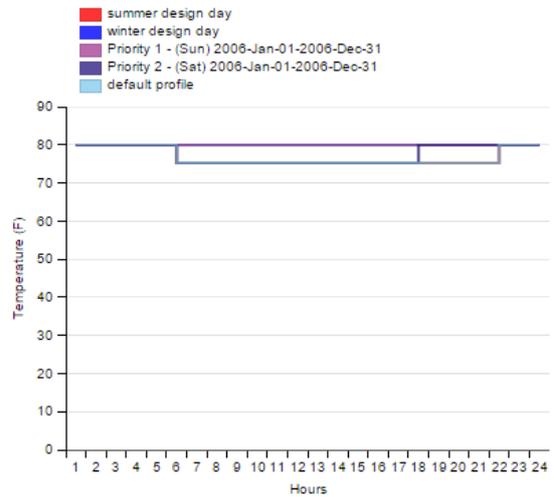
### Medium Office Bldg Equip



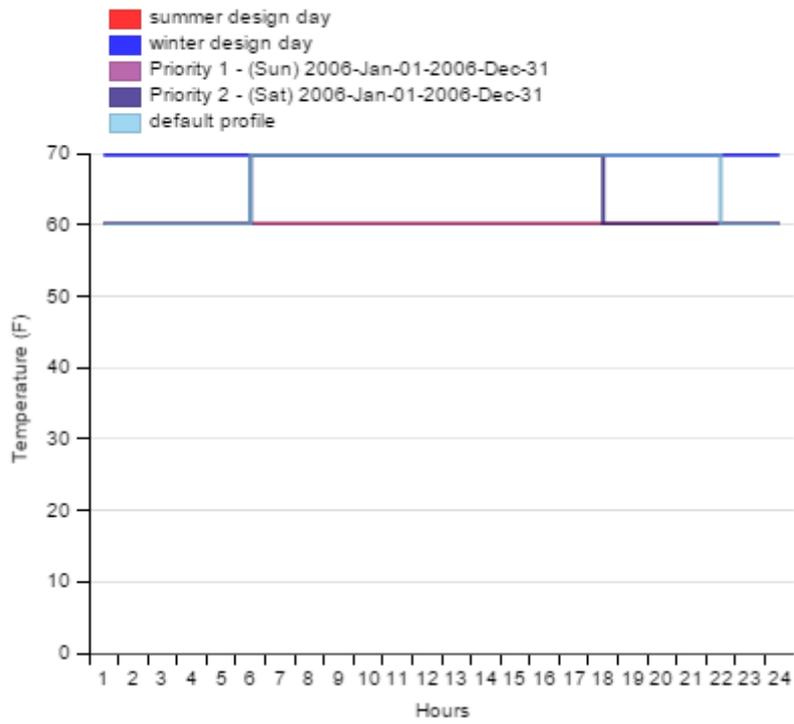
### Medium Office Bldg Occ



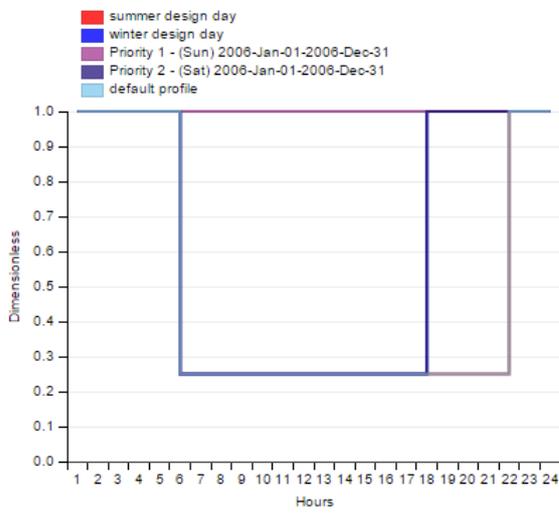
### Medium Office ClgSetp



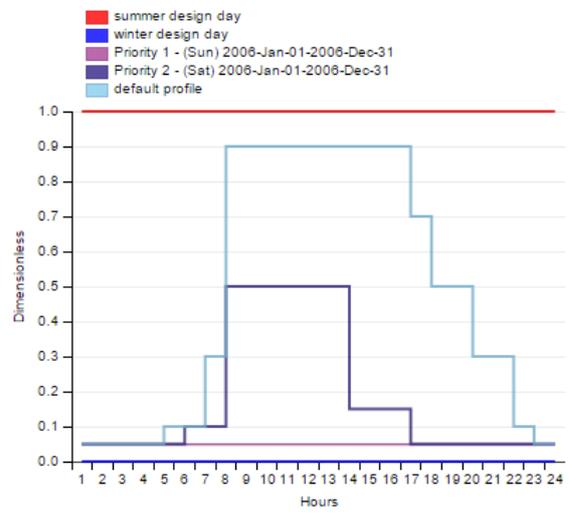
### Medium Office Htg Setp



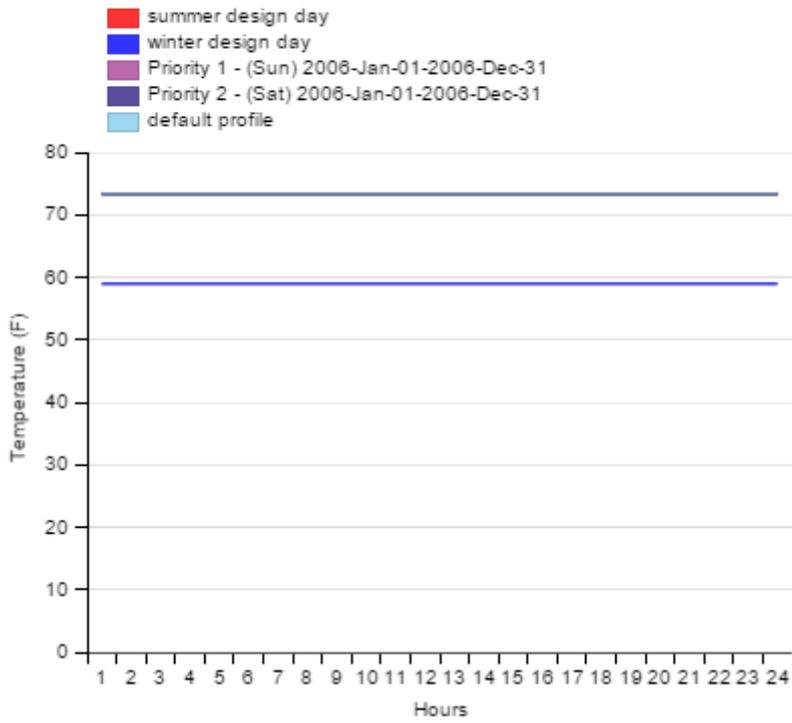
### Medium Office Infil Quarter On



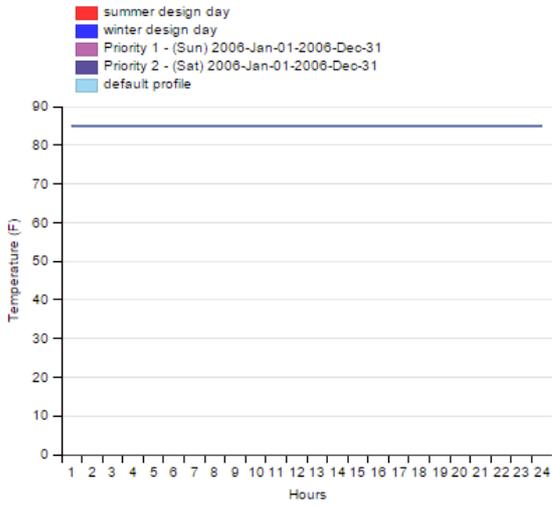
### Office Bldg Light



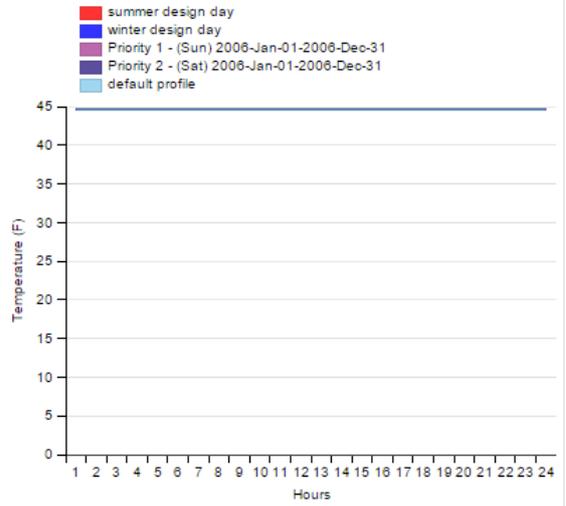
### PF Termostato Colling

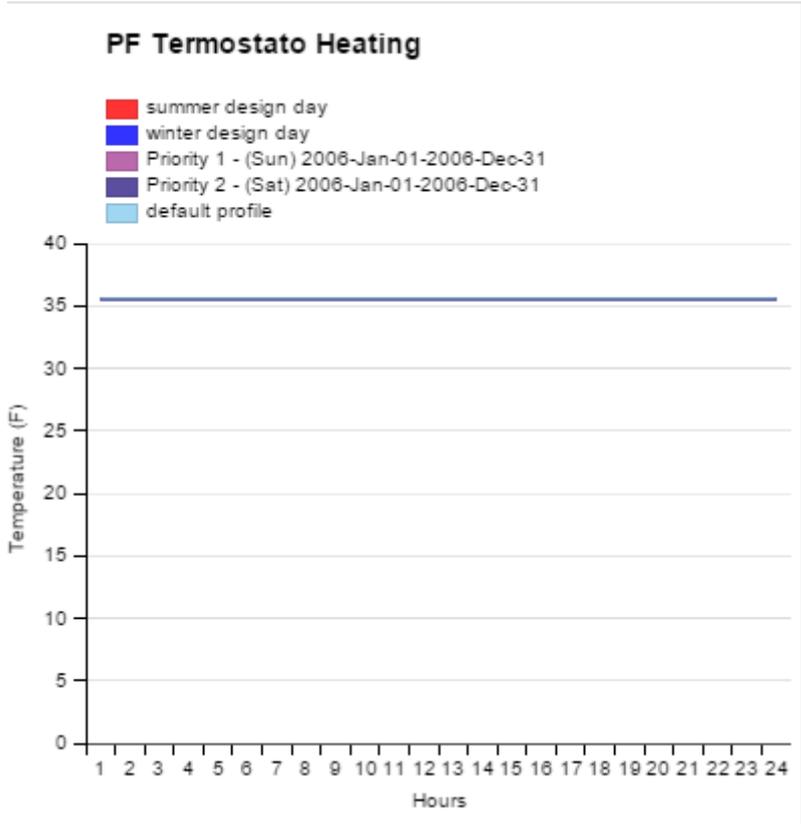


### PF Termostato ENTRADA DE AGUA CHILLER



### PF Termostato ENTRADA DE AGUA NO FANCOLE





## A.2 RELATÓRIO SIMULAÇÃO SISTEMA FOTOVOLTAICO

PVSYST V6.70		05/07/19	Page 1/3
<b>Grid-Connected System: Simulation parameters</b>			
<b>Project :</b>	<b>projeto unb</b>		
<b>Geographical Site</b>	<b>Brasilia</b>	Country	<b>Brazil</b>
<b>Situation</b>	Latitude -15.55° S	Longitude	-47.96° W
Time defined as	Legal Time	Time zone	UT-3
	Albedo	Altitude	895 m
<b>Meteo data:</b>	<b>Brasilia</b>	Meteonorm 7.1 - Synthetic	
<b>Simulation variant :</b>	<b>New simulation variant</b>		
	Simulation date	05/07/19 11h48	
<b>Simulation parameters</b>	System type	<b>No 3D scene defined</b>	
<b>Collector Plane Orientation</b>	Tilt	23°	Azimuth 0°
<b>Models used</b>	Transposition	Perez	Diffuse Perez, Meteonorm
<b>Horizon</b>	Free Horizon		
<b>Near Shadings</b>	No Shadings		
<b>PV Array Characteristics</b>			
<b>PV module</b>	Si-mono	Model	<b>CS3U-380MS</b>
Original PVsyst database		Manufacturer	Canadian Solar Inc.
Number of PV modules		In series	10 modules
Total number of PV modules		Nb. modules	70
Array global power		Nominal (STC)	<b>26.60 kWp</b>
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	345 V
Total area		Module area	<b>139 m²</b>
		In parallel	7 strings
		Unit Nom. Power	380 Wp
		At operating cond.	23.11 kWp (60°C)
		1 mpp	67 A
		Cell area	123 m²
<b>Inverter</b>			
Original PVsyst database		Model	<b>IG Plus 35 V-1</b>
Characteristics		Manufacturer	Fronius International
Inverter pack		Operating Voltage	230-500 V
		Unit Nom. Power	3.50 kWac
		Nb. of inverters	7 units
		Total Power	25 kWac
		Pnom ratio	1.09
<b>PV Array loss factors</b>			
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind) 0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	90 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction -0.3 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction 1.0 % at MPP
Strings Mismatch loss			Loss Fraction 0.10 %
Incidence effect (IAM): User defined IAM profile			
	10°	20°	30°
	0.998	0.998	0.995
	40°	50°	60°
	0.992	0.986	0.970
	70°	80°	90°
	0.917	0.783	0.000
<b>User's needs :</b>	Unlimited load (grid)		

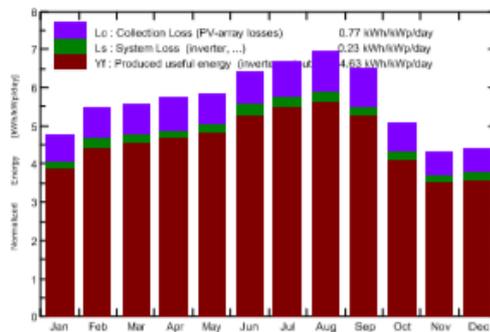
### Grid-Connected System: Main results

**Project :** projeto unb  
**Simulation variant :** New simulation variant

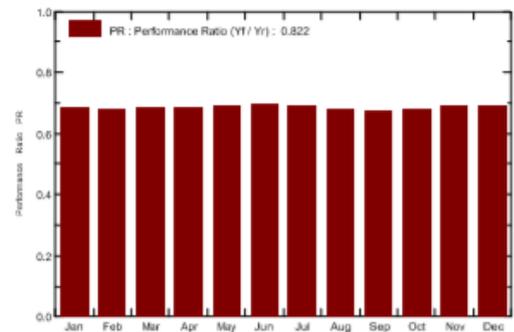
<b>Main system parameters</b>		<b>System type</b>	<b>Grid-Connected</b>	
PV Field Orientation		tilt	23°	azimuth 0°
PV modules		Model	CS3U-380MS 1500V	Pnom 380 Wp
PV Array		Nb. of modules	70	Pnom total <b>26.60 kWp</b>
Inverter		Model	IG Plus 35 V-1	Pnom 3500 W ac
Inverter pack		Nb. of units	7.0	Pnom total <b>24.50 kW ac</b>
User's needs		Unlimited load (grid)		

<b>Main simulation results</b>			
System Production	<b>Produced Energy</b>	<b>44.92 MWh/year</b>	Specific prod. 1689 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	<b>82.21 %</b>	

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 26.60 kWp



Performance Ratio PR



#### New simulation variant Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
<b>January</b>	165.8	76.00	22.87	147.1	143.2	3.389	3.220	0.823
<b>February</b>	163.3	67.30	22.70	153.3	149.7	3.507	3.335	0.818
<b>March</b>	170.4	79.10	22.42	172.5	168.6	3.963	3.773	0.822
<b>April</b>	154.8	62.60	22.13	171.8	168.5	3.931	3.743	0.819
<b>May</b>	150.0	53.00	20.80	180.8	177.7	4.181	3.984	0.828
<b>June</b>	150.3	37.50	19.26	192.3	189.3	4.464	4.256	0.832
<b>July</b>	164.2	36.40	19.60	206.8	203.8	4.766	4.543	0.826
<b>August</b>	183.1	41.60	21.10	214.4	211.0	4.879	4.652	0.816
<b>September</b>	182.8	59.10	22.70	194.2	190.4	4.404	4.195	0.812
<b>October</b>	163.7	77.50	23.84	156.8	152.7	3.575	3.401	0.816
<b>November</b>	143.5	72.30	22.16	128.9	125.1	2.981	2.832	0.826
<b>December</b>	153.8	85.00	22.50	135.3	131.3	3.145	2.989	0.830
<b>Year</b>	1945.7	747.40	21.84	2054.3	2011.3	47.186	44.925	0.822

Legends: GlobHor Horizontal global irradiation      GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings  
 DiffHor Horizontal diffuse irradiation      EArray Effective energy at the output of the array  
 T Amb Ambient Temperature      E\_Grid Energy injected into grid  
 GlobInc Global incident in coll. plane      PR Performance Ratio

### Grid-Connected System: Loss diagram

**Project :**                    **projeto unb**  
**Simulation variant :**    **New simulation variant**

<b>Main system parameters</b>	<b>System type</b>	<b>Grid-Connected</b>		
PV Field Orientation	tilt	23°	azimuth	0°
PV modules	Model	CS3U-380MS 1500V	Pnom	380 Wp
PV Array	Nb. of modules	70	Pnom total	<b>26.60 kWp</b>
Inverter	Model	IG Plus 35 V-1	Pnom	3500 W ac
Inverter pack	Nb. of units	7.0	Pnom total	<b>24.50 kW ac</b>
User's needs	Unlimited load (grid)			

**Loss diagram over the whole year**

