



**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ESTUDO COMPARATIVO DE IMPACTO DE  
CONSUMO DE EDIFÍCIOS CERTIFICADOS  
LEED E PROCEL**

**Mariana Neves Esteves**

**Brasília, 12 de julho de 2016**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Faculdade de Tecnologia

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ESTUDO COMPARATIVO DE IMPACTO DE  
CONSUMO DE EDIFÍCIOS CERTIFICADOS  
LEED E PROCEL**

**Mariana Neves Esteves**

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção  
do grau de Engenheira Eletricista

**Banca Examinadora**

Prof. Loana Nunes Velasco, UnB/FGA (Orientadora) \_\_\_\_\_

Prof. Anésio de Leles Ferreira Filho, UnB/ ENE \_\_\_\_\_

Prof. Alex Reis, UnB/ FGA \_\_\_\_\_

**Dedicatória**

*À minha família, pelo apoio incondicional  
nos momentos mais difíceis.*

*Mariana Esteves*

## **Agradecimentos**

*A minha família, em especial, meus pais e irmãos por todo o apoio*

*À Universidade de Brasília, por propiciar um ambiente voltado ao desenvolvimento acadêmico, profissional e pessoal*

*À professora Loana e ao professor Anésio, pela paciência e orientação*

*Ao professor Paulo Souza, por todo o aprendizado acadêmico e para a vida*

*Ao Grupo Orion, pelos ensinamentos e, especialmente, ao Hugo e ao Alessandro. Sem eles esse trabalho não seria possível*

*À ENETEC, por ter me mostrado que a engenharia pode sim ser para mim*

*A todas as pessoas maravilhosas que conheci durante a graduação. Professores, alunos e servidores que contribuíram, cada um da sua forma, para a pessoa que sou hoje*

*Ao Centro Acadêmico de Engenharia Elétrica, por ter me ensinado que engenheiros precisam saber lidar com as diferenças*

*Mariana Neves Esteves*

---

## RESUMO

O presente texto apresenta um estudo de caso real de uma edificação com relação à conservação de energia. O prédio objeto da análise é certificado LEED Core & Shell – para estruturas principais e envoltória – de acordo a versão 3 desta referência. Assim, analisa-se seu desempenho energético com relação aos níveis de consumo para os quais a edificação foi projetada em comparação ao que é verificado nas atuais condições de operação, por meio de simulações computacionais utilizando-se o software *Energy Plus*.

Dessa forma, torna-se possível verificar o quanto a operação pode interferir em premissas de projeto. Além disso, o comportamento de cada sistema e sua coerência com o projeto original tornam-se passíveis de análises.

Em seguida, compara-se o desempenho da edificação atual com relação a parâmetros simplificados da etiquetagem PROCEL PBE Edifica, o que permite a comparação entre os níveis de desempenho esperados para edificações com certificação LEED e etiquetados PROCEL nível A.

---

## ABSTRACT

This paper presents a real case study of a building with respect to energy conservation. The building to be analyzed is LEED Core & Shell certified - for main and envelope structures - according to version 3 of this reference. Thus, the energy performance in relation to consumption levels for which the building was designed in comparison to what is seen in actual operating conditions is analyzed in this paper by computational simulations in the Energy Plus software.

Thus, it becomes possible to see how the operation can interfere with design assumptions. Moreover, the behavior of each system and its consistency with the original design become subject to analysis.

Then compares the performance of the current building regarding simplified labeling PROCEL PBE Edifica parameters, which allows comparison between the performance levels expected for buildings with LEED certification and labeled PROCEL level A.

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1. ASPECTOS GERAIS	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	3
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>4</b>
2.1. CERTIFICAÇÕES	4
2.1.1. A CERTIFICAÇÃO LEED	4
2.1.2. A ETIQUETA PBE EDIFICA	10
2.1.3. CERTIFICAÇÕES E ETIQUETAS ANALISADAS	14
2.2. MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO	14
<b>3. METODOLOGIA</b>	<b>18</b>
3.1. AVALIAÇÃO COMPARATIVA	18
3.1.1. DEFINIÇÃO DO SOFTWARE	22
3.2. ASPECTOS CONSTRUTIVOS DO MODELO REAL	25
3.2.1. GEOMETRIA E OCUPAÇÃO	28
3.2.2. SISTEMA DE ILUMINAÇÃO E EQUIPAMENTOS	32
3.2.3. SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO	34
3.2.4. SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO	35
3.3. ASPECTOS CONSTRUTIVOS DO <i>BASELINE</i>	37
3.4. ASPECTOS CONSTRUTIVOS DO MODELO DE REFERÊNCIA PROCEL NÍVEL A	38
<b>4. RESULTADOS</b>	<b>40</b>
4.1. VALIDAÇÃO DO MODELO REAL	41
4.2. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O MODELO REAL E O <i>BASELINE</i>	46
4.3. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O MODELO REAL E O MODELO DE REFERÊNCIA PROCEL NÍVEL A 50	
4.4. ANÁLISE COMPARATIVA CONSIDERANDO O SISTEMA FOTOVOLTAICO	55
<b>5. CONCLUSÕES</b>	<b>58</b>
5.1. CONSIDERAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	62
<b>6. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>63</b>

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistemas de avaliação LEED (USGBC, 2014).....	6
Figura 2 – Histórico de energia para utilização de técnicas de medição e verificação (EVO, 2012).....	15
Figura 3 – Estratégia computacional para desempenho energético de edificações. (Hensen, et al., 2011).....	19
Figura 4 – Aspectos mensuráveis para os sistemas prediais. Adaptado de (Hensen, et al., 2011).....	20
Figura 5 – Estrutura geral do Energy Plus (Crawley, 2000) .....	23
Figura 6 – Gerenciamento integrado da simulação (Adaptado de Crawley, 2000) .....	24
Figura 7 – Planta baixa do 3º subsolo .....	29
Figura 9 – Planta baixa do 2º subsolo .....	29
Figura 10 – Planta baixa do 1º subsolo .....	29
Figura 11 – Planta baixa do pavimento térreo.....	30
Figura 12 – Planta baixa do pavimento tipo.....	30
Figura 13 – Planta do pavimento de cobertura.....	30
Figura 14 – Corte longitudinal .....	31
Figura 15 – Corte transversal .....	31
Figura 16 – Perfil de ocupação do edifício .....	32
Figura 17 - Perfil do sistema de iluminação.....	33
Figura 18 – Perfil de utilização dos equipamentos elétricos .....	34
Figura 19 – Área disponível para instalação dos painéis .....	36
Figura 20 – Instalação dos painéis fotovoltaicos no prédio em análise .....	36
Figura 21 – Modelo computacional da edificação de estudo .....	41
Figura 22 – Relação de consumo entre as faturas reais e a simulação do modelo proposto....	42
Figura 23 – Estimativa via simulação do consumo de energia elétrica por sistema da edificação analisada.....	43
Figura 24 – Consumo de energia elétrica estimada por sistema da edificação analisada desconsiderando a sala-cofre.....	44
Figura 25 – Comparação de consumo de energia elétrica considerando ou não a contribuição da sala-cofre para o modelo real .....	45
Figura 26 – Horas fora do setpoint de temperatura para o modelo real .....	46
Figura 27 – Comparação de consumo elétrico entre o baseline e o modelo proposto .....	48
Figura 28 – Consumo elétrico por sistema segundo o baseline considerando a sala-cofre .....	48
Figura 29 – Consumo elétrico por sistema segundo o baseline desconsiderando a sala-cofre .....	49
Figura 30 – Comparação de consumo de energia elétrica entre o modelo PROCEL nível A e o modelo proposto considerando a sala-cofre .....	52
Figura 31 – Consumo energético por sistema para o modelo de referência PROCEL nível A considerando a sala-cofre .....	53
Figura 32 – Consumo por sistema para o modelo de referência PROCEL nível A desconsiderando a sala-cofre.....	54
Figura 33 – Geração de energia estimada para o sistema fotovoltaico do edifício em análise .....	56
Figura 34 – Comparação de consumo entre o baseline e o modelo proposto incluindo o sistema fotovoltaico.....	57
Figura 35 – Pontuação da edificação analisada considerando os valores simulados sem a sala-cofre.....	59
Figura 36 – Evolução do número de certificações LEED no Brasil (Almeida, et al., 2015) ...	61

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sistemas de classificação e suas aplicabilidades .....	7
Tabela 2 – Resumo dos critérios para a classificação de edifícios para a etiquetagem PBE Edifica .....	11
Tabela 3 – Visão geral das opções de medição e verificação (EVO, 2012) .....	16
Tabela 4 – Créditos alcançados na certificação LEED Core&Shell pelo edifício estudado....	26
Tabela 5 – Comparação de consumo esperado entre o baseline e o edifício proposto durante a construção do edifício .....	27
Tabela 6 – Transmitância térmica das componentes estruturais do projeto analisado.....	28
Tabela 7 – Densidades de iluminação utilizadas para os tipos de ambientes .....	33
Tabela 8 – Densidade de carga de equipamentos.....	34
Tabela 9 – Parâmetros de simulação do sistema de ar condicionado.....	35
Tabela 10 – Parâmetros utilizados para a construção do baseline .....	37
Tabela 11 – Parâmetros de simulação do sistema de climatização do baseline.....	38
Tabela 12 – Parâmetros para o modelo de referência PROCEL nível A .....	39
Tabela 13 – Parâmetros de simulação do sistema de climatização para o modelo de referência PROCEL nível A.....	39
Tabela 14 – Comparação entre consumo elétrico real e consumo do modelo proposto para o edifício em análise.....	42
Tabela 15 – Comparação do consumo simulado para a edificação real considerando ou não a sala-cofre .....	44
Tabela 16 – Consumo de energia elétrica mensal para o baseline proposto .....	47
Tabela 17 – Comparação da relação de consumo elétrico entre o baseline e o modelo proposto considerando a sala-cofre .....	48
Tabela 18 – Comparação de consumo por sistema relacionando prédio públicos brasileiros, o modelo proposto e o baseline .....	49
Tabela 19 – Comparação de consumo entre o modelo de referência PROCEL nível A e o modelo proposto para a edificação analisada .....	51
Tabela 20 - Comparação de consumo por sistema relacionando prédio públicos brasileiros, o modelo proposto e o modelo de referência PROCEL nível A considerando a sala-cofre .....	52
Tabela 21 – Comparativo de consumo por sistema entre prédio públicos brasileiros, o modelo proposto e o modelo de referência PROCEL nível A .....	53
Tabela 22 – Estimativa de geração de energia do sistema fotovoltaico projetado para o edifício em análise.....	56
Tabela 23 – Comparação de consumo entre o modelo proposto incluindo um sistema fotovoltaico e o consumo do baseline médio .....	56



# LISTA DE SÍMBOLOS

## Símbolos

$U$	Transmitância térmica	[W/m <sup>2</sup> .K]
$\alpha$	Absortância solar	adimensional
$\Delta T$	Variação de temperatura	°C

## Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
ASHRAE	American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
USGBC	United States Green Building Council
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade
PIMVP	Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance
CFC	Clorofluorcarboneto
CV(RMSE)	<i>Coefficient of Variation of the Root Mean Squared Error</i>
MBE	<i>Mean Bias Error</i>
MRE	Medida de Redução de Energia
CAG	Central de Água Gelada
URL	Unidade Resfriadora de Líquido
COP	<i>Coefficient of Performance</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
UCA	Unidades Condicionadoras de Ar
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
MME	Ministério de Minas e Energia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
SFV	Sistema Fotovoltaico
UFAD	<i>Underfloor Air Distribution</i>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. ASPECTOS GERAIS

Devido às atuais demandas por recursos naturais, estima-se que em 2030 serão necessários dois planetas para que a humanidade possa manter o seu estilo de vida, de acordo com o relatório Planeta Vivo emitido pela WWF em 2008. Nesse contexto, o setor imobiliário é responsável por 21% do consumo de água, 35% a 40% dos resíduos produzidos na atividade humana e 42% de energia elétrica (Pardini, 2009).

Em meio a tal cenário, houve uma crescente onda de conscientização verde, gerando diversas formas de incentivo a práticas sustentáveis. Nesse sentido, o *United States Green Building Council (USGBC)*, fundado em 1993 nos Estados Unidos, reúne arquitetos e engenheiros com o objetivo de promover práticas sustentáveis na construção civil, além de incentivar a conscientização nessa área.

Como forma de avaliar o nível de sustentabilidade em edificações, o USGBC formulou a certificação *Leadership in Energy and Environmental Design – LEED*. Atualmente em fase de transição de versões, a LEED compreende cinco dimensões para análise de edificações. São elas: Espaços Sustentáveis, Eficiência no Uso da Água, Energia e Atmosfera, Materiais e Recursos e Qualidade do Ambiente Interno.

A LEED é um sistema de certificação voluntário no qual é medido o nível de eficiência da edificação por meio das dimensões citadas. Assim, o projeto que pleiteia a certificação opta por uma das tipologias e em seguida busca atender os requisitos. Estes são divididos entre pré-requisitos, que possuem caráter obrigatório, e os créditos de caráter opcional. Para cada crédito é atribuída uma pontuação específica e para que o edifício seja certificado é necessário que atinja, pelo menos, 40 pontos.

No Brasil, os programas de conscientização ambiental surgiram primariamente com relação a conservação de energia. Nesse sentido, em 1985 o Ministério de Minas e Energia – MME e a Eletrobrás criaram o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL com o intuito de promover o uso consciente e eficiente de energia elétrica, combatendo desperdício.

De forma a englobar as diversas vertentes econômicas, o PROCEL possui como áreas de atuação a etiquetagem de equipamentos de acordo com o nível de eficiência energética, a etiquetagem de edificações quanto a eficiência de seus principais sistemas (iluminação, ar condicionado e envoltória), auxílio a prefeituras no planejamento da iluminação pública

(Reluz), desenvolvimento de materiais e ferramentas para conservação de energia nas indústrias e a disseminação de conhecimento sobre eficiência energética de forma irrestrita.

Com relação às edificações, a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE classifica edifícios conforme seu nível de eficiência energética, sendo o nível A o mais eficiente e o E o menos. Esse tipo de etiquetagem pode ser utilizado em prédios de serviços, comerciais e públicos novos ou existentes e avaliam os sistemas de ar condicionado, envoltória e iluminação. Desde 2009, já são mais de 2.100 edificações certificadas PBE Edifica, etiqueta concedida pela ENCE.

A preocupação do governo federal com iniciativas verdes também favorece o setor de construção sustentável. De forma a incentivar soluções locais, no final de 2014, a certificação LEED passou a aceitar edifícios que atendem às especificações do Selo PROCEL como empreendimentos em concordância ao pré-requisito relacionado a desempenho energético para novas construções.

Ainda no sentido de promover o uso racional de recursos energéticos e hídricos, em fevereiro de 2015, foi validade a Portaria 23 a qual estabelece que órgãos federais deverão implementar boas práticas no uso de tais recursos a fim de atingir níveis adequados de eficiência energética e hídrica.

Dessa forma, tanto a certificação LEED quanto a ENCE promovida pelo PROCEL, estão em larga expansão, mostrando uma crescente preocupação do mercado com questões sustentáveis, além de conscientização do governo federal com o uso dos recursos nacionais. Neste contexto fica evidente uma questão: em relação à conservação de energia, qual dos dois tipos de certificação possui mais vantagens para o investidor do setor?

Para discutir tal situação, realizou-se um estudo de caso real utilizando um edifício de escritórios situado em Brasília e ocupado por um órgão público do Poder Executivo. Neste estudo, obteve-se a modelagem computacional do edifício a fim de obter um reflexo do seu atual desempenho energético que reflete o impacto da certificação LEED em sua construção. Em seguida, desenvolveu-se um modelo de referência que permita a verificação do desempenho da etiqueta PBE Edifica para o caso analisado.

## **1.2. OBJETIVOS**

Como objetivo geral do trabalho, será efetuada uma avaliação comparativa entre os resultados da aplicação da certificação LEED de envoltória e sistemas principais (*Core&Shell* – versão 3) e a etiquetagem PBE Edifica do PROCEL dos sistemas de iluminação, de ar condicionado e envoltória. Além disso, analisa-se a certificação LEED do edifício de acordo

com um período de referência, estabelecido para a medição e verificação do desempenho predial frente aos investimentos realizados para a certificação alcançada. Para tanto, serão realizadas simulações computacionais de consumo energético para um edifício específico utilizando como base os critérios exigidos em cada uma das certificações, bem como um modelo *baseline*.

O edifício utilizado no estudo de caso está localizado em Brasília e é ocupado por uma autarquia federal. Por ter sido construído no ano de 2012 usando critérios de sustentabilidade, tal edificação torna-se um modelo interessante para implementar especificações de certificações.

Como objetivos específicos do trabalho, podem ser citados o interesse em avaliar a implementação dos tipos de certificação citados a fim de consolidar qual destas é de uso mais propício nas condições climáticas, geográficas e de operação propostas.

### **1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO**

O trabalho inicia-se com a revisão bibliográfica, parte destinada à apresentação dos principais conceitos utilizados no desenvolvimento das análises presentes. Em seguida, a metodologia descreve como foi realizada a modelagem da edificação de interesse e quais parâmetros foram utilizados para cada tipo de modelo obtido. Finalmente, os resultados mostram tanto a calibração do modelo real quando os resultados da análise comparativa entre os edifícios propostos, o que é corroborado na conclusão na qual os resultados obtidos são comparados ao contexto geral de edificações e das certificações analisadas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. CERTIFICAÇÕES

A preocupação com a utilização de recursos tem-se tornado crescente. Nesse sentido, a geração de energia é um dos aspectos mais importantes, visto que ela é essencial para praticamente todas as atividades humanas e é, em sua maioria, oriunda de fontes não-renováveis.

No Brasil e no mundo, surgiram diversas ferramentas e formas de avaliar o nível de eficiência energética de edificações e premiar aquelas com bom desempenho. Nos Estados Unidos, originou-se a certificação LEED que, além de preocupar-se com a questão energética, relaciona várias questões de sustentabilidade, procurando reduzir o impacto ambiental ocasionado por edificações.

A certificação LEED, devido ao fato de abordar a sustentabilidade como um todo, acompanhada da questão econômica, tornou-se uma das certificações mais difundidas no mundo. O Brasil é um de seus maiores certificadores, o que mostra um amadurecimento contínuo do mercado com relação a questões sustentáveis. No país, também se originou uma ferramenta de classificação de edificações com relação ao desempenho energético, oriunda do programa PROCEL. As abordagens e características específicas de cada certificação são abordadas nos tópicos a seguir.

#### 2.1.1. A CERTIFICAÇÃO LEED

Na segunda metade do século XX, a ideia de uma crise ambiental fomentou discussões sobre o desenvolvimento econômico e tecnológico sustentável. Pela primeira vez na história, os Estados passaram a preocupar-se em cooperar mutuamente em prol de questões ambientais. Nesse contexto, ocorreram conferências internacionais das Nações Unidas para fomentar parcerias e compromissos para o alcance de metas de desenvolvimento sustentável. Algumas conferências de destaque são a Convenção de Estocolmo (1972), a ECO-92 (1992), a Cúpula Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável (2002) e a Rio+20 (2012) (Pardini, 2009).

Em meio a esse contexto, em 1993, foi fundado o *United States Green Building Council (USGBC)*, em português traduzido como Conselho dos Estados Unidos de Edifícios Verdes. Possuindo a missão de promover a sustentabilidade na construção civil, o USGBC promoveu o debate sobre classificação de edifícios verdes. Assim, o Conselho agrupa engenheiros, arquitetos e ambientalistas de empresas e organizações não governamentais para fomentar discussões sobre sustentabilidade e construção.

Em 1998 foi lançado um projeto piloto de certificação de edifícios sustentáveis denominado *Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)* versão 1.0, que após modificações e melhorias transformou-se na versão 2.0, lançada em 2000. A partir de então, tal certificação tornou-se gradativamente mais reconhecida e continuamente melhorada. Em 2009, foi lançada a versão 3 (v.3) e, em 2013, a v.4, sendo esta a mais atual. Tal lançamento culminou na não utilização das versões 1.0 e 2.0, e seus desdobramentos. Todavia, projetos registrados até 2016 podem optar por se certificarem utilizando o sistema v.3 ou v.4.

Atualmente, o sistema de classificação engloba, de forma distinta, construções residenciais, comerciais, centros de saúde, escolas, lojas de varejo, armazéns, *Data Centers* e hotéis, estabelecendo critérios sustentáveis específicos para cada topologia de edificação. Dessa forma, é respeitada a funcionalidade e a finalidade de cada estabelecimento para garantir projetos factíveis. A partir da versão v.3, também é disponibilizado o sistema de certificação para o desenvolvimento e planejamento de bairros, trazendo à tona a ideia de cidades sustentáveis.

A certificação LEED, além de classificar edificações sustentáveis dentro dos Estados Unidos, também aborda construções em 143 países, fazendo com que o GBC possua representação em alguns destes, como Argentina, Brasil, Chile, Colômbia, França, México, Alemanha, China, Índia, Rússia, Espanha, Itália, Canadá, Japão, Suíça, Coreia do Sul, dentre outros. Cada grupo consultivo nacional levanta aspectos relevantes à melhoria do sistema de classificação, além de auxiliar na adaptação dos padrões analisados, de acordo com prioridades e características regionais.

No Brasil, tal representação é feita mediante o *Green Building Council Brazil (GBC Brasil)*. De acordo com o relatório anual *LEED in Motion Brasil – 2014*, publicado pelo próprio GBC, no último ano o país contou com 181 projetos certificados e 690 registrados, totalizando 24 milhões de metros quadrados de área certificada ou em processo de certificação LEED. Além disso, as topologias de edifícios brasileiros com maior número de certificações são de escritórios, seguido de armazéns e centros de distribuição, indústrias e varejo, sendo edifícios públicos somente a quinta colocada. Assim, apesar do crescente interesse em edificações sustentáveis e nesse tipo de certificação, ainda se tornam necessários estudos sobre o impacto real de sua implementação.

De forma a englobar e a considerar todas as particularidades de cada tipo de estabelecimento, a LEED possui diferentes sistemas de classificação. São esses: Projeto e Construção de Edifícios (*Building Design and Construction*), Projeto e Construção de Interiores (*Interior Design and Construction*), Operação e Manutenção de Edifícios (*Building Operations*

and Maintenance), Desenvolvimento de Bairros (*Neighborhood Development*) e Casas (*Homes*).

Projetos e Construção de Edifícios (BD+C) é um sistema voltado para a certificação de construções novas e grandes reformas. Entende-se por grandes reformas a renovação do sistema de ar condicionado, envoltória e realocação. Nesse caso, pelo menos 60% da área bruta construída deve ser terminada durante o período de certificação. Inserido no sistema BD+C, existem subdivisões para melhor enquadrar as diferentes edificações. Assim, estão disponíveis na v.4 os subsistemas: Novas Construções, Estrutura e Envoltória, Escolas, Varejo, Armazéns e Centrais de Distribuição, Hotéis, Hospitais e Casas (New Construction, Core & Shell Development, Schools, Retail, Data Centers, Warehouse and Distribution Centers, Hospitality, Healthcare, Homes and Multifamily Lowrise e Multifamily Midrise).

A LEED BD+C Novas Construções é voltada para projetos novos de edifícios que não se enquadram nas demais categorias. Já a Estrutura e Envoltória visa à certificação de prédios considerando somente a envoltória da construção e os sistemas mecânicos, elétricos e hidráulicos, ou seja, os sistemas principais e estruturas. Os demais tipos de edificações possuem subcategorias específicas da LEED desenvolvidas a partir de diretrizes particulares para cada um dos casos. A Tabela 1 resume a aplicabilidade de cada um dos casos.

Em suma, a LEED apresenta sistemas de classificação voltados tanto para o projeto e a construção de edificações, considerando a topologia idealizada, quanto o desempenho de edifícios após a construção, durante a operação. A Figura 1 a seguir apresenta o enquadramento das classificações LEED no decorrer da vida útil de edificações.



Figura 1 - Sistemas de avaliação LEED (USGBC, 2014)

Para mostrar o enquadramento das subcategorias inseridas em cada sistema de avaliação, apresenta-se a Tabela 1.

Tabela 1 – Sistemas de classificação e suas aplicabilidades

Sistema de classificação	Subsistema	Aplicabilidade
<b>LEED Projeto e Construção de Edifícios (BD+C)</b>	Novas Construções	Edificações que não são primariamente utilizadas para instituições educacionais, lojas de varejo, armazéns e centros de distribuição, hotéis e similares e centros de saúde. Também inclui edifícios residenciais acima de 9 andares
	Sistemas e Envoltória	Voltada para projetos e construção, analisando somente a envoltória e os sistemas principais
	Escolas	Edifícios utilizados para fins educacionais até o ensino médio. Pode também ser utilizada para prédios de educação superior ou edifícios não acadêmicos localizados em campi universitários
	Varejo	Edificações utilizadas para a venda de bens de consumo
	<i>Data Centers</i>	Edificações primariamente destinadas a alta densidade de equipamentos de TI utilizados em processamento de dados
	Armazéns e Centros de Distribuição	Edificações usadas para armazenagem de bens
	Hotéis	Prédios dedicados a hotéis, pousadas e motéis
	Hospitais	Hospitais que operam 24 horas diárias durante todos os dias da semana



	Homes e Pequenos Edifícios Residenciais	Casas unifamiliares e edifícios residenciais de até 3 andares
	Edifícios residenciais	Edificações com 50% da área voltada para fins residenciais, possuindo de 4 a 8 andares
<b>LEED (ID+C)</b>	Espaços internos comerciais	Espaços internos destinados a funções distintas de hospedagem e lojas de varejo
	Varejo	Espaços interiores destinados à venda de bens de consumo
	Hotéis	Espaços interiores destinados à hotéis, motéis e pousadas
<b>LEED Operação e Manutenção</b>	Prédios Existentes	Edificações existentes que não são primariamente destinadas a fins educacionais, lojas de varejo, data centers, armazéns e centros de distribuição e hotéis e afins
	Varejo	Edificações existentes utilizadas para venda de bens de consumo
	Escolas	Edificações existentes voltadas para fins educacionais
	Hotéis	Edifícios dedicados a hotéis, motéis e pousadas
	<i>Data Centers</i>	Edificações existentes primariamente destinadas a alta densidade de equipamentos de TI utilizados em processamento de dados
	Armazéns e Centros de Distribuição	Edificações existentes usadas para armazenagem de bens
<b>Desenvolvimento de Bairros</b>	Plano	Projetos em fase conceitual de planejamento ou construção
	Projeto	Projetos de desenvolvimento concluído

Assim, o sistema de certificação LEED busca desenvolver uma forma de classificar edifícios sustentáveis sempre considerando as peculiaridades de cada tipo de edificação. Tal característica torna-a flexível e adaptável a diversas situações, fazendo com que a sua utilização cada vez mais ampla em todo o mundo.

De forma a avaliar os mais diversos aspectos, a certificação LEED apresenta dimensões sobre várias temáticas relacionadas a sustentabilidade. No caso das certificações de versão 3, tem-se as seguintes dimensões: Espaços sustentáveis, energia e atmosfera, materiais e recursos, qualidade do ambiente interno e eficiência no uso da água.

A dimensão de espaços sustentáveis é referente à área externa do edifício. Assim, contempla o lote em que a edificação se encontra, propondo ações de paisagismo, reaproveitamento da água da chuva, soluções para transporte e afins. Já energia e atmosfera é a dimensão que indica diretamente questões para melhorar o desempenho energético da edificação e preocupa-se com a sua operação. Além disso, controla o uso de CFC e emissões de dióxido de carbono.

Qualidade do ambiente interno propõe o cuidado com os ocupantes, principalmente com relação a aspectos de qualidade do ar, ventilação, fumaça de cigarro e conforto térmico. Para os ideais da certificação, o aumento da qualidade do ambiente está intimamente relacionado com os níveis de produtividade dos ocupantes. Assim, prédios verdes além de diminuir custos operacionais, aumenta a produção realizada na edificação (USGBC, 2014).

Materiais e recursos é a dimensão relacionada ao uso de materiais reciclados, de baixo impacto ambiental, para a construção ou operação da edificação. Além disso, preocupa-se também com o destino que é dado para os resíduos gerados. Finalmente, eficiência no uso da água determina o desempenho hídrico da instalação, valorizando técnicas de reutilização da água e o uso de dispositivos eficientes.

Para cada dimensão existem pré-requisitos mínimos a serem cumpridos para que se alcance a certificação. Além disso, são verificados créditos que são opcionais de acordo com o interesse do investidor. A cada crédito é atribuída uma pontuação que é variável de acordo com o nível de sua complexidade. Para se obter a certificação, é necessário que sejam somados ao menos 40 pontos.

A quantidade de pontos obtida na certificação interfere no nível que pode ser atingido. Candidatos que atinjam de 40 a 49 são certificados com nível bronze, de 50 a 59 atingem nível prata, de 60 a 79 atingem nível ouro e acima de 80 atingem nível platina. Assim, o desempenho da edificação será alterado de acordo com o nível em que ela está classificada, visto que com o aumento do número de pontos, mais ações de sustentabilidade foram cumpridas.

### 2.1.2. A ETIQUETA PBE EDIFICA

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL foi criado em 1985 pelo governo federal com o intuito de combater o desperdício de energia elétrica difundido de várias formas no sistema brasileiro. É executado pela ELETROBRAS, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia e recebe financiamento da Reserva Global de Reversão (RGR) e de fundos internacionais. O PROCEL possui várias vertentes, de forma a combater o desperdício energético em vários setores. Seus subprogramas são:

- GEM: Gestão Energética Municipal;
- Sanear: Eficiência energética no saneamento ambiental;
- Educação: Informação e cidadania;
- Indústria: Eficiência energética industrial;
- Edifica: Eficiência energética em edificações;
- EPP: Eficiência energética em prédios públicos;
- Reluz: Eficiência energética na iluminação pública e sinalização semafórica;
- Selo PROCEL: Eficiência energética em equipamentos;
- PROCEL Info: Disseminação de informações sobre eficiência energética.

No âmbito de conservação de energia em edificações, o PROCEL Edifica promove a avaliação de eficiência energética em edificações residenciais, comerciais, de serviços e públicas. O subprograma trabalha em parceria com o INMETRO, que confere a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE, hoje promove a Etiqueta PBE Edifica.

Para cada tipo de edificação ocorre uma avaliação distinta. Como regra geral, são fornecidas duas etiquetas: uma referente ao projeto e outra referente a edificação construída. No último caso, o organismo acreditador da etiqueta realiza uma inspeção em *in loco* para verificar a utilização de todos os critérios exigidos pelo sistema. Tais organismos, identificados como Organismo de Inspeção Acreditado para Eficiência Energética (OIA – EE) são instituições que o INMETRO autoriza a avaliarem edificações quanto a conservação de energia e estabelecerem o seu nível de desempenho.

Os níveis possíveis, assim como os utilizados em outros subprogramas do PROCEL, vão de A a E, sendo A o mais eficiente e E o menos eficiente. No caso da etiqueta PBE Edifica para prédios comerciais, essa classificação pode ser obtida por meio de dois métodos: prescritivo ou simulação. Ambos são descritos no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – versão 4.1 (RTQ-C), documento que determina os requisitos básicos para a obtenção das etiquetas.

Para avaliar o desempenho energético das edificações, o RTQ-C analisa a envoltória, o sistema de iluminação e o sistema de ar condicionado. Para cada um, existem pré-requisitos necessários para cada nível da etiqueta pleiteada. Por exemplo, caso o edifício pleiteie etiqueta nível A para o sistema de iluminação, deve-se atingir os critérios estabelecidos mínimos para este nível e este sistema. A Tabela 2 resume os principais critérios para a classificação de níveis energéticos.

Tabela 2 – Resumo dos critérios para a classificação de edifícios para a etiquetagem PBE Edifica

Grupo		Critério	Nível de Eficiência	Descrição
Geral	Pré-requisitos gerais	Circuito elétrico	A ou B	Possuir circuito elétrico separado por uso final: iluminação, sistema de condicionamento de ar, e outros; ou possuir instalado equipamento que possibilite medição por uso final.
		Aquecimento de água	A	Edifícios com demanda por água quente superior a 10% do consumo de água mensal devem ser seu sistema de aquecimento 100% abastecido por sistema de aquecimento solar, aquecedores a gás instantâneos, sistema de aquecimento por bomba de calor ou caldeiras de calor. Todos esses sistemas devem possuir níveis mínimos de eficiência energética estabelecidos pela PROCEL
		Aquecimento de água	B	Edifícios com demanda por água quente superior a 10% do consumo de água mensal devem ser seu sistema de aquecimento 70% abastecido por sistema de aquecimento solar, aquecedores a gás instantâneos ou sistema de aquecimento por bomba de calor. Todos esses sistemas devem possuir níveis mínimos de eficiência energética estabelecidos pela PROCEL
		Aquecimento de água	C	Edifícios com sistema de aquecimento solar e a gás que atendam menos de 70% da demanda de água e sejam complementados por sistemas elétricos; e edifícios que tenham apenas aquecimento elétrico da água atingirão no máximo nível C, desde que atendam alguns pré-requisitos para torneiras, chuveiros, aquecedores elétricos de passagem, de hidromassagem e aquecedores por acumulação
	Aquecimento de água	A, B ou C	O projeto de instalações hidrossanitárias deve comprovar que as tubulações metálicas para água quente possuem isolamento térmico com espessura mínima, em centímetros (cm)	
	Bonificações	Redução no consumo de água	Todos	Sistemas e equipamentos que racionalizem o uso da água, tais como torneiras com arejadores e/ou temporizadores, sanitários com sensores, aproveitamento de água pluvial e de outras fontes alternativas de água, devem proporcionar uma economia mínima de 40% no consumo anual de água do edifício, considerando práticas correntes de dimensionamento
Envoltória	Pré-requisitos específicos	Transmitância térmica	A	A transmitância térmica da cobertura (Ucob) de ambientes condicionados artificialmente não deve ultrapassar os seguintes limites, de acordo com sua Zona Bioclimática: a. Zona Bioclimática 1 e 2: 0,50 W/m <sup>2</sup> K, para ambientes condicionados artificialmente, e 1,00 W/m <sup>2</sup> K, para ambientes não condicionados; b. Zona Bioclimática 3 a 8: 1,00 W/m <sup>2</sup> K, para ambientes condicionados artificialmente, e 2,00 W/m <sup>2</sup> K, para ambientes não condicionados.

		Cores e absorvância de superfícies	A	<p>São obrigatórios os seguintes pré-requisitos para as Zonas Bioclimáticas 2 a 8:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• utilização de materiais de revestimento externo de paredes com absorvância solar baixa, <math>\alpha \leq 0,50</math> do espectro solar;</li> <li>• em coberturas, a utilização de cor de absorvância solar baixa (<math>\alpha \leq 0,50</math> do espectro solar), telhas cerâmicas não esmaltadas, teto jardim ou reservatórios de água.</li> </ul>
		Iluminação zenital	A	No caso de existência de aberturas zenitais, a edificação deve atender ao fator solar máximo do vidro ou do sistema de abertura para os respectivos PAZ, de acordo com a Tabela 3.1. Para edificações com PAZ maior que 5%, pretendendo alcançar classificação A, deve-se utilizar simulação computacional de acordo com o item 6.
		Transmitância térmica	B	<p>A transmitância térmica da cobertura (<math>U_{cob}</math>) de ambientes condicionados artificialmente não deve ultrapassar os seguintes limites, de acordo com sua Zona Bioclimática:</p> <p>a. Zona Bioclimática 1 e 2: 1,00 W/m<sup>2</sup>K, para ambientes condicionados artificialmente, e 1,50 W/m<sup>2</sup>K, para ambientes não condicionados;</p> <p>b. Zona Bioclimática 3 a 6: 1,50 W/m<sup>2</sup>K, para ambientes condicionados artificialmente, e 2,00 W/m<sup>2</sup>K, para ambientes não condicionados.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• a transmitância térmica das paredes externas (<math>U_{par}</math>) não deve ultrapassar os seguintes limites, de acordo com sua Zona Bioclimática:</li> </ul> <p>a. Zonas Bioclimáticas 1 e 2: 2,00 W/m<sup>2</sup>K;</p> <p>b. Zonas Bioclimáticas 3 a 6: 3,70 W/m<sup>2</sup>K.</p> <p>c. Zonas Bioclimáticas 7 e 8: 2,50 W/m<sup>2</sup>K, para paredes com capacidade térmica máxima de 80 kJ/m<sup>2</sup>K, e 3,70 W/m<sup>2</sup>K, para paredes com capacidade térmica superior a 80 kJ/m<sup>2</sup>K.</p>
		Cores e absorvância de superfícies	B	<p>São obrigatórios os seguintes pré-requisitos para as Zonas Bioclimáticas 2 a 8:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• em coberturas, utilização de cor de absorvância solar baixa (<math>\alpha \leq 0,50</math> do espectro solar), telhas cerâmicas não esmaltadas, teto jardim ou reservatórios de água.</li> </ul>
		Iluminação zenital	B	No caso de existência de aberturas zenitais, a edificação deve atender ao fator solar máximo do vidro ou do sistema de abertura para os respectivos PAZ, de acordo com a Tabela 3.1. Para edificações com PAZ maior que 5%, pretendendo alcançar classificação A, deve-se utilizar simulação computacional de acordo com o item 6.
		Transmitância térmica	C e D	<p>Componentes opacos (paredes e coberturas) devem possuir transmitâncias térmicas máximas de acordo com os requisitos a seguir:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• a transmitância térmica da cobertura (<math>U_{cob}</math>) não deve ultrapassar 2,00 W/m<sup>2</sup>K para qualquer ambiente ou Zona Bioclimática;</li> <li>• a transmitância térmica das paredes externas (<math>U_{par}</math>) não deve ultrapassar os seguintes limites, de acordo com sua Zona Bioclimática:</li> </ul> <p>a. Zonas Bioclimáticas 1 a 6: 3,70 W/m<sup>2</sup>K;</p> <p>b. Zonas Bioclimáticas 7 e 8: 2,50 W/m<sup>2</sup>K, para paredes com capacidade térmica máxima de 80 kJ/m<sup>2</sup>K, e 3,70 W/m<sup>2</sup>K para paredes com capacidade térmica superior a 80 kJ/m<sup>2</sup>K.</p>
		Cores e absorvância de superfícies	C e D	-
		Iluminação zenital	C e D	-
<b>Iluminação</b>	Pré-requisitos específicos	Divisão dos circuitos	A, B e C	Cada ambiente fechado por paredes ou divisórias até o teto deve possuir pelo menos um dispositivo de controle manual para o acionamento independente da iluminação interna do ambiente.

		Contribuição da luz natural	A e B	Ambientes com abertura(s) voltada(s) para o ambiente externo ou para átrio não coberto ou de cobertura translúcida e que contenham mais de uma fileira de luminárias paralelas à(s) abertura(s) devem possuir um controle instalado, manual ou automático, para o acionamento independente da fileira de luminárias mais próxima à abertura, de forma a propiciar o aproveitamento da luz natural disponível. Unidades de edifícios de meios de hospedagem são exceção a este pré-requisito.
		Desligamento automático do sistema de iluminação	A	O sistema de iluminação interna de ambientes maiores que 250 m <sup>2</sup> deverá possuir um dispositivo de controle automático para desligamento da iluminação. Este dispositivo de controle automático deve funcionar de acordo com uma das seguintes opções: <ul style="list-style-type: none"> <li>• um sistema automático com desligamento da iluminação em um horário pré-determinado.</li> </ul> Deverá existir uma programação independente para um limite de área de até 2500 m <sup>2</sup> ; ou <ul style="list-style-type: none"> <li>• um sensor de presença que desligue a iluminação 30 minutos após a saída de todos ocupantes; ou</li> <li>• um sinal de um outro controle ou sistema de alarme que indique que a área está desocupada.</li> </ul>
<b>Ar condicionado</b>	Pré-requisitos específicos	Isolamento térmico para dutos de ar	A	A Tabela 5.1 e a Tabela 5.2 apresentam as espessuras mínimas para isolamento de tubulações para sistemas de aquecimento e refrigeração, respectivamente. Para isolamentos cuja condutividade térmica esteja fora das faixas estipuladas nestas tabelas, a espessura mínima (E) deve ser determinada pela Equação 2.2.
		Condicionamento de ar por aquecimento artificial	A	Em edificações onde é necessário aquecimento para climatização, devem atender a determinados critérios de eficiência
		Sistemas classificados pelo INMETRO	A	Aparelhos de ar condicionado tipo janela ou <i>split</i> devem possuir etiqueta de classificação em nível A
		Sistemas não classificados pelo INMETRO	A	Os condicionadores de ar devem atender aos requisitos mínimos de eficiência apresentados na Tabela 5.4; os condicionadores de ar tipo VRF (Fluxo de Refrigerante Variável) devem atender aos requisitos mínimos de eficiência das Tabelas 5.4A e 5.4B; os resfriadores de líquido devem atender aos requisitos mínimos de eficiência da Tabela 5.5; os condensadores e torres de arrefecimento devem atender aos requisitos mínimos de eficiência da Tabela 5.6 e todo o sistema de condicionamento de ar deve respeitar os requisitos estabelecidos nos itens 5.4.1 a 5.4.7,
		Carga térmica	Todos	Deve ser calculada com padrões da ASHRAE e NBR 16401
		Controle da temperatura por zona	Todos	O aquecimento ou resfriamento de ar de cada zona térmica deverá ser individualmente controlado por termostatos respondendo à temperatura do ar da referida zona.

Além de se optar por um nível específico da etiquetagem, o responsável pelo edifício a ser classificado, também escolhe por classificar um, dois ou três dos sistemas abordados, sendo que a envoltória é obrigatória para quaisquer uma das opções. Assim, é permitido etiquetar apenas a envoltória, a envoltória e a iluminação, a envoltória e o ar condicionado – etiqueta parcial- ou os três juntos – etiqueta geral.

### 2.1.3. CERTIFICAÇÕES E ETIQUETAS ANALISADAS

Para o trabalho desenvolvido, foram comparadas as certificações pertinentes à edificação que é objeto da análise. Assim, os preceitos descritos englobam os créditos e pré-requisitos relacionados a eficiência energética da certificação LEED de envoltória e sistemas principais – *Core&Shell* - implementada no edifício e a comparam com os critérios passíveis de simulação da etiquetagem PBE Edifica para os sistemas de envoltória, ar condicionado e iluminação. Para todos os modelos, simplificações foram consideradas.

Além do modelo atual do edifício, que engloba as características implementadas para a certificação LEED, construiu-se um *baseline*, ou seja, um modelo que contempla características da edificação de interesse adaptadas a padrões de eficiência energética das recomendações da ASHRAE 90.1 - 2007. Assim, o consumo da edificação real pode ser comparado ao *baseline*, indicando se o edifício construído atinge padrões de economia esperados para um prédio eficiente energeticamente. Dessa forma, permite-se analisar se os investimentos para atingir a certificação LEED acarretaram em um desempenho energético eficiente.

Em seguida, a análise volta-se para a etiqueta PROCEL – PBE Edifica geral. Ou seja, compara-se o modelo real da edificação com o modelo construído de acordo com as características necessárias para um prédio equivalente que tenha desempenho energético nível A para envoltória, ar condicionado e iluminação. Dessa forma, torna-se possível comparar os níveis de exigência para a ambos os critérios de eficiência energética.

## 2.2. MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO

A medição e verificação de sistemas é um processo desenvolvido para determinar a economia de energia de uma forma confiável e segura, obtida a partir de ações de eficiência energética implementadas em um sistema ou edificação como um todo (EVO, 2012). O uso desses procedimentos deve-se ao fato de que a economia não pode ser medida diretamente, visto que representa a ausência de consumo. A Figura 2 ilustra tal situação.

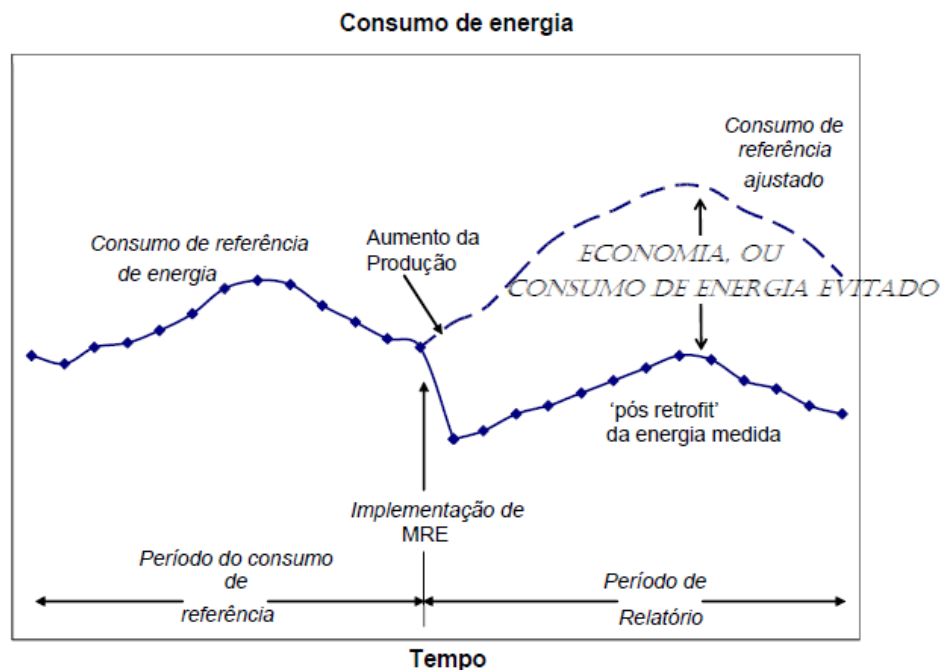


Figura 2 – Histórico de energia para utilização de técnicas de medição e verificação (EVO, 2012)

A medição da economia de energia requer um monitoramento de consumo e de indicadores energéticos durante o período anterior à implementação da medida de racionalização de energia (MRE). Com isso, torna-se possível estimar qual seria o consumo sem que nenhuma MRE tivesse sido implementada e compará-lo ao consumo real obtido após a utilização destas MRE. A metodologia utilizada para realizar tais estimativas e comparações são as técnicas definidas como medição e verificação.

De acordo com o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance, publicado pela *Efficiency Valuation Organization*, de acordo com o tipo de MRE implementada, com os seus efeitos sob a instalação e com os recursos disponíveis, as técnicas de medição e verificação devem ser definidas. Inicialmente, independente da metodologia escolhida, o período de referência deve ser determinado de forma a representar todos os modos de funcionamento da instalação, assim como o período de pós *retrofit* (EVO, 2012).

Em seguida, a quantidade de energia utilizada, ou não, pode ser determinada segundo quatro critérios. Estes compõem as chamadas opções de medição e verificação que devem ser escolhidas conforme a possibilidade de se realizar medições, as considerações necessárias sobre desempenho energético e em qual o nível a economia deve ser estimada. A Tabela 3 resume as características principais de cada opção.



Tabela 3 – Visão geral das opções de medição e verificação (EVO, 2012)

Opção	Cálculo de economia	Aplicações típicas
<p><b>A. Medição Isolada da MRE: Medição dos parâmetros chave</b>  <i>A economia</i> é determinada pela medição no terreno dos parâmetros chave do desempenho energético, que define o consumo de <i>energia</i> dos sistemas afetados pela <i>MRE</i> e/ou o sucesso do projeto.  A frequência da medição vai desde o curto prazo a contínua, dependendo das variações esperadas no parâmetro medido e da duração do <i>pós-retrofit</i>.  Os parâmetros que não são selecionados para medição no terreno são <i>estimados</i>.  As <i>estimativas</i> podem basear-se em dados históricos, especificações do fabricante ou avaliação da engenharia. É necessária a documentação da fonte ou justificativa do parâmetro <i>estimado</i>. O erro de <i>economia</i> provável que surge da <i>estimativa</i> em vez da medição é avaliado.</p>	<p>Cálculo de engenharia do <i>período de referência</i> e do <i>consumo do pós-retrofit</i> a partir de:  o Medições a curto prazo ou contínuas de parâmetros chave de funcionamento; e  o Valores <i>estimados</i>. <i>Ajustes de rotina</i> e <i>não de rotina</i> como exigido.</p>	<p>A MRE da iluminação onde a energia requerida é o parâmetro chave de desempenho energético, que é medido periodicamente. Calcular as horas de funcionamento da iluminação baseadas nos horários do edifício e no comportamento dos ocupantes.</p>
<p><b>B. Medição isolada da MRE: Medição de todos os parâmetros</b>  <i>A economia</i> é determinada pela medição no terreno do consumo de <i>energia</i> do sistema afetado pela <i>MRE</i>.  A frequência da medição vai desde o curto prazo a contínua, dependendo das variações esperadas na <i>economia</i> e da duração do <i>pós-retrofit</i>.</p>	<p>Medições a curto prazo ou contínuas do <i>período de referência</i> e <i>consumo do período de relato</i>, e/ou cálculos de engenharia, usando medições de substituição de consumo de <i>energia</i>.  <i>Ajustes de rotina</i> e <i>não-de rotina</i> como exigido.</p>	<p>A aplicação de uma velocidade variável e controles a um motor para ajustar o fluxo da bomba. Medir a energia elétrica com um medidor de kW instalado na alimentação elétrica do motor, que lê a potência a cada minuto. No <i>período de consumo de referência</i> este medidor está no mesmo lugar durante uma semana para verificar a carga <i>constante</i>. O medidor está no lugar durante o <i>pósretrofit</i> para medir as variações da utilização da potência.</p>
<p><b>C. Toda a Instalação</b>  <i>A economia</i> é determinada pela medição do consumo de energia ao nível de toda a <i>instalação</i> ou sub-<i>instalação</i>. Medições</p>	<p>Análise dos dados do medidor do <i>período de referência</i> de toda a <i>instalação</i> e do <i>pósretrofit</i> (empresa de serviços energéticos).</p>	<p>Programa de gestão de energia multifacetado, afetando muitos sistemas numa <i>instalação</i>.  Medição do consumo de energia com os medidores de gás e eletricidade da empresa</p>

contínuas do consumo de <i>energia</i> de toda a <i>instalação</i> são efetuadas durante o <i>pós-retrofit</i> .	<i>Ajustes de rotina</i> como exigido, usando técnicas tal como uma simples comparação ou análise de regressão. <i>Ajustes não de rotina</i> como exigido.	de serviços energéticos para um <i>período de referência</i> de doze meses e durante o <i>pós-retrofit</i> .
<b>D. Simulação calibrada</b> A <i>economia</i> é determinada através da simulação do consumo de <i>energia</i> de toda a <i>instalação</i> , ou de uma <i>subinstalação</i> . Rotinas de simulação são demonstradas para modelar adequadamente o desempenho energético real medido na <i>instalação</i> . Esta opção requer habitualmente competências consideráveis em simulação calibrada.	Simulação do consumo de energia, calibrada com dados de faturação por hora ou mensais da empresa de serviços energéticos. (A medição do consumo de energia final pode ser usada para ajudar a refinar dados de entrada.)	Programa de gestão de energia multifacetado, afetando muitos sistemas numa <i>instalação</i> mas onde não existia nenhum medidor no <i>período de referência</i> . Medições do consumo de energia, após a instalação de medidores de gás e de eletricidade, são usados para calibrar a simulação. Consumo de energia do <i>período de referência</i> , determinado utilizando a simulação calibrada, é comparado à simulação do consumo de energia do <i>período de relato</i> .

Para o desenvolvimento o trabalho em questão, a opção D foi escolhida, já que as ações de eficiência energética aplicadas ocorreram na construção do edifício e não há possibilidade de se obter dados de consumo antes da construção. Para realizar uma estimativa fiel do consumo do edifício com ações de eficiência energética implementadas, criou-se o *baseline*, conforme a ASHRAE 90.1 – 2007. Igualmente, realizou-se o modelo seguindo as orientações do PROCEL PBE Edifica.

Simulações permitem uma análise correlacionada de todos os sistemas prediais com níveis de detalhamento elevados quando comparados a outros métodos de estimativas (Hensen, et al., 2011). Entretanto a criação de modelos computacionais não é uma tarefa simples, já que implica na calibração da referência estabelecida. Esse procedimento garante a previsibilidade do consumo obtido por meio da simulação e estabelece a confiança do modelo. O capítulo sobre metodologia descreve o procedimento utilizado para a obtenção de uma simulação calibrada.

## 3. METODOLOGIA

Com o intuito de analisar o consumo energético da edificação proposta, foi necessário compreender a influência da certificação LEED *Core&Shell* para sua arquitetura. Tal certificação confere diversos parâmetros de sustentabilidade que devem ser utilizados tanto no projeto quanto na construção e, conseqüentemente, influenciam na operação do prédio no decorrer da sua vida útil. Assim, torna-se de interesse verificar o impacto do uso de padrões sustentáveis na edificação durante o período de ocupação do prédio. Para tal, utiliza-se a norma ASHRAE 90.1-2007 para estabelecer um *baseline* e em seguida compara-se a edificação real com a edificação proposta pelo *baseline*.

De acordo com a ASHRAE 90.1-2007, o *baseline* é o modelo computacional de referência para projetos de edificações sustentáveis construídas seguindo preceitos de eficiência energética da norma citada. Em geral, este modelo é estabelecido ainda na fase de projeto de prédios de forma a prever o consumo energético da edificação a ser construída (modelo proposto) e verificar se esse modelo apresenta consumo igual ou menor ao *baseline*. Caso o consumo esteja dentro do limite estabelecido pelo *baseline*, a edificação pode ser considerada eficiente para essa referência normativa.

Além da comparação da edificação real com o seu *baseline* estabelecido pelos preceitos da ASHRAE 90.1, é de interesse comparar o desempenho energético da edificação estudada com o seu respectivo modelo de referência de acordo com os parâmetros da metodologia PBE Edifica – PROCEL. Assim, também é realizada uma modelagem computacional para a edificação referente ao Nível A da PROCEL e seus resultados de consumo energético são comparados ao modelo computacional construído a partir de aspectos construtivos reais. Caso o consumo referente ao modelo real seja inferior ao consumo do modelo de referência – Nível A, pode-se concluir que a edificação é enquadrada com o nível mais alto de eficiência energética estabelecido pela PROCEL.

### 3.1. AVALIAÇÃO COMPARATIVA

Para estabelecer a comparação do desempenho energético da edificação real, com o seu *baseline* e com o modelo de referência Nível A – PROCEL, torna-se necessário quantificar

características que contribuem para o desempenho verificado dentro de condições específicas (Hensen, et al., 2011). A Figura 3 ilustra graficamente a metodologia utilizada para simulação.

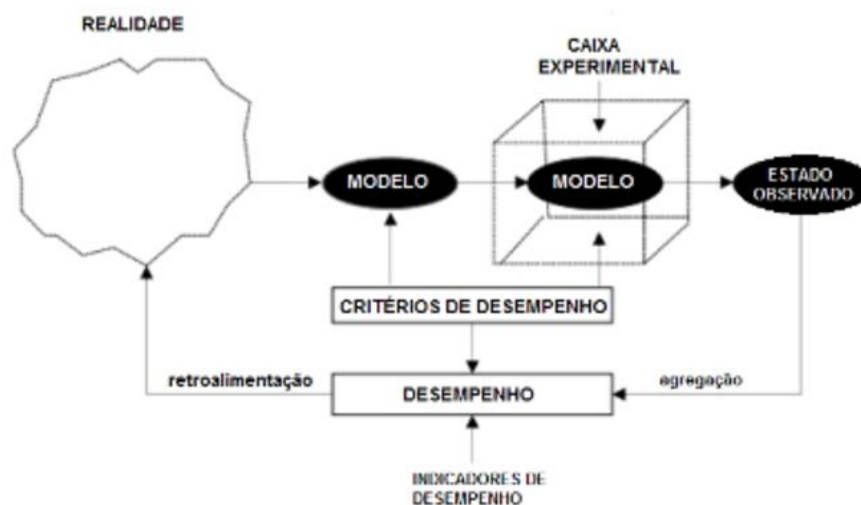


Figura 3 – Estratégia computacional para desempenho energético de edificações. (Hensen, et al., 2011)

Os sistemas verificados empiricamente na edificação real devem ser modelados a partir de parâmetros definidos, aproximando o modelo para as condições de contorno mais próximas ao ideal, ou seja, a realidade. De forma a prover experimentos nos quais tais parâmetros podem ser alterados e com isso definir como se comportam os sistemas da edificação em situações adversas, a modelagem é inserida em uma “caixa experimental” que pode ser entendida como o software e suas ferramentas de simulação (Hensen, et al., 2011).

Após a compreensão do funcionamento da simulação computacional, é importante estabelecer como a simulação deve ser feita e quais parâmetros devem ser analisados, bem como o nível de complexidade adotado. Inicialmente, as funções da edificação devem ser mensuradas de forma quantitativa. A Figura 4 exemplifica como uma determinada atribuição do prédio, como “redução de custos adicionais no prédio”, pode ser modelada como um parâmetro de simulação.

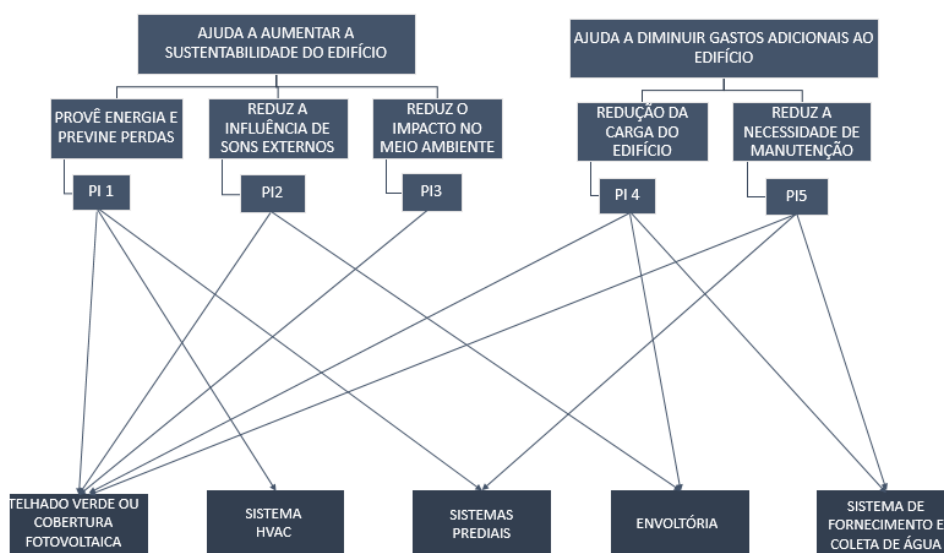


Figura 4 – Aspectos mensuráveis para os sistemas prediais. Adaptado de (Hensen, et al., 2011)

Em seguida, deve-se definir a precisão do modelo a ser utilizado. Nesse sentido, simulações computacionais são muito mais efetivas para a comparação de desempenho entre alternativas de projeto e conjuntos de ações de eficiência energética do que para prever o consumo absoluto ou o resultado de apenas uma ação isolada (Hensen, et al., 2011).

Seguindo com o objetivo de avaliar o edifício de forma holística, ou seja, a relação entre todos os sistemas interligados, vários parâmetros que refletem sustentabilidade e eficiência energética são analisados nos modelos desenvolvidos. Assim, o desempenho da simulação depende de sua adequada calibração o que interfere na precisão dos resultados e na posterior determinação da economia de energia obtida (EVO, 2012).

De acordo com o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance - IPMVP (EVO, 2012), uma das alternativas para prever o desempenho de uma edificação quando mais de uma ação de eficiência energética é aplicada é a simulação computacional do edifício inteiro. Por meio deste artifício é possível determinar tanto o desempenho do *baseline* quanto da edificação após a implementação das ações de eficiência energética.

Entretanto a simulação computacional requer a realização de procedimentos e metodologias para garantir a calibração e a precisão. Ambos são definidos quando a simulação corresponde aos padrões de consumo da edificação, incluindo dados de energia medidos, variáveis independentes e fatores estáticos (EVO, 2012).

Para estabelecer a calibração dos modelos, faz-se necessário utilizar as faturas energéticas mensais do último ano que reflita uma ocupação e operação estável da edificação. Além de dados de consumo, padrões de funcionalidade devem ser analisados, como a ocupação, uso de cargas e eficiência de equipamentos (EVO, 2012). O procedimento indicado no IPMVP para calibração de simulações é:

1. Assumir valores de entrada necessários;
2. Reunir dados climáticos;
3. Verificar se a simulação prevê padrões de funcionamento como temperatura e umidade;
4. Comparar os dados de simulação com os dados reais;
5. Avaliar padrões nas diferenças entre os resultados da simulação;
6. Rever o processo para redução de erros.

Devido à extensão desse processo e às simplificações utilizadas para a modelagem do edifício real, optou-se por utilizar a calibração com dados mensais para uma análise preliminar do estudo de caso.

Para atestar a calibração, o indicador MBE - *Mean Bias Error* (ASHRAE, 2002) foi utilizado para medir a proximidade da simulação com o caso real. Seu cálculo se baseia na soma das diferenças da energia consumida medida e simulada durante um período determinado, como descrito na (1) (Fabrizio, et al., 2015).

$$MBE(\%) = \frac{\sum_{\text{período}}(S-M)_{\text{intervalo}}}{\sum_{\text{período}} M_{\text{intervalo}}} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

M é a energia medida durante o intervalo determinado

S é a energia simulada durante o intervalo determinado

Como optou-se pela simulação utilizando dados mensais de consumo, este indicador deve apresentar valor de até 5% ao mês para que a simulação possa ser considerada como calibrada (ASHRAE, 2002). Outro indicador de interesse para calibração da simulação é o CV(RMSE) – *Coefficient of Variation of the Root Mean Squared Error* que pode ser entendido como uma normalização da variação entre os resultados simulados e as medições reais (Fabrizio, et al., 2015). O cálculo do indicador é realizado conforme as equações a seguir:

$$CV(RMSE) = \frac{RMSE_{\text{período}}}{A_{\text{período}}} \times 100 \quad (2)$$

$$RMSE_{\text{period}} = \sqrt{\frac{\sum(S - M)^2_{\text{intervalo}}}{N_{\text{intervalo}}}} \quad (3)$$

$$A_{\text{período}} = \frac{\sum_{\text{período}} M_{\text{intervalo}}}{N_{\text{intervalo}}} \quad (4)$$

Onde:

N é o número de intervalos avaliados.

Para definir a calibração do modelo de acordo com o indicador CV(RMSE), é necessário que seu valor se mantenha inferior a 30% (ASHRAE, 2002).

Após a calibração da simulação, o modelo real é estabelecido e torna-se confiável a sua comparação com relação aos modelos adaptados tanto para o *baseline* quanto para a os preceitos da etiquetagem PROCEL. Para tal, o consumo total da edificação, a demanda máxima, o consumo por sistema e o número de horas de conforto térmico para os três modelos são comparados para verificar seu desempenho energético (ASHRAE, 2002).

Além disso, a fim de verificar o consumo energético da edificação real com relação a edifícios similares, utiliza-se também a ferramenta *Portfolio Manager* da certificação *Energy Star*. Essa ferramenta possui em seu banco de dados informações de consumo referentes a diversos tipos de edificação para zonas climáticas dentro e fora dos Estados Unidos. Assim, torna-se possível comparar o consumo de edificações similares e obter o grau de eficiência energética do prédio analisado. Esse tipo de análise é importante pois permite verificar o desempenho do objeto do estudo de caso frente a edificações reais construídas, muitas vezes, sem considerar aspectos de sustentabilidade em sua operação.

### **3.1.1. DEFINIÇÃO DO SOFTWARE**

A ferramenta computacional escolhida para realizar as simulações de desempenho energético do edifício em questão foi o *Energy Plus*. Tal software é desenvolvido pelo *US Department of Energy* (DOE) e teve seu planejamento iniciado em 1995, com base nas ferramentas já existentes patrocinadas pelo DOE, em recomendações de usuários e desenvolvedores de programas de simulação e na experiência adquirida ao desenvolver o BLAST e DOE-2 (Crawley, 2000).

Desenvolvido em Fortran 90, o *Energy Plus* permite o uso de diversos meios e aplicativos para obter interfaces gráficas mais simples e de fácil entendimento para o usuário final. Possui uma estrutura que permite considerar fatores climáticos regionais, geometria de

edificações, dados de ocupação e de economia de energia e conforto térmico (Crawley, 2000). A Figura 5 ilustra a estrutura geral do programa.

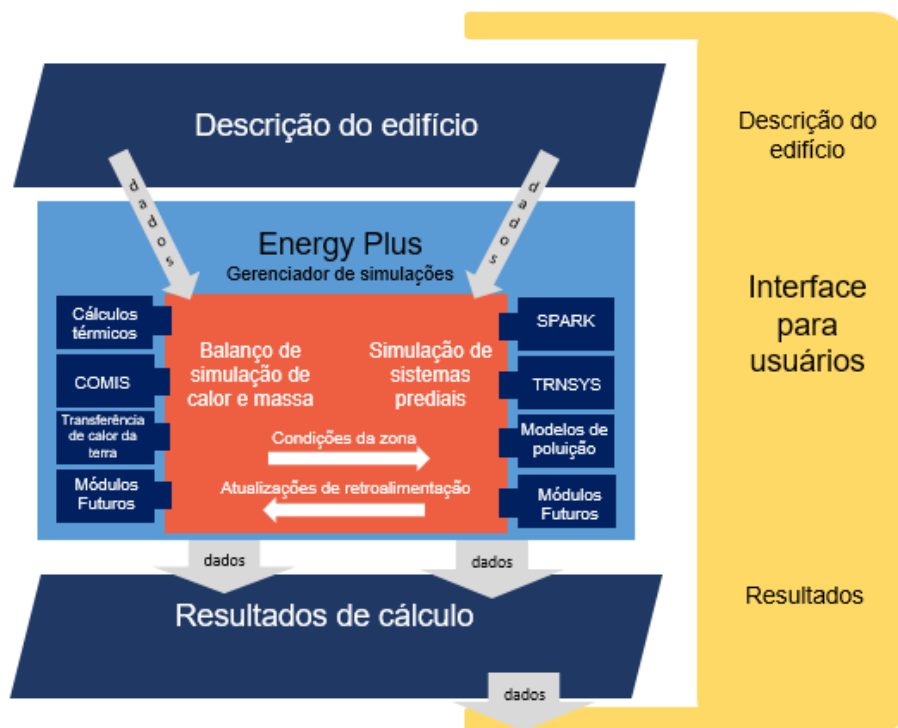


Figura 5 – Estrutura geral do Energy Plus - Adaptado de (Crawley, 2000)

Como é indicado pela figura, uma interface externa ao programa pode ser utilizada para controlar as simulações de forma mais simplificada. A partir desta, o modelo da edificação a ser estudada é obtido e o Energy Plus permite as simulações de balanço térmico e massa e dos sistemas do prédio. Assim, aspectos construtivos, climáticos e organizacionais são considerados durante todo o estudo. O programa também fornece uma biblioteca com valores padrão para as características construtivas mais comuns, de forma a otimizar o trabalho do usuário. Além disso, permite facilidade ao definir densidade de iluminação e de cargas elétricas em geral o que facilita simular o perfil de operação de edifícios de forma a respeitar as estações e horários do dia. A Figura 6 mostra o controle integrado de parâmetros feito pelo *Energy Plus*.



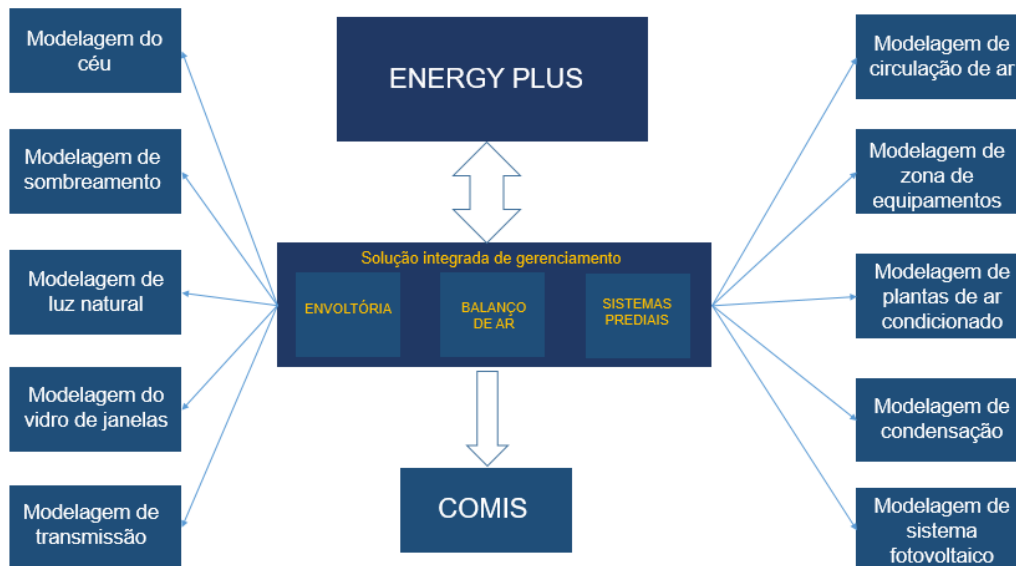


Figura 6 – Gerenciamento integrado da simulação (Adaptado de Crawley, 2000)

Como pode ser observado, o gerenciamento do processo de simulação possui papel vital para obtenção de resultados satisfatórios e coerentes com a edificação real. Este papel pode ser desempenhado por aplicativos que permitam interfaceamento gráfico com a estrutura do Energy Plus. Para o trabalho desenvolvido, optou-se por utilizar o aplicativo *Open Studio* de forma a desempenhar essa função.

O *Open Studio* é uma plataforma de código aberto desenvolvida em C++ e com compatibilidade para Windows, Linux e sistemas operacionais Mac. Seu funcionamento baseia-se em um interfaceamento com o SketchUp de forma a possibilitar ao usuário a modelagem geométrica da edificação em estudo, além da personalização de dados de entrada, como radiação e sombreamento. Todas as informações são condensadas e armazenadas em um único arquivo *Open Studio Model (.osm)* (Guglielmetti, 2011).

Devido às facilidades promovidas pelo *Open Studio* e pela grande margem de soluções em simulações computacionais fornecida pelo *Energy Plus*, ambos os softwares em conjunto foram utilizados no decorrer do trabalho para auxiliar na modelagem da edificação e descrever os parâmetros necessários às situações a serem abordadas.

### 3.2. ASPECTOS CONSTRUTIVOS DO MODELO REAL

O edifício analisado é um empreendimento construído em 2012, localizado em Brasília e ocupado por uma instituição do Poder Executivo. Possui 23.638 m<sup>2</sup> de área construída com uma sala-cofre e uma sala segura em sua instalação. Com a topologia de prédio de escritórios, originalmente projetado como *open space*, a edificação possui sete pavimentos dos quais três são subsolos. Desses, os dois últimos são garagens cobertas e o terceiro é um pavimento composto por auditório com capacidade para 200 pessoas, *foyer*, casa de máquinas, brigadistas, seguranças, além da sala segura e da sala-cofre. Os demais pavimentos são escritórios de trabalho divididos em duas alas climatizadas.

A ocupação do edifício perdura por 70 horas semanais em praticamente todos os ambientes, excetuando-se àqueles nos quais há serviços ininterruptos, em sistema de plantão. São estes: manutenção, segurança e brigadista. Para garantir o conforto térmico do edifício com esta ocupação, é utilizado um sistema de climatização com base em *chiller* a água com *set point* regulado em 24°C.

A iluminação do edifício é baseada em lâmpadas fluorescentes de alta eficiência e LED. Para garantir a correta operação da iluminação, é utilizado um sistema de automação que controla os horários de acionamento e desligamento de todas as luminárias. Além disso, a automação regula os horários de funcionamento do sistema de climatização, possibilitando sua otimização.

A sala-cofre pode ser analisada como uma carga de missão crítica, já que seu funcionamento é ininterrupto e uma falta de energia pode trazer grandes prejuízos à instituição. Além disso, possui alta densidade de cargas e climatização exclusiva para garantir o correto funcionamento dos servidores. Devido a essas características, a sala-cofre possui alto consumo energético e sua operação é determinante para análises de consumo da edificação.

Durante o projeto e a construção do edifício, padrões de sustentabilidade foram considerados o que proporcionou a certificação LEED *Core&Shell* v3 nível ouro, obtendo 61 pontos. Para tal, uma série de conceitos de sustentabilidade foram aplicados, o que interfere no desempenho energético do prédio e no nível de produtividade dos ocupantes. Uma empresa de consultoria foi contratada para acompanhar o projeto e a construção do prédio, garantindo que os preceitos da certificação fossem seguidos. Assim, os créditos alcançados estão elencados na Tabela 4.

Tabela 4 – Créditos alcançados na certificação LEED Core&Shell pelo edifício estudado

<b>Dimensão</b>	<b>Crédito Atendido</b>
<b>Espaços Sustentáveis</b>	Prevenção de poluição nas atividades de construção
	Escolha do terreno
	Densidade urbana e comunidade local
	Transporte alternativo: acesso ao transporte público
	Transporte alternativo: bicicletário e vestiários
	Transporte alternativo: veículos com baixa emissão e baixo consumo
	Ilhas de calor: não cobertura
	Diretrizes de projeto e construção para locatários
<b>Uso racional da água</b>	Redução do consumo da água, reduzir 20%
	Água potável para paisagismo - reduzir 50%
	Água potável para paisagismo – reduzir 100%
<b>Energia e atmosfera</b>	Comissionamento básico dos sistemas que consomem energia
	Eficiência energética mínima
	Proibição de CFC
	Otimizar eficiência energética – reduzir 12%
	Otimizar eficiência energética – reduzir 14%
	Otimizar eficiência energética – reduzir 16%
	Otimizar eficiência energética – reduzir 18%
	Comissionamento avançado
	Gestão avançada de gás refrigerante
	Medição e verificação: edificação
	Medição e verificação: unidades locadas
	Energia limpa
<b>Materiais e recursos</b>	Depósito de recicláveis
	Gestão de resíduos em obra – 50% fora do aterro
	Gestão de resíduos em obra – 75% fora do aterro
	Conteúdo reciclado – 10%
	Materiais regionais, 10%
	Materiais regionais, 20%
<b>Qualidade do ambiente interno</b>	Qualidade do ar interno
	Controle da fumaça do tabaco
	Ventilação adicional
	Plano para qualidade interna do ar: durante a obra
	Materiais com baixo VOC
	Controlabilidade dos sistemas: conforto térmico
	Conforto térmico, projeto ASHRAE 55

À época da construção, ou seja, durante o período de obtenção da certificação, o edifício ainda não possuía ocupação e a distribuição dos espaços permanecia com a foma original de projeto. Dessa maneira, algumas características originais do prédio foram adaptadas durante o período de ocupação. Tais ações ocasionaram alterações na composição dos sistemas, o que interfere nos critérios utilizados para a certificação LEED.

Assim, torna-se imprescindível o estudo do impacto do período de ocupação frente aos critérios de sustentabilidade. Ao analisar os créditos obtidos com a certificação, a questão da eficiência energética mínima, bem como os créditos referentes à medição e verificação são passíveis a grandes alterações a depender da utilização dos sistemas.

O quesito de eficiência energética mínima exige uma simulação computacional de acordo com o Apêndice G da ASHRAE 90.1 – 2007 para a versão de 2009 da LEED. Dessa forma, deve-se comprovar que, caso as condições de projeto sejam seguidas, a edificação irá apresentar consumo 10% inferior ao *baseline* estabelecido, o que garante o melhor desempenho energético. No caso do edifício proposto, considerou-se eficiência de 18% além do estabelecido pela ASHRAE. Entretanto, as alterações ocorridas após a ocupação do edifício, como a inserção de um ambiente de sala-cofre e de sala segura, além de alterações em densidade de ocupação e de cargas de equipamentos e de iluminação, além dos perfis de utilização interferem no consumo energético e, conseqüentemente, na comparação com o *baseline* original.

De acordo com a simulação computacional realizada no período de construção, os dados de consumo obtidos foram demonstrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Comparação de consumo esperado entre o *baseline* e o edifício proposto durante a construção do edifício

Mês	Consumo do <i>baseline</i> (kWh)	Consumo do edifício projetado (kWh)	Consumo real em 2014 (kWh)	Consumo real em 2015 (kWh)	Consumo real em 2016 (kWh)
<b>Janeiro</b>	176.926	137.441	313.333	371.974	353.927
<b>Fevereiro</b>	157.343	122.596	291.547	312.264	345.514
<b>Março</b>	176.425	136.180	324.143	353.150	383.618
<b>Abril</b>	165.543	126.315	309.071	342.945	367.247
<b>Mai</b>	171.797	129.700	326.350	343.348	371.811
<b>Junho</b>	153.888	112.724	293.734	333.227	-
<b>Julho</b>	156.463	115.110	343.404	352.454	-
<b>Agosto</b>	165.847	124.898	355.112	356.619	-
<b>Setembro</b>	153.200	117.267	371.935	355.026	-
<b>Outubro</b>	173.437	135.139	382.906	374.732	-
<b>Novembro</b>	167.158	129.618	367.050	360.801	-
<b>Dezembro</b>	164.754	126.396	361.278	362.894	-

Dessa forma, observa-se que o consumo da edificação após a ocupação e a instalação de um inquilino no prédio destoou de forma significativa ao consumo do edifício originalmente projetado. Essa situação retrata a necessidade de uma reavaliação do *baseline* considerando as características vigentes na ocupação.

Para reunir dados reais da operação do edifício, em janeiro de 2016 foi revisada uma Auditoria de Nível 1 (ASHRAE, 2011) realizada anteriormente em 2015 para atestar os padrões de uso e operação do edifício, bem como suas características de consumo energético. Os principais padrões identificados foram os perfis de ocupação, de utilização do sistema de ar condicionado, de utilização do sistema de iluminação e a análise dos projetos originais de forma complementar.

### 3.2.1. GEOMETRIA E OCUPAÇÃO

A envoltória da edificação é composta de paredes externas de bloco de concreto revestidas por granito, piso estruturado sob laje de concreto, assim como a cobertura. De forma a reduzir a absorção de calor pela edificação, a cobertura foi pintada por uma tinta especial com alto fator de reflexão solar, além do vidro utilizado possuir características que diminuam transmissão de calor. Para parametrizar tais estruturas, utilizou-se as propriedades térmicas elencadas na Tabela 6.

*Tabela 6 – Transmitância térmica das componentes estruturais do projeto analisado*

<b>Estrutura</b>	<b>U [W/m<sup>2</sup>K]</b>
Parede externa	2,570
Cobertura	3,465
Piso	1,174
Vidro	5,226

Com relação à geometria do edifício, as plantas dos pavimentos são ilustradas nas Figura 7 a Figura 14. A fachada principal está posicionada a -116° do norte geográfico.

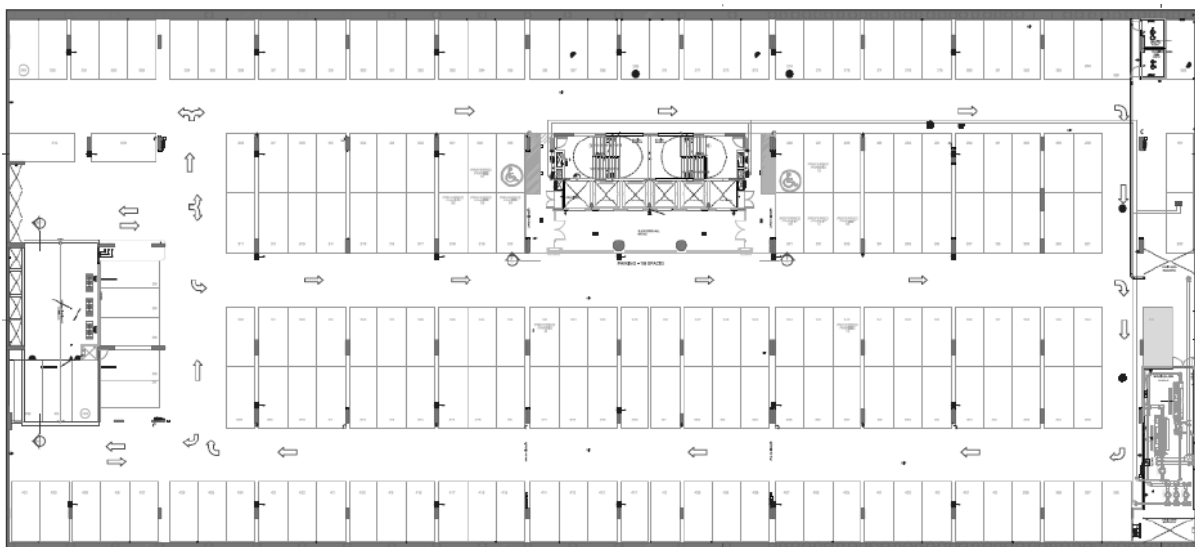


Figura 7 – Planta baixa do 3º subsolo

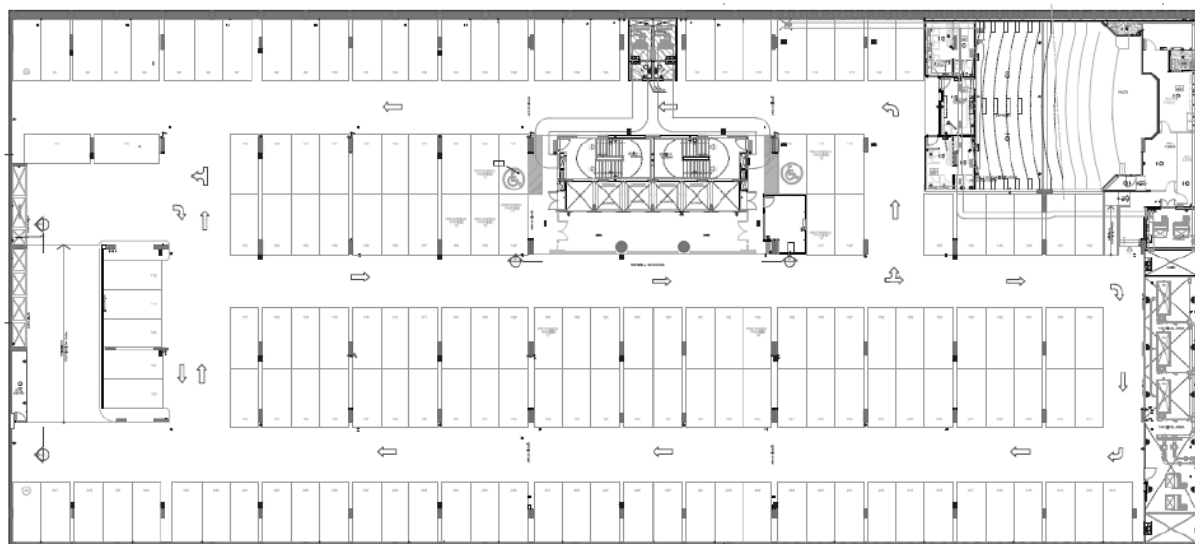


Figura 8 – Planta baixa do 2º subsolo

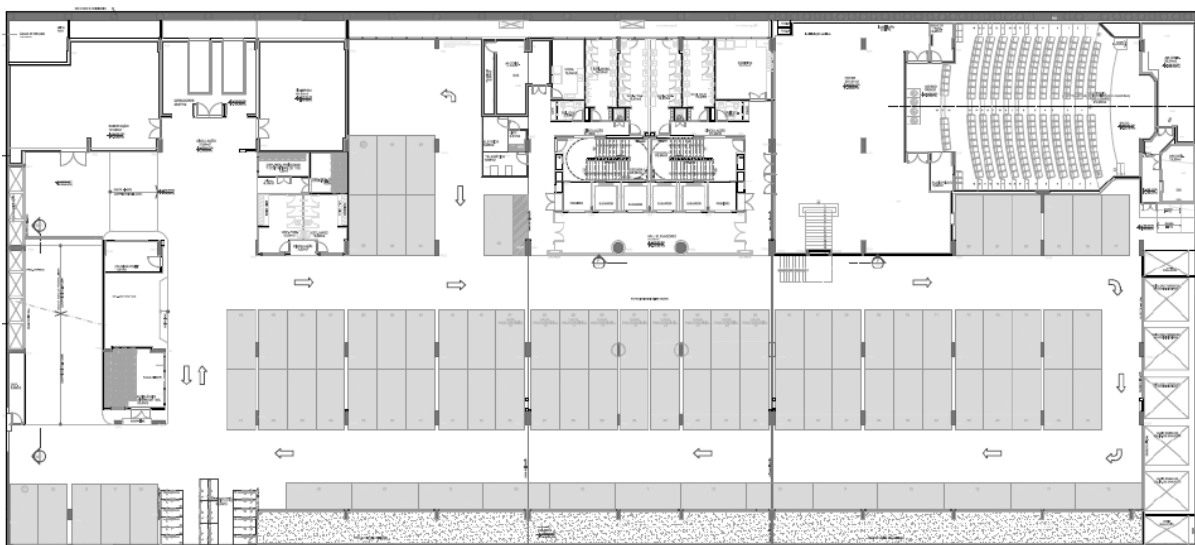


Figura 9 – Planta baixa do 1º subsolo

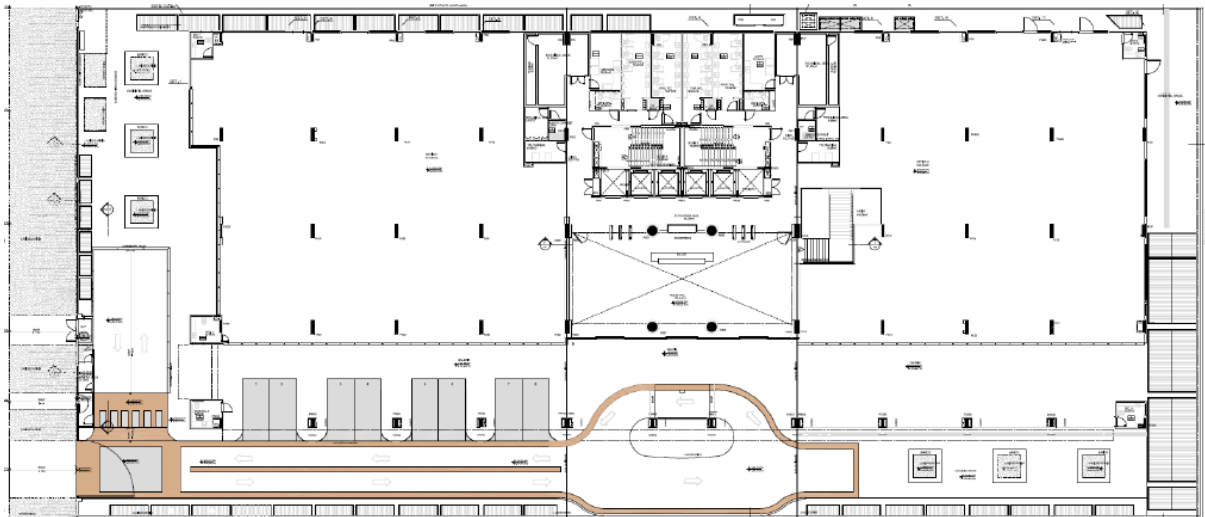


Figura 10 – Planta baixa do pavimento térreo

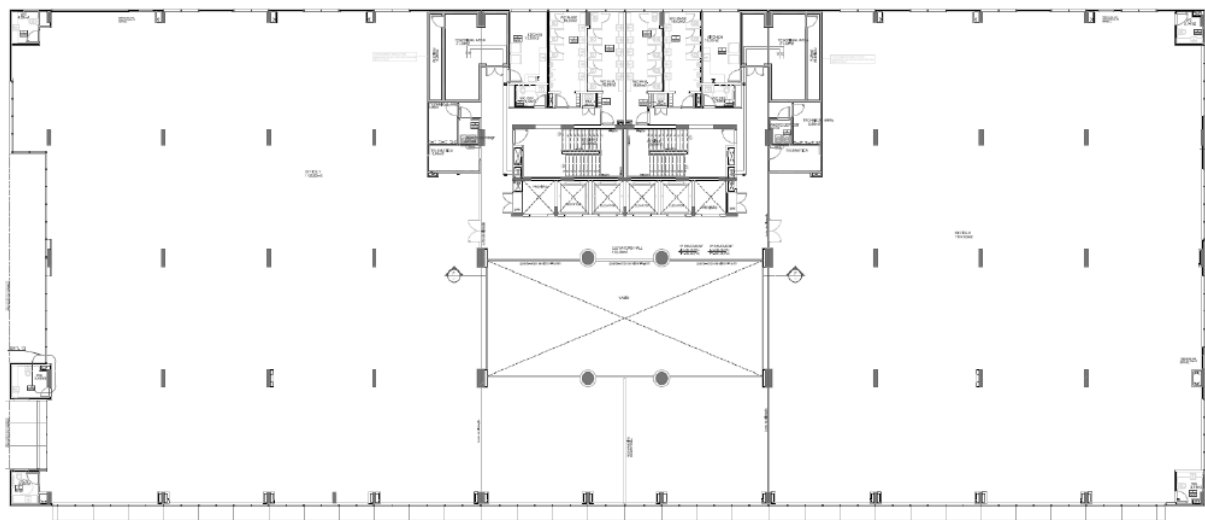


Figura 11 – Planta baixa do pavimento tipo

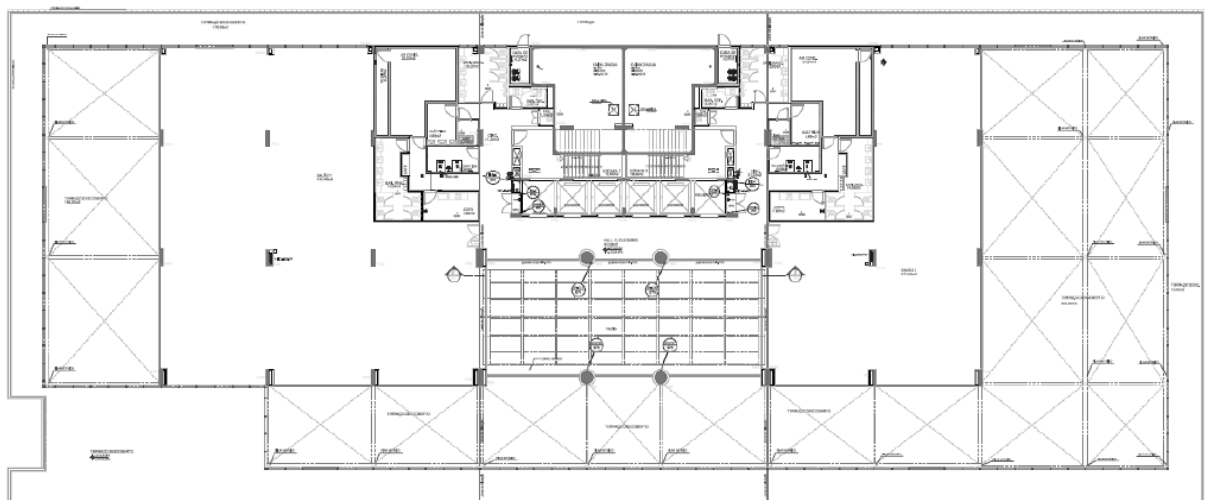
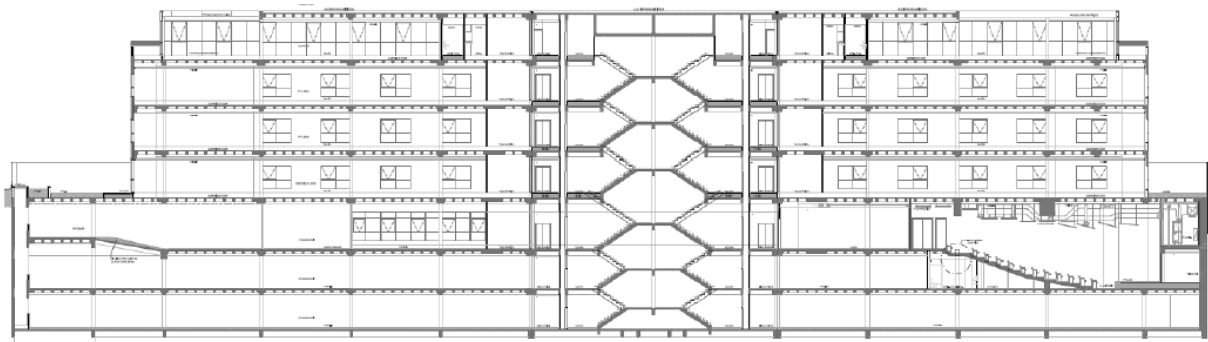
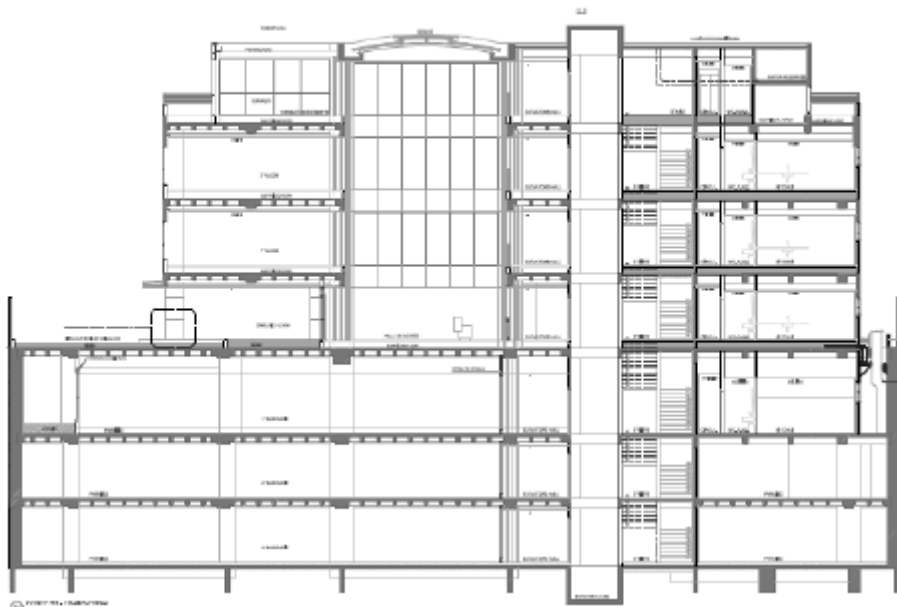


Figura 12 – Planta do pavimento de cobertura



*Figura 13 – Corte longitudinal*



*Figura 14 – Corte transversal*

Para a simplificação do modelo, alguns aspectos da edificação foram adaptados de forma a facilitar a obtenção de resultados, sem comprometer a fidelidade do modelo. Assim, cada pavimento de escritórios foi dividido em três zonas (ala A, ala B e ala central) das quais as duas mais extremas são climatizadas e a zona central é ventilada naturalmente, assim como as garagens. A proporção entre área envidraçada e fachada utilizada na obtenção dos dados foi de 40%, de acordo com os projetos arquitetônicos.

Com relação à ocupação dos ambientes, durante a auditoria foi possível identificar esse perfil que é estático durante todo o ano. Durante os dias úteis, a ocupação chega a 90% da população do edifício no período entre 10 e 11 horas. Já durante as noites e os finais de semana,



a ocupação verificada é muito baixa quando comparada aos demais períodos, sendo considerada zero. A Figura 15 ilustra o modelo utilizado.

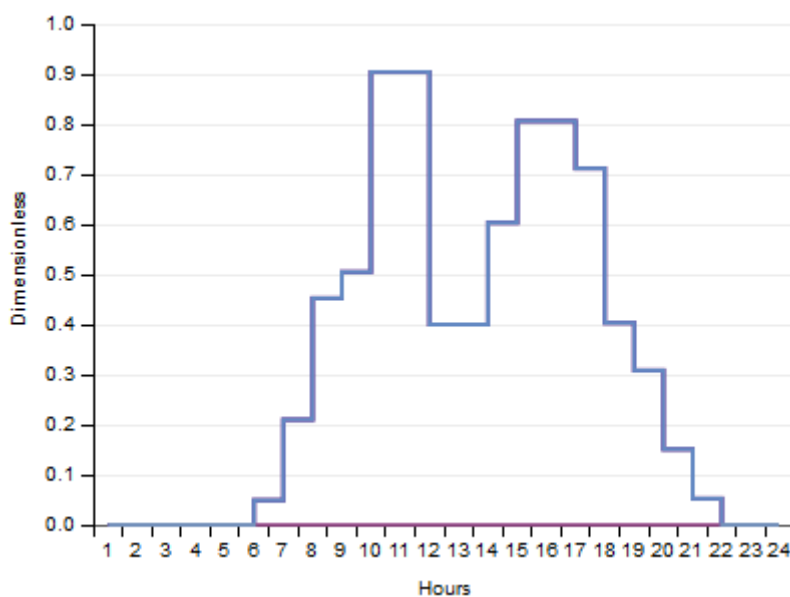


Figura 15 – Perfil de ocupação do edifício

Para as simulações, também foi considerado uma densidade de pessoas de 6 m<sup>2</sup>/pessoa, conforme os projetos originais, além de taxas de vazão para renovação de ar de 2,5 l/s.pessoa e 0,3 l/s.m<sup>2</sup>. A dissipação térmica por pessoas utilizada foi a padrão do software: 120 W/pessoa.

### 3.2.2. SISTEMA DE ILUMINAÇÃO E EQUIPAMENTOS

A distribuição de luminárias do prédio está indicada nos diversos desenhos constantes do projeto de instalações de acordo com o projeto luminotécnico. Ao todo, são 1.150 luminárias com 3.780 lâmpadas. O sistema é controlado pela automação do edifício que determina o horário de acionamento e desligamento de todas as luminárias. Devido ao projeto original ter sido feito pelo conceito de *open space*, a adaptação feita após a ocupação ocasionou que as salas não tenham interruptores individuais. Dessa forma, a iluminação do prédio permanece acesa por inteiro, somente sendo desligada ao final do dia pelo sistema de automação.

O perfil verificado de utilização da iluminação é ilustrado na Figura 16.

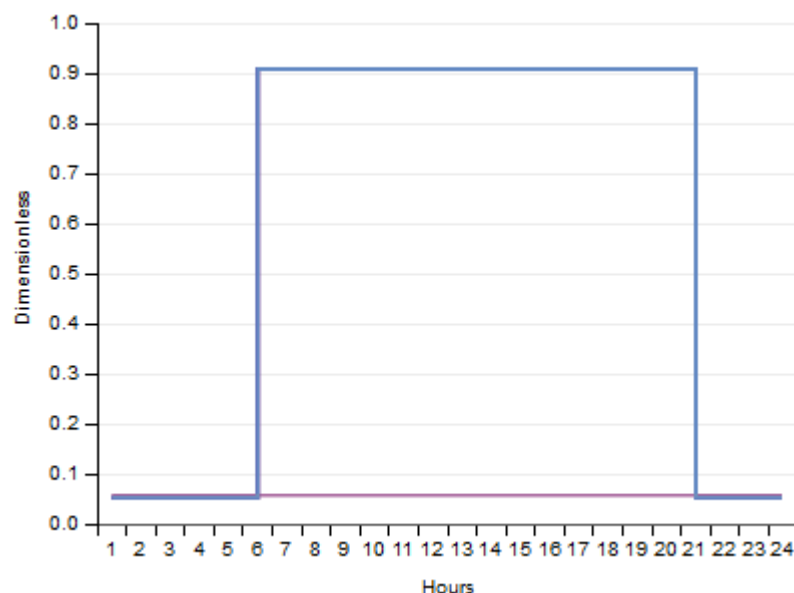


Figura 16 - Perfil do sistema de iluminação

O sistema de iluminação é ligado no início da manhã e assim permanece durante todo o dia. O acionamento e desligamento desse sistema é realizado por meio da automação que possui programação para acender 90% das luminárias às 06:30 e desliga-las às 21:30. Durante as noites, finais de semana e feriados, a porcentagem de iluminação considerada é de 0,05%.

Para os ambientes, as densidades de iluminação consideradas foram as descritas na Tabela 7.

Tabela 7 – Densidades de iluminação utilizadas para os tipos de ambientes

<b>Tipo de ambiente</b>	<b>Densidade de iluminação (W/m<sup>2</sup>)</b>
Escritórios – alas A e B	11,00
Ambientes de circulação - ala central	6,88
Garagem	1,90
Auditório	11,00

Com relação ao perfil de utilização dos equipamentos, constatou-se que a variação das cargas é realizada conforme a Figura 17. Já a carga da sala-cofre foi estimada com base em seu projeto elétrico, considerando 150 kW operando continuamente durante todos os horários e todos os dias do ano, independente de variações climáticas.

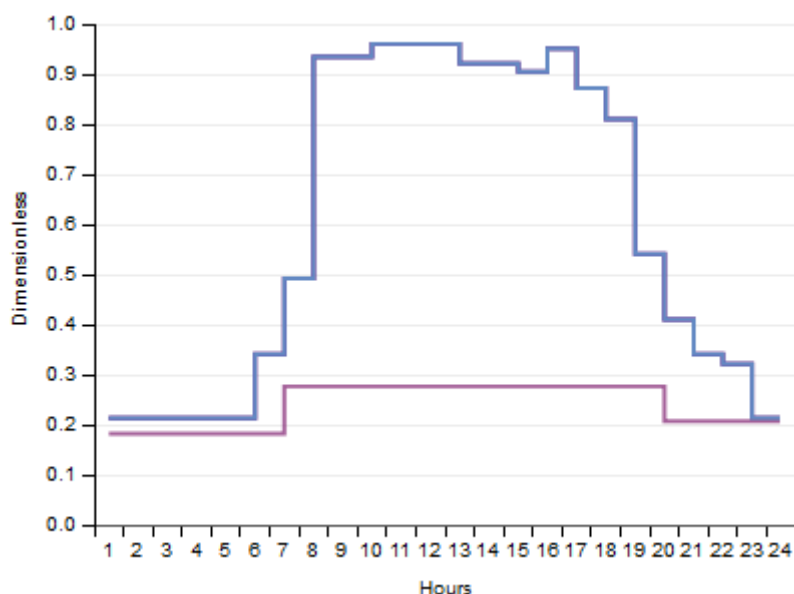


Figura 17 – Perfil de utilização dos equipamentos elétricos

A densidade de cargas de equipamentos utilizados considerada elencou aparelhos eletrônicos, de escritório, máquinas e bombas e está descrita na Tabela 8.

Tabela 8 – Densidade de carga de equipamentos

<b>Tipo de ambiente</b>	<b>Densidade de carga (W/m<sup>2</sup>)</b>
Equipamentos: escritórios e auditório	16
Equipamentos: garagem e áreas de circulação	5

### 3.2.3. SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO

O sistema HVAC do edifício é do tipo expansão indireta com capacidade para atender uma carga térmica máxima simultânea de 1.162,1 kW. A Central de Água Gelada (CAG) se localiza no 3° e no 2° Subsolo. As Unidades Resfriadoras de Líquido (URL) com condensadores arrefecidos a água e as bombas de água gelada secundárias se encontram no 3° Subsolo. No 2° Subsolo estarão as bombas de águas gelada primárias, bombas de água de condensação e torres de arrefecimento.

A CAG tem duas Unidades Resfriadoras de Líquido, uma com capacidade de 813,5 kW e outra com capacidade de 348,6 kW. Há quatro conjuntos moto-bomba de água gelada para o

circuito primário, sendo duas reservas não instaladas. Três conjuntos moto-bomba com vazão variável serão responsáveis pelo circuito secundário de água gelada, sendo uma delas reserva e instalada. Para o circuito de condensação serão necessários quatro conjuntos moto-bomba, sendo duas delas reservas e não instaladas.

O circuito primário de água gelada fica dentro da CAG e tem uma bomba dedicada para cada uma das URL's, além das reservas não instaladas. O circuito secundário de água gelada tem três bombas em paralelo, sendo uma delas reserva, com vazões variáveis. A operação das bombas secundárias é feita a partir da demanda necessária pelas Unidades Condicionadoras de Ar (UCAs).

As torres de arrefecimento são dotadas de ventiladores centrífugos acionados por variadores de frequência. Nas áreas de escritório dos pavimentos Térreo, 1º, 2º e Cobertura, a distribuição de ar é realizada por um sistema de insuflamento pelo piso, ou UFAD (*Underfloor Air Distribution*).

Devido a essas características, as simulações foram feitas com base nos parâmetros da Tabela 9. Os demais aspectos considerados foram baseados nos valores de dimensionamento automático do *Energy Plus*, fazendo uso de valores *default*.

Tabela 9 – Parâmetros de simulação do sistema de ar condicionado

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Capacidade dos chillers</b>	900000 W e 450000W
<b>COP</b>	5,82 e 5,79
<b>Temperatura da água dos chiller</b>	7 °C
<b>Varição de temperatura da água do chiller (ΔT)</b>	7 °C
<b>Vazão das bombas de água dos chillers</b>	0,0456 m <sup>3</sup> /s
<b>Potência dos ventiladores das torres de arrefecimento</b>	14280 W
<b>Controle das torres de arrefecimento</b>	Ventiladores de velocidade variável

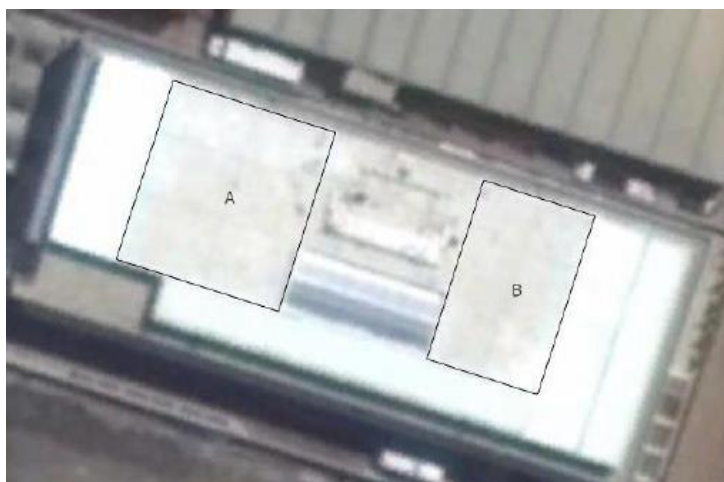
### **3.2.4. SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO**

O sistema fotovoltaico projetado para ser instalado no prédio em análise foi dimensionado com base em estudos de radiação solar para a sua localização geográfica específica. Além disso, considerou-se o sombreamento ao qual as placas solares estão

submetidas, a área disponível para instalação dos painéis e o tipo e o rendimento dos painéis. Toda essa análise foi realizada pela empresa responsável pela instalação do sistema.

Para a avaliação comparativa de consumo energético com e sem o sistema fotovoltaico, baseou-se todos os resultados na análise elaborada pela empresa instaladora. Assim, assemelham-se os estudos à situação que será efetivamente realizada na edificação.

Dessa forma, a área instalada é de 1.050 m<sup>2</sup> utilizando-se painéis de 310 Wp, o que promove uma capacidade total instalada de 105,5 kWp. O rendimento considerado para as placas é de 90% para os 10 primeiros anos de utilização. As figuras a seguir ilustram a área disponível para a instalação de painéis e o início da montagem do sistema.



*Figura 18 – Área disponível para instalação dos painéis*



*Figura 19 – Instalação dos painéis fotovoltaicos no prédio em análise*

### 3.3. ASPECTOS CONSTRUTIVOS DO *BASELINE*

Para a definição de um *baseline*, ou seja, para criação de uma referência com a qual é possível comparar o consumo atual da edificação estudada, as condições da norma ASHRAE 90.1-2007 são aplicadas. Essa referência estabelece padrões mínimos para projetos de edifícios eficientes do ponto de vista energético, incluindo em seu Apêndice G uma metodologia para construção de *baselines* de acordo com o tipo de edifício avaliado.

Dessa forma, algumas características do prédio devem ser adaptadas e outras seguidas fielmente ao estabelecer o *baseline*. Em suma, a Tabela 10 apresenta os principais parâmetros introduzidos no modelo.

Tabela 10 – Parâmetros utilizados para a construção do *baseline*

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor utilizado</b>
<b>Orientação</b>	Rotação de 90° por três vezes a partir da orientação original do prédio. Para obter o consumo final, calcula-se a média de consumo para os quatro modelos obtidos
<b>Área e geometria</b>	Idênticos ao modelo proposto
<b>Densidade de cargas de equipamentos</b>	Idêntica ao modelo proposto
<b>Perfil de operação e utilização dos sistemas</b>	Idêntico ao modelo proposto
<b>Densidade de cargas de iluminação</b>	Escritórios, áreas de circulação e auditório: 12 W/m <sup>2</sup> Garagem: 2 W/m <sup>2</sup>
<b>Envoltória</b>	Biblioteca de construção do Open Studio, de acordo com a ASHRAE 90.1 para a zona climática brasileira (quente e seca)
<b>Proporção entre janelas e fachadas</b>	40%
<b>Sistema de climatização</b>	Sistema 8 – ASHRAE 90.1-2007: sistema a <i>chiller</i> a água com volume constante

Detalhando os parâmetros utilizados no *baseline* para o sistema de climatização, tem-se a Tabela 11. Os demais aspectos considerados foram baseados nos valores de dimensionamento automático do *Energy Plus*, fazendo uso de valores *default*.

Tabela 11 – Parâmetros de simulação do sistema de climatização do baseline

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Capacidade dos <i>chillers</i></b>	Dimensionamento automático, para garantir o conforto térmico do edifício
<b>COP dos <i>chillers</i></b>	4,9 para ambas as máquinas
<b>Temperatura da água dos <i>chillers</i></b>	6,7 °C
<b>Variação de temperatura da água dos <i>chillers</i> (<math>\Delta T</math>)</b>	7 °C
<b>Vazão das bombas de água dos <i>chillers</i></b>	0,022 m <sup>3</sup> /s
<b>Potência dos ventiladores das torres de arrefecimento</b>	7140 W
<b>Controle das torres de arrefecimento</b>	Ventiladores de velocidade constante

### **3.4. ASPECTOS CONSTRUTIVOS DO MODELO DE REFERÊNCIA PROCEL NÍVEL A**

De acordo com o Manual para Aplicação do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – versão 4.1 (RTQ-C), o método da simulação pode ser utilizado para atestar o nível de eficiência energética de uma edificação. Entretanto, além da comprovação pelo consumo energético simulado, deve-se demonstrar a conformidade com os requisitos de cada sistema e de cada nível almejado que não podem ser modelados por meio de simulações. Por exemplo, o critério de exigência de divisão dos circuitos terminais de iluminação não pode ser demonstrado por simulações mas deve ser comprovado para a etiquetagem do edifício.

Para a avaliação de níveis de eficiência energética do presente trabalho, somente os critérios passíveis de serem utilizados em simulação foram analisados. Dessa forma, optou-se pela realização de um modelo de referência nível A, de acordo com as exigências de simulação do RTQ-C, e em seguida realizou-se sua comparação com o modelo real do edifício. Como o

modelo real mostrou-se mais eficiente que o modelo de referência nível A, dispensou-se a sua comparação com os modelos de referência dos demais níveis.

Para o desenvolvimento do modelo de referência nível A, utilizou-se os dados apresentados em Tabela 12.

Tabela 12 – Parâmetros para o modelo de referência PROCEL nível A

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor utilizado</b>
<b>Orientação</b>	Idêntica ao modelo proposto
<b>Área e geometria</b>	Idênticos ao modelo proposto
<b>Densidade de cargas de equipamentos</b>	Idêntica ao modelo proposto
<b>Perfil de operação e utilização dos sistemas</b>	Idêntico ao modelo proposto
<b>Densidade de cargas de iluminação</b>	Escritórios, áreas de circulação e auditório: 9,7 W/m <sup>2</sup> Garagem: 9,7 W/m <sup>2</sup>
<b>Envoltória</b>	Idêntica ao modelo proposto
<b>Proporção entre janelas e fachadas</b>	40%
<b>Sistema de climatização</b>	Sistema a <i>chiller</i> a água

Detalhando os parâmetros utilizados no *baseline* para o sistema de climatização, tem-se a Tabela 13. Os demais aspectos considerados foram baseados nos valores de dimensionamento automático do *Energy Plus*, fazendo uso de valores *default*.

Tabela 13 – Parâmetros de simulação do sistema de climatização para o modelo de referência PROCEL nível A

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Capacidade dos <i>chillers</i></b>	900000 W e 450000W
<b>COP dos <i>chillers</i></b>	4,9 para ambas as máquinas
<b>Temperatura da água dos <i>chiller</i></b>	6,7 °C
<b>Variação de temperatura da água do <i>chiller</i> (<math>\Delta T</math>)</b>	7 °C
<b>Vazão das bombas de água dos <i>chillers</i></b>	0,0456 m <sup>3</sup> /s
<b>Potência dos ventiladores das torres de arrefecimento</b>	14280 W
<b>Controle das torres de arrefecimento</b>	Ventiladores de velocidade constante



## 4. RESULTADOS

Após a definição dos parâmetros estabelecidos no Capítulo 3, a simulação anual, considerando o arquivo climático da cidade de Brasília desenvolvido pelo *Department of Energy* dos Estados Unidos, foi realizada. Tomando como base os meses de junho a dezembro de 2015 e de janeiro a maio de 2016, os indicadores de comparação entre o prédio real e seu modelo computacional puderam ser analisados para atestar a calibração da simulação.

Em seguida, após atestar que o modelo computacional reflete adequadamente o consumo da edificação, obtiveram-se os modelos *baseline* e de referência nível A. Assim, tornou-se possível variar aspectos construtivos da edificação real em função dos quesitos de referências normativas afim de verificar qual o seu desempenho energético. Essa análise permite compreender os efeitos da certificação LEED *Core&Shell* para o consumo energético de uma edificação real quando comparada a duas referências de edificações eficientes: ASHRAE 90.1-2007 e RTQ-C.

Por intermédio da simulação de consumo energético por sistema, além dos dados de consumo mensal, é possível estimar o desempenho energético da edificação em análise com relação a edifícios similares, segundo a ferramenta *Portfolio Manager*, do *Energy Star*. Assim, além de se obter o nível de eficiência energética do edifício analisado com relação a ASHRAE e a PROCEL, tornou-se possível compará-lo a edifícios similares reais, estabelecendo uma relação a prédios que podem ou não terem utilizado critérios de sustentabilidade e eficiência energética em sua operação, o que é um reflexo da construção civil atual.

Finalmente, a inserção de um sistema fotovoltaico na edificação de interesse também pode ser analisada sob a ótica de eficiência energética quando comparam seus efeitos com relação ao *baseline* segundo a ASHRAE, ao modelo de referência nível A da PROCEL e às edificações similares de acordo com o *Portfolio Manager*. Assim, torna-se possível analisar o impacto de sistemas de energia renovável em casos distintos de desempenho energético e avaliar seu impacto no desempenho da edificação.

## 4.1. VALIDAÇÃO DO MODELO REAL

A validação do modelo real é feita a partir da calibração da simulação segundo os aspectos descritos no Capítulo 3. Assim, inicialmente foi criado um modelo 3D da edificação de interesse, utilizando o *Sketchup* e seu aplicativo do *Open Studio*, no qual a geometria pudesse ser simplificada, porém mantendo as principais características. A Figura 20 mostra o modelo adotado.

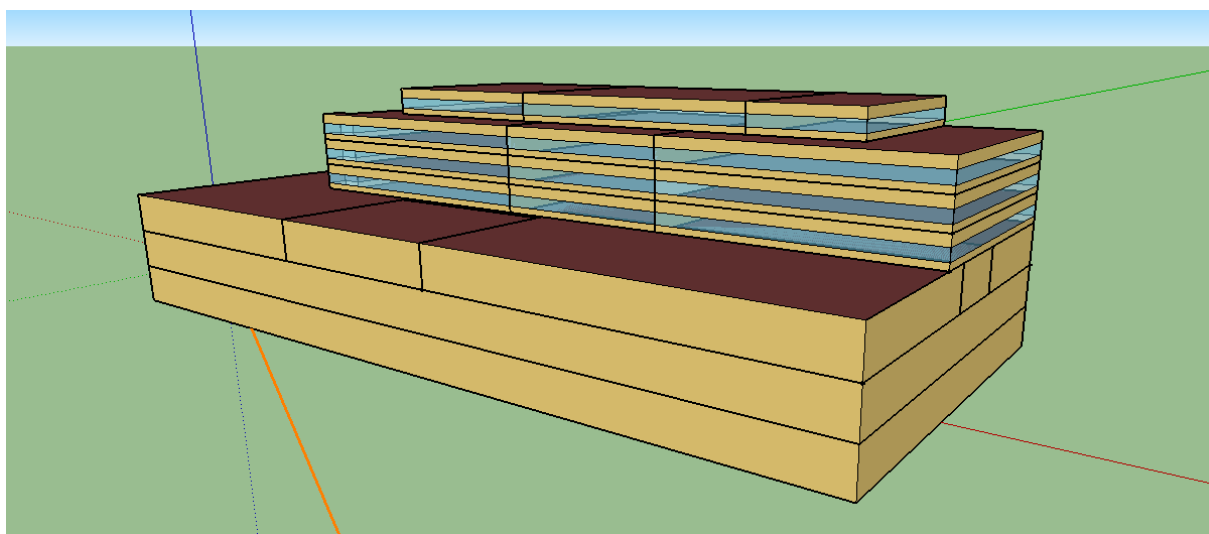


Figura 20 – Modelo computacional da edificação de estudo

Em seguida, as características elencadas na Seção 3.2 foram utilizadas como dados de entrada no *Open Studio*, para a modelagem dos materiais construtivos, dos perfis de utilização, do sistema de ar condicionado, definição de zonas térmicas e de cargas. A partir dessas definições, a Tabela 14 e a Figura 21 apresentam a relação entre consumo real e consumo simulado.

Tabela 14 – Comparação entre consumo elétrico real e consumo do modelo proposto para o edifício em análise

Consumo (kWh)			
Mês	Consumo real	Modelo proposto	MBE
<b>Janeiro</b>	353.927	366.728	3,62%
<b>Fevereiro</b>	345.514	331.390	4,09%
<b>Março</b>	383.618	372.812	2,82%
<b>Abril</b>	367.247	363.052	1,14%
<b>Maió</b>	371.811	362.770	2,43%
<b>Junho</b>	333.227	352.552	5,80%
<b>Julho</b>	352.454	363.213	3,05%
<b>Agosto</b>	356.619	360.082	0,97%
<b>Setembro</b>	355.026	364.482	2,66%
<b>Outubro</b>	374.732	367.043	2,05%
<b>Novembro</b>	360.801	359.408	0,39%
<b>Dezembro</b>	362.894	377.506	4,03%
<b>Total</b>	<b>4.317.870</b>	<b>4.341.038</b>	<b>0,54%</b>
<b>Média mensal</b>	<b>359.823</b>	<b>361.753</b>	<b>0,54%</b>

Comparação de consumo entre as faturas reais e a simulação do modelo proposto

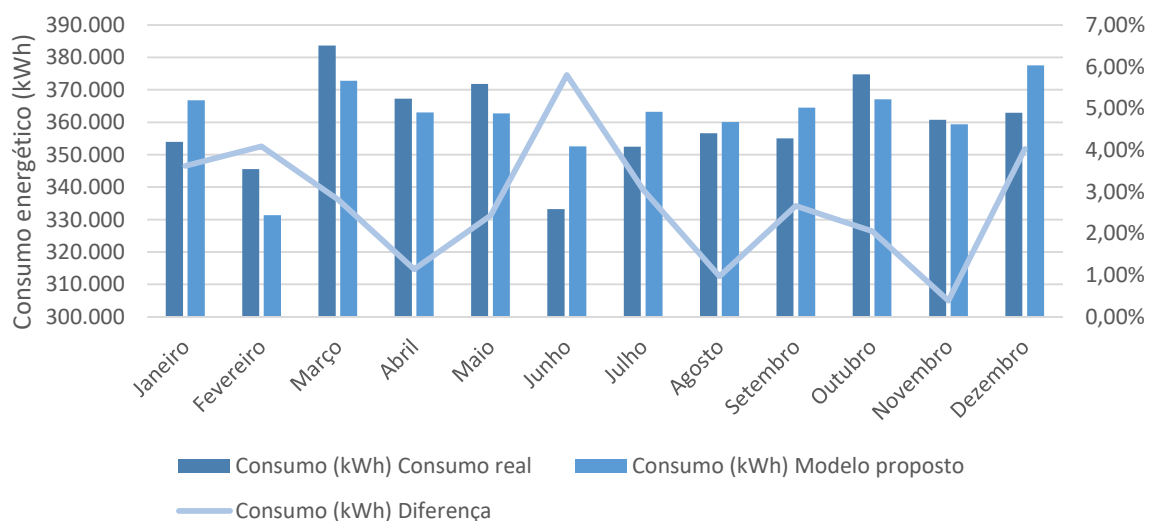


Figura 21 – Relação de consumo entre as faturas reais e a simulação do modelo proposto

Conforme a tabela e o gráfico apresentados, todos os meses apresentam MBE inferior a 5%, com exceção do mês de junho. Tais valores indicam uma simulação calibrada (ASHRAE, 2002), apresentando distorções para apenas um mês do ano, o que é aceitável devido as

simplificações adotadas no modelo e a ausência de dados de memória de massa para auxiliar na calibração.

O indicador CV(RMSE), calculado diretamente pelo *Open Studio*, apresenta valor de 3,18, dentro das faixas indicadas para calibração. Assim, assume-se que a simulação gerada corresponde ao edifício analisado. Além dos dados de consumo mensal e anual, é importante a análise de consumo por sistema. A Figura 22 demonstra os resultados obtidos.

### Consumo de energia elétrica por sistema da edificação

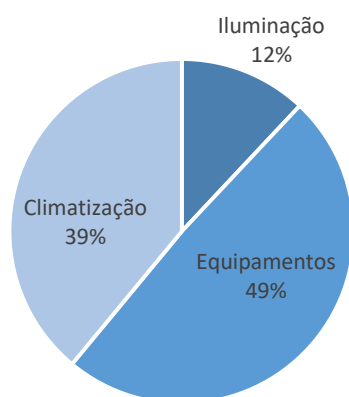


Figura 22 – Estimativa via simulação do consumo de energia elétrica por sistema da edificação analisada

Comparativamente, os equipamentos elétricos representam a maior fração do consumo do edifício. Esse resultado deve-se a utilização da sala-cofre de forma contínua durante todos os dias do ano, visto que ela representa uma grande quantidade de cargas concentradas em uma pequena área com operação elevada. Para obter uma representação do consumo apenas das áreas de escritório, desconsiderou-se a sala-cofre. O resultado pode ser observado na Figura 23.

## Consumo de energia elétrica por sistema desconsiderando a sala-cofre

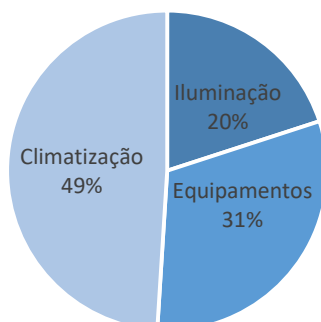


Figura 23 – Consumo de energia elétrica estimada por sistema da edificação analisada desconsiderando a sala-cofre

Conforme a modelagem realizada para a sala-cofre, caso esse ambiente seja desconsiderado da simulação, a porcentagem correspondente ao consumo de equipamentos diminui para 31%. Em edificações ocupadas pelo Poder Público, em média, o consumo por sistema distribui-se da seguinte forma: 48% destinado a climatização, 23% a iluminação, 15% a equipamentos de escritório e 14% a demais cargas (PUC/Rio, et al., 2006).

Como a modelagem foi realizada considerando no perfil de equipamentos os dispositivos elétricos de escritório somados às cargas que fogem a essa denominação, pode-se observar que os resultados obtidos com a desconsideração da sala-cofre enquadram-se nos dados reais de consumo de prédios públicos, o que corrobora a modelagem utilizada. Assim, o impacto mensal da sala-cofre no consumo total do edifício é, em média, aproximadamente 42%, conforme descrito na Tabela 15 e na Figura 24.

Tabela 15 – Comparação do consumo simulado para a edificação real considerando ou não a sala-cofre

Mês	Consumo (kWh)		
	Consumo sem sala-cofre - modelo proposto	Consumo total - modelo proposto	Porcentagem referente a contribuição da sala-cofre
<b>Janeiro</b>	215.398	366.728	41,26%
<b>Fevereiro</b>	194.382	331.390	41,34%
<b>Março</b>	221.305	372.812	40,64%
<b>Abril</b>	216.842	363.052	40,27%
<b>Maio</b>	212.023	362.770	41,55%
<b>Junho</b>	207.718	352.552	41,08%
<b>Julho</b>	213.227	363.213	41,29%
<b>Agosto</b>	209.794	360.082	41,74%

<b>Setembro</b>	217.808	364.482	40,24%
<b>Outubro</b>	215.043	367.043	41,41%
<b>Novembro</b>	213.751	359.408	40,53%
<b>Dezembro</b>	186.958	377.506	50,48%
<b>Total</b>	<b>2.524.249</b>	<b>4.341.038</b>	<b>41,85%</b>
<b>Média mensal</b>	<b>210.354</b>	<b>361.753</b>	<b>41,85%</b>

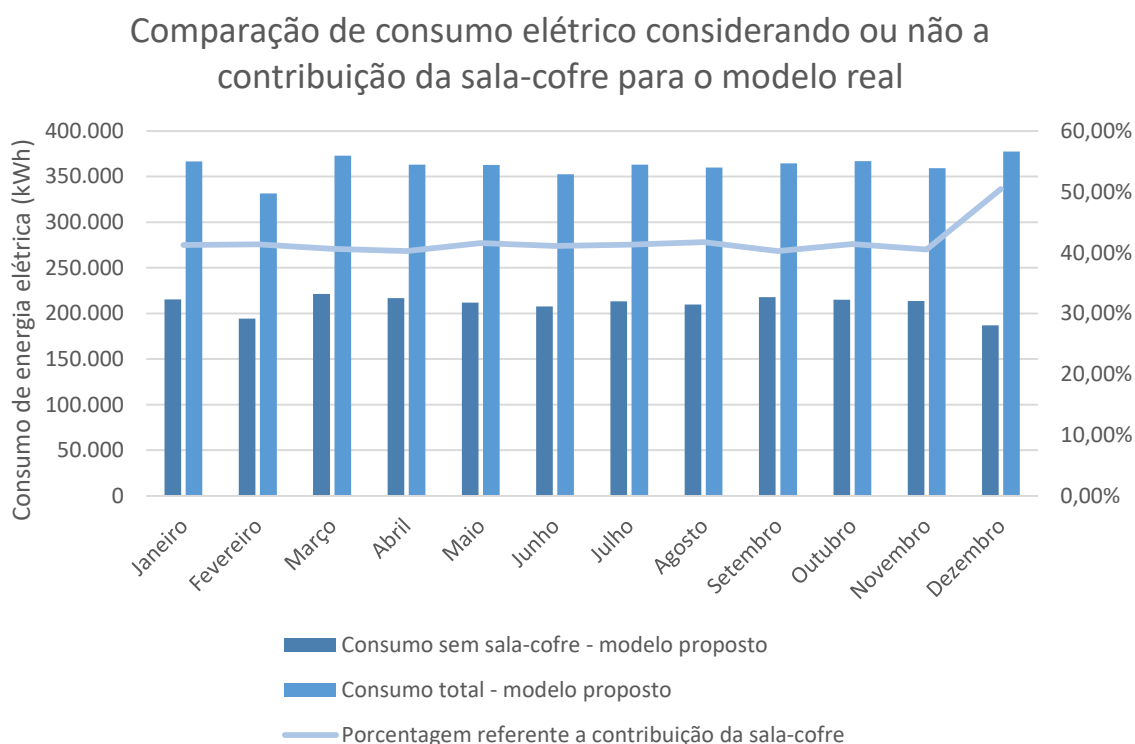


Figura 24 – Comparação de consumo de energia elétrica considerando ou não a contribuição da sala-cofre para o modelo real

A partir da modelagem da sala-cofre e considerando o consumo estimado do ambiente, nota-se que somente a sua implementação no edifício é capaz de alterar em 42% seu consumo total, o que interfere diretamente nas previsões realizadas à época da certificação LEED *Core&Shell*. Na ocasião, o edifício projetado apresentava previsão de consumo 18% inferior ao *baseline* estabelecido pela ASHRAE 90.1-2007, conforme os dados apresentados na Tabela 4.

Tal situação enfatiza a necessidade de estabelecer de um novo *baseline* para avaliação do impacto da certificação LEED na operação atual do edifício. Assim, torna-se possível identificar o seu real desempenho energético a partir de uma referência correspondente à rotina e às características atuais da edificação o que propicia análises para estudos de eficiência energética efetivos.

Além da avaliação de desempenho energético por sistema é de grande importância avaliar o conforto térmico na edificação. A redução de consumo energético está intimamente

relacionada às condições nas quais os ocupantes estão submetidos dentro do edifício, sendo a temperatura uma das variáveis independentes de maior impacto. Assim, é essencial avaliar índices de consumo energético que garantam satisfação térmica nos ambientes.

No caso do edifício analisado, o *setpoint* de temperatura do ar condicionado é regulado em 24 °C e ocorrem duas medições diárias em todos os ambientes de forma a garantir que tal temperatura seja mantida. Tal padrão foi representado no modelo da simulação na qual observam-se 152,17 horas fora do *setpoint* de 24°C durante todo o ano analisado, o que corresponde às exigências de conforto térmico de até 300 horas fora do *setpoint* estabelecido (ASHRAE, 2007). Dessa forma, a simulação garante que tanto os níveis de consumo energético do edifício sejam mantidos quanto as temperaturas de conforto térmico para as quais a edificação foi projetada.



Time Setpoint Not Met	Time (hr)
During Heating	0.0
During Cooling	123.0
During Occupied Heating	0.0
During Occupied Cooling	29.17

Figura 25 – Horas fora do *setpoint* de temperatura para o modelo real

## 4.2. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O MODELO REAL E O BASELINE

Considerando a modelagem do *baseline* conforme descrito na seção 3.3, mantendo-se constante os padrões de ocupação e de densidade e uso dos equipamentos elétricos, calculou-se a média de consumo entre os modelos *baseline* na posição original e rotacionando o modelo em 90° por três vezes conforme as exigências da ASHRAE 90.1 – 2007. Os resultados podem ser observados na Tabela 16 e na Figura 1.

Tabela 16 – Consumo de energia elétrica mensal para o baseline proposto

Mês	Consumo mensal (kWh)						Diferença
	Baseline (-116°)	Baseline (-26°)	Baseline (64°)	Baseline (154°)	Baseline médio	Modelo proposto	
<b>Janeiro</b>	381.699	379.890	381.733	379.890	380.803	366.728	3,84%
<b>Fevereiro</b>	345.049	343.610	345.401	343.610	344.418	331.390	3,93%
<b>Março</b>	388.327	386.943	388.361	386.943	387.644	372.812	3,98%
<b>Abril</b>	361.620	359.728	361.735	359.728	360.703	363.052	0,65%
<b>Mai</b>	387.142	385.117	387.173	385.117	386.137	362.770	6,44%
<b>Junho</b>	370.520	368.486	370.600	368.486	369.523	352.552	4,81%
<b>Julho</b>	373.262	371.189	373.328	371.189	372.242	363.213	2,49%
<b>Agosto</b>	385.698	383.523	385.760	383.523	384.626	360.082	6,82%
<b>Setembro</b>	367.931	365.951	367.969	365.951	366.951	364.482	0,68%
<b>Outubro</b>	383.203	381.264	383.245	381.264	382.244	367.043	4,14%
<b>Novembro</b>	373.120	371.376	373.158	371.367	372.255	359.408	3,57%
<b>Dezembro</b>	375.361	373.848	373.379	373.848	374.109	377.506	0,90%
<b>Total</b>	<b>4.492.932</b>	<b>4.470.925</b>	<b>4.491.842</b>	<b>4.470.916</b>	<b>4.481.654</b>	<b>4.341.038</b>	<b>3,24%</b>
<b>Média</b>	<b>374.411</b>	<b>372.577</b>	<b>374.320</b>	<b>372.576</b>	<b>373.471</b>	<b>361.753</b>	<b>3,24%</b>



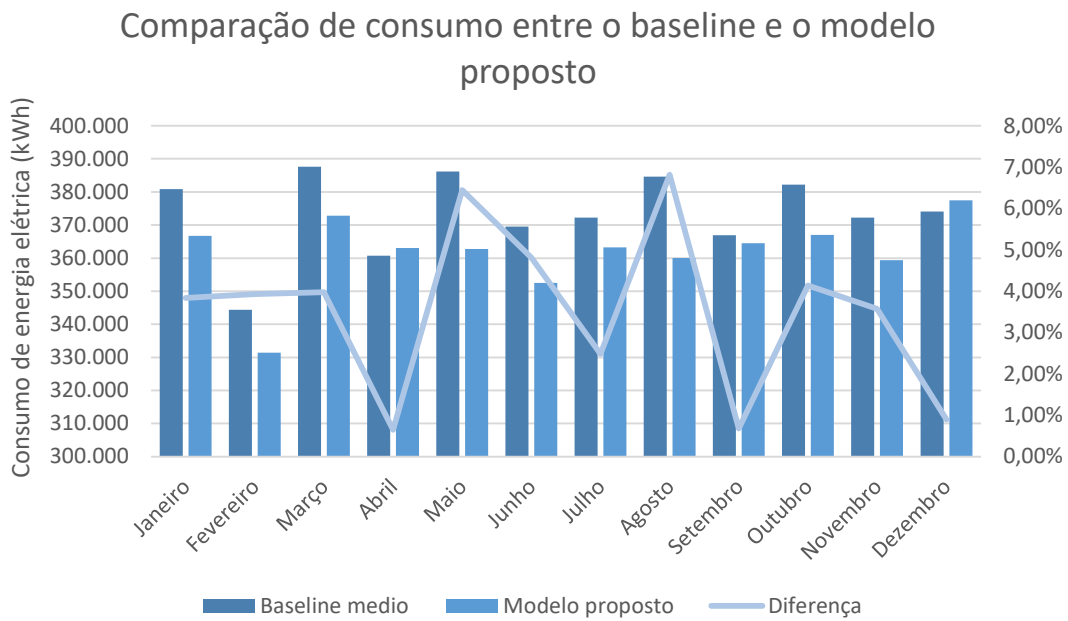


Figura 26 – Comparação de consumo elétrico entre o baseline e o modelo proposto

Com relação ao consumo de energia por sistema, observa-se que ocorrem pequenas discrepâncias quando comparado ao modelo proposto para a edificação real. A Figura 27 e a Tabela 17 mostram os resultados dessa situação.

### Consumo elétrico por sistema segundo o baseline considerando a sala-cofre

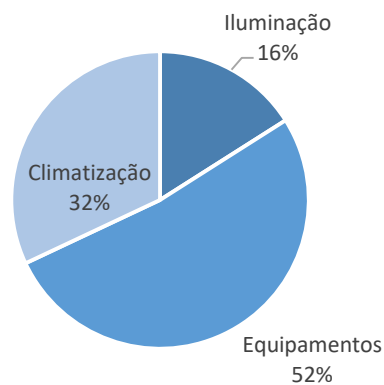


Figura 27 – Consumo elétrico por sistema segundo o baseline considerando a sala-cofre

Tabela 17 – Comparação da relação de consumo elétrico entre o baseline e o modelo proposto considerando a sala-cofre

Sistema	Porcentagem de consumo do modelo proposto	Porcentagem de consumo do baseline

<b>Iluminação</b>	12%	16%
<b>Equipamentos</b>	49%	52%
<b>Climatização</b>	39%	32%

O sistema de iluminação apresentou maior impacto na relação de consumo final como reflexo da alteração da densidade de cargas utilizadas na edificação. No caso proposto, a densidade é reduzida visto a utilização de lâmpadas de LED em vários ambientes, o que contribui para a redução de consumo, mantendo a luminosidade necessária. Além disso, o sistema de climatização do *baseline* apresentou desempenho energético superior ao modelo proposto, o que indica que um sistema com capacidade reduzida poderia atender à carga térmica utilizada na edificação atualmente.

Desconsiderando o impacto da sala-cofre no consumo do *baseline* pode-se apresentar a Figura 28 e a Tabela 18.

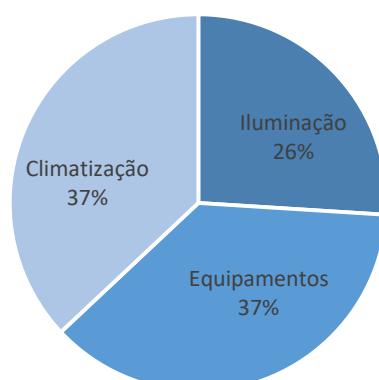


Figura 28 – Consumo elétrico por sistema segundo o *baseline* desconsiderando a sala-cofre

Tabela 18 – Comparação de consumo por sistema relacionando prédios públicos brasileiros, o modelo proposto e o *baseline*

<b>Sistema</b>	<b>Porcentagem de consumo de prédios públicos brasileiros</b>	<b>Porcentagem de consumo do modelo proposto</b>	<b>Porcentagem de consumo do <i>baseline</i></b>
<b>Iluminação</b>	23%	20%	26%
<b>Equipamentos</b>	29%	31%	37%
<b>Climatização</b>	48%	49%	37%

Ao desconsiderar a sala-cofre, novamente fica clara a vantagem da edificação real com relação ao *baseline* e à média de consumo de prédios públicos brasileiros com relação ao

sistema de iluminação. Entretanto, o modelo *baseline* apresenta melhor desempenho com relação ao sistema de climatização. Analisando o conforto térmico, é possível verificar que, o *baseline* apresentou apenas 79,34 horas fora do *setpoint*. Assim, além de se utilizar um sistema com melhor desempenho energético no *baseline*, este é eficaz com relação ao conforto térmico.

Originalmente, o edifício em questão foi projetado para apresentar desempenho energético superior ao seu *baseline* em 18%, atingindo o pré-requisito e quatro créditos da certificação LEED. Entretanto observa-se que o consumo atual quando comparado com o *baseline* elaborado considerando a ocupação, apresenta desempenho energético similar, com discrepâncias médias de 3,4%.

O sistema de climatização apresenta grande influência na obtenção desses resultados, ainda mais considerando que a ferramenta de dimensionamento do sistema foi utilizada, o que justifica o bom desempenho associado ao baixo número de horas fora de conforto. Assim, estudos da operação do edifício podem ser de grande valia para identificar gastos desnecessários com energia elétrica, principalmente àqueles relacionados ao sistema de ar condicionado.

Uma referência interessante pode ser a LEED de Operação e Manutenção de Prédios Existentes, na qual analisa aspectos de eficiência energética, medição e verificação, comissionamento e operação de sistemas. Dessa forma, torna-se possível otimizar a operação do edifício que já apresenta características propícias para um desempenho ótimo de eficiência energética.

Por outro lado, é importante ressaltar que a edificação analisada apresenta consumo apropriado de acordo com a ASHRAE 90.1-2007. Dessa forma, o edifício já atinge níveis adequados de eficiência energética, apenas não contempla todos os créditos sugeridos pela LEED à época da construção que são mais exigentes quando comparados à referida norma. Ou seja, a edificação possui potencial para melhorar seu desempenho energético e atingir os padrões para os quais foi projetada.

### **4.3. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O MODELO REAL E O MODELO DE REFERÊNCIA PROCEL NÍVEL A**

O modelo de referência PROCEL Nível A foi montado considerando as características mostradas na seção 3.4. Com isso, foram avaliados o consumo elétrico por sistema, o consumo elétrico mensal, o conforto térmico e relacionou-se esses fatores a características da ocupação do edifício. A Tabela 19 e a Figura 29 apresentam a comparação de consumo de energia elétrica

do modelo proposto para a edificação real comparada ao modelo de referência PROCEL nível A, considerando a sala-cofre.

*Tabela 19 – Comparação de consumo entre o modelo de referência PROCEL nível A e o modelo proposto para a edificação analisada*

<b>Consumo (kWh)</b>			
<b>Mês</b>	<b>Modelo – PROCEL nível A</b>	<b>Modelo proposto</b>	<b>Diferença</b>
<b>Janeiro</b>	407.765	366.728	11,19%
<b>Fevereiro</b>	368.129	331.390	11,09%
<b>Março</b>	413.840	372.812	11,01%
<b>Abril</b>	382.317	363.052	5,31%
<b>Mai</b>	409.667	362.770	12,93%
<b>Junho</b>	385.778	352.552	9,42%
<b>Julho</b>	389.701	363.213	7,29%
<b>Agosto</b>	405.771	360.082	12,69%
<b>Setembro</b>	389.727	364.482	6,93%
<b>Outubro</b>	408.606	367.043	11,32%
<b>Novembro</b>	396.211	359.408	10,24%
<b>Dezembro</b>	401.650	377.506	6,40%
<b>Total</b>	<b>4.759.162</b>	<b>4.341.038</b>	<b>9,63%</b>
<b>Média</b>	<b>396.597</b>	<b>361.753</b>	<b>9,63%</b>

## Comparação de consumo entre o modelo PROCEL A e o modelo proposto considerando a sala-cofre

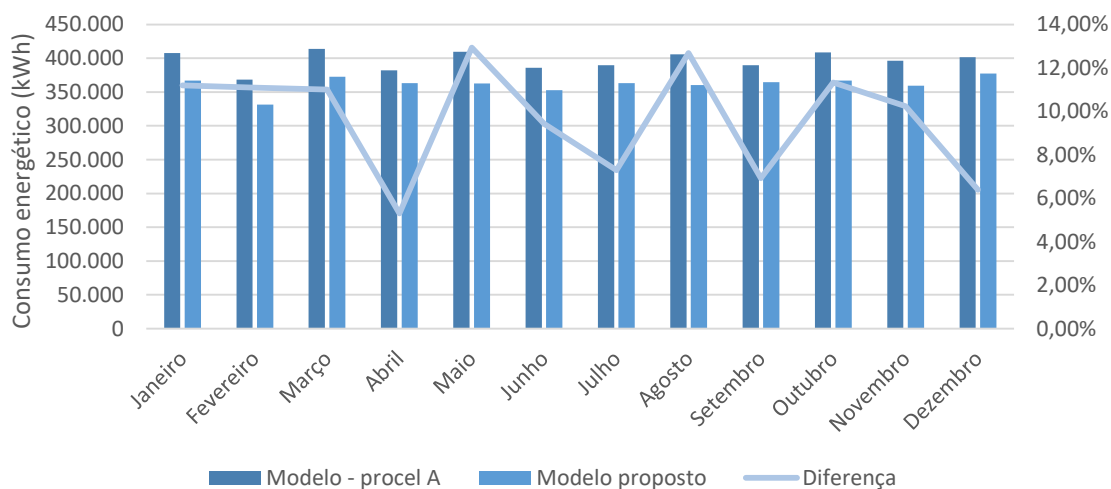


Figura 29 – Comparação de consumo de energia elétrica entre o modelo PROCEL nível A e o modelo proposto considerando a sala-cofre

Observa-se que para todos os meses do período analisado, o consumo do modelo proposto para a edificação de interesse mostrou-se inferior ao modelo de referência PROCEL nível A. Assim, considerando as simplificações e os parâmetros analisados, o edifício apresenta desempenho de consumo equivalente para ser classificado como PROCEL A. Entretanto, para de fato atingir tal denominação, é necessário analisar os pré-requisitos específicos da etiquetagem que não podem ser simulados, o que foge ao escopo da análise.

Entretanto, é interessante comparar o consumo por sistema predial a fim de se observar o impacto de ponderações da PROCEL na operação do edifício. Considerando a utilização da sala-cofre obtém-se uma distribuição de consumo elétrico dada pela Figura 30 e pela Tabela 20.

Tabela 20 - Comparação de consumo por sistema relacionando prédio públicos brasileiros, o modelo proposto e o modelo de referência PROCEL nível A considerando a sala-cofre

Sistema	Porcentagem de consumo do modelo proposto	Porcentagem de consumo do modelo PROCEL A
<b>Iluminação</b>	12%	16%
<b>Equipamentos</b>	49%	44%
<b>Climatização</b>	39%	41%

### Consumo energético por sistema para o modelo PROCEL A considerando a sala-cofre

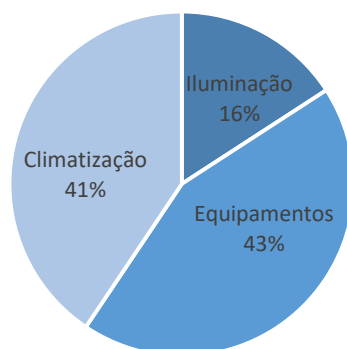


Figura 30 – Consumo energético por sistema para o modelo de referência PROCEL nível A considerando a sala-cofre

Para o modelo considerando a utilização da sala-cofre, observa-se como o consumo do sistema de iluminação é reduzido quando comparado o modelo proposto ao modelo de referência PROCEL nível A, assim como ocorre com o *baseline*. Entretanto, para o modelo PROCEL, o consumo do sistema de climatização apresenta-se mais elevado quando comparado ao modelo proposto. Tal ocorrência deve-se ao fato das especificações mínimas da PROCEL serem alcançadas para o sistema de climatização instalado no edifício. Ainda assim, o número de horas nas quais a temperatura não atingiu valores coincidentes ao *setpoint* foi considerado aceitável: 262,66 horas durante todo o ano.

Desconsiderando-se a sala-cofre, o consumo por sistema pode ser identificado conforme a Tabela 21 e a Figura 31.

Tabela 21 – Comparativo de consumo por sistema entre prédios públicos brasileiros, o modelo proposto e o modelo de referência PROCEL nível A

Sistema	Porcentagem de consumo de prédios públicos brasileiros	Porcentagem de consumo do modelo proposto	Porcentagem de consumo do modelo PROCEL A
<b>Iluminação</b>	23%	20%	25%
<b>Equipamentos</b>	29%	31%	25%
<b>Climatização</b>	48%	49%	50%

## Consumo por sistema do modelo PROCEL A desconsiderando a sala-cofre

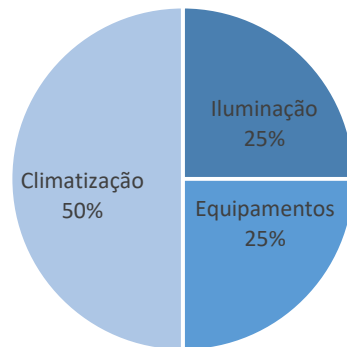


Figura 31 – Consumo por sistema para o modelo de referência PROCEL nível A desconsiderando a sala-cofre

Assim, observa-se que, para o modelo de referência PROCEL A, o sistema de climatização apresenta grande impacto quando comparado aos demais, além da iluminação ter uma representação consideravelmente maior em relação ao modelo proposto e à média de consumo de prédios públicos brasileiros. Tal proporção é confirmada pela diminuição do consumo relativo aos equipamentos da edificação.

A etiquetagem PROCEL tem por objetivo classificar as edificações quanto ao nível de eficiência energética, assim como a etiquetagem ocorre para equipamentos elétricos. Assim, pelos fatores analisados na edificação de interesse e fazendo as alterações dos parâmetros para o caso no qual o valor mínimo necessário às edificações de nível A são enquadradas, o edifício apresenta desempenho energético satisfatório.

Assim, aspectos considerados para a LEED que tangem a eficiência energética, tais quais os materiais utilizados na envoltória, as densidades de cargas na edificação e o dimensionamento do sistema de ar condicionado interferem diretamente no desempenho da edificação o que a torna passível de uma boa classificação com relação à etiqueta brasileira.

Também é importante ressaltar que além das características de eficiência energética abordadas pela LEED, a certificação também inclui outros aspectos de sustentabilidade, tais quais qualidade do ar, uso de materiais sustentáveis e seu descarte adequado, aspectos relacionados ao terreno na edificação etc. Assim, a certificação LEED, além de ter garantido um bom desempenho energético à edificação, inclusive quando comparada a aspectos brasileiros, também tangencia outras questões da sustentabilidade o que a torna mais completa.

Entretanto é fundamental analisar o objetivo da etiquetagem PROCEL. A ideia de se utilizar esse tipo de referência para uma edificação é difundir a ideia de que a operação dos

edifícios tem grande valor econômico, além do impacto na matriz energética. Assim, classificar edificações quanto ao seu nível de consumo, dá informações aos locatários e compradores sobre qual o gasto estimado com energia elétrica daquele imóvel e permite que se façam escolhas energeticamente conscientes, considerando não somente as faturas, ou seja, o valor econômico, como também o auxílio na eficiência do sistema elétrico brasileiro.

Nesse sentido a etiquetagem PROCEL possui características interessantes, visto que sua complexidade é reduzida quando comparada à LEED e possui padrões de análise parecidos, usando tanto a ABNT quanto a ASHRAE como principais referências. Assim, no contexto brasileiro, a difusão da etiquetagem PROCEL de edificações apresenta-se como um direcionamento para construções cada vez mais eficientes, além de conscientizar a população em geral quanto ao uso de energia elétrica em edificações.

#### **4.4. ANÁLISE COMPARATIVA CONSIDERANDO O SISTEMA FOTOVOLTAICO**

Dentre as medidas de redução de eficiência energética para o sistema elétrico como um todo, a descentralização da geração de energia, por meio da geração distribuída é uma das alternativas mais interessantes. Produzir eletricidade nas proximidades da carga reduz perdas em transmissão e distribuição, o que aumenta a eficiência do sistema (Gazoli, et al., 2012). Nesse sentido, a geração fotovoltaica vem se tornando uma solução viável, principalmente após a Resolução 482 publicada pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.

No edifício analisado, a implementação de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede vem sendo realizada. Assim, torna-se necessário avaliar o impacto da instalação desse sistema para o consumo do edifício e, conseqüentemente, sua análise frente ao *baseline* e à etiquetagem PROCEL.

De acordo com o projeto fotovoltaico realizado para a edificação, foi realizada uma análise de retorno financeiro, bem como de geração de energia de acordo com a posição geográfica, o nível de sombreamento da edificação e as características climáticas para cada mês. Assim, o resultado obtido pela equipe responsável pelo projeto foi o apresentado na Tabela 22 e na Figura 33.



Tabela 22 – Estimativa de geração de energia do sistema fotovoltaico projetado para o edifício em análise

Geração do sistema fotovoltaico (kWh)												
Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média
14.213	15.789	14.899	17.043	17.709	17.960	19.147	20.062	17.170	14.932	14.071	14.213	16.446

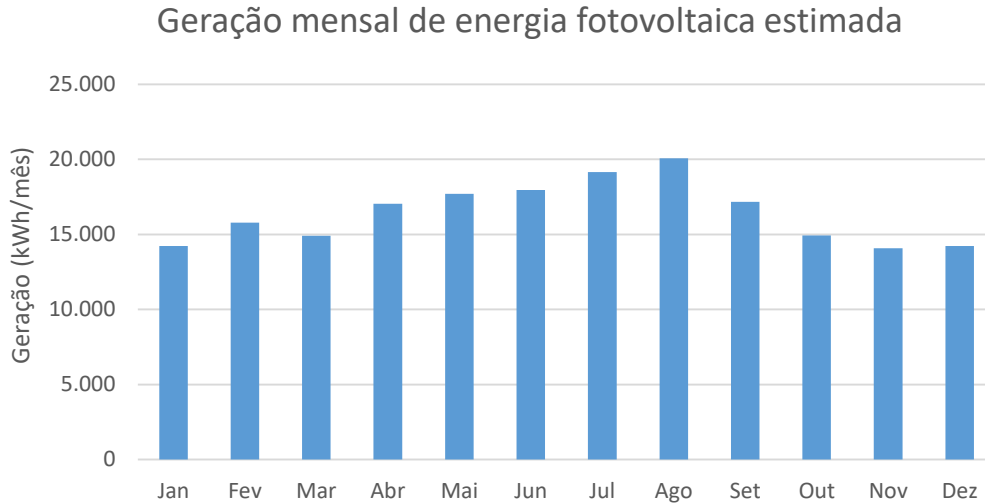


Figura 32 – Geração de energia estimada para o sistema fotovoltaico do edifício em análise

Considerando a inserção do sistema fotovoltaico (SFV) nos modelos propostos para a edificação real, uma nova análise comparativa com relação ao *baseline* e ao modelo de referência PROCEL nível A foi possível.

Tabela 23 – Comparação de consumo entre o modelo proposto incluindo um sistema fotovoltaico e o consumo do *baseline* médio

Mês	Consumo Baseline médio (kWh)	Modelo proposto com SFV (kWh)	Diferença
<b>Janeiro</b>	380.803	352.515	8,02%
<b>Fevereiro</b>	344.418	315.601	9,13%
<b>Março</b>	387.644	357.913	8,31%
<b>Abril</b>	360.703	346.009	4,25%
<b>Mai</b>	386.137	345.691	11,70%
<b>Junho</b>	369.523	334.646	10,42%
<b>Julho</b>	372.242	344.066	8,19%
<b>Agosto</b>	384.626	340.020	13,12%
<b>Setembro</b>	366.951	347.312	5,65%
<b>Outubro</b>	382.244	352.111	8,56%
<b>Novembro</b>	372.255	345.337	7,79%
<b>Dezembro</b>	374.109	363.293	2,98%
<b>Total</b>	<b>4.481.654</b>	<b>4.144.514</b>	<b>8,13%</b>

Média	373.471	<b>345.376</b>	<b>8,13%</b>
-------	---------	----------------	--------------

Comparação de consumo entre o baseline e o modelo proposto com SFV

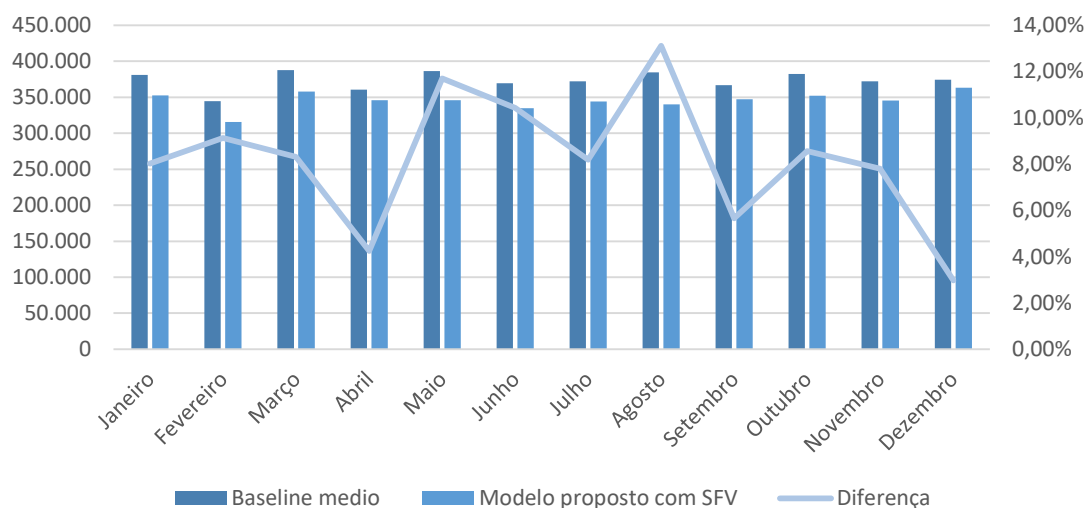


Figura 33 – Comparação de consumo entre o baseline e o modelo proposto incluindo o sistema fotovoltaico

Os resultados elencados na Figura 33 e na Tabela 23 mostram o impacto da utilização de um sistema fotovoltaico no modelo proposto quando esse é comparado ao seu *baseline* e ao seu modelo de referência PROCEL nível A. Observa-se que a aplicação do sistema fotovoltaico gera em média, mensalmente, 4,54% do consumo do modelo proposto. Tal incremento faz com que a diferença média entre o consumo simulado da edificação real caia em 4,89%, fazendo com que a diferença média seja de 8,13%.

A inserção do sistema fotovoltaico melhora o desempenho energético da edificação frente ao seu *baseline*. Entretanto, o sistema não faz com que o edifício consuma no mínimo 10% a menos que o *baseline*, conforme projeto original. Assim, ainda se verifica a necessidade de analisar detalhadamente os sistemas da edificação a fim de potencializar as possibilidades de redução de consumo energético.

## 5. CONCLUSÕES

Simulações de desempenho energético são ferramentas poderosas para a determinação de medidas de alto impacto em edificações. Esse tipo de análise permite ao investidor decidir por materiais construtivos, equipamentos e sistemas de forma com que suas aplicações sejam as mais eficientes, considerando o retorno financeiro possível. Além disso, o uso de simulações computacionais permite realizar análises de medição e verificação quando ocorre a ausência de dados do período anterior ao analisado, ou seja, não há possibilidade de se avaliar comparativamente o antes e o depois da implementação de ações de eficiência energética.

Entretanto tais análises requerem metodologias fiéis e que permitam comparação com o comportamento real da edificação. O edifício estudado, por possuir a certificação LEED de envoltória e sistemas principais (*Core&Shell*), apresenta em seu projeto uma estimativa de consumo energético mensal e anual, utilizando como *baseline* a edificação equivalente de acordo com a ASHRAE 90.1-2007, na qual a edificação teria consumo 18% inferior ao seu *baseline*. Porém, após a sua ocupação, o edifício sofreu alterações em suas cargas internas e

ambientes. Dessa forma, o *baseline* proposto mostrou-se extremamente distante da realidade da edificação.

Apesar de se realizar o acompanhamento mensal do consumo da edificação, algumas questões pertinentes ficam sem resposta quando não existe uma referência com a qual o desempenho energético atual possa ser comparado. Por essa razão, a definição de um *baseline* torna-se imprescindível. Entretanto, o *baseline* estabelecido pela ASHRAE 90.1-2007 considera que o edifício tenha sido projetado seguindo suas recomendações mínimas de eficiência energética, o que é um conceito relativamente novo no Brasil. Dessa forma, a ASHRAE é uma referência interessante para considerar em edificações que possuem padrões de eficiência energética. Entretanto não reflete os níveis reais de desempenho energético no país.

Assim, faz-se necessário acompanhar a operação de edificações, por meio de programas de gestão energética que permitam comparar o consumo de prédios com características semelhantes, ou seja, possibilitem o *benchmark* (Borgstein, et al., 2014). Devido à ausência de ferramentas desse tipo no Brasil, recorreu-se ao uso do *Energy Star Portfolio Manager* que permite a comparação de desempenho energético de edificação segundo características construtivas e zonas climáticas e é utilizada por mais de 260.000 edifícios, correspondendo a 40% dos espaços comerciais construídos nos Estados Unidos (Borgstein, et al., 2014).

A partir da análise usando o *Portfolio Manager*, considerando os dados simulados para o modelo real sem a sala-cofre, visto que atividades distintas da topologia principal não devem ser consideradas, obteve-se 99 pontos para a edificação, conforme Figura 34. Tal pontuação indica que o edifício em análise apresenta desempenho energético melhor do que 99% das edificações consideradas semelhantes, para a mesma zona climática.



Figura 34 – Pontuação da edificação analisada considerando os valores simulados sem a sala-cofre

Assim, a edificação em questão, apesar de não corresponder ao *baseline* para o qual foi projetada, apresenta desempenho energético extremamente positivo quando comparada a edifícios similares por meio do *Portfolio Manager*. Esse resultado indica que a certificação LEED implementada à época do projeto e da construção apresentou efeitos consideráveis observados no período de ocupação, apesar das alterações sofridas. Tais vantagens ficam claras

quando se compara a proporção do consumo atual dos sistemas prediais com a média brasileira, principalmente com relação à iluminação.

Devido à ausência de ferramentas que permitam comparar o consumo de edificações no Brasil, a etiquetagem PROCEL é, atualmente, a referência mais utilizada para determinar o nível de desempenho energético predial no país. Segundo esses preceitos, desconsiderando os critérios que não podem ser simulados computacionalmente, além de considerar as simplificações dos modelos utilizados, observa-se que a edificação apresenta desempenho energético satisfatório, alcançando o maior nível de classificação.

Entretanto o consumo apresentado pelo modelo de referência PROCEL nível A foi superior ao consumo elencado pelo *baseline* da ASHRAE 90.1-2007, o que indica o nível de exigência das recomendações americanas, bem como a capacidade do *Energy Plus* de dimensionar sistemas de ar condicionado ótimos.

No que tange à utilização de um sistema solar fotovoltaico, verifica-se que o projeto realizado para a edificação em questão representa redução de consumo de 4,54% em média, o que, apesar de ser um valor comparativamente pequeno, insere um impacto na avaliação comparativa com o *baseline* e, posteriormente, irá permitir a medição e verificação do sistema de forma a identificar características reais da geração e o comportamento desta nos sistemas prediais, ocasionando um novo *baseline*.

Assim, estudos da avaliação de medidas de eficiência energética são extremamente necessários para que se possa identificar a viabilidade financeira das medidas tomadas e o alcance dos índices estimados. No caso da certificação LEED do prédio em análise, o investimento realizado em envoltória, sistemas de iluminação e ar condicionado eficientes, bem como máquinas e elevadores de baixo consumo resultaram em um desempenho energético excepcional, como comprovado por meio do *benchmark*.

Edificações sustentáveis apresentam custos operacionais e de manutenção inferiores aos apresentados em prédios tradicionais e ainda possuem impacto social na comunidade em que estão inseridos (Pardini, 2009). Nos Estados Unidos, estima-se que edifícios verdes apresentam redução de 26% do consumo de energia, de 33% das emissões de dióxido de carbono e de 13% dos custos operacionais (USGBC, 2014). No âmbito de eficiência energética, a edificação de interesse comprova esse tipo de análise.

No cenário brasileiro, etiqueta PROCEL PBE Edifica cumpre o papel de difusor de ideias de eficiência energética, apesar de não tangenciar questões de sustentabilidade em geral. Seguindo várias recomendações da LEED e da ASHRAE, o PROCEL contribui para impactos positivos no sistema elétrico brasileiro, no que concerne à racionalização de recursos. Assim, destaca-se a necessidade de ênfase no desenvolvimento de critérios sustentáveis no Brasil.

Assim, a realização de modelagens computacionais de prédios durante sua construção e, em sequência, durante a sua operação, permite a avaliação dos impactos financeiros de desempenho energético de cada sistema e decisão acertada. Dessa forma, insere a possibilidade de se optar por diversos materiais, sistemas e recursos, além da análise de recomendações para desempenho energético dos mais diversos tipos, inclusive de certificações.

A cultura de se projetar edificações considerando os custos e impactos ocasionados por esta durante toda a sua vida útil é um dos principais caminhos para o desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, certificações, etiquetagens e normas são essenciais para que existam referências para esse tipo de projeto e sua disseminação exerce papel importante na implementação de construções verdes.

O aumento no número de prédios certificados LEED, mostrado na Figura 35, indica a consolidação da tendência de preocupação com o custo de edificações tanto na fase de projeto e construção quanto na operação. Da mesma forma, a etiquetagem PROCEL também demonstra expansão significativa da cultura de redução no uso de recursos. Em 2015, 10 edificações receberam o Selo da etapa de projeto e 21 de prédios construídos, o que permitiu uma economia da ordem de 3,56 GWh (PROCEL, et al., 2016).

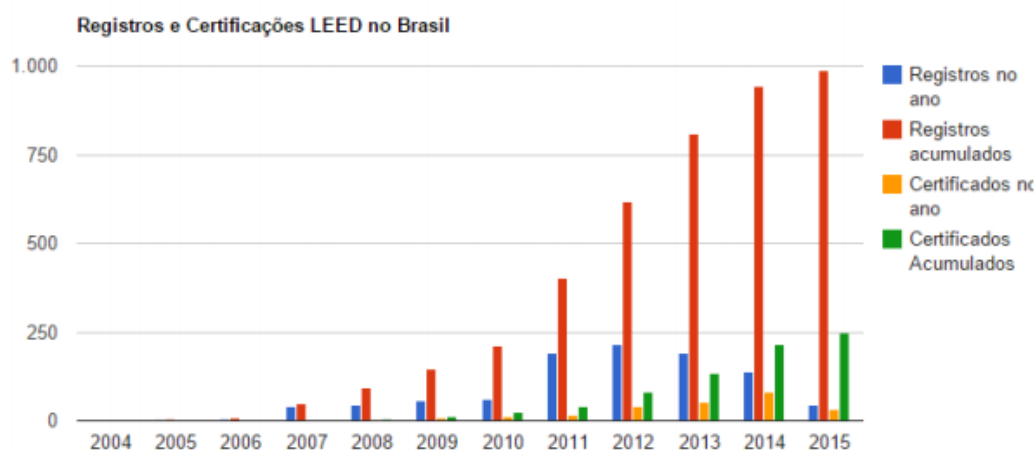


Figura 35 – Evolução do número de certificações LEED no Brasil (Almeida, et al., 2015)

Assim, estudos no sentido de garantir que o potencial de eficiência energética do projeto para edificações sustentáveis é imprescindível. No caso da avaliação comparativa do edifício em estudo, esse tipo de análise permitiu verificar os efeitos da ocupação para as estimativas de consumo realizadas durante o projeto e quais sistemas apresentam pontos fracos e fortes na operação da edificação.

No sentido de comparação entre a certificação LEED e a etiquetagem PROCEL, observa-se que ambas apresentam critérios de desempenho energético similares, sendo a LEED

um pouco mais restrita, o que garante à PROCEL maior simplicidade para implementação. Dessa forma, para difundir a eficiência energética, a PROCEL desempenha um papel interessante e seu crescimento já apresenta impactos reais ao sistema elétrico. No âmbito de sustentabilidade, a LEED apresenta-se de forma bem mais completa, por preocupar-se com questões além das energéticas sendo adaptáveis à realidade da região onde o prédio é construído.

## **5.1. CONSIDERAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Tendo em vista as análises realizadas na avaliação comparativa, as simplificações podem ser reduzidas de forma a avaliar o impacto destas nos resultados finais alcançados. Além disso, após a implementação do sistema fotovoltaico, avaliar de acordo com as estimativas apresentadas o real impacto no consumo do edifício. Outro ponto pertinente é realizar a análise comparativa considerando a memória de massa, o que pode permitir maior detalhamento e análises mais específicas com relação à demanda e ao consumo em situações específicas.

Com relação às certificações, há a possibilidade de estudo da implementação de ações de eficiência energética específicas, que tangem a envoltória, sistemas internos e cargas específicas. Assim, uma análise de retorno financeiro do capital investido para o alcance de certificações ambientais indica uma área de trabalho promissora para certificações ambientais.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- 14-2002 ASHRAE Guideline** Measurement of Energy and Demand Savings [Livro]. - 2002.
- Almeida Luan Vinicius Sena de, Galvão Reny Aparecida e Souza Maria Tereza Saraiva de** Edifícios Sustentáveis: Um estudo da certificação LEED no Brasil [Periódico]. - 2015.
- ASHRAE Guideline 14-2002** Measurement of Energy and Demand Savings [Livro]. - 2002.
- ASHRAE** Procedures for Commercial Building Energy Audits [Livro]. - 2011.
- ASHRAE Standard** Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Building [Relatório]. - 2007.
- ASHRAE Technical Committee 7.6** Procedures for Commercial Building Energy Audits [Livro]. - 2011.
- Borgstein Edward e Lamberts Roberto** Desenvolvimento de benchmarks nacionais de consumo energético de edificações em operação [Periódico]. - [s.l.] : Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, 2014.
- EVO** Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance [Relatório]. - 2012.
- Fabrizio Enrico e Monetti Valentina** Methodologies and Advancements in the Calibration of Building Energy Models [Periódico] // Energies. - 2015. - pp. 2548-2574.
- Gazoli Jonas R, Villalva Marcelo G e Guerra Juarez** Capítulo X - Energia Solar Fotovoltaica - Sistemas Conectados à Rede Elétrica [Periódico]. - [s.l.] : O Setor Elétrico , 2012. - Vol. Energias Renováveis Alternativas .
- Hensen Jan L. M. e Lamberts Roberto** Building Performance Simulation for Design and Operation [Livro]. - Nova Iorque : Spon Press, 2011.
- Lamberts Roberto [et al.]** Sustentabilidade nas edificações: Contexto internacional e algumas referências brasileiras na área [Periódico]. - Florianópolis : [s.n.], 2007.
- Mendes Nathan [et al.]** Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico de edificações no Brasil [Artigo] // Ambiente Construído. - Porto Alegre : [s.n.], 2005. - Vol. 5.
- Pardini Andrea Fosceca** Contribuição ao entendimento da aplicação da certificação LEED e do conceito de ciclo de vida em empreendimentos mais sustentáveis no Brasil [Periódico]. - Campinas : [s.n.], 2009.
- Pedrini Aldomar** Desenvolvimento de Metodologia de Calibração de Modelos para Simulações Térmicas e Energéticas em Edificações [Relatório]. - 1997.
- PROCEL e ELETROBRAS** Resultados PROCEL 2016, ano base 2015 [Periódico]. - 2016.
- PUC/Rio e ECOLUZ** Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil [Relatório]. - 2006.
- Stefanuto Ágata Pâmela Olivari e Henkes Jairo Afonso** Critérios para obtenção da certificação LEED: Um estudo de caso no supermercado Pão de Açúcar em Indaiatuba/SP [Periódico]. - Florianópolis : [s.n.], 2013.
- USGBC US Green Building Council** LEED Core concepts guide - An introduction to LEED and green building [Livro]. - Washington DC : [s.n.], 2014.
- Vilhena Juliana M.** Diretrizes para a Sustentabilidade em Edificações [Artigo] // Gestão & Tecnologia de Projetos. - 2007. - Vol. 2.



