

LUAN RAFAEL DUTRA

**ESTUDO DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE
CONSUMO DE ENERGIA APLICADOS A EDIFÍCIOS COMERCIAIS**

**Monografia apresentada ao Programa de
Educação Continuada da Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo,
para obtenção do título de Especialista,
pelo Programa de MBA USP Tecnologias
Digitais e Inovação Sustentável.**

SÃO PAULO

2020

LUAN RAFAEL DUTRA

**ESTUDO DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE
CONSUMO DE ENERGIA APLICADOS A EDIFÍCIOS COMERCIAIS**

**Monografia apresentada ao Programa de
Educação Continuada da Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo,
para obtenção do título de Especialista,
pelo Programa de MBA USP Tecnologias
Digitais e Inovação Sustentável.**

**Orientadora: Profa. Dra. Tereza Cristina
Melo de Brito Carvalho**

SÃO PAULO

2020

FICHA CATALOGRÁFICA

Dutra, Luan Rafael.

ESTUDO DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO
COMPARATIVA DE CONSUMO DE ENERGIA APLICADOS A
EDIFÍCIOS COMERCIAIS / Luan Rafael Dutra – 2021.

63 f : il. Color.

Monografia (Trabalho de conclusão de curso de MBA em
Tecnologias Digitais e Inovação Sustentável) – Programa de
Educação Continuada da Escola Politécnica da USP.

Orientadora: Prof. Dra. Tereza Cristina Melo de Brito Carvalho

1. Benchmarking 2. Edifícios Comerciais 3. Eficiência Energética

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Sandra, pela criação maravilhosa que deu a mim e aos meus irmãos apenas com o próprio esforço e determinação e nada mais, priorizando sempre o nosso bem-estar e capacitação com seus imensos esforços físicos e psicológicos fazendo o que sempre me pareceu impossível para qualquer outra pessoa.

Ao Wagner Oliveira e a empresa Centro de Tecnologia de Edificações que me apoiou me capacitando acadêmica e profissionalmente, me incentivou a realizar este programa e me manteve constantemente motivado durante 5 anos que foram sólida base para me tornar o profissional que almejo.

À minha orientadora e professora Tereza Cristina pela excelência alcançada no programa MBA de Tecnologias Digitais e Inovação Sustentável e pelo direcionamento adequado durante todo o curso e na elaboração deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho aborda avaliações comparativas de consumo de energia aplicadas a edifícios comerciais, (ou *benchmarkings*), visando fomentar o mercado de eficiência energética operacional de edifícios. O objetivo é analisar detalhadamente três modelos de *benchmarking* e propor um modelo unificado que permita escalabilidade e sua utilização em diferentes localizações geográficas. Como resultado foi definido um modelo específico contendo os pontos fortes de cada modelo estudado e foi mostrada a sua aplicação em dois casos reais de edifícios comerciais. Este trabalho abre as portas para uma discussão ainda muito recente acerca dos resultados alcançados com a realização de *benchmarkings* e pode ser a base para novos estudos, ainda mais aprofundados, no futuro abordando outras questões específicas de operações prediais.

Palavras-chave: benchmarking, edifícios comerciais, consumo de energia, eficiência energética.

ABSTRACT

This work addresses comparative evaluations of energy consumption applied to commercial building (or benchmarking), to promote the market of operational energy efficiency of buildings. The objective is to analyze in detail three benchmarking models and propose a unified model that allows high scalability and its application in different geographic locations. As a result, a specific model was defined containing the strengths of each model studied and this model was applied to two real examples of commercial buildings. This paper kicks off the very recent discussion about the results achieved with the benchmarking processes and can be the grounding for new studies in the future, even more in depth, addressing other specific issues of building operations.

Keywords: benchmarking, commercial buildings, energy consumption, energy efficiency

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Destinação do consumo no Brasil.....	10
Figura 2 – Variação do consumo de energia.....	21
Figura 3 – Diferença entre <i>source</i> e <i>site energy</i>	27
Figura 4 – Criação das unidades amostrais.	29
Figura 5 – Processo de pesquisa CBECS.....	31
Figura 6 – Modelo de formulário utilizado nas entrevistas.	34
Figura 7 - Formulário do benchmarking GRESB.	37
Figura 8 – Quantidade de participantes por tipologia.	38
Figura 9 – Arranha céus construídos no Brasil.....	40
Figura 10 - Matriz Energética dos Estados Unidos.	41
Figura 11 - Exemplo do indicador CBCS.....	42
Figura 12 - Preenchimento de informações em página web.	45
Figura 13 – Alcance por tipo de coleta	46
Figura 14 - Exemplo proposto 1	53
Figura 15 – Exemplo proposto 2	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variáveis de desempenho energético	17
Tabela 2 – Constantes das equações de benchmarking.....	19
Tabela 3 - Variáveis utilizadas.....	23
Tabela 4 - Tabela de determinação de coeficientes.....	25
Tabela 5 - Relação taxa de eficiência energética/pontuação.	26
Tabela 6 - Índice de amostrabilidade	39
Tabela 7 – Resumo comparativo dos métodos de avaliação	42
Tabela 8 - Tabela de conversão unitária	46
Tabela 9 - Constantes do indicador proposto.....	49
Tabela 10 – Aumento do consumo médio dos edifícios	50
Tabela 11 - Informações para exemplo 1 do modelo	51
Tabela 12 – Valores de graus de resfriamento diário da cidade do Rio de Janeiro ..	52
Tabela 13 - Informações para exemplo 2 do modelo	54
Tabela 14 – Valores de graus de resfriamento diário da cidade de São Paulo	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BEN	Balanço Energético Nacional
CBECS	<i>Commercial Building Energy Consumption Survey</i>
CBCS	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CDD	<i>Cooling Degree Days</i>
CPD	Centro de Processamento de Dados
DEO	Desempenho Energético Operacional em Edificações
DoE	<i>United States Department of Energy</i>
EIA	<i>Energy Information Administration</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESG	<i>Environmental, Social and Governance</i>
EUI	<i>Energy Use Intensity</i>
GRESB	<i>Global Real Estate Sustainability Benchmarking</i>
HDD	<i>Heating Degree Days</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IoT	<i>Internet of Things</i>
LPD	<i>Lighting Power Density</i>
MME	Ministério de Minas e Energia
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
NRE	Núcleo de <i>Real Estate</i>
PAF	Porcentagem de Abertura de Fachada
UAP	Unidades Amostras Primárias

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Motivação.....	11
1.2	Objetivo.....	11
1.3	Justificativa	11
1.4	Método de Pesquisa.....	12
1.5	Organização do trabalho	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	Definição de <i>Benchmarking</i>	13
2.2	Trabalhos Correlatos	14
2.3	<i>Benchmarking</i> do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável	15
2.3.1	Indicador do benchmarking	15
2.3.2	Levantamento dos dados	19
2.4	Benchmarking do Energy Star Portfolio Manager.....	21
2.4.1	Indicador do <i>benchmarking</i>	22
2.4.2	Levantamento dos dados	28
2.5	Benchmarking do Global Real Estate Sustainability Report	35
2.5.1	Indicador do <i>benchmarking</i>	35
2.5.2	Levantamento dos dados	36
2.6	Análise Comparativa dos Métodos de Benchmarking.....	38
2.6.1	Coletas de dados	38
2.6.2	Indicadores do <i>Benchmarking</i>	40
2.7	Resumo do capítulo	42
3	PROPOSTA DE UNIFORMIZAÇÃO DOS INDICADORES.....	44
3.1.1	Coleta de dados.....	44

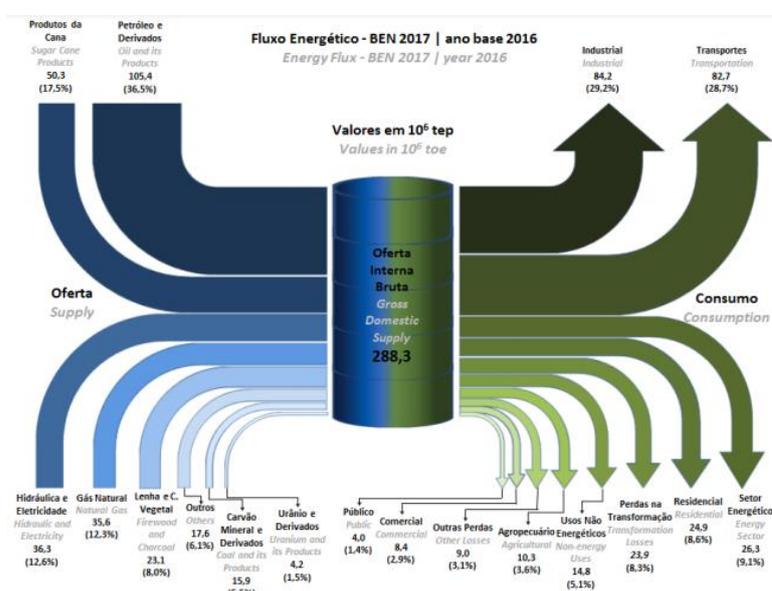
3.1.2	Indicador do <i>benchmarking</i>	46
3.1.3	Frequência de atualização.....	50
3.2	Exemplo 1 de aplicação do modelo proposto	51
3.3	Exemplo 2 de aplicação do modelo proposto	54
3.4	Considerações Finais do Capítulo.....	56
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
4.1	Contribuição do trabalho.....	58
4.2	Trabalhos Futuros.....	59
	REFERÊNCIAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

O mercado de fornecimento de energia no Brasil vive um momento crítico. As centenas de usinas produtoras de energias renováveis, o possível aumento do custo de energia da usina de Itaipu e a grande quantidade de equipamentos utilizados no dia a dia que utilizam energia para comunicação e monitoramento convergem para que a eficiência energética seja um fator crucial em qualquer que seja o contexto.

De acordo com o Balanço Energético Nacional 2017 (BEN) divulgado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o setor comercial representa 8,4% do consumo nacional de energia nacional, como pode ser visto na figura 1. Também segundo o mesmo estudo, em um edifício *triple A*¹ composto por diversos escritórios, localizado em uma metrópole como São Paulo, espera-se que cerca de 33% do consumo total do edifício seja direcionado para a refrigeração e o condicionamento do ambiente, seja para atendimento a sistemas críticos ou para o conforto dos usuários.

Figura 1 - Destinação do consumo no Brasil.



Fonte: BEN, 2017 (EPE, 2017)

A EPE é um órgão público instituído nos termos da Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004, e do Decreto nº 5.184, de 16 de agosto de 2004, que está vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), e tem como seu objetivo a realização de estudos

¹ Qualidade mais alta segundo o Núcleo de Real Estate (NRE) dos padrões de construção vigentes correspondentes à opinião prevalente de mercado,

e pesquisas destinados a subsidiar o planejamento do setor energético, envolvendo energia elétrica, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.

Nesse cenário, o contexto das tecnologias de *Internet of things* ou Internet das coisas (IoT) atua fortemente no âmbito operacional dos edifícios de uma forma microavaliatória. Em contrapartida, de uma forma gerencial para uma visão ampla, estão as avaliações comparativas (ou *benchmarks*).

1.1 Motivação

No cenário apresentado, é muito importante a utilização de uma avaliação comparativa (ou *benchmarking*) para os edifícios. Este trabalho analisa criticamente o método aplicado de três dos principais *benchmarks* nacionais e internacionais, além de destacar os pontos fortes e fracos de cada um, propondo um processo unificado para a realização das avaliações comparativas de forma global.

Estima-se que os edifícios, que realizam *benchmarking*, atingem uma redução de consumo de até 2% (U.S. DOE, 2017) no consumo global, e com a atual conjuntura do cenário energético mundial, é essencial a validação e motivação dos usuários para ferramentas de *benchmarking* buscando um incentivo cada vez maior à redução de consumo.

1.2 Objetivo

O objetivo desse trabalho é avaliar comparativamente três das atuais ferramentas de avaliação comparativa de consumo energético utilizadas para edifícios comerciais, estudando os métodos utilizados e realizar uma proposta de otimização do método.

1.3 Justificativa

Esse trabalho busca aprofundar o conhecimento dos consumidores acerca do consumo de energia elétrica, familiarizando o usuário sobre a discussão e o entendimento do consumo esperado. Apesar da ampla utilização de plataformas de avaliação comparativa, estas não se mostram unificadas e não há um entendimento único de quais parâmetros devem ser avaliados e utilizados. Isso desincentiva a utilização das plataformas por si.

A partir de uma análise crítica e construtiva, espera-se fomentar a já ampla discussão e encontrar métodos de avaliação comparativa que fazem mais sentido cultural e geograficamente para todas as regiões. Este trabalho não aborda as características intrínsecas de regionalidades específicas, irá ter seu foco em edifícios comerciais e na unificação do processo de comparação energética nas grandes metrópoles do mundo.

1.4 Método de Pesquisa

Neste trabalho foi empregado o método de pesquisa descritiva para o estudo de três avaliações comparativas existentes, através de uma análise minuciosa nos aspectos referentes ao indicador, especialmente à coleta de dados e a apresentação de um indicador de comparação, mas não se aprofundando nas questões de viabilidade econômica dos métodos.

Na proposição do novo método, foi utilizado o método quali-quantitativo, ou misto. Realizou-se a análise de dados estatísticos e números em alguns dos critérios, como no método de coleta empregado, porém, algumas faces da avaliação, são muito mais subjetivas e dependem do entendimento completo do cenário de operação dos edifícios comerciais, se fazendo a necessidade de uma pesquisa também qualitativa.

1.5 Organização do trabalho

Este trabalho está organizado da seguinte forma:

- O capítulo 2 apresenta conceitos necessários para o entendimento do trabalho, como a definição de *benchmarking* como avaliação comparativa a breve discussão sobre alguns trabalhos correlatos e os três métodos que estão sendo estudados neste capítulo descrevendo o tamanho de sua base de dados, suas formas de coleta, seus indicadores e suas frequências de atualização.
- O capítulo 3 contém uma comparação crítica entre os três métodos descritos no capítulo 2, avaliando a sua viabilidade no método proposto e a descrição da proposta, finalizando com a aplicação de dois exemplos reais.
- O capítulo 4 finaliza o trabalho resumindo as considerações finais e apresentando possíveis complementos a serem feitos no estudo através de trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, apresenta-se ao leitor o termo *benchmarking* energético que é utilizado ao longo do trabalho como alternativa ao termo avaliação comparativa de consumo de energia. O termo, apesar de não especificamente estar atrelado a desempenho energético, foi absorvido pela indústria de eficiência energética e é amplamente utilizado tanto nacionalmente, como internacionalmente.

Dentre as diversas opções de *benchmarking* energético presentes no mundo, foram escolhidos três principais para análise, sendo o primeiro criado nacionalmente no Brasil, o segundo americano com origem nos Estados Unidos e o terceiro originado na Europa.

Os três utilizados no mercado de edifícios comerciais e consolidados em cada uma de suas localidades. Estes *benchmarks* são analisados detalhadamente neste capítulo.

2.1 Definição de *Benchmarking*

Benchmarking é um termo definido como: processo de avaliação da empresa em relação à concorrência, por meio do qual incorpora os melhores desempenhos ou práticas de outras firmas e/ou aperfeiçoa os seus próprios métodos (Oxford Languages, 2020). No decorrer deste trabalho, em referência ao consumo de energia, não limita-se esse conceito apenas em relação à concorrência e estende-se também aos pares, ou seja, aqueles edifícios que fazem parte de uma mesma categoria de uso – como edifícios comerciais, por exemplo, mesmo que sejam de diferentes proprietários, gestores ou regiões.

Hoje existem diversos *benchmarks* nacionais e internacionais que comparam edifícios entre si, através por meio de indicadores de eficiência gerais. O *Energy Star Portfolio Manager* é uma plataforma de *benchmarking* que utiliza uma pesquisa nacional americana com mais de 16.000 edifícios realizada pela *Commercial Building Energy Consumption Survey* (CBCES) para pontuar edifícios de acordo com sua eficiência energética.

Nacionalmente, também foi realizado um estudo de *benchmarking* pelo Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) que utiliza o indicador *Energy Use Intensity* (EUI) para definir se um edifício está ou não operando eficientemente.

O *benchmarking* realizado deve mostrar um ganho indireto no desempenho operacional dos escritórios, apenas por meio da comparação e visualização dos dados de consumo. Para isso, variáveis como, ocupação, temperatura, umidade, mudanças de rotina operacional e outras especificidades sazonais devem ser levadas em conta para que a base de cálculo do consumo seja mantida a mesma.

2.2 Trabalhos Correlatos

Trabalhos correlatos serão utilizados como base de dados e apoio estrutural para as análises realizadas neste estudo. Dentre os trabalhos correlatos avaliados previamente, foram priorizados aqueles que possuem similaridade com o tema – revisão de métodos empregadas nos *benchmarking* energéticos de edifícios – mesmo que sejam focados em outras tipologias (escolas, hotéis, *shoppings*) ou localidades (Estados Unidos, China).

Primeiramente, pode-se citar o trabalho de Yueming (2019), que revê em detalhes, diversos fatores abordados por diferentes métodos de avaliação de desempenho em *benchmarkings*. A correlação é forte entre os assuntos discutidos, devido à temática ser a mesma nos dois estudos, porém, deve-se levar em conta as diferenças sazonais relevantes, especialmente em um país com proporções continentais como o Brasil, onde as avaliações não podem ser comparadas diretamente de forma com outras regiões, não só apenas pelas características culturais, mas também geográficas.

Outro trabalho correlato importante é de Luming (2020), o foco está mais nos benefícios trazidos pela realização do *benchmarking* do que no método aplicado. Este assunto é extremamente importante, quando busca mensurar possíveis ganhos e benefícios na realização do *benchmarking*, o que é o caso deste trabalho.

Por fim, destaca-se o trabalho de Haoru (2018), foi abordada exatamente a realização de *benchmarking* em edifícios da mesma tipologia abordada neste trabalho, porém com uma abordagem mais restrita, focada no sistema de resfriamento dos edifícios, mais especificamente sistemas baseados no uso de água gelada. Neste trabalho o consumo energético será visualizado num contexto mais amplo, de forma a se avaliar o consumo total na entrada do edifício e não em um subsistema de uso final específico.

Nacionalmente, por fim, menciona-se o trabalho de Favato (2009) que implementou um processo de gestão de energia Plan, Do, Check, Act, na Universidade de São

Paulo, utilizando de análises que incluem o indicador de consumo energético avaliado em *benchmarkings*.

2.3 Benchmarking do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

O principal modelo de *benchmarking* energético aplicado em âmbito nacional atualmente é o modelo apresentado em 2015 pelo CBCS. Este estudo foi compartilhado publicamente por meio dos relatórios finais do Programa de Desempenho Energético de Edificações, que descrevem todo o seu método, base de dados e considerações. Portanto, este é o modelo que será analisado neste trabalho. A seção 2.2.1 irá primeiramente descrever o processo de criação do *benchmarking* empregado, ou seja, o indicador que será utilizado, as tipologias que serão avaliadas, a quantidade de variáveis que serão levadas em conta na criação do indicador e o tamanho de uma base de dados confiável.

Em seguida será avaliado o levantamento realizado, isto é, em qual nível de detalhe e confiabilidade os dados foram coletados e qual o grau de assertividade do método de coleta empregado. Essa descrição contém, ainda, a análise empregada, incluindo os modelos matemáticos aplicados e possíveis métodos de simulação computacionais.

Por fim, para garantir a aplicabilidade do *benchmarking*, também devem ser avaliadas as correções necessárias aos cálculos, pois com a grande quantidade de variáveis envolvidas, existem aquelas que apesar de não estarem diretamente relacionadas ao indicador e não estarem necessariamente presentes em todos os edifícios, vão impactar o consumo consideravelmente e devem ser avaliadas separadamente. Quanto mais critérios de correções forem aplicados, maior será a confiabilidade do *benchmarking*.

Após estas descrições acerca do *benchmarking* realizado pela CBCS, o trabalho seguirá com as análises em cima desses critérios no capítulo 4.

2.3.1 Indicador do benchmarking

O primeiro passo para a criação de um *benchmarking*, onde quer que ele seja feito, e seja qual for o tema abordado, é a definição do que está sendo avaliado. No exemplo estudado, o padrão de indicador adotado tanto nacional como internacionalmente é a

intensidade do uso de energia, que é a métrica caracterizada pela quantidade de energia (em kWh) dividido pela área do edifício (m²) em um ano de uso. Este indicador é amplamente utilizado, pois permite aos edifícios estarem uniformizados em decorrência das diferenças térmicas decorridas das estações do ano.

Cerca de 90% da energia utilizada no setor comercial provinha de fontes elétricas na época (Balanço Energético Nacional, 2014), portanto outras fontes de energia como eólica, solar e gás natural não foram avaliadas e não fazem parte do *benchmarking*.

Considerando o consumo energético operacional de uma edificação, existem diferentes fases na vida de um edifício que impactam significativamente no seu desempenho, sendo elas as fases de localização, construção e operação. Tanto os fatores de localização quanto os fatores de projeto, são definidos nos períodos anteriores à ocupação do edifício, portanto não podem ser facilmente alterados sem um investimento financeiro e grandes alterações no edifício. Portanto, um benchmarking deve comparar o consumo real do edifício com o consumo que seria atingido por um edifício que é considerado eficiente da mesma tipologia², com a mesma quantidade de usuários e a mesma localização, sem a necessidade de grandes *retrofits*, apenas com estratégias adequadas de operação e sem grandes desperdícios.

Para essa tipologia avaliada, foram definidas 35 variáveis consideradas de grande importância no cálculo do consumo energético. Cada variável pode ser identificada como dependente ou independente, sendo que correção é necessária apenas para as variáveis dependentes. Isso significa que as variáveis independentes devem ser iguais àsquelas de um edifício típico do mercado, enquanto as variáveis dependentes devem ser iguais ao edifício real avaliado.

Cada variável dependente possui uma equação simplificada que mostra o seu impacto no consumo energético e por muitas vezes elas são fatores intrínsecos ao funcionamento do edifício, por exemplo o clima do local ou a densidade de ocupação, portanto são variáveis que dificilmente podem ser ajustadas para buscar um melhor desempenho.

² Tipologia se refere à atividade principal executada na rotina do edifício, se caracterizam como tipologias, por exemplo, atividades comerciais, residenciais, hospedagem.

Já as variáveis independentes são aquelas que estão sob o controle dos operadores do edifício e que são possíveis de serem alteradas por meio da implantação de medidas de eficiência energética como o *setpoint*³ do ar condicionado, por exemplo. As variáveis tanto dependentes, quanto independentes são mostradas na tabela 1.

Tabela 1 – Variáveis de desempenho energético

Variável	Unidades	Valor típico	Valor boa prática
Intensidade climática	CDH	43700	43700
Fator de sombreamento urbano		Baixo	Baixo
Fachadas externas	#	4	4
Área de laje	m ²	1600	1600
Razão superfície/área da laje	%	40%	40%
PAF	%	70%	70%
Fator de sombreamento externo		Zero	Zero
Fator solar do vidro		0,59	0,31
Desempenho térmico das paredes	W/m ² K	2,5	2,5
DPL	W/m ²	11	9
Controle de <i>daylighting</i>		Não	Dimerizado
COP		4,8	5,6
Energia para rejeição de calor	kWh/m ² .a	12	8
Energia para ventilação	kWh/m ² .a	20	15
Bombeamento de água gelada	kWh/m ² .a	10	7
Controle local do sistema de ventilação		Sim	Sim
Área de estacionamento	m ²	N/A	N/A
Número de elevadores		14	14
<i>Datacenter</i> consumo energético	kWh/m ² .a	64	64
Bombeamento de água potável	kWh/m ² .a	2,6	2,6
Densidade de potência de ventilação do estacionamento	W/m ²	0,84	0,5
Densidade de potência da iluminação do estacionamento	W/m ²	2,8	2
Fator de controle de iluminação do estacionamento	%	100%	100%
Densidade de ocupação	m ² /pessoa	11,1	11,1
Uso de <i>notebooks</i>		Baixo	Baixo
Cronograma de ocupação	hr/semana	48,5	48,5
Uso noturno de cargas de tomada	%	5%	2%
Cronograma do sistema de ar condicionado	hr/semana	77	77
Uso de persianas internas		Não	Não
<i>Setpoint</i> de resfriamento	°C	22,5	23,5
Taxa de ocupação	% conjuntos ocupados	80%	80%
Pressão média nos ventiladores	Pa	450 (insuflamento) + 150 (exaustão)	450 (insuflamento) + 150 (exaustão)
Pressão nas bombas de água gelada	Pa	100000	100000
Pressão nas bombas das torres de resfriamento	Pa	30000	30000
Fluxo do sistema de água gelada		Volume constante	Volume variável

Fonte: Adaptado de Relatório Final de Benchmarking de escritórios corporativos de Desempenho Energético Operacional em edificações

Com a utilização dessas variáveis, o *benchmarking* foi definido por uma equação que determina o nível de desempenho esperado pela edificação. Com a possível divisão entre níveis “Típico” ou “Boa Prática”.

³ *Setpoint* é definido como o valor desejado em um sistema fechado de controle automático, como por exemplo o sistema desejado a ser alcançado por um sistema de ar condicionado.

$$E_{benchmark} = c_0 + c_1 \cdot \frac{GHR}{1000} + c_2 \cdot \frac{A_{estac}}{A_{util_ocup}} + c_3 \cdot (N_{f,média} - N_f) + c_4 \cdot N_{andar} \cdot \frac{N_{elev}}{A_{util_ocup}} + \frac{E_{CPD}}{A_{util_ocup}} + \frac{E_{outros}}{A_{util_ocup}} \text{ (Equação 1)}$$

Sendo:

$$A_{util_ocup} = A_{util} \cdot \text{Taxa de Ocupação} \text{ (Equação 2)}$$

E:

$$N_f = \frac{A_{escrit_ocup}}{N_{func}} \text{ (Equação 3)}$$

Definindo-se as variáveis por:

$E_{benchmark}$ = indicador de consumo energético, mostrado em kWh por ano por m² de área útil, condicionada e ocupada⁴.

$C_{0...4}$ = Constantes com os valores definidos na tabela 1.

GHR = Grau-horas de resfriamento, bulbo úmido com temperatura base de 15°.

A_{estac} = Área de estacionamento coberto, ventilado e iluminado.

A_{util} = Área útil condicionada.

A_{util_ocup} = Área útil condicionada e ocupada.

Taxa de ocupação = Porcentagem de conjuntos ocupados, em média, nos últimos 12 meses.

$N_{f,média}$ = Densidade média de funcionários em escritórios corporativos = 11,1 m²/pessoa.

N_f = Densidade de ocupação no edifício durante um dia típico de operação (m²/pessoa).

A_{escrit} = Área de escritórios, área locável ou área de carpete. Caso esse número não seja conhecido, é possível utilizar a fórmula:

⁴ Área útil condicionada é caracterizada como a área

$A_{escrit} = 0,78 \cdot A_{util}$. (Equação 4)

A_{escrit_ocup} = Área de escritórios efetivamente ocupada.

N_{func} = Número de funcionários trabalhando no edifício durante um dia típico de operação.

N_{andar} = Número de andares, contado desde o térreo até o andar ocupado mais alto, desconsiderando andares exclusivamente técnicos.⁵

N_{elev} = Número de elevadores em uso durante operação típica do edifício, excluindo elevadores de emergência ou que atendem apenas o térreo e os subsolos.

E_{CPD} = Número de funcionários trabalhando no edifício durante um dia típico de operação.

E_{outros} = Consumo elétrico anual de cargas especiais, como cozinhas e/ou laboratórios.

As constantes das equações foram definidas baseados nas características físicas das edificações e potenciais interferências entre as diferentes categorias são desconsideradas, por representarem efeitos de segundo grau, com impactos menores do que o grau de confiança do modelo e sem necessidade de consideração.

Tabela 2 – Constantes das equações de benchmarking.

Constante	Típico	Boa Prática	Unidades
C₀	145,15	111,31	kWh/m ² /ano
C₁	0,39	0,33	kWh/m ² /(1000 GHR)/ano
C₂	14,4	10,0	kWh/m ² /ano
C₃	4,15	4,15	kWh/pessoa/ano
C₄	700	700	kWh/andar/elevador/ano

Fonte: Adaptado de Relatório Final de Benchmarking de escritórios corporativos de Desempenho Energético Operacional em edificações

2.3.2 Levantamento dos dados

Tendo o indicador utilizado, foi definido qual seriam os limites para a aquisição do indicador, isto é, qual o escopo do projeto. Para o estudo, foram considerados apenas escritórios corporativos, definidos como edifícios geralmente com mais de 18 andares e área de laje acima de 700m² (em alguns casos, é possível que sejam avaliados

⁵ Andares técnicos são caracterizados como andares que não possuem ocupação regular e estão presentes no edifício para que os sistemas de ar condicionado e elétricos funcionem de forma correta.

edifícios mais baixos, porém com áreas de lajes grandes). Os consumos típicos de um escritório corporativo incluem, mas não se limitam a: iluminação, refrigeração e rejeição de calor, bombeamento de água potável, cargas de tomada, estacionamento, ventilação e elevador.

O período de coleta de dados foi de maio de 2013 até janeiro de 2015 e os dados referiam-se ao período de 2012 até 2014. A coleta foi feita de três maneiras diferentes sendo elas:

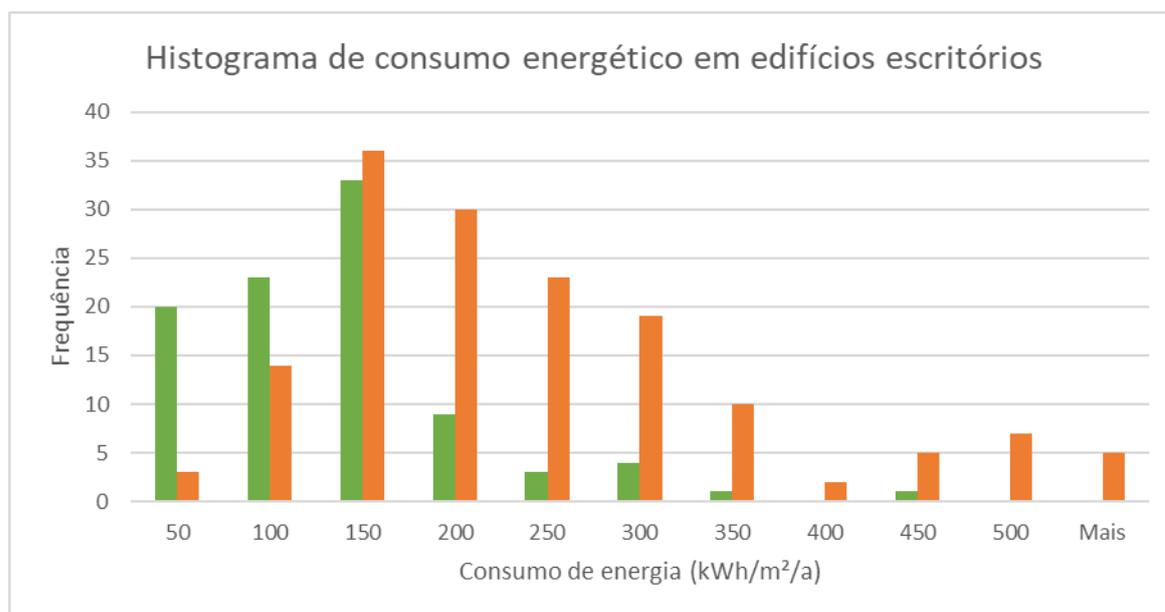
- Dados simples – constando apenas a localização, área, tipologia e consumo anual do edifício, sendo estas as mínimas informações necessárias para a realização do benchmarking.
- Dados detalhados – dados dos sistemas presentes nos edifícios, por exemplo, quantidade de elevadores, áreas segmentadas (área privativa, estacionamento etc.) e quantidade de andares.
- Auditoria de energia – Visitas in loco realizadas nos empreendimentos que permitem um detalhamento ainda maior sobre os sistemas do edifício.

E a amostra utilizada incluiu 249 edifícios por meio da coleta simples, 157 edifícios com o envio de dados detalhados e, adicionalmente, 8 edifícios que foram visitados por auditorias técnicas de energia.

De todos os escritórios avaliados, quase 75% do total estavam localizados nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, com os escritórios restantes sendo distribuídos entre diversas outras cidades ao redor do país como Brasília, Florianópolis, Curitiba, Salvador e Porto Alegre.

O nível de qualidade dos dados é variado, existindo alguns levantamentos onde foi fornecida apenas a área e o consumo anual, enquanto outros seguiram fielmente ao questionário entregue e realizaram levantamentos de forma completa, incluindo diversas das características prediais. Nos cálculos sobre os dados é possível identificar edifícios tanto com indicadores muito abaixo do esperado o que pode ser resultado de edifícios com baixa ocupação ou cálculos de área incorretos (com inclusão da área de estacionamento, por exemplo) quanto edifícios com indicadores extremamente altos, o que pode indicar a existência de grandes *Data Centers* ou Centros de Processamento de Dados (*CPD's*). Essa discrepância pode ser vista na figura 2 abaixo:

Figura 2 – Variação do consumo de energia.



Fonte: Adaptado de Relatório Final de Benchmarking de escritórios corporativos de Desempenho Energético Operacional em edificações

2.4 Benchmarking do Energy Star Portfolio Manager

Nos Estados Unidos, o *Energy Star Portfolio Manager* é a maior plataforma digital de *benchmarking* de energia e água para edifícios dos Estados Unidos. Ela prevê relatórios de desempenho, programas de etiquetagem energética e certificações ambientais. Com o consumo de energia anual e algumas características operacionais de qualquer edifício, ele atribui uma nota de 0 a 100, de acordo com a comparação com a base de dados. Como base para a realização da sua avaliação de indicadores ele utiliza os dados coletados por uma organização governamental nacional.

A U.S. EIA (*Energy Information Administration*) executa uma pesquisa por meio da CBECS - *Commercial Building Energy Consumption Survey* que ocorre periodicamente, sendo os últimos dados disponíveis os da pesquisa versão 2012. A pesquisa versão 2018 já foi realizada, porém os dados ainda estão sendo compilados pela organização para a geração do benchmarking e ainda não se encontram disponíveis.

Neste capítulo, descrevemos qual o método por trás da criação dos indicadores, qual banco de dados é utilizado, qual o processo de levantamento e coleta de informações e eventuais correções que se fazem necessárias.

2.4.1 Indicador do *benchmarking*

O método aplicado no *benchmarking* discutido aplica-se a escritórios, agências bancárias e edifícios judiciais como tribunais. O objetivo deste *benchmarking* é fornecer uma pontuação precisa do desempenho energético do edifício em comparação com os seus pares, levando-se em consideração a localização, o clima e as atividades de negócio. Para identificar os aspectos da atividade de negócio que afetam significativamente o consumo de energia e normaliza esses fatores, uma análise estatística foi executada. O resultado dessa análise é uma equação que vai prever o consumo de energia de uma propriedade. O consumo previsto é, então, comparado com o consumo real para gerar uma pontuação ranqueada de 1 a 100, relativa à população nacional.

As variáveis dependentes, ou indicador, final que é utilizado para gerar o *ranking* é a intensidade de uso de energia EUI, assim como no primeiro caso estudado, a quantidade de consumo é dividida pela área total construída.

As variáveis independentes que impactam na definição da variável acima, incluem as seguintes:

Tabela 3 - Variáveis utilizadas.

Variável	Unidades
Área total construída	sqft
Quantidade de andares	#
Quantidade de elevadores	#
Quantidade de escadas-rolantes	#
Praça de alimentação	
Meses de uso	
Abertura em finais de semana	
Total de horas de operação durante a semana	
Número de colaboradores	#
Energia utilizada para cozinhar	kWh
Energia utilizada para produção	kWh
Percentual de aquecimento	%
Percentual de resfriamento	%
Fast food ou pequeno restaurante	
Cafeteria ou grande restaurante	
Cozinha popular ou comercial	
Área de cozinha	sqft
Lounge ou área de descanso para os colaboradores	sqft
Outras áreas de preparação de comida	sqft
Equipamentos de laboratório	
Maquinários	
Piscina interna	
Aquecimento de piscina	
Quantidade de unidades de resfriamento	#
Quantidade de máquinas de vendas de alimento	#
Quantidade de fazedores de gelo	#
Quantidade de computadores	#
Quantidade de <i>laptops</i>	#
Quantidade de impressoras	#
Quantidade de servidores	#
Quantidade de aparelhos de televisão	#
Quantidade de caixas registradoras	#
Quantidade de fotocopiadoras	#
Graus de aquecimento diário (base 18 °C)	°F
Graus de resfriamento diário (base 18 °C)	°F

Fonte: Adaptado de Relatório Final de Benchmarking de escritórios corporativos de Desempenho Energético Operacional em edificações

Essas variáveis foram analisadas e agrupadas entre si. Após múltiplas regressões lineares uma equação foi estruturada para criar um algoritmo estatístico que representa as principais características operacionais que explicam o consumo energético:

$Predicted\ EUI = Co + CoSqft + ConComp + CoHours + CoWork + CoHDD + CoCDD$
(Equação 5)

Onde:

Co = Constante definida

$CoSqft$ = Logaritmo natural da área construída real menos a mediana de área construída multiplicado pelo coeficiente de área construída não padronizado⁶.

$ConComp$ = número de computadores a cada 1000 pés quadrados menos a mediana de número de computadores por 1000 pés quadrados multiplicado pelo coeficiente de quantidade de computadores não padronizado

$CoHours$ = Logaritmo natural de horas de operação real menos a mediana de área construída multiplicado pelo coeficiente de horas de operação não padronizado.

$CoWork$ = Logaritmo natural de quantidade de colaboradores real menos a mediana de quantidade de colaboradores multiplicado pelo coeficiente de quantidade de colaboradores não padronizado.

$CoHDD$ = Total de graus de aquecimento diário menos a mediana de graus de aquecimento multiplicado pelo coeficiente de graus de aquecimento diário.

$CoCDD$ = Total de graus de resfriamento diário menos a mediana de graus de resfriamento multiplicado pelo coeficiente de graus de resfriamento diário.

$Predicted\ EUI$ = *Energy Use Intensity* esperado.

Para determinação dos coeficientes, deve-se utilizar a tabela 4 abaixo:

⁶ Coeficiente não padronizado é o coeficiente não normalizado identificado através do algoritmo não normalizado representando o impacto de cada variável na operação do edifício.

Tabela 4 - Tabela de determinação de coeficientes.

Variável	Coeficiente não padronizado	Mediana
Co	143,10	-
Área	0,0006768	12342
Quantidade de computadores	10,13	3,028
Horas de operação	0,6130	54,09
Quantidade de colaboradores	15,19	2,056
Percentual de resfriamento	4,529	6,332
Percentual de aquecimento	4,529	6,332

Fonte: Adaptado de Relatório Final de Benchmarking de escritórios corporativos de Desempenho Energético Operacional em edificações

Então, juntando as definições da tabela 4 com a equação definida acima, tem-se:

$$Co = 143,1$$

$$CoSqft = (\ln (\text{Área construída}) - 12.342).0,0006768$$

$$ConComp = ((n^\circ \text{ de computadores}/1000sqft) - 3.028).10,13$$

$$CoHours = (\ln (\text{Quantidade de horas de operação}) - 54,09).0,6130$$

$$CoWork = (\ln (\text{Quantidade de colaboradores}/1000sqft) - 2.056).15,90$$

$$CoHDD = CoCDD = (\text{Quantidade de graus de resfriamento diário} - 6.332).4,529$$

Esse valor resultará no EUI (*Energy Use Intensity*) previsto que será utilizado na equação abaixo para definição da taxa de eficiência energética:

$$\text{Energy Efficiency Ratio} = \frac{\text{Actual Source EUI}}{\text{Predicted Source EUI}} \text{ (Equação 6)}$$

Sendo:

Energy Efficiency Ratio = Taxa de eficiência energética

Actual Source EUI = *Energy Use Intensity* real

Predicted Source EUI = *Energy Use Intensity* previsto

Por fim, a taxa de eficiência energética obtida deve ser utilizada na Tabela 5 para se determinar a pontuação final entre 1 e 100.

Tabela 5 - Relação taxa de eficiência energética/pontuação.

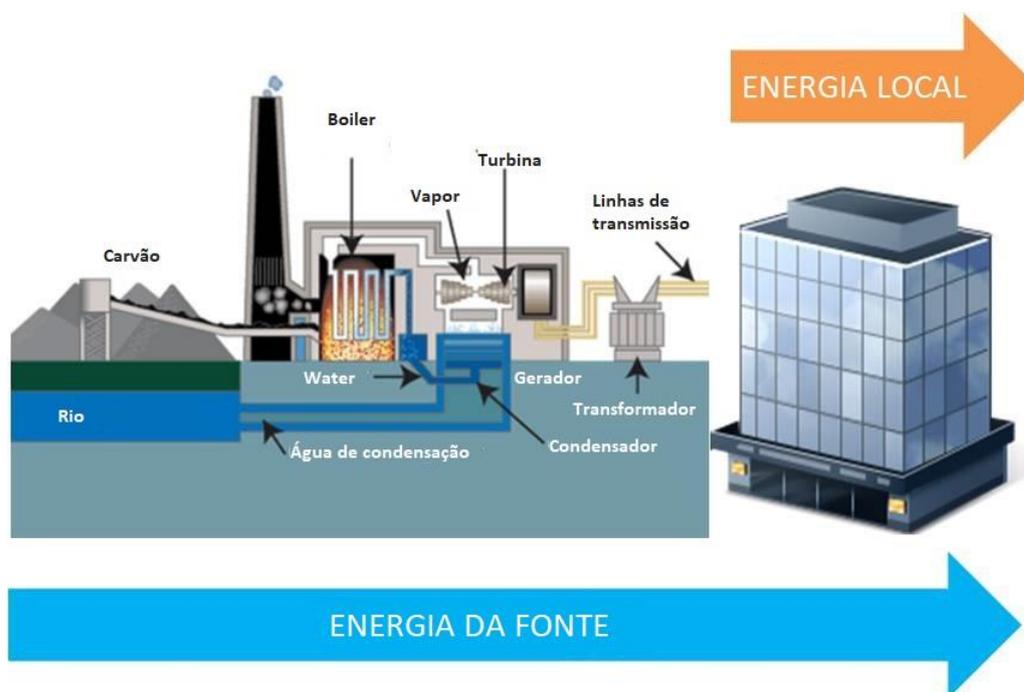
Pontuação Energy Star	Taxa de eficiência energética		Pontuação Energy Star	Taxa de eficiência energética	
	>=	<		>=	<
100	0,0000	0,1932	50	0,8586	0,8697
99	0,1932	0,2384	49	0,8697	0,8810
98	0,2384	0,2708	48	0,8810	0,8924
97	0,2708	0,2973	47	0,8924	0,9039
96	0,2973	0,3202	46	0,9039	0,9155
95	0,3202	0,3407	45	0,9155	0,9273
94	0,3407	0,3595	44	0,9273	0,9392
93	0,3595	0,3769	43	0,9392	0,9513
92	0,3769	0,3932	42	0,9513	0,9636
91	0,3932	0,4087	41	0,9636	0,9760
90	0,4087	0,4234	40	0,9760	0,9886
89	0,4234	0,4376	39	0,9886	1,0014
88	0,4376	0,4513	38	1,0014	1,0144
87	0,4513	0,4646	37	1,0144	1,0277
86	0,4646	0,4774	36	1,0277	1,0411
85	0,4774	0,4900	35	1,0411	1,0549
84	0,4900	0,5022	34	1,0549	1,0689
83	0,5022	0,5142	33	1,0689	1,0833
82	0,5142	0,5260	32	1,0833	1,0979
81	0,5260	0,5376	31	1,0979	1,1129
80	0,5376	0,5490	30	1,1129	1,1282
79	0,5490	0,5603	29	1,1282	1,1440
78	0,5603	0,5714	28	1,1440	1,1601
77	0,5714	0,5824	27	1,1601	1,1767
76	0,5824	0,5933	26	1,1767	1,1939
75	0,5933	0,6041	25	1,1939	1,2115
74	0,6041	0,6148	24	1,2115	1,2297
73	0,6148	0,6255	23	1,2297	1,2486
72	0,6255	0,6361	22	1,2486	1,2681
71	0,6361	0,6466	21	1,2681	1,2884
70	0,6466	0,6571	20	1,2884	1,3096
69	0,6571	0,6676	19	1,3096	1,3317
68	0,6676	0,6780	18	1,3317	1,3548
67	0,6780	0,6884	17	1,3548	1,3791
66	0,6884	0,6989	16	1,3791	1,4047
65	0,6989	0,7093	15	1,4047	1,4318
64	0,7093	0,7197	14	1,4318	1,4606
63	0,7197	0,7301	13	1,4606	1,4913
62	0,7301	0,7406	12	1,4913	1,5244
61	0,7406	0,7511	11	1,5244	1,5502
60	0,7511	0,7616	10	1,5502	1,5994
59	0,7616	0,7721	9	1,5994	1,6426
58	0,7721	0,7827	8	1,6426	1,6910
57	0,7827	0,7933	7	1,6910	1,7461
56	0,7933	0,8040	6	1,7461	1,8104
55	0,8040	0,8148	5	1,8104	1,8877
54	0,8148	0,8256	4	1,8877	1,9855
53	0,8256	0,8665	3	1,9855	2,1205
52	0,8665	0,8475	2	2,1205	2,3444
51	0,8475	0,8586	1	2,3444	>2,3444

Fonte: Adaptado de Relatório Final de Benchmarking de escritórios corporativos de Desempenho Energético Operacional em edificações.

O algoritmo mostrado possui coeficiente de determinação (R^2) de 0.2200, indicando que esta equação explica 22% da variação da Intensidade de Uso de Energia dos edifícios. Porém, como a estrutura está feita de forma que a área é a variável dependente, o peso da área construída como relação ao consumo de energia não está incluído. Quando se inclui na avaliação o peso da área construída, o R^2 da equação sobe para 64,84% o que é um excelente resultado para um modelo estatístico.

Outra importante especificidade deste benchmarking é que ele contabiliza o que é definido como “*Source Energy Use Intensity*” (ou Intensidade do Uso de Energia da Fonte) e “*Site Use Intensity*” (ou Intensidade do Uso de Energia do Local). Toda a equação é prevista para fornecer o primeiro, que é toda a energia utilizada, não apenas dentro do edifício, mas também na produção, transmissão e distribuição da energia. Isso é particularmente útil para os Estados Unidos onde a energia costuma ser proveniente de diferentes fontes como gás natural, carvão e hidrelétricas, pois estas diferentes fontes não produzirão os mesmos impactos. Outro ponto em que se faz necessária essa separação é na avaliação de emissões de gases de efeito estufa, pois cada fonte energética possui um diferente fator de emissão.

Figura 3 – Diferença entre *source* e *site energy*.



Fonte: Adaptado de Results from EIA's 2012 Commercial Buildings Energy Consumption Survey (2015)

2.4.2 Levantamento dos dados

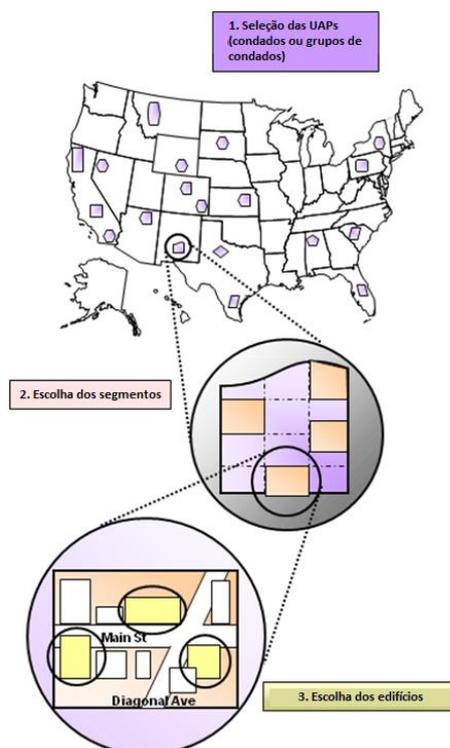
A coleta de dados da pesquisa de 2012 aconteceu entre abril e novembro de 2013 coletando dados referentes ao ano de 2012, com o objetivo de fornecer informações estatísticas sobre o consumo energético de edifícios comerciais dos Estados Unidos, assim como características relacionadas à energia destes edifícios.

A pesquisa estimou que existiam 5.6 milhões de edifícios comerciais nos Estados Unidos em 2012. Devido a impraticabilidade de custo e do processo de se realizar a pesquisa em todos os edifícios, uma amostra estatística foi estabelecida para representar o total da população. A amostra final foi de pouco mais de 8.700 edifícios comerciais entrevistados (um aumento de 28% em relação ao número da pesquisa anterior). Uma equipe devidamente treinada conduziu entrevistas com proprietários, gestores e equipes de operação de cada edifício.

Para que a amostra seja estatisticamente válida e produza resultados precisos sobre o total dos edifícios comerciais, cada edifício deve possuir apenas uma chance de ser selecionado na amostra. Para isso, é preciso que seja criada uma estrutura ou lista de todos os edifícios comerciais existentes. Essa lista é formada por áreas geográficas especificamente selecionadas, as quais a equipe se dirigiu presencialmente aos locais e coletou informações de todos os edifícios comerciais presentes. Desta forma, se garante que todos os tipos e os tamanhos de edifícios comerciais tenham uma chance de serem selecionados.

A estrutura principal foi criada em 2003 e é formada por 687 áreas geográficas do país que são chamadas de UAP (Unidades Amostrais Primárias) que seriam comparáveis ao que é denominado condado, ou grupo de condados. Dessas áreas, foram selecionadas 108 unidades que foram, então, segmentadas em “unidades amostrais secundárias” (UAS), totalizando 7031 quarteirões. Finalmente, a equipe de pesquisa de campo (chamados *listers*) visitaram presencialmente a pé ou dirigindo por todos estes quarteirões e anotando nome, endereço e outras informações descritivas de todos os edifícios comerciais localizados nos limites definidos. Houve cerca de 140,000 edifícios listados na estrutura de 2003.

Figura 4 – Criação das unidades amostrais.



Fonte: Adaptado de Results from EIA's 2012 Commercial Buildings Energy Consumption Survey (2015)

É desejável que exista uma proporção maior de edifícios grandes do que edifícios menores, devido à quantidade relativamente maior de fontes de energia que são utilizadas nesses edifícios. Porém, foi identificado que a amostra adquirida não foi suficiente para prover uma mistura eficiente de edifícios grandes e pequenas que garantisse uma quantidade adequada de edifícios grandes.

Para compensar essa ineficiência da estrutura, listas especiais foram adquiridas para aumentar essa quantidade. A EIA comprou e obteve cinco listas de base de dados de organizações como agências governamentais e associações de aquisições e as processou com o propósito de amostragem. Existia a possibilidade de que um edifício poder estar em mais de uma das estruturas, portanto foi feito um processo de identificação e “de-duplicação” das estruturas para garantir que cada edifício tivesse apenas uma chance de seleção. Depois dessa manipulação dos dados, a compilação das listas foi suficiente para cobrir o objetivo.

A estrutura e listas criadas em 2003 serviram de base para a estrutura aplicada em 2012. Devido ao alto custo e tempo necessário para desenvolver uma nova lista, a EIA não cria uma estrutura para cada pesquisa (antes de 2003, a última criação de estrutura havia sido em 1986). No entanto, é essencial incluir novos edifícios na amostragem, pois edifícios recentemente construídos usam a energia de forma diferente daqueles edifícios mais antigos, devido à atualização de novas tecnologias e padrões de construção.

A atualização da estrutura foi feita com a obtenção da versão mais recente de cada lista e substituição da versão anterior. Já para a atualização da estrutura por meio das visitas presenciais, foram selecionadas 50 unidades amostrais secundárias de 2003 e os *listers* visitaram esses locais pessoalmente para atualizar a estrutura adicionando os edifícios que não apareciam na estrutura de 2003. Esses novos edifícios foram considerados então proporcionalmente adequados para que a amostra fosse representativa. O trabalho de campo ocorreu entre setembro e outubro de 2012.

Após a definição da amostragem a pesquisa foi conduzida em duas etapas: uma pesquisa com os edifícios e uma pesquisa com as concessionárias de energia. A pesquisa com os edifícios foi feita por entrevistas voluntárias com os proprietários, gestores ou locatários dos edifícios. Em 2012, esses dados foram coletados usando técnicas computacionais de assistência às entrevistas, tanto pessoalmente quanto por telefone. Caso não houvesse resposta da pesquisa voluntária ou se os valores estivessem muito fora do esperado, a concessionária era então acionada para fornecer as informações de energia.

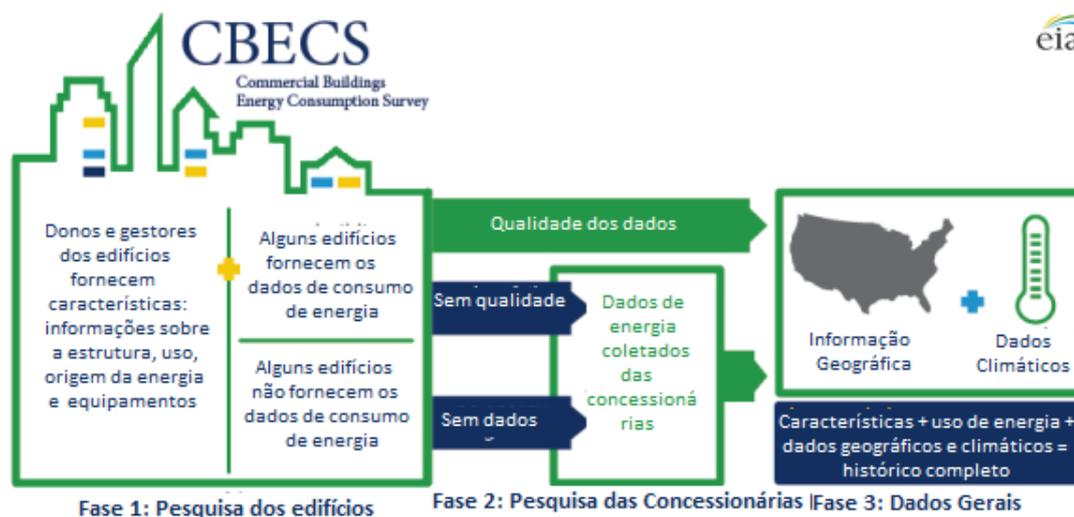
Durante as entrevistas, os respondentes eram questionados sobre questões como o tamanho do edifício, o uso do edifício, os tipos de equipamentos instalados e as medidas de eficiência energética executadas, os tipos de fontes utilizadas, e a quantidade e custo do total de energia utilizada durante o ano de 2012.

Após a finalização das pesquisas, as concessionárias eram acionadas para obter os dados sobre o consumo dos edifícios que não forneceram respostas adequadas.

Adicionalmente, aos dados coletados das duas etapas, o arquivo final foi ainda incrementado com informações geográficas conhecidas do Census realizado e com dados climáticos adquiridos da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Temperaturas máximas e mínimas diárias eram usadas para calcular o grau

de resfriamento diário ou *Cooling Degree Days* (CDD) e grau de aquecimento diário ou *Heating Degree Days* (HDD) de cada região.

Figura 5 – Processo de pesquisa CBECS.



Fonte: Adaptado de Results from EIA's 2012 Commercial Buildings Energy Consumption Survey (2015)

A elegibilidade de um edifício na participação da pesquisa se referia a três critérios: (1) definição de edifício, (2) uso do edifício e (3) tamanho do edifício.

Para o primeiro critério, a definição de edifício é uma estrutura para acesso humano, totalmente enclausurada por paredes da fundação ao telhado. Portanto, estruturas como torres de televisão, água e rádio estão excluídas da pesquisa. Também estão excluídas: estruturas parcialmente abertas, como estátuas, monumentos, torres de resfriamento etc. Há apenas uma exceção para a definição que são estruturas construídas acima de pilares de forma que o primeiro nível seja aberto sem fechamento de paredes.

Para ser incluído na CBECS, um edifício deve ter como objetivo do seu uso primário a atividade comercial, ou seja, mais de 50% da área construída do edifício deve ser dedicada às atividades que não sejam, residenciais, industriais ou agrícolas.

Finalmente, o edifício comercial deve medir mais dos 1.000 pés quadrados para ser considerado no escopo. Este critério é aplicado na fase de entrevistas, quando qualquer edifício com uma área menor do que a definida deve ser reportada.

Os critérios são aplicados como filtros nas três diferentes etapas do processo da pesquisa, no desenvolvimento da estrutura amostral, na visita de campo e nas entrevistas com os respondentes.

A preparação para a coleta de dados começa pelo menos um ano antes da fase de entrevistas e engloba diversas tarefas, incluindo a criação e a testagem do questionário aplicado, assim como o treinamento dos entrevistadores.

Uma plataforma de assistência à criação de questionários foi utilizada pela EIA (Blaise software). As perguntas realizadas mantiveram-se muito próximas as que eram feitas nas pesquisas anteriores e o objetivo das atualizações foi esclarecer questões para facilitar o esforço de entendimento dos respondentes ou acomodar novas necessidades de informações. Como exemplo, foram removidas questões como aquelas referentes à quantidade de lâmpadas fluorescentes e adicionadas questões sobre medições inteligentes.

A testagem foi feita focada no propósito do entendimento das novas questões. Um membro da equipe de desenvolvimento de pesquisa realizou partes da pesquisa com respondentes para coleta de *feedbacks* construtivos sobre os conceitos das novas questões. Para garantir que os respondentes dos testes não iriam participar da pesquisa real, foram utilizadas localizações diferentes daquelas áreas selecionadas na estrutura amostral da pesquisa.

Os entrevistadores participaram de um processo de quatro sessões de treinamento. A primeira sendo uma sessão de duração de quatro dias para os supervisores regionais realizada em março de 2013, duas sessões de quatro dias para os grupos de entrevistados realizada em abril de 2013 e um treinamento adicional com duração de quatro dias em julho de 2013 quando se fez necessário adicionar entrevistadores extra ao processo.

Todos os entrevistadores receberam um material de estudo prévio ao treinamento com apresentações em Powerpoint, vídeos e sessões onde os entrevistadores poderiam praticar entre si a realização do questionário. Muitos dos entrevistadores já possuíam experiência trabalhando com questionários, porém cerca de 25% deles não tinham experiência e requereram um treinamento de técnicas gerais de entrevista e pesquisa.

Houve cerca de oito classes com uma média de quinze entrevistadores por classe. Cada classe foi conduzida por um funcionário contratado que apoiou a instrução dos cursos.

As entrevistas iniciaram-se logo após as entrevistas em abril de 2013 e terminou em novembro de 2013. Cerca de 250 entrevistadores em todo os Estados Unidos sob a supervisão de 17 coordenadores e 3 gerentes regionais realizaram o serviço.

Um material introdutório foi fornecido previamente para os respondentes para entender o objetivo das entrevistas. Este material continha cartas do *U.S DoE Department of Energy* explicando detalhadamente o estudo e as etapas necessárias, um caderno com as questões frequentes respondidas e ilustrações de coletas anteriores, uma lista de 51 organizações endossando a pesquisa CBECS 2012, um formulário de autorização para a liberação dos dados das concessionárias, e um formulário para ser pre-preenchido até a entrevista.

A entrevista, por telefone ou pessoalmente, consistia nas seguintes questões:

- Características físicas do edifício, como tamanho, uso e ano construído;
- Padrões de uso como horas de operação, número de colaboradores e ocupação;
- Tipos de equipamentos instalado como aquecedores, condicionadores, refrigeração, iluminação e equipamentos de escritório;
- Medidas e práticas de eficiência energética adotadas;
- Diferentes tipos de fontes energéticas utilizadas;
- Total de custos na aquisição da energia.

Figura 6 – Modelo de formulário utilizado nas entrevistas.

Service address:
111 Elm St.
Anytown, US 12345

Account number:
Entire Building

2018 CBECS District Energy Usage

Please provide information on district steam/hot water usage for this service address between *November 2017* and *February 2019*.

Billing period	Enter the begin date for each billing period MM/DD/YY	Enter the end date for each billing period MM/DD/YY	Enter the amount used in <input type="radio"/> Million BTU <input type="radio"/> Thousand pounds <input type="radio"/> Pounds <input type="radio"/> Other (specify): _____ XXXX	Enter the total dollar amount including taxes (exclude merchandise and repair costs, hook-up, disconnect, and late-payment fees) \$XXX.XX
1				
2				
3				

Fonte: Results from EIA's 2012 Commercial Buildings Energy Consumption Survey (2015)

O tempo médio para a realização da entrevista foi de 41 minutos. Na média, cerca de nove tentativas de contato foram necessárias para se obter uma entrevista.

Com a permissão da realização de entrevistas por telefone, foi criado um guia para a definição da adequação de candidatos para a utilização deste método. Candidatos com alta possibilidade de realização por telefone incluíam: respondentes ocupados que preferiam realizar a entrevista em várias sessões em diferentes dias, respondentes em localizações que exigiam um grande número de viagens, respondentes que frequentemente adiavam ou cancelavam agendamentos e respondentes que não possuíam uma estrutura local adequada para o entrevistador se acomodar com o laptop e outros materiais. Cerca de um quarto de todas as entrevistas foram realizadas pelo telefone.

A ferramenta de assistência a entrevistas gravou todas as conduções realizadas pelos entrevistadores que permitiam a validação posterior dos dados informados. Os entrevistados deveriam concordar com a gravação das respostas. Cerca de 10% das entrevistas foram revisadas pelos coordenadores para garantir a execução corretas

das mesmas. Os entrevistadores não foram informados quais entrevistas seriam revisadas.

Os supervisores também revisavam, semanalmente, por meio de chamadas e reuniões junto com os entrevistadores casos especiais e pendências. Apesar dos esforços, houve um total de 3.593 não respondentes à pesquisa, seja por vontade do respondente ou por não possibilidade de contato. O índice de respostas final foi de 70,3%.

2.5 Benchmarking do Global Real Estate Sustainability Report

O outro *benchmarking* que irá ser avaliado é o fornecido pelo *Global Real Estate Sustainability Benchmarking* (GRESB). Esta é uma organização europeia que avalia ativos de fundos imobiliários mundialmente para a geração de uma pontuação de desempenho energética. A pesquisa do GRESB é o mais consolidado padrão global de benchmarking e relatório ambiental, social e de governança ou *Environmental, Social and Governance* (ESG) e é realizada anualmente. O consumo energético não é o único insumo avaliado nessa pesquisa, porém, é o que iremos focar neste trabalho. Ele fornece aos investidores informações e ferramentas para monitorar os riscos e oportunidades dos seus investimentos e dentro dessas dezenas indicadores, existe um indicador de monitoramento de desempenho energética.

2.5.1 Indicador do *benchmarking*

O método aplicado no benchmarking GRESB é o mais simples dos modelos estudados. A plataforma possui alcance global, realizando um benchmarking continental. São coletados dados de mais de 7500 edifícios, preenchidos pelos próprios usuários. O objetivo principal deste benchmarking, não é exclusivamente o consumo de energia como nos outros dois casos estudados, mas uma avaliação ampla de ESG, portanto não existe nenhum algoritmo específico criado para a avaliação comparativa energética. São utilizadas apenas três informações primárias que são, consumo anual de energia, área total construída e ocupação média anual. Com essas três variáveis a intensidade de uso de energia é calculada conforme a equação:

$$\text{Intensidade de Uso de Energia} = \frac{\text{Consumo de Energia Anual}}{(\text{Área Construída} \cdot \text{Ocup. Média Anual})} \text{ (Equação 7)}$$

Onde:

Consumo de Energia Anual = Soma de todo o consumo de energia utilizado no edifício durante o ano em kilowatt hora.

Área Construída = Área total construída em metros quadrados.

Ocup. Média Anual = Ocupação média durante o período de doze meses.

Intensidade de Uso de Energia = Indicador apresentado como resultado em kWh/m².

O indicador é apresentado em seu valor bruto, sem nenhum tipo de normalização ou racionalização.

Para uma comparação adequada, é estabelecido um mínimo de pelo menos seis edifícios considerados similares, isto é, mesmo país e mesmo tipo de uso, e então o benchmarking é gerado com um ranqueamento dos edifícios da menor intensidade de uso de energia, para a maior.

2.5.2 Levantamento dos dados

Os dados são fornecidos pelos usuários da plataforma por meio de um preenchimento de campos específicos no portal. Existe uma validação automática que informa o usuário quando existe um dado 20% acima ou abaixo dos valores esperado ou com caracteres que não fazem sentido para aquele dado. Ex. letras no campo de número.

O usuário pode realizar o preenchimento diretamente na plataforma, como mostra a Figura 6, ou por meio de uma planilha em formato Excel, que é posteriormente carregada na plataforma. Todos os documentos e a plataforma estão disponíveis apenas no idioma inglês.

Figura 7 - Formulário do benchmarking GRESB.



G R E S B

Energy 2018 **2019**

Data Availability

From (in reporting year) To (in reporting year)

Energy Consumption

		Consumption (kWh)	Floor Area Covered (m ²)
Whole Building	Fuels	<input type="text" value="1522476,0"/>	<input type="text" value="36186,0"/>
	District Heating & Cooling	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	Electricity	<input type="text" value="11452043,0"/>	<input type="text" value="36186,0"/>

Fonte: Retirado de GRESB Portal (2020)

Existe também uma checagem lógica com um conjunto de regras de validação implementadas para verificação dos relacionamentos entre diferentes campos de preenchimento. A partir das informações fornecidas, um modelo estatístico é criado para definir os pontos atípicos que possuem valores atípicos⁷ que são indicados para o usuário desenvolver uma explicação do motivo. Esses valores caracterizados como *outliers* não são incluídos no benchmarking.

Em 2019, foram enviadas as informações de 7.661 escritórios ao longo de 64 países, como mostrado na Figura 7 e a média da intensidade de uso de energia foi de 204 kWh/m².

⁷ Foram definidos como valores atípicos valores que eram maiores ou menores em até 50% da média esperada para o indicador.

Figura 8 – Quantidade de participantes por tipologia.



Fonte: Adaptado de 2019 GRESB Real Estate Results (2020)

2.6 Análise Comparativa dos Métodos de Benchmarking

Nesta seção vamos fazer uma análise comparativa dos três modelos descritos, especificando as vantagens de cada um, em três diferentes aspectos. O primeiro sendo a coleta de dados, incluindo não apenas o tamanho da base, mas também a qualidade das informações adquiridas e utilizadas, o segundo sendo o indicador utilizado na avaliação e por fim, a frequência com que as atualizações são feitas para geração do indicador.

No próximo capítulo, serão analisados comparativamente os processos descritos e estabelecer uma proposta de unificação para que seja criado um benchmarking com um grau de assertividade adequado e viável tecnicamente para utilização em diversas regiões. Também será aplicado um exemplo de um caso real na metodologia proposta, para confirmação da viabilidade técnica do algoritmo proposto.

2.5.1 Coletas de dados

A coleta de dados é feita de maneira bem distinta nos três modelos estudados. Os métodos serão descritos brevemente e a Tabela 6 resumirá todos os aspectos avaliados de forma visual.

No terceiro modelo, referente ao GRESB, aplica-se uma coleta de amplo alcance com informações de mais de 7500 edifícios coletados por ano. Apesar disso, a coleta é feita de maneira bem generalista, sem qualquer aprofundamento nas características de estrutura e operacionais dos edifícios, sendo a informação providenciada pelo usuário e a sua validação feita apenas de forma automática. Possui, assim, uma baixa

confiabilidade dos dados, porém devido ao amplo alcance, tamanho da amostra e baixa especificidade do benchmarking em relação à energia, faz sentido para o propósito que é utilizado. Os dados coletados são atualizados anualmente.

Já o benchmarking realizado nos Estados Unidos pela Energy Star, possui uma amostra bem menor do que da avaliação GRESB em números absolutos, com 1.012 edifícios, porém enquanto o primeiro atende todos os 6 continentes, o segundo é feito apenas nos Estados Unidos. Comparativamente, temos a cobertura de quantidade de edifícios avaliados por área de extensão, mostrada na tabela 5, que demonstra que o benchmarking dos Estados Unidos cobre uma área maior do que os seus concorrentes quando normalizado por área.

Tabela 6 - Índice de amostrabilidade

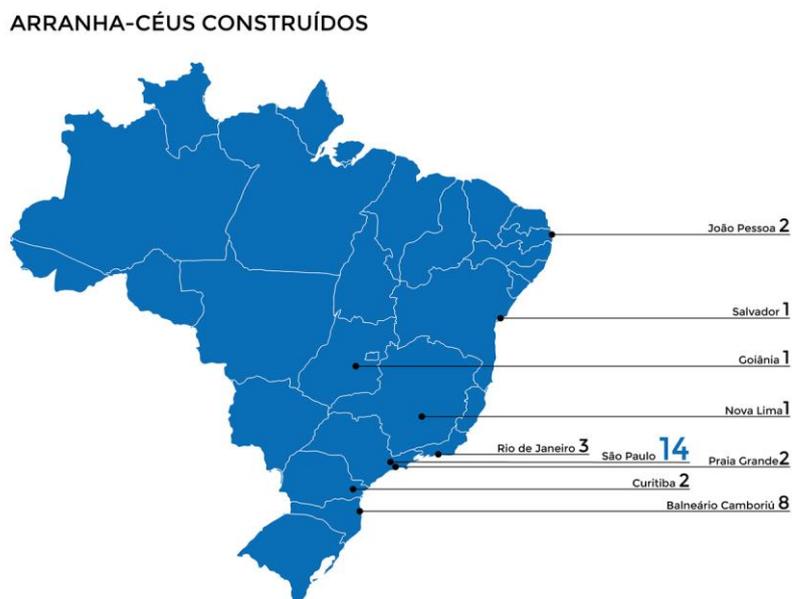
Benchmarking	Tamanho da amostra	Localidade estudada	Extensão de terra (km ²)	Amostrabilidade (amostras/1000.km ²)
CBCS	414	Brasil	8.516.000	0,0486
Portfolio Manager	1.012	Estados Unidos da América	9.834.000	0,1029
GRESB	7.661	Mundo	148.900.000	0,0515

Foi criado um indicador que avalia a quantidade de edifícios por extensão de terra, porém o ideal seria uma avaliação por quantidade de edifícios comerciais, porém por falta de meios para adquirir essa informação de forma acurada, a extensão de terra é uma alternativa também viável. Além da maior cobertura, o método aplicado na coleta de informações, que conta com diversas fases de confirmação dos dados, visitas ao local e entrevistadores treinados, garante que a confiabilidade desses dados seja classificada como alta. Devido a esse esforço a frequência de atualização dessa base de dados chega até 5 anos.

O benchmarking nacional brasileiro apresenta menos edifícios, além disso, separados em coletas simples e coletas detalhadas, com grande parte do seu portfolio pertencente aos estados da região do Sudeste. Ao contrário do benchmarking do Energy Star onde existe uma distribuição geográfica para a realização da modelagem que garante um benchmarking adequado para qualquer região do país, isso não ocorre no Brasil, porém isso é devido à baixa distribuição de edifícios pelo país que em sua maioria, estão situados na região sudeste, como pode ser visto na figura 10, que mostra em um levantamento da plataforma *The Skyscraper Center* a quantidade

de arranha céus⁸ construídos no país, com a região sudeste concentrando 58% do total.

Figura 9 – Arranha céus construídos no Brasil.



Fonte: Archdaily (2019)

Portanto, apesar da baixa distribuição geográfica, o levantamento é adequado para o ecossistema do Brasil, o levantamento foi feito através de um processo misto quanto à quantidade de informações levantadas e ocorrendo visitas à alguns edifícios para confirmação dos dados. Todos os métodos foram aferidos e verificados por equipe especializada, portanto o grau de precisão das informações pode ser considerado alto. Não houve, até o momento, nenhuma divulgação de prazo para atualização do benchmarking nacional, portanto não existe frequência de atualização definida.

2.6.2 Indicadores do *Benchmarking*

Em relação aos critérios avaliados, podemos fundamentalmente definir a comparação entre o benchmarking CBCS e o benchmarking Portfolio Manager, pois são significativamente mais detalhados do que o aplicado pelo GRESB, onde existe

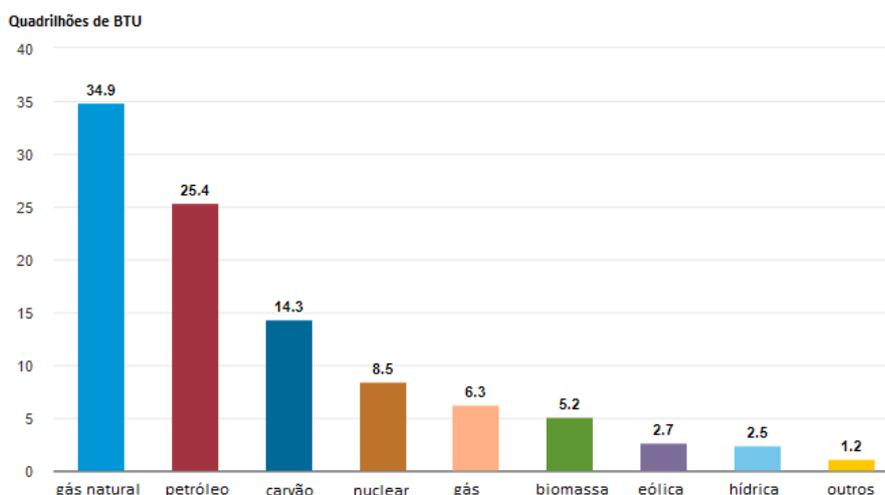
⁸ Arranha céus são caracterizados como edifícios que possuem mais que 150m² de altura.

apenas uma normalização em cima da ocupação, sem qualquer modelagem algorítmica.

No benchmarking europeu o indicador é apresentado em sua forma bruta, a matriz energética não é levada em conta e não há qualquer tipo de algoritmo específico criado além da normalização pela área construída.

O algoritmo criado possui avaliação do impacto de 35 variáveis referentes à operação e a estrutura do edifício e é apresentado de forma normalizada numa pontuação de 1-100 o que facilita o entendimento para os leigos. E por fim, a avaliação ainda é feita de forma que a matriz energética envolvida é levada em conta, o que especialmente útil num país como Estados Unidos que possui uma grande variedade de fontes energéticas como mostrado na Figura 10.

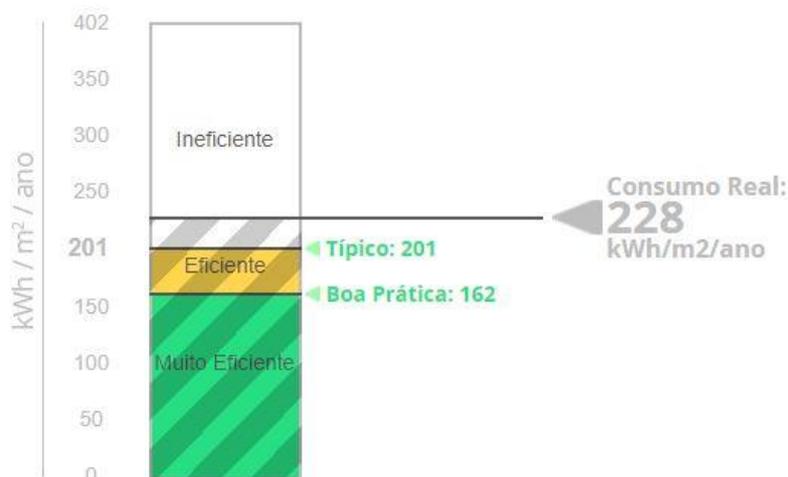
Figura 10 - Matriz Energética dos Estados Unidos.



Fonte: *Monthly Energy Review, EIA (2020)*

No *benchmarking* brasileiro assim como o americano possuiu um algoritmo com até 35 variáveis sendo avaliadas, porém não é levada em conta a matriz energética do local, mas apenas o consumo do edifício. O valor do indicador é apresentado ao usuário de forma gráfica com valores esperados, o que permite simples entendimento aos leigos e novos usuários.

Figura 11 - Exemplo do indicador CBCS.



Fonte: Plataforma de Cálculo Benchmarking CBCS (2020)

2.7 Resumo do capítulo

Neste capítulo, o leitor foi introduzido aos conceitos de *benchmarking* e seus objetivos. Este capítulo também resumiu os três benchmarkings objeto deste trabalho.

Foi possível observar as grandes diferenças entre eles e os motivos por trás destas diferenças. É importante notar que esses benchmarkings não possuem o mesmo objetivo, portanto é compreensível que não realizem os mesmos processos.

Todos os critérios discutidos ao longo deste capítulo, podem ser vistos na Tabela 7, que resume e compara os três benchmarkings avaliados.

Tabela 7 – Resumo comparativo dos métodos de avaliação

Critério	CBCS	Energy Star	GRESB
Tamanho da amostra	249 - Simples 157 - Detalhados 8 - Auditorias	1012	7661
Grau de confiabilidade	Alto	Alto	Baixo
Quantidade de variáveis	35	35	1
Apresentação do indicador	Não Eficiente/Eficiente /Muito Eficiente	Ranking 1 - 100	(kW/m²)
Objeto de avaliação	Edifício	Fonte	Edifício
Frequência de atualização	Não há	Aproximadamente 5 anos	Anual

No próximo capítulo, os critérios abordados na Tabela 7 serão avaliados para estabelecer uma proposta de unificação da forma como os fatores de cada método de

avaliação comparativa são utilizados para permitir a criação de um benchmarking com escalabilidade e assertividade.

3 PROPOSTA DE UNIFORMIZAÇÃO DOS INDICADORES

Neste capítulo, será feita a proposta de agrupamentos das características descritas nestas, e em outras, avaliações comparativas para que se tenha um processo uniforme globalmente e que se permita a comparação entre diferentes mercados.

3.1.1 Coleta de dados

A coleta de dados, como discutido neste trabalho, é o processo mais custoso e exaustivo na execução de um *benchmarking*, porém da mesma forma, é fundamental para a criação de um indicador adequado.

Visto como impraticável no momento um processo presencial e até mesmo por telefone em regiões continentais como no Brasil sem demandar um custo indisponível hoje neste segmento, a proposta inicial seria a implementação do processo similar ao *benchmarking* do GRESB, porém com algumas possíveis melhorias.

Hoje, neste *benchmarking*, o preenchimento fica a cargo do usuário, por meio de uma planilha *online*, para permitir a escalabilidade do processo e um aumento no número de edifícios avaliados, o que é essencial. A ideia seria manter esse processo, porém com a solicitação de outras informações, além de, apenas consumo, ocupação e área total.

Todas as variáveis englobadas nos primeiros processos e necessárias para a criação de um modelo algoritmo mais preciso, podem ser incluídas para preenchimento do usuário em uma página web. Com uma instrução detalhada, suporte aos usuários e treinamentos exemplificados online para a garantia de que os usuários estão preenchendo os dados corretamente como mencionado, o alcance e a acuracidade da pesquisa estariam garantidos.

De toda forma, com a escalabilidade alcançada e a expectativa do grande aumento no número de amostras, uma análise estatística permite que casos fora do padrão, seja por preenchimento inadequado ou outros fatores, sejam identificados e corrigidos, ou excluídos da base de dados.

Como exemplo do que poderia vir a ser um modelo de preenchimento para os usuários, podemos verificar a página do website desenvolvido pelo Conselho Brasileiro de Construção Sustentável para preenchimento do usuário e verificação do indicador de consumo energético do seu edifício na Figura 12.

Figura 12 - Preenchimento de informações em página web.

Dados de consumo

+ Período do cálculo

10/2019	09/2020
---------	---------

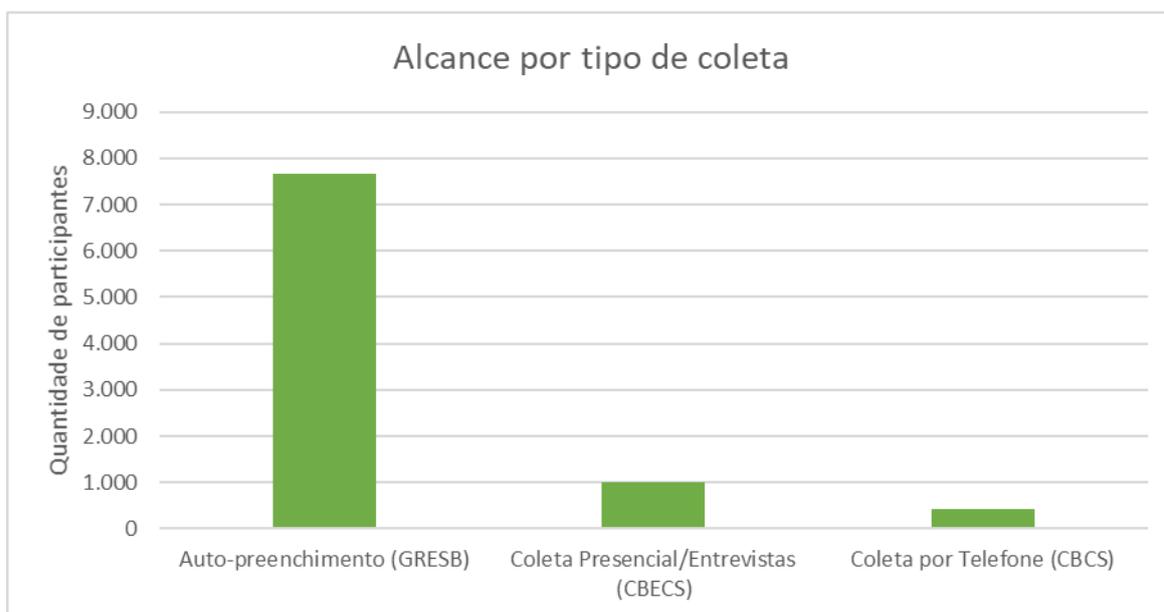
Consumo total de energia em kWh

+ Área útil condicionada m ²	m ²
+ Área de escritório m ²	m ²
+ Taxa de ocupação de 0 a 100%	%
+ N° de funcionários	
+ Área de estacionamentos m ²	m ²

Fonte: Plataforma de Cálculo Benchmarking CBCS (2020)

Este processo poderia ser replicado na fase inicial do *benchmarking*, no período de criação de banco de dados, e disponibilizado para os participantes voluntários, em conjunto com uma instrução detalhada. Como pode-se ver na Figura 13, nos métodos de avaliação estudados, o autopreenchimento apresenta resultados de participação até 7 vezes maiores do que coletas feitas presencialmente ou por telefone.

Figura 13 – Alcance por tipo de coleta



Outro ponto importante são as unidades que serão coletadas. Como essa proposta visa alcançar uma proporção global, é necessário que exista um banco interno de conversão de unidades que permite que as informações sejam inseridas na unidade que fizer mais bem sentido de acordo com a localização. Como exemplo, temos a Tabela 8.

Tabela 8 - Tabela de conversão unitária

Medida	centimetro quadrado	metro quadrado	polegada quadrada	pé quadrado
1 centímetro quadrado	1	1,00E-04	1,55E-01	1,08E+03
1 metro quadrado	1,00E+05	1	1,55E+03	1,08E+01
1 polegada quadrada	6,45E+00	6,45E-04	1	6,99E-03
1 pé quadrado	9,29E+02	9,29E-02	1,44E+02	1
1 acre	4,05E+07	4,05E+03	6,27E+06	4,36E+04
1 milha quadrado	2,59E+10	2,59E+06	4,01E+09	2,79E+07

Esses dados podem ser utilizados para criação do algoritmo que será discutido na seção 3.1.2.

3.1.2 Indicador do *benchmarking*

Nos critérios a serem avaliados, um modelo estatístico claramente definido e simulado faz-se necessário. Comparando os dois primeiros métodos, quais, temos dezenas de

variáveis, porém com o método de coleta escolhido, não seria possível de ter todas variáveis avaliadas, levando-se em conta que a coleta será inserida pelo usuário, que pode não possuir grande conhecimento técnico dos sistemas do edifício, não é possível utilizar variáveis muito específicas como feito nas coletas presenciais. O conhecimento do usuário restringe-se àquele da operação prática do edifício, sem aprofundamento técnico nos sistemas elétricos e de condicionamento.

Dessa forma, recomenda-se que sejam coletadas, minimamente as seguintes variáveis:

- Localização do edifício.
- Área total construída.
- Área total de estacionamento.
- Quantidade de andares.
- Quantidade de elevadores.
- Ocupação média dos últimos 12 meses.
- Consumo energético dos últimos 12 meses.
- Número médio mensal de usuários nos últimos 12 meses.
- Horas de operação semanais.

As variáveis selecionadas foram aquelas que são valores estáticos e estruturais, que estão descritas na documentação de projeto são facilmente coletados e identificados pelos proprietários e gestores dos edifícios, como quantidade de pavimentos e área total construída. Em complemento, algumas variáveis que possuem um comportamento variável ao longo do tempo são a ocupação, número de usuários e consumo energético do edifício e quantidade de horas de operação semanais, não são variáveis técnicas e qualquer usuário pode realizar este controle constante sem nenhum treinamento adicional necessário.

Duas variáveis adicionais devem fazer parte do indicador para representar o impacto da temperatura e umidade externa dos edifícios. São elas:

- Graus de resfriamento anuais.
- Graus de aquecimento anuais.

Graus de resfriamento e aquecimento anuais são uma medida que representa quão quente ou frio a temperatura externa foi num determinado local ao longo do ano. Ela é calculada através da soma ao longo do ano das diferenças de temperatura média diária do local específico para uma temperatura base que neste trabalho é estabelecida em 15 °C.

Essas informações podem ser coletadas através da localização do edifício que é a primeira variável inserida pelo usuário, e a partir dessa informação, deve ser identificada a estação meteorológica mais próxima de onde são extraídas as informações de temperatura externa para se chegar nas variáveis de graus de resfriamento e de aquecimento anuais.

A fórmula do indicador proposto utilizando as variáveis citadas acima seria:

$$E_{bench_unif} = c_0 + c_1 \cdot \frac{GHR}{1000} + c_2 \cdot \frac{A_{estac}}{A_{utilocup}} + c_3 \cdot (N_{f\acute{m}edia} - N_f) + c_4 \cdot N_{andar} \cdot \frac{N_{elev}}{A_{utilocup}} + \ln(Horas_{op} - c_5) \cdot 0,6130 \text{ (Equação 5)}$$

Sendo:

E_{bench_unif} = indicador de consumo energético, mostrado em kWh por ano por metro quadrado de área útil.

$C_{0..5}$ = Constantes com os valores definidos na tabela 9.

GHR = Grau-horas de resfriamento, bulbo úmido com temperatura base de 15°.

A_{estac} = Área de estacionamento coberto, ventilado e iluminado.

$A_{utilocup}$ = Área útil condicionada e ocupada.

$N_{f,m\acute{e}dia}$ = Densidade média de funcionários em escritórios corporativos = 11,1 m²/pessoa.

N_f = Densidade de ocupação no edifício durante um dia típico de operação (m²/pessoa).

N_{andar} = Número de andares, contado desde o térreo até o andar ocupado mais alto, desconsiderando andares exclusivamente técnicos.

N_{elev} = Número de elevadores em uso durante operação típica do edifício, excluindo elevadores que são pouco utilizados ou atendem apenas o térreo e subsolos.

$Horas_{op}$ = Média de horas semanais que o prédio se mantém em operação.

A fórmula do *benchmarking* CBCS está sendo utilizada com a adição do impacto referente à quantidade de horas de operação semanais no edifício, que só teve seu impacto considerado no benchmarking Energy Star.

A escolha pelo CBCS foi feita por um fator principal. Visando a escalabilidade do processo, não se faz viável a verificação pela matriz energética dos edifícios como é feita pela plataforma da Energy Star. Uma expectativa das perdas na geração e distribuição deveria ser feita para cada localidade ao redor do mundo, o que seria um esforço impróprio a ser realizado no momento dado o objetivo a ser alcançado.

Como este trabalho se trata de uma proposição de estudo e melhoria e métodos existentes, e não na execução de um novo algoritmo, a proposta feita utiliza como base os algoritmos existentes que se mostram efetivos e funcionais, tanto nas relações entre as variáveis quanto nos valores esperados descritos na tabela 9. Esses valores devem ser atualizados conforme a eficiência operacional dos edifícios evoluem e esse é um assunto tão extenso que pode ser o tema para um futuro trabalho.

Tabela 9 - Constantes do indicador proposto

Constante	Típico	Boa Prática	Unidades
C ₀	145,15	111,31	kWh/m ² /ano
C ₁	0,39	0,33	kWh/m ² /(1000 GHR)/ano
C ₂	14,4	10,0	kWh/m ² /ano
C ₃	4,15	4,15	kWh/pessoa/ano
C ₄	700	700	kWh/andar/elevador/ano
C ₅	54,09	54,09	Horas de operação/semana

Com este método é possível realizar a classificação do edifício no campo de edifício típico ou boa prática, como realizado no *benchmarking* CBCS. Não se proporá, neste trabalho uma normalização desta classificação em uma pontuação de 1-100 como feito no benchmarking *Portfolio Manager da Energy Star*.

Portanto, para se obter a comparação é necessário comparar os valores obtidos pela fórmula, substituindo as constantes de edifício típico e de boa prática e o valor real do edifício obtido pela fórmula:

$$\text{Intensidade de Uso de Energia} = \frac{\text{Consumo de Energia Anual}}{(\text{Área Construída} \cdot \text{Ocup. Média Anual})} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

Consumo de Energia Anual = Soma de todo o consumo de energia utilizado no edifício durante o ano em kilowatt hora.

Área Construída = Área total construída em metros quadrados.

Ocup. Média Anual = Ocupação média durante o período de doze meses.

Intensidade de Uso de Energia = Indicador apresentado como resultado em kWh/m².

O indicador é, então, apresentado como no primeiro benchmarking avaliado, de forma que é possível a classificação do edifício do usuário no campo de não eficiente, eficiente ou muito eficiente, como no exemplo da Figura 11.

3.1.3 Frequência de atualização

A frequência de atualização do benchmarking está diretamente relacionada com o esforço necessário para coletar os dados. Como definido na seção 3.1, o esforço não será significativo no processo de coleta, já que todas as informações serão inseridas pelos participantes. Porém, o aumento de informações necessárias para preenchimento quando em comparação com o benchmarking GRESB que possui o menor intervalo de atualização acarretaria um esforço superior para os participantes que não deve desincentivar o fornecimento de dados. Portanto, nesta proposta, entende-se que uma frequência de 2 anos na atualização da base de dados, já é suficiente para cobrir possíveis mudanças tecnológicas, climáticas e operacionais, sem que o processo se torne um fardo para os participantes.

Como exemplificação, podemos ver nas coletas anuais feitas pelo benchmarking GRESB, não existe uma mudança significativa (>5%) na variação do consumo médio dos edifícios de um ano para o outro, conforme mostra a Tabela 10.

Tabela 10 – Aumento do consumo médio dos edifícios

Ano	Diferença para o ano anterior
2019	0,20%
2018	-2,47%

Essa proposta permitiria que o alcance de um benchmarking energético aumentasse exponencialmente, as informações fossem amplamente difundidas e a utilização de

benchmarking como fornecedor de informações par tomadas de decisões fosse acelerado.

Uma possível proposição é atrelar o preenchimento do formulário à algum tipo de selo ou certificação, de forma que os usuários sejam incentivados à participação, não apenas para conhecimento próprio, mas também para divulgação das suas ações sustentáveis, quando de interesse do usuário.

3.2 Exemplo 1 de aplicação do modelo proposto

Para testar o modelo proposto serão utilizados, primeiramente, os dados de um edifício comercial do ano de 2019, onde foi realizado um serviço de gestão energética visando redução do consumo por meio do monitoramento constante pela empresa de consultoria Centro de Tecnologia de Edificações, conforme mostrado na Tabela 11.

Tabela 11 - Informações para exemplo 1 do modelo

Edifício	1
Localização	Rio de Janeiro
Consumo de energia anual (kWh)	5544016,00
Área (m²)	45892,80
Área de estacionamento (m²)	9585,89
Área útil ocupada (m²)	10023,08
População	2160,00
Densidade de ocupação (m²/pessoa)	4,64
Ocupação média anual	44%
Quantidade de andares	9,00
Quantidade de elevadores	13,00
Horas de operação por semana	55,00

Primeiramente, é identificado o valor do a ser comparado com os valores típico e de boa prática. Utilizando as informações da tabela 11 e aplicando na equação 5, obtém-se:

$$\text{Intensidade de Uso de Energia} = \frac{5544016}{(45892,8 \cdot 56\%)}$$

Então:

$$\text{Intensidade de Uso de Energia} = 215,72 \text{ kWh/m}^2$$

Por seguinte, são adquiridos os valores de grau resfriamento diário do ano de 2019 da localização do edifício. Na tabela 12 estão resumidos os valores adquiridos da estação meteorológica do aeroporto Santos Dumont da cidade do Rio de Janeiro com uma temperatura base de 15 °C, acesso feito em 09/2020, no site do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

Tabela 12 – Valores de graus de resfriamento diário da cidade do Rio de Janeiro

Mês	CDD
janeiro-19	252
fevereiro-19	186
março-19	200
abril-19	178
maio-19	135
junho-19	97
julho-19	58
agosto-19	55
setembro-19	74
outubro-19	132
novembro-19	104
dezembro-19	134
Total	1605

A partir dos valores das tabelas 12 e 11 e substituindo os valores na equação do modelo algoritmo, temos para edifício típico:

$$\begin{aligned} Eb_{unif}(típ) = & 145,15 + 0,39 \cdot \frac{1605}{1000} + 14,4 \cdot \frac{9585,89}{10023,08} + 4,15 \cdot (11 - 4,64) \\ & + 700,9 \cdot \frac{13}{10023,08} + \ln(55 - 54,09) \cdot 0,6130 \end{aligned}$$

Então:

$$E_{bench_{unif}}(\text{típico}) = 194,05 \text{ kWh/m}^2$$

E para um edifício com boa prática, considerado eficiente:

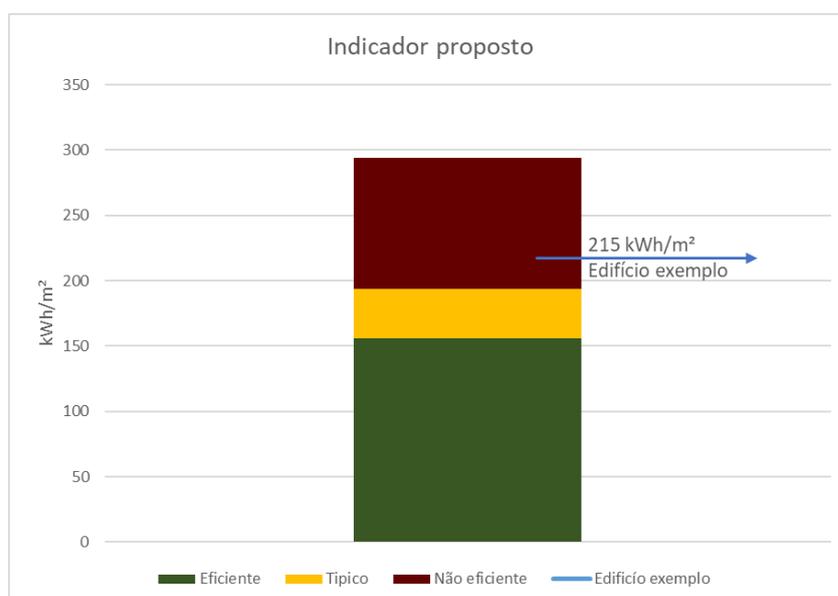
$$E_{b_uni}(bpr) = 111,13 + 0,33 \cdot \frac{1605}{1000} + 10 \cdot \frac{9585,89}{10023,08} + 4,15 \cdot (11 - 4,64) \\ + 700,9 \cdot \frac{13}{10023,08} + \ln(55 - 54,09) \cdot 0,6130$$

Então:

$$E_{bench_{unif}}(\text{boa prática}) = 155,73 \text{ kWh/m}^2$$

Portanto, ao se analisar os resultados graficamente, temos a figura 14:

Figura 14 - Exemplo proposto 1



A partir da Figura 14 define-se o edifício estudado como edifício não eficiente, pois seu valor indicado está acima dos valores de boa prática ($155,73 \text{ kWh/m}^2$) e típico ($194,05 \text{ kWh/m}^2$). Este perfil era esperado, pois foram utilizados dados de 2019 obtidos antes da realização do serviço de consultoria visando economia de energia, que identificou muitas possibilidades de melhoria.

3.3 Exemplo 2 de aplicação do modelo proposto

Também foi verificado o desempenho de um edifício localizado na cidade de São Paulo, após a realização de uma auditoria de eficiência energética. O edifício possui características descritas na tabela 13.

Tabela 13 - Informações para exemplo 2 do modelo

Edifício	2
Localização	São Paulo
Consumo de energia anual (kWh)	3317166.67
Área (m ²)	29491.00
Área de estacionamento (m ²)	15786.00
Área útil ocupada (m ²)	15017.00
População	840.00
Densidade de ocupação (m ² /pessoa)	18.79
Ocupação média anual	100%
Quantidade de andares	13.00
Quantidade de elevadores	6.00
Horas de operação por semana	55.00

É identificado o valor do a ser comparado com os valores típico e de boa prática. Utilizando as informações da tabela 13 e aplicando na equação 5, obtém-se:

$$\textit{Intensidade de Uso de Energia} = \frac{331716,67}{(29491 \cdot 100\%)}$$

Então:

$$\textit{Intensidade de Uso de Energia} = 112,48 \text{ kWh/m}^2$$

Na tabela 14 estão resumidos os valores adquiridos da estação meteorológica do aeroporto de Congonhas da cidade de São Paulo com uma temperatura base de 15 °C, acesso feito em 12/2020, no site do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

Tabela 14 – Valores de grau de resfriamento diário da cidade de São Paulo

Mês	CDD
janeiro-19	131
fevereiro-19	70
março-19	60
abril-19	52
maio-19	35
junho-19	21
julho-19	16
agosto-19	27
setembro-19	53
outubro-19	62
novembro-19	36
dezembro-19	58
Total	621

A partir dos valores das tabelas 13 e 14 e substituindo os valores na equação do modelo do algoritmo, temos para edifício típico:

$$Eb_{unif}(típ) = 145,15 + 0,39 \cdot \frac{621}{1000} + 14,4 \cdot \frac{15786}{15017} + 4,15 \cdot (11 - 18,79) \\ + 700 \cdot 13 \cdot \frac{6}{15017} + \ln(55 - 54,09) \cdot 0,6130$$

Então:

$$Ebench_{unif}(típico) = 131,78 \text{ kWh/m}^2$$

E para um edifício com boa prática, considerado eficiente:

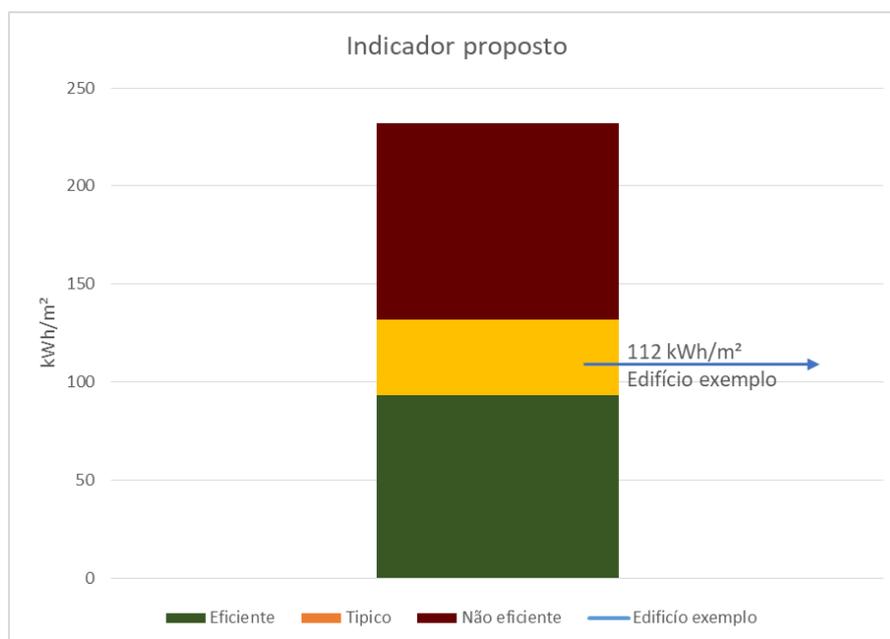
$$Eb_{uni}(bpr) = 111,13 + 0,33 \cdot \frac{621}{1000} + 10 \cdot \frac{15786}{15017} + 4,15 \cdot (11 - 18,79) + 700 \cdot 13 \cdot \frac{6}{15017} \\ + \ln(55 - 54,09) \cdot 0,6130$$

Então:

$$Ebench_{unif}(boa \text{ prática}) = 93,09 \text{ kWh/m}^2$$

Portanto, ao se analisar os resultados graficamente, temos a figura 15:

Figura 15 – Exemplo proposto 2



A partir da Figura 15 define-se o edifício estudado como edifício típico, pois seu valor indicado está acima dos valores de boa prática ($93,09 \text{ kWh/m}^2$) e abaixo do parâmetro típico ($131,78 \text{ kWh/m}^2$). Este perfil já era esperado, pois os dados utilizados foram obtidos após a realização da auditoria de energia e do serviço de consultoria visando economia de energia. Porém ainda haviam possibilidades de melhoria estruturais não

3.4 Considerações Finais do Capítulo

Neste capítulo foram apresentadas a proposta de unificação de três benchmarkings de avaliação de eficiência energética em edifícios comerciais e a aplicação com sucesso desta proposta em dois exemplos reais. O algoritmo proposto mostrou-se possível de utilização. No próximo capítulo, teremos as considerações finais, a contribuição deste trabalho e possíveis trabalhos futuros evoluindo o tema discutido. Importante notar que se deve tomar cuidado com casos específicos como a operação de edifícios durante o ano de 2020, devido à pandemia COVID-19. Neste ano, grande parte dos edifícios comerciais estão atuando em processo de *home office* e, portanto, sem ocupação constante, o que definitivamente afeta os benchmarkings estudados, pois esses possuem variáveis específicas na ocupação e na quantidade de usuários dos edifícios.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em retrospecto, este trabalho introduziu ao leitor o entendimento do conceito das avaliações comparativas, ou *benchmarkings* de eficiência energética em edifícios comerciais e mostrou os possíveis ganhos e benefícios desta prática.

Estudou três dos mais difundidos métodos de avaliação comparativa de consumo energético de edifícios comerciais globalmente. Foram considerados:

- a coleta de dados, seja ela em quantidade de informação, meio realizado e alcance;
- o indicador de benchmarking, avaliando quais variáveis foram consideradas em cada indicador, qual fórmula de avaliação foi utilizada e qual o método de apresentação aos usuários do benchmarking; e
- a frequência de atualização necessária para a renovação constante do banco de dados considerado.

Após esse detalhamento, foram identificados quais os principais pontos fortes e fracos de cada método, comparando-se os resultados entre si, os possíveis gargalos e a escalabilidade do processo para que a divulgação maciça dessa técnica de comparação possa ser realizada.

Por fim, foi proposto um processo de unificação desses métodos de avaliação de eficiência energética de edifícios comerciais, tendo como foco a viabilidade financeira e técnica dos processos que proporcionassem a desejada escalabilidade. Foi abordado o método de coleta, que foi definido como autopreenchimento, visto que a realização de pesquisas, sejam elas presenciais ou por telefone, tornariam a escalabilidade impraticável. Também foi verificado que uma frequência de atualização de 2 anos seria suficiente para cobrir uma mudança na operação dos edifícios menor do que 5%.

O método foi validado a partir de dois exemplos de edifícios reais para os quais foram aplicados o algoritmo proposto, verificando-se a sua viabilidade técnica de utilização.

Diversas questões além da viabilidade técnica ainda devem ser estudadas para a aplicação prática de um novo indicador com o alcance buscado. Como por exemplo, pode-se considerar a atualização dos algoritmos hoje utilizados tendo em vista a evolução da tecnologia presente nos edifícios através da instalação e operação de

sensores, atuadores e medidores gerando sistemas mais eficientes e programas de engajamento para se obter cada vez mais participantes nos programas de avaliação comparativas.

4.1 Contribuição do trabalho

Considerando o cenário energético apresentado considera-se premente que haja um controle mais eficiente e um monitoramento constante do funcionamento de grandes sistemas que dão suporte ao fornecimento de energia para edifícios comerciais, o que por muitas vezes não ocorre por inúmeros motivos. Enxerga-se, portanto, uma importância tremenda no estudo detalhado desses sistemas, para que se garanta a eficiência operacional na gestão dos edifícios, sem o desperdício de energia. Com diversos equipamentos como sensores, atuadores e controladores, cada vez mais disponíveis e acessíveis, para sensorização dos parâmetros do ambiente, correlação de informações intra-sistemas e geração de ações e alarmes automáticos, é possível utilizar todos esses dados, para estipular uma operação mais próxima do ideal dos sistemas e mensurar os ganhos alcançados.

Um estudo feito pelo Departamento de Energia Americano demonstrou que por meio da execução e divulgação de dados de consumo e de *benchmarkings*, os locatários e usuários geram uma redução de aproximadamente 2% no consumo energético dos edifícios. O foco desse estudo é gerar um valor de redução esperada quando se fala de *benchmarking* feito para edifícios operados em São Paulo. Com a diferença na localização geográfica, também haverá diferenças culturais, operacionais, climáticas, etc. que fazem com que não necessariamente deve ocorrer o mesmo comportamento dos edifícios operacionais dos Estados Unidos.

A evidencia de redução de consumo e custos operacionais deve incentivar as administradoras prediais a realizarem *benchmarking* como ferramenta interna de controle e gestão operacional e a divulgação dos dados aos locatários deve trazer um engajamento e um interesse maior ao usuário referente à eficiência energética.

Além do ganho em redução de consumo e melhoria consequente na matriz energética nacional, uma maior inserção e tratamento dos dados de consumo dos escritórios nacionais, também gerará mais recursos e materiais disponíveis para estudos, tanto acadêmicos como é este caso, quanto para plataformas consolidadas, como o Desempenho Energético Operacional em Edificações (DEO) do CBCS.

Como resultado dessa pesquisa foi proposta a criação de mecanismos para a redução do consumo energético de grandes consumidores, mais especificamente, edifícios comerciais localizados em grandes metrópoles. Além disso, é importante salientar a importância de gerar mais informações referentes à operação de edifícios comerciais em território nacional, trazendo assim mais veracidade e acurácia aos benchmarkings disponíveis.

Como resultado específico, foi especificado um indicador com maior viabilidade financeira e técnica e mais próximo da operação dos edifícios. Este trabalho torna o tema um pouco mais difundido e próximo dos gestores e das equipes operacionais dos edifícios comerciais. Além disso, esses ambientes devem ser fomentados para que os resultados obtidos sejam cada vez melhores com a realização de comparações de benchmarking conformes os descritos neste trabalho.

4.2 Trabalhos Futuros

Podem, ainda, para maior precisão da avaliação, e com a evolução das tecnologias de monitoramento e coleta, no futuro serem realizados estudos para a inclusão de outras variáveis de grande importância no consumo do edifício, como por exemplo o consumo específico de CPD's (Centrais de Processamento de Dados) e presença ou não de equipamentos de medição específicos que permitem maior controle sobre o consumo.

Outras formas de apresentação dos indicadores podem, também, ser estudados. Neste trabalho, foi escolhida a abordagem de classificação dos edifícios em "Típico" ou "Boa prática", mas como realizado pelo CBECS, é possível normalizar o indicador alcançado em uma pontuação 1-100, por exemplo, que seja mais agradável

visualmente à primeira vista para usuários que estão sendo introduzidos ao processo de *benchmarking*.

Além disso, outros trabalhos futuros também podem avaliar os possíveis resultados alcançados com a execução de um benchmarking global, se tratando tanto dos ganhos energéticos, como financeiros, a fim de comprovar a viabilidade financeira da estrutura de coleta.

Por fim, é interessante que também sejam avaliadas futuramente não apenas questões gerenciais, mas também a utilização em conjunto com tecnologias de campo presentes nos edifícios que permitam à equipe de operação monitorar a evolução constante do desempenho do edifício após ações realizadas, ou seja, utilizando controles mais eficientes como sensores, atuadores e medidores. Isso possibilitará alcançar algoritmos e equações de consumo de energia mais próximas do real.

REFERÊNCIAS

ARCHDAILY. **Archdaily**. Página Inicial. Disponível em: < <https://www.archdaily.com.br/br>>, acesso em: 12 de out. de 2020.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030**, 2006.

CHUNG, William. Review of building energy-use performance benchmarking methodologies. **Applied Energy**. v. 88, p. 1470-1479, 2011.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **Benchmarking CBCS**. Disponível em: < <http://www.cbcs.org.br/website/>> , acesso em: 12 de out. de 2020.

DERU, Michael. **U.S. Department of Energy Commercial Reference Building Models of the National Building Stock**, 2011.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **Independent Statistics and Analysis, 2020**. Disponível em: < <https://www.eia.gov/consumption/commercial/>>, acesso em: 12 de out. de 2020.

ENERGY STAR. **Portfolio Manager**. Página inicial. Disponível em: < <https://www.energystar.gov/buildings/facility-owners-and-managers/existing-buildings/use-portfolio-manager>>, acesso em: 12 de out. de 2020.

EPE - Estudos de Demanda de Energia, Nota técnica DEA 13/14: Demanda de Energia 2050. **Plano Nacional de Energia 2050**, Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2014-1

Global Real Estate Sustainability Benchmarking. **GRESB**. Resultados. Disponível em: < <https://gresb.com/2019-real-estate-results/>>, acesso em: 12 de out. de 2020.

HAORU, Li. Benchmarking energy performance for cooling in large commercial buildings. **Energy and Buildings**, v. 176, p. 179-193, 2018.

INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética. **INEE**. Página inicial. Disponível em: < <http://www.inee.org.br/>>, acesso em: 12 de out. de 2020.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **INMET**. Dados meteorológicos. Disponível em:<<https://portal.inmet.gov.br/>> , acesso em 12 de out. de 2020.

LAI, Joseph. Analysis and benchmarking of carbon emissions of commercial buildings. **Energy and Buildings**. v. 199, p. 445-454, 2019.

MME – Ministério de Minas e Energia. **Matriz Energética Brasileira 2030**. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br/>>, acesso em: 20 de out. 2020.

PAPADOPOULOS, Sokratis. Grading buildings on energy performance using city benchmarking data. **Applied Energy**. v. 233-234, p. 244-253, 2019.

QIU, Yueming. Identification of key energy efficiency drivers through global city benchmarking: A data driven approach. **Energy Economics**. V. 80, p. 461-475, 2019.

REAL ESTATE. **Real Estate**. Página inicial. Disponível em: < <https://www.realestate.br/site/>>, acesso em 12 de out. De 2020.

SHANG, Luming. Impact of energy benchmarking and disclosure policy on office buildings. **Journal of Cleaner Production**. v. 250, 2020.

SCHOFIELD, John H. Energy performance of LEED-certified buildings from 2015 Chicago benchmarking data. **Energy and Buildings**. v. 174, p. 402-413, 2018.

SKYSCRAPER CENTER. **Skyscraper Center**. Página inicial. Disponível em: < <https://www.skyscrapercenter.com/>>, acesso em 12 de out. De 2020.

WANG, Xin. Identification of key energy efficiency drivers through global city benchmarking: A data driven approach. **Applied Energy**. v. 190, p. 18-28, 2017.

YE, Yunyang. A comprehensive review of energy-related data for U.S. commercial buildings. **Energy and Buildings**. v. 186, p-126-137, 2019.

YIBO, Chen. A data-driven approach for building energy benchmarking using the Lorenz curve. **Energy and Buildings**. v. 169, p. 319-331, 2018.

YE, Yunyang. A comprehensive review of energy-related data for U.S. commercial buildings. **Energy and Buildings**. v. 186, p-126-137, 2019.