



Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

**Análise de implementação de requisitos da
Certificação LEED em uma edificação
residencial vertical**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Raphael Santos de Magalhães

2021

Raphael Santos de Magalhães

**Análise de implementação de requisitos da Certificação
LEED em uma edificação residencial vertical**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Maurício Furtado Maúes

Belém, 24 de setembro de 2021.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBN
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará**
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M188a Magalhães, Raphael Santos de.
Análise de implementação de requisitos da Certificação LEED
em uma edificação residencial vertical / Raphael Santos de
Magalhães. — 2021.
XIII, 65 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Luiz Maurício Furtado Maués
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, Belém, 2021.

1. Certificação Ambiental. 2. LEED. 3. Construção Civil.
4. Impactos Ambientais. 5. Recursos Energéticos. I. Título.

CDD 624

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Raphael Santos de Magalhães

TÍTULO: Análise de implementação de requisitos da Certificação LEED em uma edificação residencial vertical.

GRAU: Mestre ANO: 2021

É concedida à Universidade Federal do Pará permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Raphael Santos de Magalhães

Av Governador Magalhães Barata, 773. AP 2802
São Brás.
66.060-281 Belém – PA – Brasil.

Raphael Santos de Magalhães

Análise de implementação de requisitos da Certificação LEED em uma edificação residencial vertical

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre.

Belém, 24 de setembro de 2021.

Prof. Dr.Luiz Maurício Furtado Maués
Orientador
Faculdade de Engenharia Civil – UFPA

Banca Examinadora

Profª. Dra. Andrea Parisi Kern
Examinadora Externa
Unisinos

Profº. Dr. Francisco Carlos Lira Pessoa
Examinador Interno
Faculdade de Engenharia Civil – UFPA

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



ANÁLISE DE IMPLEMENTAÇÃO DE REQUISITOS DA CERTIFICAÇÃO LEED EM UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL VERTICAL

AUTOR:

RAPHAEL SANTOS DE MAGALHÃES

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL NA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL.

APROVADO EM: 24 / 09 / 2021.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Luiz Maurício Furtado Maués
Orientador (UFPA)

Profa. Dra. Andrea Parisi Kern
Membro Externo (Unisinos)

Prof. Dr. Francisco Carlos Lira Pessoa
Membro Interno (UFPA)

Visto:

Prof. Dr. Marcelo de Souza Picanço
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

Dedico este trabalho à minha família, e em especial

Aos meus pais Mauro e Nelma.

Aos meus avós Loriwal, Naná, Nélio e Nair.

Ao meu meu padrinho Lori.

Aos meus irmãos da vida Antônio S., Antonio M., Jorge e Leandro.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, que são fonte constante de apoio, amor e incentivo em todas as etapa da minha formação, sem os quais nada seria.

Aos meus queridos avós Loriwal, Naná (*in memoriam*), Nair (*in memoriam*) e Nélio (*in memoriam*), por me guiarem com luz e servindo de inspiração constante.

Ao Antônio Santos, ouvido e ombro amigo que me ajudou durante todo o período e nos piores momentos sempre contra argumentou com uma palavra de ânimo.

Aos meus irmãos Antonio, Jorge e Leandro, por sempre estarem comigo em todos os momentos da vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luiz Maurício pela ajuda constante e puxões de orelha, sem os quais não poderia alcançar nenhum resultado.

Aos meus amigos Alex, André, Carol, Juliana, Gustavo e Marina, pelos momentos compartilhados nessa estrada maluca que chamamos de vida.

RESUMO

A construção civil é uma indústria marcada tanto pelos altos índices de poluição quanto pela potencialidade na redução do consumo energético e de insumos. Tendo em vista a mitigação dos prejuízos ambientais, foram criadas certificações ambientais que incentivam além da redução do desperdício, também a aplicação de materiais/técnicas que gerem menos impactos. Assim, com o objetivo de incentivar a construção com maior consciência ambiental, e através de parâmetros voltados para uma construção verde, o *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) se posiciona como uma das principais ferramentas disponíveis pois direciona e fomenta padrões a serem seguidos, valorizando um menor consumo energético e uma maior qualidade de vida aos usuários. Sob tais aspectos, esta pesquisa objetivou investigar a real possibilidade de redução do consumo energético e hídrico em uma edificação vertical residencial que buscou aderir a um selo ambiental estrangeiro. Deste modo, os dados foram contrastados os com uma edificação do mesmo porte que não perseguiu nenhuma certificação. Assim, a comparação entre os Edifícios X (onde se aplicou parcialmente o LEED) e Y (onde não se aplicou nenhuma certificação), permitiu perceber que o comportamento do usuário é fator de suma importância para o sucesso da certificação. Em análise comparativa com dados referentes ao consumo médio por unidade por habitante, verificou-se que houve diferença de 1,73% em consumo energético entre as duas edificações. Além disso, o consumo hídrico nessa Edificação manteve-se acima da redução esperada e preconizada pelo LEED, alcançando 30,64% de acréscimo em relação à certificação. Conclui-se, assim, que tal fato se deve à questões comportamentais, uma vez que os usuários apresentam comportamento similar de consumo, independente da presença ou não da certificação no edifício em que residem. Dessa forma, apesar do acréscimo de 6,98% no valor da obra para a implementação das medidas, não foi possível alcançar uma redução satisfatória de consumo.

Palavras-Chave: Certificação Ambiental; LEED; Impactos Ambientais; Recursos Hídricos; Recursos Energéticos; Construção Civil;

ABSTRACT

Civil construction is an industry with high pollution rates, but also with potential to reduce them and as well as energy consumption. In order to mitigate environmental damage, construction certifications encourage waste reduction and the application of efficient materials/techniques. In addition, to improve the environmental awareness, and through parameters aimed at green construction, the Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) positions itself as one of the main tools available as it directs and provides standards to be followed, valuing a lower energy consumption and a better quality of life for users. Under these aspects, this research aimed to investigate the real reduction of environmental impact by following a foreign environmental certification and whether it would be possible to perceive, on a daily basis, the benefits achieved with the implementation of LEED certification requirements. Therefore, this study analyzed the benefits of a partial implementation of LEED certification in a vertical building located in the city of Belém-PA, comparing the benefits for users, using a building of the same size that did not adhere to any certification as a parameter. Thus, a comparison between Buildings X (where LEED was applied) and Y (where no certification was applied), perceived that the user's behavior is an extremely important factor for the success of the certification. In a comparative analysis with data referring to the average consumption per unit per inhabitant, it was found that there was a difference of only 1.73% in energy consumption between the two buildings. In addition, water consumption in this Building remained above the expected reduction recommended by LEED, reaching 30.64% of the increase. In conclusion, this happened due to behavioral issues, since users have similar consumption behavior, regardless of the presence or not of certification in the building in which they live. Thus, despite the 6.98% increase in the value of the work to implement the measures, it was not possible to achieve a satisfactory reduction in consumption that would justify the investment made.

Keywords: Environmental Certification; LEED; Environmental Impacts; Water Resources; Energy Resources; Construction;

Nunca é alto o preço a pagar pelo privilégio de pertencer a si mesmo...

(Friedrich Nietzsche)

Sumário

1.1	Justificativa e problema de pesquisa	19
1.2	Objetivos.....	20
1.2.1	Objetivo Geral.....	20
1.2.2	Objetivos Específicos	20
1.3	Limitações	21
1.4	Estrutura do Trabalho	21
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	22
2.1	Impacto da Construção Civil	22
2.2	Construção Civil e sua Implicação Financeira	26
2.3	Sustentabilidade e Eficiência Energética.....	27
2.4	Certificações Ambientais no Brasil e no Mundo.....	30
2.5	Certificação LEED	38
3	MÉTODO DA PESQUISA	44
3.1	Pesquisa científica	44
3.2	Delineamento da pesquisa	45
3.3	Fase 01: Revisão Sistemática da Literatura.....	47
3.4	Fase 02: Diagnóstico de Implementação	50
3.5	Fase 03: Impacto Financeiro do LEED	52
3.6	Fase 04: Consumo Energético	53
3.7	Fase 05: Consumo Hídrico	54
4	RESULTADOS	56
4.1	Diagnóstico de Implementação	56
4.2	Impacto Financeiro do LEED.....	58
4.3	Consumo Energético	61
4.4	Consumo Hídrico.....	65
5	CONCLUSÃO	69
	REFERÊNCIAS	70
	ANEXO A – Orçamento Edifício X	79

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Checklist LEED CS	52
Tabela 2 - Checklist Edifício X.....	57
Tabela 3 - Comparativo dos Custos	59
Tabela 4 - Descrição do Acréscimo por Item.....	60
Tabela 5 - Descrição dos Itens Acrescidos.....	61

Lista de Figuras

Figura 1 - Registros da certificação LEED por categoria	41
Figura 2 - Delineamento de Pesquisa.....	46
Figura 3 - Operacionalização da Revisão Sistemática de Literatura.....	50
Figura 4 - Comparativo Mensal per Capita em Kwh	62
Figura 5 - Comparativo por Unidade Habitacional.....	63
Figura 6 - Comparativo Projeto, LEED e Observado – Edifício X.....	64
Figura 7 - Comparativo Projeto, LEED e Observado – Edifício Y.....	65
Figura 8 - Comparativo do Consumo Hídrico previsto e real	66

Lista de Quadros

Quadro 1 - Ranking de países na certificação LEED	37
Quadro 2 - Peso dos critérios de cada categoria da certificação LEED	41

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANTAC	Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção Civil
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COSANPA	Companhia de Saneamento do Pará
FSC	Forest Stewardship Council
GBC	Green Building Council
HQE	Haute Qualité Envioronnementale
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LEED	Leardership in Energy and Environmental Design
ONU	Organização das Nações Unidas
p.p.	Pontos percentuais
SINDUSCON-PA	Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado do Pará
SRI	Solar Reflectance Index
UFPA	Universidade Federal do Pará
SEURB	Secretaria Municipal de Urbanismo do Município de Belém

1 INTRODUÇÃO

A construção civil, desde os primórdios da humanidade, sempre se mostrou como uma atividade inerente ao ser humano, o qual sente uma motivação natural em desenvolver e modificar o espaço ao seu entorno. Das civilizações mais simples às mais complexas, todas, de alguma maneira, utilizaram os recursos que estavam ao seu alcance para alterar o ambiente em que viviam, tornando-o melhor ou mais útil para a destinação desejada. Ao longo do tempo e com o progressivo desenvolvimento das sociedades, essas modificações foram ganhando um maior grau de complexidade, seja ao construir habitações maiores, vias de acesso (CASTRO; VALLEJO; ESTRADA, 2019), sistemas de captação de água (VIOLLET, 2017) ou até mesmo drenagem de água pluvial (VALIPOUR *et al.*, 2020).

Historicamente, apesar da ânsia exacerbada pelo desenvolvimento, não houve a adequada preocupação com o uso consciente dos recursos naturais, que até então eram vistos como ilimitados (OLIVEIRA, 2007; SONDEREGGER *et al.*, 2017). Nos primórdios da humanidade, o homem utilizou recursos renováveis oferecidos diretamente pela natureza, como madeira e água, para a geração de energia, mas com a revolução industrial, o paradigma mudou e o consumo de materiais não renováveis e poluentes alavancou (DI VITA, 2006). O consumo excessivo desses patrimônios sempre foi uma característica marcante da indústria da construção civil, que consome até 40% da energia primária mundial (YUSOF; AWANG; IRANMANESH, 2017) e de recursos naturais no mundo (ZHAO *et al.*, 2019), e no Brasil, consome mais de 50% do total dos recursos extraídos, comprometendo também a abundante reserva mineral do país (ROSADO *et al.*, 2017; SARAIVA *et al.*, 2013).

De acordo com Häfliger *et al.* (2017), no começo do século 21 a indústria da construção civil já era responsável por 1/3 das emissões mundiais de gases do efeito estufa, de modo que esta quantidade que deve pelo menos dobrar até o ano de 2050 (BERARDI, 2017), e assim, ao passo que as consequências da utilização desenfreada de matéria-prima vieram à tona, principalmente em relação à degradação climática e a escassez de alguns materiais, a preocupação com o correto gerenciamento desses recursos tornou-se não apenas uma prioridade, mas algo extremamente necessário para viabilizar a vida à longo prazo (KISKU *et al.*, 2017; TABASSI *et al.*, 2016).

Somado a isso, existe hoje no Brasil um déficit habitacional grandioso, tanto pela falta de moradias quanto pela qualidade precária de algumas delas, e neste contexto existem mais de

16 mil favelas em todo o território nacional (BRASILEIRO, 2013), onde segundo o último censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), mais de 11 milhões de pessoas vivem possuir qualquer necessidade básica atendida, principalmente no quesito saneamento. Estudos apontam ainda para um aumento do déficit que pode chegar ao espantoso número de 3,7 milhões de residências (ALVES; CAVENAGHI, 2016), uma realidade que dificilmente mudará a curto-médio prazo. Essa demanda reprimida, principalmente entre as parcelas menos abastadas da população, mostram a quantidade de obras a serem realizadas, destacando a necessidade de seguir diretrizes ambientalmente corretas para minimizar o impacto decorrente (MERCHER, 2019). Além disso, a falta de infraestrutura em áreas habitadas por significativa parcela da população carente, gera um acentuado entrave ambiental, uma vez que, por falta de opção e sem instalações sanitárias adequadas, muitas famílias acabam ocupando áreas impróprias para habitação, aumentando consideravelmente o impacto causado no meio pelos resíduos gerados (JUNKES *et al.*, 2020).

Medidas vêm sendo tomadas em âmbito global para atuar na amenização desta problemática, ou seja, quanto às consequências do consumo desenfreado de recursos nos últimos séculos, sendo as conferências climáticas, os tratados internacionais e a implementação de diversas leis iniciativas valorosas com vistas à redução desse nível alarmante de consumo e poluição global.

Além disso, existe um fator que acentua o aumento dessa demanda: a população mundial não para de crescer. Segundo a Organização das Nações Unidas (2019), a projeção de crescimento populacional para o ano de 2050 é de 9,7 bilhões de habitantes, dois bilhões de pessoas a mais do que em 2019, o que aumenta ainda mais a necessidade de uso dos já escassos recursos naturais e a construção de novas habitações para abrigar esse “excedente populacional”. Para permitir o crescimento vertiginoso que por hora se desenha sem que se dê uma agressão igualmente proporcional ao meio ambiente, se faz necessário mudar o *modus operandi* em que a sociedade atual vive, perpassando pela indústria da construção civil, ao desassociar definitivamente esse setor dos altos índices de poluição, podendo se dar por meio de construções verdes (WU *et al.*, 2018).

De acordo com Ding *et al.* (2016), a construção civil apesar de ter um alto índice de poluição, é também uma das indústrias que tem um grande potencial para redução do consumo energético e dos materiais utilizados, principalmente através da reciclagem e reaproveitamento destes. Como exemplo disso, a fabricação de aço para perfis metálicos estruturais gera 1 tonelada de resíduo para cada 3 toneladas de material produzido, que ao invés de serem descartados inadequadamente, podem servir na substituição de agregado asfáltico para a

pavimentação de avenidas e rodovias, consequentemente reduzindo o impacto ambiental ao reutilizá-lo para outra finalidade, o que agrega valor financeiro à esse rejeito (FERREIRA *et al.*, 2016). Além da reutilização de resíduos, como alternativa para reduzir os impactos ambientais, outras ações vêm obtendo destaque à nível mundial.

Com o intuito de reduzir o alto prejuízo ao meio-ambiente, ao longo dos últimos anos foram criadas diversas certificações ambientais voltadas para a indústria da construção civil, incentivando a redução do desperdício e a utilização de materiais e técnicas menos impactantes (ATANDA; OLUKOYA, 2019). Apesar disso, não houve uma difusão apropriada dessas certificações no mundo ao longo do tempo, resultando em uma baixa adesão no setor da construção civil (BERARDI, 2012).

Dentre as existentes, algumas das mais conhecidas são: *Leadership in Energy and Environmental Design* (Estados Unidos), *Haute Qualité Environnementale* (França), *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (Inglaterra) e o Selo Casa Azul da Caixa (Brasil). O principal objetivo dessas certificações é incentivar o construtor a edificar com uma maior consciência ambiental, estabelecendo parâmetros e “caminhos” para alcançar uma construção verde (AWADH, 2017), e neste sentido, cada uma delas, à sua maneira, apresenta diferentes níveis e objetivos a serem alcançados, dependendo da abrangência e quantidade de ações realizadas.

Cada certificação foi criada de acordo com a realidade do país para o qual foi desenvolvida, atendendo a diferentes critérios e reajustando as normas vigentes para o que é possível ser alcançado, e dentro desse contexto, o Selo Casa Azul da Caixa Econômica Federal foi a primeira certificação criada integralmente para a realidade brasileira, sem qualquer tipo de adaptação proveniente de outro programa internacional (FASTOFSKI; GONZÁLEZ; KERN, 2017).

O Selo Casa Azul foi criado com o intuito de permitir que a redução do déficit habitacional brasileiro se desse de maneira mais consciente, minimizando o impacto ambiental ao implementar técnicas verdes e evitar a ocupação desordenada em áreas impróprias (JOHN; PRADO, 2010).

Apesar da criação do Selo Casa Azul ter sido direcionada para a realidade brasileira, a certificação norte-americana LEED também realizou adaptações em seu sistema para as peculiaridades do Brasil (GBC BRASIL, 2017). Esta, a LEED, é uma das certificações ambientais mais conhecidas e utilizadas no mundo, com um largo portfólio em vários tipos de empreendimentos (DARKO *et al.*, 2019).

O Brasil está na quarta posição dos países com maior número de projetos certificados pelo LEED (OBATA et al., 2019), perdendo apenas para os Estados Unidos, Emirados Árabes Unidos e China. O *Green Building Council* Brasil, instituição que representa a certificação LEED em território brasileiro, dentre seus objetivos, desenvolveu novos parâmetros e diretrizes para viabilizar a utilização da certificação no país, e dentre essas medidas, foram criadas sub-categorias do programa (GBC Brasil Casa, GBC Brasil Condomínio e GBC Zero Energy), visando atender especialmente tipologias específicas de construção habitacional (GBC BRASIL, 2017).

Apesar de não funcionarem de maneira igual, tanto o LEED quanto o Selo Casa Azul buscam o mesmo objetivo, tendo como meta principal a mitigação do impacto da ação antrópica no meio ambiente através da construção civil, ao passo que a qualidade dos edifícios também é aumentada através da implementação de critérios que melhoraram a percepção dos usuários.

1.1 Justificativa e problema de pesquisa

É fato que a construção civil se posiciona como uma das principais indústrias do país, responsável por empregar milhões de pessoas (FIALHO et al., 2014; IBGE, 2020; SIMAO et al., 2019). Entretanto, também destaca-se por agredir o meio-ambiente em níveis elevados, tanto durante a obra quanto após a sua realização, acarretando um elevado índice de geração de resíduos (ESTANQUEIRO et al., 2018). A falta de preocupação com o uso consciente dos recursos naturais ao longo dos últimos séculos resultou em grande desequilíbrio ambiental (SONDEREGGER et al., 2017).

Além disso, o déficit habitacional existente no Brasil cria forte entrave socio-ambiental, uma vez que pela falta de oportunidade, considerável parcela economicamente desfavorecida da população acaba ocupando áreas irregularmente (ALVES; CAVENAGHI, 2016). Esta “desordem habitacional” na frequência e intensidade em que ocorre, torna-se uma fonte importante de degradação ambiental para as regiões ocupadas (HIRAKAWA, 2019).

Neste sentido, o desenvolvimento da construção sustentável é um tema em evidência na atualidade, ganhando visibilidade mundial, uma vez que tal setor é responsável por cerca de 40% do consumo de energia e 40% da emissão de gases do efeito estufa, impactos estes que podem ser mitigados através de um consumo mais inteligente, associado com materiais eficientes, projetos verdes e políticas públicas que colaborem para amenizar o número de pessoas vivendo em condições precárias (BERARDI, 2017).

Dessa forma, o LEED, objeto de estudo nesta dissertação, atua como uma das principais ferramentas para a redução de impactos causados pela construção civil, uma vez que direciona e fomenta padrões a serem seguidos em direção à edificações verdes, que valorizem um menor consumo energético e que também propiciem uma maior qualidade de vida para as pessoas que lá circulam (ANDREA; MARK; JEFF, 2017).

Consequentemente, diante do impacto corriqueiramente causado à natureza e ao avaliar-se a certificação em um estudo de caso na cidade de Belém-PA, este trabalho teve como objetivo o de investigar qual a real mitigação de prejuízo ambiental causado, seja ele existente ou não, ao aderir-se a um selo ambiental estrangeiro.

Neste sentido, e como indagações norteadoras à pesquisa, atribui-se como problemas de pesquisa: É possível reduzir o consumo energético e hídrico com a implementação de parte dos requisitos da certificação LEED? Em caso afirmativo, o quanto esses recursos irão representar no consumo por unidade habitacional?

1.2 Objetivos

Tendo em vista a problemática descrita e as questões de pesquisa apresentadas anteriormente, este trabalho possui os objetivos gerais e específicos descritos a seguir:

1.2.1 Objetivo Geral

Analizar o consumo energético e hídrico em uma edificação vertical residencial, que implementou parcialmente os requisitos da certificação norte-americana *Leadership in Energy and Environmental Design*, e comparando esse consumo energético com uma edificação do mesmo porte que não aderiu a nenhum requisito de certificação.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Verificação dos custos envolvidos para a implementação parcial dos requisitos da certificação;
- Análise do consumo energético na Edificação utilizada como estudo de caso;
- Análise do consumo hídrico, comparando-o com o estipulado em projeto;
- Comparar o consumo energético de uma edificação que busco ser certificada com outra similar que não adotou qualquer critérios de certificação ambiental;

1.3 Limitações

Este trabalho apresenta características próprias que geram algumas limitações, dentre as quais, cita-se:

- O estudo está adequado para avaliar, comparativamente, construções verticais residenciais;
- A implementação parcial dos requisitos na Edificação analisada não permite uma avaliação completa da certificação LEED.

1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho apresenta sua estrutura constituída de três capítulos, além das referências bibliográficas e de dez anexos.

O capítulo 1 apresenta a introdução, na qual é realizada a justificativa e problematização de pesquisa, os objetivos divididos em geral e específicos, assim como descreve as limitações e a estrutura do trabalho.

No segundo capítulo está conceituado o referencial teórico, as origens da construção civil, os maiores problemas ambientais e as possíveis soluções para amenizar o problema no Brasil e no mundo.

Em seguida, no terceiro capítulo, é explicada a metodologia científica sob a qual o trabalho foi embasado, que servirá de referência para a elaboração, apresentação e discussão dos resultados.

Posteriormente, no quarto capítulo, será apresentado o resultado obtido durante a aplicação do estudo de caso deste estudo.

Por fim, no quinto capítulo, serão demonstradas as conclusões obtidas no desenvolvimento da dissertação, realizando uma análise crítica dos resultados obtidos no capítulo anterior.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo apresentam-se alguns conceitos e definições utilizados ao longo deste trabalho, assim como um panorama geral da indústria da construção civil, abordando também, os aspectos relativos ao impacto social e ambiental causado, além de suas consequências tanto para os usuários quanto para o meio-ambiente.

2.1 Impacto da Construção Civil

A construção civil é uma das indústrias mais importantes no mundo, responsável por empregar um elevado número de pessoas, gerando renda e desenvolvendo diversas regiões do planeta, sendo também um dos setores de maior responsabilidade para melhoria na qualidade de vida da população, independente de se tratar de país desenvolvido ou em desenvolvimento (TABASSI et al., 2016). Nos Estados Unidos, apenas no terceiro trimestre de 2019 a construção civil foi responsável por movimentar mais de U\$ 650 bilhões, empregando mais de 7 milhões de pessoas, segundo o *U.S. Bureau of Economic Analysis* (BEA, 2019).

De maneira ainda mais agressiva, a construção civil chinesa, no mesmo período, alcançou números proporcionais ao tamanho do seu mercado, sendo responsável por U\$ 6,7 trilhões do Produto Interno Bruto (PIB) daquele país, assim como da fonte de renda para mais de 55 milhões de pessoas segundo o *National Bureau Statistics of China* (NBS, 2019).

No Brasil, embora em números mais tímidos que no exterior, a indústria também é responsável por ser um dos principais vetores econômicos justamente por apresentar uma vasta rede de ligação com diferentes setores, gerando demanda, multiplicando empregos também em outros campos da economia, e ao depender muito pouco de importações, fomenta o próprio mercado interno brasileiro, onde a cada 100 empregos gerados no setor, outros 21 empregos são gerados indiretamente e 47 gerados induzidamente (SIMAO et al., 2019). O volume elevado de pessoas contratadas colabora para uma economia mais aquecida, ao proporcionar poder de compra para estes trabalhadores, que consequentemente, consomem mais (FIALHO et al., 2014).

Após anos em crise, o setor da construção civil volta a se recuperar e dá sinais de crescimento. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), foram

gerados mais de 120 mil postos de trabalho em 2019, ultrapassando o número de 10 milhões de empregados no país, o que contribuiu com R\$ 14,2 bi no PIB brasileiro.

Apesar de ser de fundamental importância, essa indústria também é responsável por altos índices de poluição ambiental, nas mais diversas regiões do globo terrestre (YUSOF; AWANG; IRANMANESH, 2017). O processo de urbanização e desenvolvimento das cidades permeou a necessidade de modificar o espaço ao redor dos centros urbanos, e consequentemente, abrir possibilidades para que a construção civil atuasse plenamente: Queimadas, desmatamentos, poluição do solo e dos rios se tornaram atividades cada vez mais presentes na nova dinâmica de expansão desses centros, como consequência direta das atividades da construção e necessidade latente de área para crescimento e implementação da infraestrutura (GONÇALVES et al., 2014; HYDE; BOHLMAN; VALLE, 2018).

Além do impacto acarretado antes e durante a obra, é necessário avaliar também o efeito que os frutos dessa atividade geram. Estanqueiro *et al.*(2018) afirmam que somente na Europa, a indústria é responsável por gerar mais de 100 milhões de toneladas de resíduos por ano, sendo boa parte desse montante gerido incorretamente, causando considerável degradação ambiental. De maneira similar, o mesmo acontece em países com alto ritmo de crescimento.

Huang *et al.*(2018) analisaram o reaproveitamento de resíduo de construção e demolição (RCD) na China, onde a quantidade de resíduos gerados pela indústria da construção civil chega a 40% do total de todos os setores juntos, e apenas uma pequena parcela de 5% desse volume de RCD é reaproveitado, sendo este um índice inferior ao da Malásia, que alcança 15% de reaproveitamento (YUSOF; AWANG; IRANMANESH, 2017).

Sieffert, Huygen e Daudon (2014) defendem a ideia de que o reaproveitamento do RCD descartado é uma das principais soluções para a mitigação do impacto ambiental causado pela construção civil, podendo ser uma alternativa mais simples do que o desenvolvimento de novos materiais e tecnologias.

Associado à poluição ambiental, é importante ressaltar o prejuízo à saúde humana e a degradação sanitária que os resíduos da construção, quando indisplicientemente despejados, representam. Segundo Costa *et al.* (2019), a contaminação de lençóis freáticos assim como a proliferação de vetores de doenças são algumas das consequências que o manejo inadequado de RCD propicia, comprometendo a qualidade de vida dos moradores de determinada região, além de oferecer riscos diretos à saúde dos mesmos.

No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), órgão do Ministério do Meio Ambiente e também composto por outras esferas governamentais, delibera sobre o

Sistema Nacional do Meio Ambiente, sendo o responsável por regular o licenciamento ambiental no Brasil através de resoluções (BRASIL, 2002).

A resolução nº 307 do órgão estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos de construção e demolição provenientes da construção civil, resultando em benefícios econômicos, sociais e ambientais (DEZORDI; VIEIRA; SAUSEN, 2019).

De maneira complementar, a Lei nº 12.305 de 2010 que cria a Política Nacional de Resíduos Sólidos, trabalha concomitantemente ao CONAMA, estabelecendo o manejo adequado de resíduos sólidos, reduzindo o impacto à natureza e estabelecendo metas de redução e reutilização dos materiais que antes seriam descartados diretamente no lixo, consequentemente, poluindo o meio-ambiente (BRASIL, 2010).

O reaproveitamento de resíduos de construção e demolição é um caminho possível para amenizar o impacto gerado pelo setor da construção (DEZORDI; VIEIRA; SAUSEN, 2019), e seguindo tal posicionamento, países como Holanda, Bélgica e Dinamarca mostram que a porcentagem reaproveitada pode ser superior aos 80%, principalmente ao conscientizar o construtor da importância ambiental desse reaproveitamento, comprovando que pode ser economicamente interessante (ESTANQUEIRO *et al.*, 2018), justamente por este ser o responsável direto pelo planejamento de obra.

A exemplo disso, o estudo de Siddique, Singh e Singh (2018) comprova como o reaproveitamento é economicamente e ambientalmente viável ao demonstrar que o resíduo da produção industrial de estruturas de metal foi utilizado para substituir a areia na composição do concreto, resultando em economia de material e um aumento de 26% na resistência à compressão e de 12% na resistência à tração do concreto em 28 dias.

Complementarmente, Lu *et al.* (2019) afirmam que o reaproveitamento de resíduos é sub-valorizado nas certificações ambientais da construção civil, podendo ser um viés de grande redução de impacto à natureza nos empreendimentos certificados.

Além dos resíduos gerados *in loco* e visíveis a olho nu, sendo estes provenientes da demolição e execução da obra, a construção civil gera também um considerável impacto ao poluir a atmosfera, através da emissão de gases tóxicos e contribuintes para o efeito estufa, notadamente o gás carbônico (CO₂) (AKAN; DHAVALE; SARKIS, 2017).

O gás carbônico, isoladamente, representa 72% de todas as emissões que contribuem para o agravamento do efeito estufa, que em 2015, amparou o aumento da temperatura média terrestre em 1°C (QIAO *et al.*, 2019). Apesar de não demonstrar ser um valor representativo, a constante aceleração do processo de aquecimento do planeta afeta e muito a vida ao

desequilibrar o bioma, e como consequência disso suscitar um maior número de catástrofes climáticas ao redor do globo (HOEPPE, 2016). Eventos climáticos adversos, intempéries naturais cada vez menos previsíveis, mais intensas e frequentes são um desafio para a engenharia, demandando uma melhor infraestrutura e o desenvolvimento de novas tecnologias.

Por sua vez, o concreto é um dos principais materiais utilizados na construção civil no Brasil e no mundo, sendo uma das maiores causas desse impacto (TEH *et al.*, 2017), pois para atender à alta demanda, o ritmo de produção é igualmente elevado, colocando este no patamar de segundo material mais consumido no planeta, perdendo apenas para a água (AKAN; DHAVALE; SARKIS, 2017).

Quanto ao cimento, no que lhe concerne, é o componente majoritário do concreto, e sua produção corresponde a 92,2% das emissões de CO₂ da fabricação do concreto, além de contribuir com 5% do total de emissões do mesmo gás na atmosfera do planeta (*OLIVEIRA et al.*, 2014). Nesse sentido, atribui-se grande responsabilidade pelo alto impacto ambiental da indústria em virtude desse material, uma vez que, na falta de um substituto com propriedades físicas e custo similares, permanece sendo amplamente utilizado na construção civil mundial.

Du *et al.* (2018) identificaram que as emissões de CO₂ feitas pela construção civil chinesa foram de até 34,3% do total emitido pelo país, o que representou o equivalente a 3,49 kilo toneladas (kT) de gás carbônico. Para efeitos comparativos, esse valor corresponde a 9,8% de toda a emissão de CO₂ no mundo em 2013 e a 67,3% do que foi emitido por todos os setores nos Estados Unidos no mesmo ano. Sensibilizados com os espantosos números causados pelo setor, Estados Unidos e China, que são os dois maiores emissores de CO₂ no planeta, realizaram um acordo climático em 2014 como forma de reduzir as emissões desses gases nocivos ao meio ambiente à longo prazo.

Além disso, implementar legislação coerente e fiscalização da aplicação das normas e leis já existentes pode auxiliar na redução do volume de resíduo gerado. Ademais, devido à dimensão utilizada, pesquisam atuam no desenvolvimento de cimentos menos agressivos ao meio ambiente, reduzindo as emissões de CO₂ e poluentes do ar, de modo que permita uma utilização mais consciente desse material no concreto (XU; SHI, 2018).

Estes dados aqui explanados convergem para atestar uma acentuada exploração dos recursos oferecidos pela natureza, onde a construção civil atua como um dos principais viéses de poluição. Diante disso, reflete-se a importância das certificações ambientais voltadas para este setor, o qual vem buscando alternativas para amenizar as consequências do impacto gerado pelas suas atividades.

2.2 Construção Civil e sua Implicação Financeira

O crescimento de um país está diretamente relacionado ao crescimento da indústria, e notadamente ao setor da construção civil (ALENCAR VIEIRA; NOGUEIRA, 2018). Entretanto, este setor é marcado por estar associado à investimentos de alto valor, onde mesmo obras de pequeno porte resultam em um impacto financeiro considerável.

Portanto, faz-se necessário gerir esses recursos de maneira adequada, evitando que os elevados custos que o setor exige acabem por inviabilizar determinado projeto. Segundo Muianga, Granja e Ruiz (2015), falhas no gerenciamento e aspectos financeiros são responsáveis por até 47% dos desvios de custos e prazos em obras, o que demonstra a importância dessas áreas para o sucesso de qualquer empreendimento.

Além disso, existem alguns fatores não previstos que podem ser responsáveis por incrementar ainda mais o orçamento e prazo original de uma obra. Forcada et al. (2017) concluíram que o retrabalho pode gerar aditivos de até 20% do valor global orçado, além de também serem responsáveis por atrasos de até 22% no cronograma de entrega dos empreendimentos.

Como não poderia ser diferente, a estimativa e previsão de custo de um determinado empreendimento é uma das principais etapas de planejamento (ARAGE; DHARWADKAR, 2018), antes mesmo de se pensar no início da construção. Essa etapa influencia diretamente o orçamento de uma obra, resultando em um canteiro mais eficiente e com menos desperdício de recursos.

Ademais, levando-se em consideração que os recursos financeiros são finitos e limitados, torna-se imprescindível dedicar tempo e atenção ao estudo de viabilidade econômica em qualquer obra, independente do porte e complexidade da mesma (HAMZEH; ALHUSSEIN; FAEK, 2018).

Diante do exposto, é possível perceber a necessidade de um acompanhamento constante ao longo da obra, principalmente dos aspectos que tangem a parte financeira e de planejamento de um empreendimento. Devido à essa necessidade cada vez maior, novas ferramentas surgiram para aumentar o nível de controle, orçamento e planejamento no canteiro de obra, como o BIM (SAMPAIO, 2017).

2.3 Sustentabilidade e Eficiência Energética

O conceito de que os recursos naturais, mesmo que amplamente extraídos e utilizados indiscriminadamente, seriam inesgotáveis independentemente da quantidade consumida (OLIVEIRA, 2007) já teve sua validação desacreditada há algumas décadas (DI VITA, 2006), visto que, comprovadamente, a gestão descontrolada desses recursos gera um esgotamento precoce dos mesmos, impossibilitando que a natureza tenha tempo suficiente para a sua recomposição (ABOU ZAHR DIAZ; ALAWIYEH; GHABOURA, 2019; LONGONI; LUZZINI; GUERCI, 2018; MCKINLEY *et al.*, 2017). Tal consumo exagerado, concomitantemente a sua exaustão ágil, acometem diretamente os ciclos da natureza, o que leva à mudanças climáticas que afetam a qualidade do ar, água e suprimento energético e de alimentos nas regiões diretamente impactadas e suas zonas de influência (ZAMAN; ABDULLAH; ALI, 2017).

Diante deste contexto, onde a matéria prima consumida pela construção civil é majoritariamente não renovável (ÂNGULO; ZORDAN; JOHN, 2001), torna-se extremamente necessário adequar cada vez mais as normas, procedimentos e, acima de tudo, a consciência coletiva de todos os envolvidos no campo da construção e seus usuários para a correta aplicação do conceito de sustentabilidade. Essa transição não acontece de maneira simples ou rápida, exigindo uma complexa coordenação e integração entre diferentes setores, órgãos e esferas públicas e privadas da sociedade (BROMAN; ROBÈRT, 2017).

Segundo Sieffert, Huygen e Daudon (2014), um dos maiores dilemas reside na busca por materiais mais eficientes e sustentáveis, com maior prioridade dada ao desenvolvimento de novas tecnologias e a criação de diferentes materiais, não dando o adequado valor ao reaproveitamento de materiais já existentes, mas que também poderiam ser reutilizados sob outras formas, evitando o consumo de mais recursos. Ainda segundo os autores, esse tipo de mudança exige uma mentalidade que deve ser incentivada desde a formação acadêmica dos profissionais, ainda na academia, ao demonstrar que o desenvolvimento de materiais e tecnologias atualizadas não é o único caminho possível para se estabelecer uma construção mais verde.

Uma das primeiras definições públicas de sustentabilidade foi estabelecida pela Organização das Nações Unidas em 1987 por parte da Comissão de Brundtland, a qual estabeleceu discurso em que sustentabilidade é permitir o crescimento global hoje, oferecendo oportunidades iguais para todos, sem prejudicar a natureza e a sociedade do futuro, modificando o método de exploração dos recursos naturais no mundo (ONU, 1987).

Tal conceito estabelecido pela ONU foi de suma importância para estimular a mudança do pensamento e comportamento que se tinha na época, não apenas no setor da construção civil mas na indústria de maneira geral (TABASSI *et al.*, 2016), servindo de alerta em relação ao modelo, pois uma vez que este perdurasse, ameaçaria a sobrevivência humana no planeta nos séculos seguintes.

Complementarmente, Kibert (2016) definiu construção sustentável como a interface entre os diversos ecossistemas e o homem para prover serviços e facilidades, respeitando a escolha correta de materiais e eliminando ao máximo emissões gasosas, líquidas e sólidas que prejudiquem o balanço desses ecossistemas.

Trinta anos após esse primeiro conceito, Robertson (2017) propôs uma adaptação ao conceito de sustentabilidade proposto pela ONU, definindo-a como os critérios necessários para perdurar durante longos períodos de tempo, onde sistemas e processos pudessem funcionar e perseverar por meios próprios no futuro à longo prazo. Este ainda se posicionou quanto à sustentabilidade ecológica, oportunidade econômica e inclusão social para os envolvidos no processo a fim de compor o desenvolvimento sustentável, que de maneira complementar, nada mais é que a habilidade de desenvolver a sociedade atual sem comprometer a sobrevivência das gerações futuras.

Esses três pilares - sustentabilidade ecológica, oportunidade econômica e inclusão social - são fundamentais para a transição de uma sociedade poluente para uma sustentável, e assim como a coesão, a união de seus membros em prol desse tema facilitam o processo de inserção da cultura ecológica na sociedade (AWADH, 2017; BROMAN; ROBÈRT, 2017; LU; ZHANG, 2016).

A este aspecto, Sattler (2002) complementa ao afirmar que para a existência de uma sustentabilidade real, faz-se necessário seguir à risca três princípios básicos: o volume usado de recursos renováveis não pode ultrapassar a taxa de regeneração da natureza, o volume de uso de recursos não renováveis não pode ultrapassar o ritmo com que os seus suplementos renováveis sustentáveis sejam concebidos, e por fim, a sua taxa de emissão de poluentes deve ficar abaixo da capacidade de processamento do meio ambiente.

Em vista destes aspectos e seguindo a tendência mundial, a construção sustentável foi um setor que também precisou se reformular nas últimas décadas, ao se adequar mais à tais conceitos além de visar uma sustentabilidade ainda maior em seu fluxo produtivo (TABASSI *et al.*, 2016).

Decorrente desse conceito de sustentabilidade, surgiram os bairros e cidades “*low-carbon*”, configurando-se na parte ou totalidade dos aglomerados urbanos que através de atitudes conscientes, redução e reeducação do impacto ambiental causado, conseguem manter níveis controlados de emissão dos gases do efeito estufa, utilizando a maior porcentagem de energia renovável possível para a mitigação das consequências ambientais e climáticas, almejando não apenas a mudança de um empreendimento isolado, mas também do estilo de vida de comunidades inteiras, o que lhes coloca em posição confortável para alcançar um novo patamar em termos de redução do impacto ambiental, com uma demanda em ascenção tanto no Brasil quanto em outros países (ASSAF, 2011; BENITES; OSMOND; ROSSI, 2020).

Os conceitos apontam para um consumo mais ponderado e comedido dos recursos naturais, permitindo que à longo prazo estes ainda não tenham sido exauridos a ponto de não estarem mais disponíveis para a sociedade. Entretanto, com o aumento populacional em grande ritmo no mundo, com uma previsão de crescimento de cerca de 25% nos próximos 30 anos (ONU, 2019), a redução do consumo diante de habitantes que demandam muito mais do planeta torna-se uma tarefa árdua.

Historicamente, a busca por novas fontes de energia renovável e por jazidas que garantam o abastecimento abundante é uma das prioridades em qualquer nação, sendo esta, a causa de diversos confrontos que foram travados entre países com o objetivo de possuir ou controlar as fontes de energia no intuito de garantir a matriz energética para o seu desenvolvimento, justificando o alto preço bélico e humanitário empregado durante os combates (BRASILEIRO, 2013). Devido à essas restrições, principalmente no tocante ao limite oferecido pela natureza, tornou-se imprescindível otimizar a produção e o consumo dos recursos para que um maior número de pessoas pudesse acessá-los, resultando em uma utilização mais eficiente e regrada dos mesmos.

Segundo Jensen (2018), eficiência energética se define como a busca constante para minimizar o consumo energético e o consequente impacto ambiental que a produção dessa energia causa, além de incitar a busca por novas tecnologias que permitam o desenvolvimento de materiais e técnicas mais inteligentes e eficientes, resultando em instalações menores e que requeiram menos matéria-prima.

Para Barros (2018), eficiência energética se apresenta como a necessidade de poupar energia ao passo que a dependência de combustíveis fósseis é gradativamente reduzida, desenvolvendo tecnologias e materiais que permitam a manutenção da qualidade de vida, com

medidas de racionalização dos recursos e redução de desperdícios, amenizando o impacto ambiental total da sociedade.

Neste sentido, diante de uma fonte extremamente demandada e limitada (NEMATOLLAHI *et al.*, 2016), torna-se de suma importância otimizar o aproveitamento dos recursos existentes, fazendo com que a quantidade utilizada hoje possa surpreender um maior número de pessoas, ao desenvolver novas tecnologias que aumentem sua eficiência, sem que isso resulte em um aumento da quantidade extraída e consumida.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2020), existe uma perda de energia elétrica da ordem de 13,5% entre o que é produzido nas usinas e o que chega de fato nas unidades consumidoras, seja nos canteiros de obra, residências ou estabelecimentos comerciais, fato que acontece devido à limitação técnica dos materiais utilizados e infraestrutura da rede energética brasileira. Para efeitos de comparação, esse nível de perda corresponde a 49 dias de funcionamento das matrizes elétricas brasileiras por ano, sem que seja aproveitado nenhum *Kilowatt* de energia para abastecimento da rede.

Diante do exposto, é válido ressaltar a importância que a Eficiência Energética vem ganhando nas últimas décadas, numa tentativa de reduzir esse tipo de limitações impostas e otimizar a geração e distribuição energética (CRAWFORD *et al.*, 2016).

Bizon *et al.* (2017), neste contexto, destacam o desafio para engenheiros e pesquisadores científicos em desenvolver novas tecnologias nessa área em prol da conservação dos recursos naturais, o que se torna latente a partir da divulgação de números relativos às quantidade das pesquisas realizadas nesse campo, visto que, nas últimas duas décadas estas aumentaram em 500%, merecendo destaque ao fato de que esta deveria ser uma preocupação pública de maior relevância, tendo em vista os benefícios econômicos e ambientais proporcionados.

Segundo Batih e Sorapipatana (2016), o desenvolvimento e aplicação dessas novas tecnologias pode reduzir o consumo energético (Kwh) em 21,4%, além de ser uma excelente ferramenta para diminuir a emissão de gás carbônico na atmosfera em 21,6% de toneladas.

2.4 Certificações Ambientais no Brasil e no Mundo

Diante de tamanho impacto à natureza, de diversas maneiras, foi necessário reavaliar a forma com que a sociedade estava se desenvolvendo, permeando diretamente no

relacionamento da mesma com a indústria da construção civil (SHIRAZI; ASHURI, 2018; YUSOF; AWANG; IRANMANESH, 2017).

Os danos ao meio-ambiente e suas consequências não se limitam apenas ao impacto da extração dos materiais e resíduos no local da obra, gerando também diferentes tipos de poluição, tal como a sonora, que afetam a natureza e as pessoas no entorno (HONG *et al.*, 2020). Decorrente disso, a perda de qualidade do ecossistema e a contínua e elevada poluição podem comprometer por diversos meios a habitabilidade do planeta, levando a biosfera a um estado de extrema dificuldade de manutenção da vida (STEFFEN *et al.*, 2015).

Reuniões, conferências e encontros climáticos entre líderes mundiais foram realizados para discutir o que poderia ser feito para frear o ritmo acelerado com que muitas nações estavam degradando a natureza. Uma das primeiras grandes conferências foi a de Estocolmo, realizada em 1972 pela Organização das Nações Unidas (ONU) na Dinamarca. No total, 113 países e mais de 200 organizações ambientais estiveram presentes, demonstrando importância e preocupação com o assunto, apesar de seu despertar ainda ser embrionário à época.

Alguns anos depois, em 1992, no Rio de Janeiro, um novo grande encontro foi realizado pela ONU, composto por mais de 170 países, recebendo a denominação de ECO-92, e obtendo como resultado a elaboração de cinco grandes acordos, dentre eles, a Agenda 21. Esse acordo, serve ainda como guia para a adoção de medidas e metas de desenvolvimento sustentável para as sociedades, atuando com um método de proteção ambiental e desenvolvimento econômico e social (ONU, 1992).

Em 2012, a Rio +20, em alusão aos vinte anos desde o primeiro encontro realizado em 1992, recebeu representantes de praticamente todos os países do mundo, para avaliar o que foi alcançado nos últimos 20 anos e estabelecer novas metas para os anos seguintes através do documento intitulado de “O futuro que queremos”, com diversos compromissos firmados pelos países participantes.

A crescente participação às conferências climáticas, tanto por representantes governamentais dos países envolvidos quanto por organizações ambientais, atesta a importância e urgência com que o assunto deve ser tratado no mundo. A mudança para uma sociedade mais sustentável é gradativa, exigindo tempo e elevado esforço de organizações públicas e privadas para cumprir as metas estipuladas nos diversos acordos internacionais (BROMAN; ROBÈRT, 2017). Nesse sentido, cada país implementou medidas e leis específicas para alcançar o intento desejado, de acordo com a sua realidade. Essas mudanças incluem diretamente uma reavaliação do *modus operandi* da construção civil, pois esta se trata de uma das indústrias mais poluentes

no mundo, em prol de medidas que permitam alcançar uma construção mais sustentável (TABASSI *et al.*, 2016).

Modificar o processo produtivo na construção, embora difícil, passou a ser uma necessidade mundial, utilizando os recursos naturais de maneira mais consciente e regrada. Ignorar essa mudança de princípios pode resultar em um alto valor ambiental e de qualidade de vida a ser pago pelas nações (LU; ZHANG, 2016). Essa mudança só passa a ser viável a partir do momento em que os conceitos de construção sustentável são compreendidos e aplicados, internalizando que é necessário aplicar a máxima “pense global, aja local” (SIEFFERT; HUYGEN; DAUDON, 2014).

A partir dessa nova realidade, surgiram as primeiras certificações ambientais voltadas para a construção civil, onde empreendimentos verdes seriam verificados quanto aos quesitos ambientais desejados, reduzindo o consumo e evitando o desperdício, funcionando como um atestado oficial para o construtor que contribui com o meio ambiente (HE *et al.*, 2018).

Segundo Awadh (2017), uma certificação ambiental tem como grande propósito balancear os três pilares – social, ambiental e econômico- em uma busca constante por novas estratégias que consigam otimizar essa relação e melhorar a praticabilidade de conceitos ambientalmente corretos para o dia a dia das pessoas, onde o principal resultado alcançado é o processo de mudança, e não apenas o resultado final ao alcançar a certificação. Em países em desenvolvimento, essas certificações se tornam ainda mais necessárias, uma vez que, como ainda precisam de grandes investimentos em obras de infraestrutura e habitação, o impacto ambiental resultante é elevado, e pode ser consideravelmente reduzido com a implementação desses métodos (AKAN; DHAVALE; SARKIS, 2017).

Nesse contexto, as certificações têm como objetivo principal estimular o construtor a executar a obra de maneira consciente, além de viabilizar a redução de custos à longo prazo. Esse processo, quando realizado de maneira adequada, atua como reconhecimento do trabalho desenvolvido (BRASILEIRO, 2013), avaliando as partes integradas ao projeto como um todo. Casado e Fujihara (2009) avaliaram que o processo é de vital importância, ao alavancar o valor de mercado do empreendimento avaliado e reduzir o consumo de insumos ao propor soluções viáveis à obra.

Entretanto, a redução do impacto ambiental que a construção de determinado empreendimento causa não é a única motivação que empresas e construtoras possuem ao construir um edifício verde e certificado ambientalmente, e daí, ao longo do tempo outros

interesses surgiaram e estabeleceram novas prioridades (BALABAN; PUPPIM DE OLIVEIRA, 2017).

Segundo Kibert (2016), os principais motivos que despertam o interesse em se “construir verde” são, em ordem de preferência:

- a) Demanda do cliente;
- b) Demanda de mercado;
- c) Redução no custo operacional;
- d) Propaganda;
- e) Consciência ambiental.

A prioridade dada à propaganda em detrimento à redução do impacto ambiental mostra que os benefícios da construção verde vão além de fatores ambientais, proporcionando uma boa imagem para a empresa ou órgão governamental que constrói ou se instala em uma edificação certificada, pois ao adicionar fatores econômicos e sociais aos ambientais, torna-se um fator contribuinte para a prosperidade da referida instituição à longo prazo, ao proporcionar vantagens competitivas frente à outras empresas (LU; ZHANG, 2016).

Em 1990, foi criada a primeira certificação para a construção civil, sendo pioneira no respeito de propósitos, visando a redução do impacto ambiental causado pela indústria, que posteriormente seria determinada na Agenda 21. O *Building Research Establishment's Environmental Assessment Method* (BREEAM), foi criado no Reino Unido, estabelecendo critérios de avaliação ambiental de edifícios e definindo padrões de melhores práticas para a construção sustentável (DING *et al.*, 2018). Atualmente, o sistema conta com um portfólio de mais de 2 milhões e 200 mil prédios registrados e mais de 500 mil empreendimentos certificados, expandindo sua atuação para além do Reino Unido ao ser considerado o primeiro sucesso alcançado na avaliação de edifícios verdes em que vários aspectos são analisados simultaneamente (BONNA; EL-HAKIM; EL-BEHAIRY, 2019; KIBERT, 2016).

Diante dessa nova dinâmica construtiva, em 1998 foi criado o *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) pelo *United States Green Building Council* (USGBC), organização não-governamental americana, com o intuito de definir, padronizar e estimular empreendimentos sustentáveis nos Estados Unidos (STEFANUTO; HENKES, 2013).

Assim como o BREEAM, o LEED também é considerado uma Avaliação de Qualidade Total (TQA), onde os projetos são classificados através da pontuação alcançada em cada categoria, além da pontuação concedida em pré-requisitos e créditos opcionais (AWADH, 2017).

Por ser uma das primeiras certificações criadas, o LEED também não se resumiu às fronteiras do seu país de origem, sendo amplamente aceito em uma grande quantidade de outros, e não apenas na certificação de habitações, mas também em prédios comerciais e espaços públicos (CANDAŞ; TOKDEMİR, 2019; LU; ZHANG, 2016).

O LEED também não se restringiu em reduzir índices de consumo energético como forma de redução do impacto, realizando o levantamento de fatores como consumo de água, impacto atmosférico, geração de resíduos, experiência humana e localização do empreendimento, como forma de estimular a concorrência verde e sensibilizar os consumidores para a importância de se buscar um melhor desempenho ambiental em edifícios (PASSOS; BRUNA, 2019).

Entretanto, apesar de implementar diversas medidas benéficas ao empreendimento, a certificação é criticada por não ter uma visão holística, não levando em consideração aspectos sociais referentes à população influenciada pelos empreendimentos e principalmente quanto à saúde e segurança do trabalhador durante a obra (KARAKHAN, 2016).

Diante da necessidade de adaptação dessa certificação à realidade de diferentes países, foi criado o *World Green Building Council*, que atualmente conta com 21 países membros os quais adaptaram os parâmetros do LEED para a realidade social e de construção de cada um dos membros, incluindo o Brasil, através do *Brazil Green Building Council* (FASTOFSKI; GONZÁLEZ; KERN, 2017).

À partir dessa nova tendência, as certificações ambientais se espalharam no mundo, tendo um papel importante para estimular a mudança de paradigma (OBATA *et al.*, 2019). Em alguns países que iniciaram esse processo há mais tempo, já é possível notar que as medidas têm sido eficazes na mudança de comportamento do construtor, que agora passa gradualmente a ser uma prática mais comum nos novos projetos e empreendimentos (KIBERT, 2016).

No Brasil, o processo se desenvolveu de maneira mais tardia quando comparado a outros países. Em um primeiro momento, nenhuma certificação genuinamente brasileira foi desenvolvida, cabendo aos construtores brasileiros adaptar-se às estrangeiras. O selo LEED e a certificação francesa *Haute Qualité Environnementale* (HQE) foram exemplos de selos ambientais que realizaram adaptações de suas normas e procedimentos para se adequarem às nuances do país.

Segundo Tashizawa e Andrade (2008), a primeira tentativa de elaboração de uma certificação brasileira se deu ainda na década de 90 pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que sugeriu ao Instituto Brasileiro de Proteção Ambiental (IBPA) a

elaboração de um instrumento de educação ambiental que se adequasse ao mercado da construção civil, tanto interno quanto internacional.

Posteriormente, em 2008, foi elaborado o selo AQUA, uma adaptação proveniente da certificação francesa Démache HQE (*Haute Qualité Environnementale*), como tentativa de utilizar o programa europeu na realidade brasileira. O sistema não funciona através de pontuação nas categorias de atendimento como atualmente a maioria das certificações funciona, e sim classificando em nível de atendimento as suas 14 categorias (Nível base, boas práticas ou melhores práticas). O selo se baseia em duas frentes: Controle total da obra e Qualidade ambiental, que foram adaptadas para a realidade brasileira pela fundação Vanzolini (CONTO; OLIVEIRA; RUPPENTHAL, 2017).

A primeira certificação de fato, integralmente brasileira, e elaborada especificamente para a realidade do país foi lançada apenas em 2009 pela Caixa Econômica Federal (FASTOFSKI; GONZÁLEZ; KERN, 2017). O Selo Casa Azul da Caixa (SCAC), como foi denominado, implementou critérios de atendimento para edificações menos agressivas ao meio-ambiente, incentivando financeiramente o construtor a possuir a certificação.

No total, o selo possuía originalmente 53 critérios divididos em seis categorias distintas, contemplando vários aspectos que abrangem fatores tanto relacionados à obra quanto ao entorno e aos futuros moradores. As categorias avaliadas são:

- a) Qualidade Urbana;
- b) Projeto e Conforto;
- c) Eficiência Energética;
- d) Conservação de Recursos Materiais;
- e) Gestão da Água;
- f) Práticas Sociais.

O cumprimento ou não desses critérios é baseado em checklist, que verifica apenas a presença ou ausência do mesmo, sem opções intermediárias (CARTAXO; JEREISSATI; MORAIS, 2016).

Dezenove dos 53 requisitos são compulsórios, independente do nível atingido pelo empreendimento, onde o atendimento desses garante o nível de entrada do selo, ou nível Bronze. Se além destes, mais seis requisitos fossem cumpridos, atingia-se a categoria prata. Por fim, doze requisitos além dos obrigatórios conferiria à edificação a certificação topo, ou selo Ouro (JOHN; PRADO, 2010).

Embora tenha sido concebida para a dinâmica brasileira, houve uma baixa adesão ao selo, uma vez que as consequências no caso de não cumprimento de algum requisito impactariam severamente o orçamento da obra através da multa calculada de acordo com o valor total do empreendimento (JOHN; PRADO, 2010).

Além disso, o alto custo de implementação de medidas para a adequação ao selo foi estimado em 5,89% para o nível bronze (CARTAXO; JEREISSATI; MORAIS, 2016) e até 7,2% para o nível ouro (BELLO; SABACK; COSTA, 2014), colocando-se como um fator restritivo ou até mesmo impeditivo para a certificação de alguns empreendimentos. Justamente por este fator, o trabalho de Fastofski, González e Kern (2017) aponta no sentido de que a Caixa priorize requisitos mais baratos em sua avaliação.

Até janeiro de 2020, dez anos após o lançamento do programa, apenas 18 empreendimentos haviam sido certificados pelo SCAC em todo o Brasil. Em sua grande maioria, os projetos certificados pelo selo se concentram nas regiões sul e sudeste do país (CAIXA, 2020a), demonstrando a baixa taxa de adesão e distribuição geográfica.

Embora tenha atingido uma baixa participação e interesse no selo desenvolvido, a Caixa Econômica Federal lançou uma nova versão remodelada da certificação, buscando aumentar a adesão ao programa, e consequentemente, aumentando o número de edifícios verdes no país.

Denominado de “Selo Casa Azul + Caixa”, a nova certificação busca facilitar o acesso ao selo, flexibilizando os critérios através de um novo sistema de pontuação, onde a construtora pode alcançar a certificação de duas maneiras distintas, além de incluir uma nova categoria, o “Selo Diamante” (CAIXA, 2020). Adicionalmente, a Caixa buscou adequar o selo às novas tecnologias existentes na construção civil, estimulando empreendimentos mais eficientes ao criar a categoria “inovação”, que incorpora critérios os quais vislumbram a inclusão de novas tecnologias que maximizem a sustentabilidade do empreendimento, tal como o *Building Information Modeling* (BIM).

Apesar disso, o SCAC possui uma característica que o difere de todas as demais certificações existentes, pois além de ter sido elaborado para as nuances brasileiras, é o único a considerar aspectos sociais para habitações de interesse social no Brasil (ADÃO, 2018).

Por tratar desses aspectos, o selo se tornou interessante para aplicação no Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), projeto implementado pelo Governo Federal em 2009 para a redução do déficit habitacional brasileiro, principalmente entre as camadas menos favorecidas economicamente. Apesar disso, como o PMCMV atua de maneira “industrializada”, ao longo do tempo muito se perdeu com a sobreposição da velocidade de construção em relação à

qualidade de projeto e execução, resultando em severas críticas ao programa, que incluem não apenas aspectos construtivos, mas também fatores como localização e pouca integração com aparelhos urbanos tais como transporte público, comércio e lazer (ADÃO, 2018).

Como forma de amenizar essas divergências, a certificação do Selo Casa Azul em empreendimentos MCMV apresenta-se como uma excelente solução para reduzir o impacto ambiental da construção de XX unidades habitacionais ao mesmo tempo que assegura uma maior qualidade entregue aos consumidores, ao avaliar além dos quesitos em relação à qualidade da execução da obra, incluindo também fatores sociais como mobilidade urbana, comércio e lazer.

Embora as certificações tenham evoluído e se aprimorado ao longo dos anos, existe um fator de grande importância a ser considerado: Grande parte das medidas implementadas em um empreendimento, avaliado por qualquer uma das certificações existentes, só será realmente eficaz se os usuários o utilizarem de maneira própria e se esses aparelhos estiverem de acordo com o desejo esperado pelos usuários, sendo esta a chave para o sucesso da implementação dessas tecnologias (FORMOSO; LEITE; MIRON, 2011).

Essa situação se torna mais evidente em empreendimentos onde o nível social e de escolaridade é menor, ao exemplo das HIS, onde a falta de conhecimento a respeito das tecnologias implementadas pode afetar a performance do edifício (GABRIEL; WATSON, 2013) ou até mesmo fazer com que as mesmas sejam negligenciadas (HERNANDEZ-ROMAN; SHEINBAUM-PARDO; CALDERON-IRAZQUE, 2017).

Mesmo não tendo sido originalmente criado para a realidade brasileira, o LEED obteve êxito ao se expandir para além das fronteiras dos Estados Unidos, sendo a maior referência de certificação ambiental no mundo ao adaptar-se para diferentes situações e localizações (DARKO *et al.*, 2019). Da mesma forma, a certificação foi bem recebida no Brasil, que de acordo com a tabela 1, ocupa o 4º lugar mundial (PASSOS; BRUNA, 2019), sendo o objeto de estudo deste trabalho em um empreendimento nacional.

Quadro 1 - Ranking de países na certificação LEED

Ranking	País	Número de Empreendimentos
1	Canadá	3.254
2	China	1.494
3	Índia	899
4	Brasil	531

Fonte: Adaptado de GBC Brasil (2019)

Dessa forma, é possível perceber a importância que a certificação ganhou no Brasil ao longo do tempo, alcançando um número considerável de empreendimentos. Isso demonstra a

grande aceitação do LEED, mesmo fora de seu país de origem, o que inspira um maior aprofundamento acerca do tema.

2.5 Certificação LEED

Um dos pioneiros no incentivo da mitigação do impacto ambiental que a construção civil incita na natureza, atuando desde a década de 90 nos Estados Unidos, a certificação tornou-se uma importante ferramenta com vistas a estabelecer o processo de re-educação ambiental nessa indústria, e mesmo com certa dificuldade de se adaptar à diferentes critérios, métodos e aspectos culturais e regionais de cada país (TABASSI *et al.*, 2016), o LEED alcançou mais de 160 países em 96 mil projetos certificados até 2019 (CANDAŞ; TOKDEMİR, 2019), sendo a certificação mais utilizada (OBATA *et al.*, 2019) e a mais influente no mundo (DING *et al.*, 2018).

Além dos benefícios ao ecossistema, a implementação do selo contribui diretamente para a redução dos custos de manutenção dos empreendimentos certificados ao direcionar a escolha de materiais e métodos para uma maior qualidade, menor energia embutida e consequentemente maior eficiência energética, tornando a gestão à longo prazo mais barata e por conseguinte de maior atratividade para os investidores (KIM; SON; SON, 2020), representando substancial vantagem em um mundo onde mais da metade da população vive aglomerada em grandes centros urbanos sendo estes responsáveis por 76% do consumo energético global (BALABAN; PUPPIM DE OLIVEIRA, 2017).

Apesar das vantagens adquiridas através do processo, a implementação do selo LEED incita, inicialmente, em um acréscimo no custo da obra, e segundo a estimativa feita por Uğur e Leblebici (2018), este aumento pode variar entre 4 e 11% do valor global orçado, considerando tanto o custo de implementação das medidas quanto o burocrático para a certificação do empreendimento, a depender do tamanho total da obra e nível pretendido. Ainda segundo os autores, o valor gasto torna-se irrisório à longo prazo, a partir do momento em que a gestão da edificação pronta é mais barata e eficiente quando comparada à uma que não obteve o selo.

Uğur e Leblebici (2018) afirmam ainda que somente a redução da energia direta consumida, configurando-se como um dos principais custos, chegou a 34% em um edifício verde, o que traduziu o tempo de retorno do investimento de aproximadamente um ano e três meses no caso analisado, ou seja, considerando que a vida útil de uma edificação seja de 50

anos, os investimentos adicionais para a certificação são compensados em um curto lapso temporal.

Boa parte dos benefícios alcançados com a implementação do LEED são frutos de um projeto bem elaborado e executado, segundo Tabassi *et al.* (2016), os quais complementam afirmando que os gerentes e gestores são os maiores responsáveis por influenciar positivamente os seus colaboradores a adotar os princípios da certificação no dia a dia da obra, tornando-a mais eficiente e controlando positivamente o resultado final do empreendimento, além de tornar a etapa de construção menos impactante (AHMED; HOSSAIN; HOSSAIN, 2018). Justamente por possuírem o poder de decisão, cabe a eles também serem os responsáveis por realizar as adequações de todas as variáveis do LEED ao empreendimento, levando em consideração os aspectos culturais e regionais de onde o mesmo está inserido.

Ademais, segundo Kibert (2016), devido à atratividade da certificação e benefícios ecológicos, algumas Cidades e Estados fornecem incentivos fiscais para novos empreendimentos que busquem a implementação do LEED ou, em alguns casos, até mesmo tornando obrigatória a certificação de empreendimentos financiados pelo estado (KARAKHAN, 2016), como forma de fomentar o aumento no quantitativo de prédios verdes.

O *United States Green Building Council* (USBGC), organização sem fins lucrativos responsável pelo LEED, atua para estimular práticas sustentáveis de projeto, execução e operação no meio da construção, atendendo à critérios e normas divididos em categorias (USGBC, 2020):

- a) Processo Integrado (IP);
- b) Localização e Transporte (LT);
- c) Lotes Sustentáveis (SS);
- d) Eficiência Hídrica (WE);
- e) Energia e Atmosfera (EA);
- f) Materiais e Recursos (MR);
- g) Qualidade Interna dos Ambientes (EQ);
- h) Inovação em Projetos (IN);
- i) Créditos Regionais (RP).

Cada categoria visa uma frente de atuação diferente, gerando pontos para o empreendimento, de forma com que o conjunto final alcance a redução global do impacto tanto durante a construção quanto durante a utilização do empreendimento após a conclusão da obra (MICHAEL; ZHANG; XIA, 2017).

Para que a certificação de fato atinja seus objetivos, cada categoria é comparada à um sistema do corpo humano, tendo sua importância individual, mas ainda dependendo dos outros sistemas para alcançar o melhor funcionamento possível do organismo, trabalhando juntos em prol do mesmo objetivo (GBC BRASIL, 2017; PASSOS; BRUNA, 2019).

Atualmente, o LEED subdivide-se em oito tipos, cada um voltado para um diferente perfil de empreendimento, atuando detalhadamente para alcançar uma maior eficácia. O *Green Building Council Brasil* (GBC Brasil), instituição criada em 2008 e responsável pelas adaptações para a realidade brasileira e gerenciamento do selo em território nacional, também de maneira similar, em sua versão mais recente adaptou a versão brasileira do LEED em sete categorias, sendo estas:

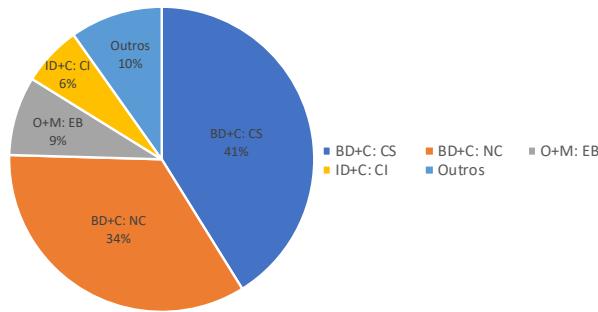
- a) LEED BD+C (Novas Construções);
- b) LEED ID+C (Construção e Design de Interiores);
- c) LEED O+M (Edifícios Existentes);
- d) LEED ND (Design de Bairros);
- e) LEED Casa;
- f) LEED Condomínio;
- g) LEED Zero.

Dessa forma, o LEED se torna mais inclusivo, visando atender diferentes tipologias de construção tanto no Brasil quanto no exterior, e de maneira ainda mais abrangente, possui ainda sub-divisões dessas categorias para empreendimentos ou certificações mais específicas, tais como (GBC BRASIL, 2017).

- a) Prédios Hospitalares;
- b) Escolas;
- c) Empreendimentos Comerciais;
- d) Hospedagem;
- e) Centro de Distribuição;
- f) Lojas de Varejo;
- g) Envoltório e Núcleo Central;
- h) Data Centers.

Dentre essas categorias, no Brasil a tipologia mais procurada para certificação é a BD+C (*Core and Shell* - Envoltório e Núcleo), sendo esta a responsável por cerca de 41% dos empreendimentos registrados até 2017 segundo o GBC Brasil (2017) (figura 1).

Figura 1 - Registros da certificação LEED por categoria



Fonte: Adaptado de GBC Brasil (2017)

A partir da figura 1 é possível verificar que para o segundo lugar em número de registro tem-se a BD+C (NC - Novas Construções), que juntas representam mais de 75% do total de empreendimentos certificados no país.

Dessa forma, por se tratar de uma Avaliação de Qualidade Total (TQA) onde os projetos são categorizados através da pontuação alcançada (AWADH, 2017), onde o sistema para a certificação do empreendimento funciona de maneira simples, de modo que, cada requisito atendido, seja ele obrigatório ou não, corresponde à uma pontuação, que ao ser totalizada com as pontuações de todas as categorias e requisitos obrigatórios, permitirá alcançar um determinado nível, totalizando no máximo 110 pontos (USGBC, 2020).

Ainda segundo a USGBC (2017), devido à importância da redução do consumo de água e energia, essas duas categorias são responsáveis por 50% do total de pontos alcançáveis, onde a categoria mais baixa, quando o empreendimento é apenas certificado, é para edifícios que somaram entre 40 e 49 pontos. Caso tenham sido implementadas mais medidas que o mínimo necessário, e o mesmo alcance entre 50 e 59 pontos, o selo LEED Prata é concedido. Da mesma maneira, caso os critérios atendidos somem 60 e 79 pontos, a certificação LEED Ouro é alcançada. Por fim, a categoria mais alta do programa é a LEED Platina, concedida à empreendimentos que somem mais de 80 pontos, e consequentemente proporcionem mais benefícios (MICHAEL; ZHANG; XIA, 2017; USGBC, 2020).

O quadro 2 mostra a distribuição desses 110 pontos de acordo com cada uma das categorias da certificação.

Quadro 2 - Peso dos critérios de cada categoria da certificação LEED

Categoria	Créditos
Processo Integrado	1
Transporte e Localização	16
Lotes Sustentáveis	10
Eficiência Hídrica	11

Energia e Atmosfera	33
Materiais e Recursos	13
Qualidade Interna dos Ambientes	16
Inovação de Projeto	6
Créditos Regionais	4
Total	110

Fonte: O Autor

Pode-se perceber que a categoria diretamente ligada ao consumo energético é a que concentra o maior número de pontos a serem distribuídos para o empreendimento.

Segundo Michael, Zhang e Xia (2017), outro grande ramo de atuação do LEED é na reforma e adequação de edifícios já existentes à certificação, onde existe alta demanda e grande potencial de redução de consumo de energia e água. No estudo de caso utilizado pelos autores, o LEED foi a certificação escolhida para a reforma de um prédio governamental na África do Sul, justamente por sua representatividade mundial e facilidade de aplicação dos critérios, especialmente por possuir uma categoria da certificação desenhada especificamente para a reforma de prédios já existentes e com um tempo de retorno que justificaria financeiramente o investimento nessa atualização e reforma.

De maneira resumida, para a certificação do projeto é necessário realizar o registro do mesmo em uma plataforma online disponibilizada pelo WGBC, onde informações gerais preliminares serão fornecidas, para posteriormente, a equipe de projetos juntamente com o LEED AP (*Accredited Professional* - Consultor especialista em LEED, que atua como facilitador do processo), realizarão um levantamento detalhado de relatórios, memoriais, projetos da obra em questão junto com os objetivos, planilhas e formulários necessários para a certificação, sendo estes diretamente submetidos para a aprovação ou não do USGBC (STEFANUTO; HENKES, 2013).

Embora o sucesso e aceitação do LEED tenham se dado em escala global, o USGBC não se manteve estático com o passar do tempo, lançando atualizações das suas diretrizes originais, conhecidas como versões. A mais atual, LEED v4.1, adapta e atualiza a certificação aos novos métodos construtivos, mudança de diretrizes e novos critérios, mantendo o LEED atualizado com o avanço do mercado, priorizando o gerenciamento de performance de empreendimento, destacando-se em edifícios já existentes mas também atuando em novos prédios (KIBERT, 2016; STANLEY, 2019).

Além disso, essa nova versão incorpora fatores sociais à certificação ao priorizar empreendimentos que estimulem o desenvolvimento social (PASSOS; BRUNA, 2019), fator que segundo Karakhan (2016), era o motivador de severas críticas justamente pela versão original do LEED não levar em consideração.

Ademais, essa atualização foi a responsável por agregar a categoria de Créditos de Prioridade Regional, que até então não fazia parte dos critérios da certificação, reconhecendo ainda mais a especificidade regional de cada país onde a certificação é aplicada, tornando o LEED mais flexível à situações econômicas e sociais distintas ao definido pela versão original (FARIA, 2016; PASSOS; BRUNA, 2019).

O Brasil é o quarto país com mais empreendimentos certificados ou em processo de certificação do LEED no mundo, excluindo os Estados Unidos (USGBC, 2020). Com o passar dos anos e uma maior divulgação do selo no país, cresceu não apenas o número de edifícios certificados mas também o interesse geral por outras categorias do LEED, notadamente no segmento de comunidades verdes certificadas pelo selo, criando as chamadas “comunidades *low-carb*”, que são as cidades ou bairros desenvolvidos de acordo com o LEED ND (*Design* de Bairros), os quais conseguem garantir níveis pré-estabelecidos de gases do efeito estufa mantidos em níveis seguros, onde não haverá prejuízo à saúde das pessoas que por lá circulam (BENITES; OSMOND; ROSSI, 2020).

Segundo Faria (2016), os cinco tipos de certificação mais procurados no Brasil são:

- a) escritórios;
- b) armazéns e centros de distribuições;
- c) produção industrial;
- d) varejo;
- e) edifícios públicos.

Comparando todas as unidades federativas, São Paulo é o Estado que concentra o maior número de certificações LEED no Brasil, sendo responsável por 53% do total e mais de 600 empreendimentos certificados, existindo também uma crescente procura também para o desenvolvimento de bairros verdes certificados. (PASSOS; BRUNA, 2019).

No Estado do Pará, onde se localiza o objeto de estudo desta pesquisa, apenas oito empreendimentos foram certificados pelo LEED, o que garante apenas a 13^a colocação no *ranking* nacional (GBC BRASIL, 2017).

3 MÉTODO DA PESQUISA

Neste capítulo, serão expostos e descritos os procedimentos metodológicos adotados em cada fase do presente trabalho, de modo a propiciar uma melhor percepção quanto a divisão e organização do desenvolvimento deste.

3.1 Pesquisa científica

O progresso da ciência, em todas as áreas do conhecimento, baseia-se em um importante pilar chamado pesquisa, que em sua busca incansável, é fonte inigualável de desenvolvimento para a sociedade (FONSECA, 2012).

Gil (2008) define pesquisa como os procedimentos sistemáticos voltados para o desenvolvimento científico com o intuito de descobrir respostas para problemas diversos. Ainda segundo o autor, é possível dividir as pesquisas em duas subcategorias de acordo com sua finalidade, sendo elas Aplicada e Básica, diferindo entre si pelo foco na aplicabilidade e consequências práticas dos resultados obtidos ou pelo foco na construção de teorias e leis, respectivamente.

Segundo Zanella (2013), a pesquisa científica pode se dividir ainda em diferentes categorias, à depender da sua abordagem quanto aos vários aspectos inerentes à metodologia executada. Quanto aos objetivos, e de maneira suscinta, podem ser classificadas em:

- a) Exploratória, que objetiva ampliar o conhecimento acerca de determinado fenômeno;
- b) Descritiva, que analisa as características e problemas do objeto pesquisado;
- c) Explicativa, que identifica os fatores determinantes e sua contribuição diante de um fenômeno;
- d) Avaliativa, que objetiva contrastar os resultados obtidos com padrões explícitos ou implícitos através de critérios.

Complementarmente, Prodanov e Freitas (2013) trazem classificações referentes à abordagem da pesquisa, que pode ser classificada como:

- a) Qualitativa, onde não se utilizam métodos e técnicas estatísticas, ao se basear na interpretação dos fenômenos e sua atribuição de significados;

- b) Quantitativa, que leva em conta que tudo pode ser quantificável, classificando e analisando através de recursos estatísticos diversos;
- c) Quali-Quantitativa, onde são utilizadas técnicas combinadas das duas abordagens explicadas anteriormente, que devem atuar de maneira complementar e não-contraditórias.

Neste sentido, o embasamento teórico no tema permitiu a caracterização desta dissertação e a realização do delineamento de pesquisa, a ser abordado no tópico a seguir.

3.2 Delineamento da pesquisa

Em um primeiro momento, buscou-se realizar o enquadramento metodológico no qual esta pesquisa se baseia, e neste contexto, a mesma pode ser classificada como:

- a) Aplicada quanto à sua natureza, gerando conhecimento prático no que concerne à um problema específico (FONSECA, 2012);
- b) exploratória, ao testar aspectos da teoria (GIL, 2008);
- c) descritiva, ao mostrar as características de dado fenômeno e a relação com as suas variáveis (FONSECA, 2012);
- d) explicativa, ao utilizar os dados obtidos para atestar suas causas; tendo também uma abordagem qualitativa, ao realizar avaliação desses aspectos em um estudo de caso (PRODANOV; FREITAS, 2013; YIN, 1981).

Ademais, segundo Ferreira, Schwarzbach e Ferreira (2018), a coleta de dados é uma etapa de suma importância em qualquer pesquisa de campo ou estudo de caso, permitindo que os resultados encontrados sirvam como base para gerar informações fidedignas, e que dessa forma, possam atuar como alicerce sólido para o desenvolvimento do restante do trabalho.

Em seguida, foi realizado o delineamento da pesquisa, no intuito de orientar e guiar o pesquisador na busca por soluções para o problema apresentado, estabelecendo etapas para a correta condução e desenvolvimento do trabalho.

Para este estudo, o delineamento foi composto por cinco fases:

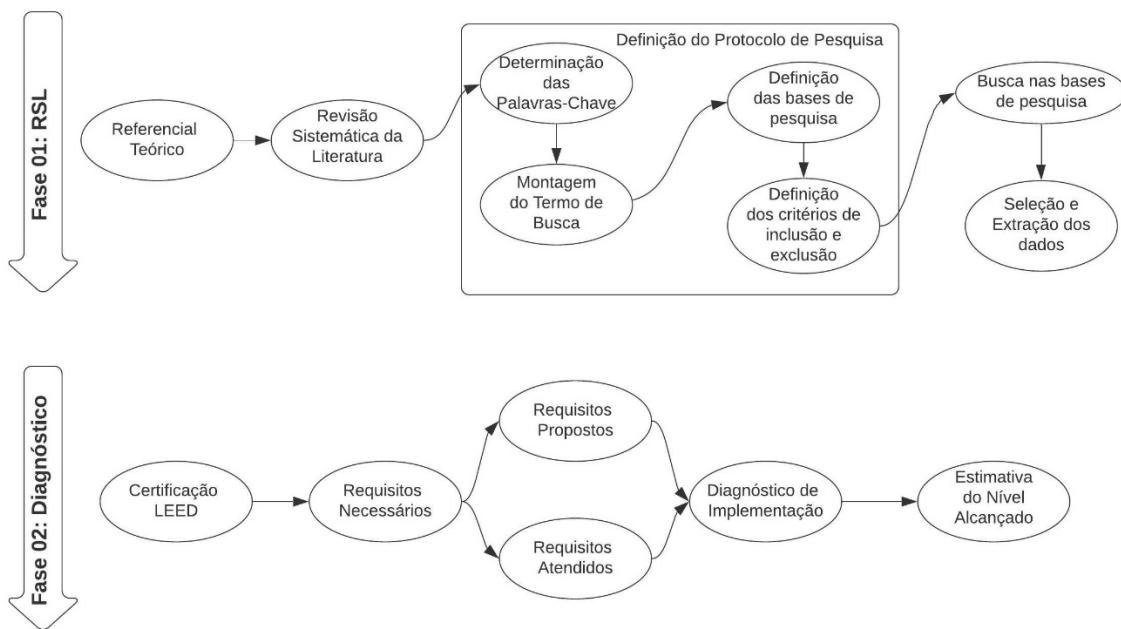
- a) A primeira, composta por uma revisão sistemática da literatura (RSL) a respeito dos temas pertinentes ao assunto desenvolvido no trabalho, trazendo uma

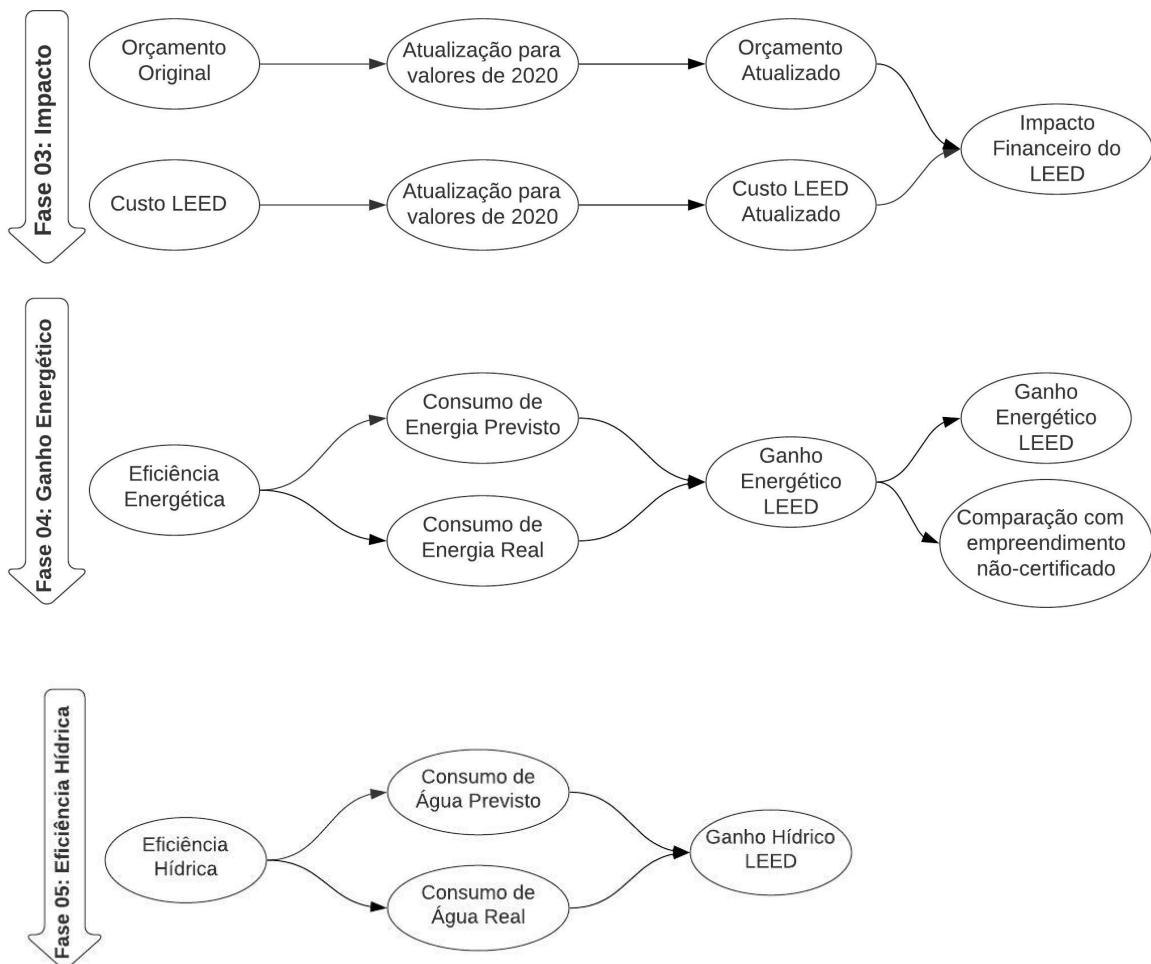
abordagem conceitual que serviu de base para o prosseguimento e discussão dos resultados apresentados ao longo dos capítulos;

- b) A segunda, estabelecida através de um diagnóstico dos requisitos do LEED propostos no estudo de caso, identificando quais destes critérios foram atendidos ou não, e estimando o nível certificado que o mesmo alcançaria;
- c) Na terceira fase, uma atualização orçamentária para a verificação dos custos de implementação dos requisitos;
- d) Na quarta fase uma análise dos benefícios obtidos com a implementação dos requisitos do LEED, como forma de verificar o impacto no consumo energético do caso estudado, comparando-o com outra edificação de porte similar.
- e) Por fim, na quinta fase, uma avaliação do consumo hídrico na edificação avaliada, comparado o resultado com o projetado pela concessionária de água e esgoto.

Estas etapas explanadas anteriormente podem ser melhor compreendidas através da figura 2, onde apresenta-se de forma mais abrangente um diagrama com as etapas executadas no estudo.

Figura 2 - Delineamento de Pesquisa





Fonte: O Autor

Visando um melhor entendimento de como este trabalho foi desenvolvido, foram detalhadas cada uma das fases desenvolvidas na pesquisa em busca dos resultados, as quais são devidamente descritas a seguir.

3.3 Fase 01: Revisão Sistemática da Literatura

O quantitativo elevado de trabalhos voltados para a área de sustentabilidade e da certificação LEED gera um número excessivo de informações ao pesquisador, justificando a necessidade de implementação de uma análise sistemática desse material. Essa análise atua como forma de auxílio à pesquisa, além de ser um método de certificação da qualidade do material que foi utilizado como arcabouço teórico desta dissertação (GIL, 2002).

Diante do exposto, esta primeira fase de revisão sistemática da literatura foi executada com o propósito de determinar os principais aspectos abordados pelos teóricos a respeito dos

dois temas envolvidos no estudo, que são Sustentabilidade e Certificação LEED. Para isso, essa revisão foi dividida em quatro etapas:

- a) Definição dos parâmetros do protocolo de pesquisa;
- b) Busca das publicações nas bases de dados;
- c) Triagem dos artigos, através da leitura do título e resumo/abstract;
- d) Extração, onde foi realizada a leitura completa do material para a triagem final das publicações de acordo com os critérios de inclusão/exclusão.

Para a operacionalização desta RSL, foi utilizado o software START (*State of the Art Through Systematic Review*) desenvolvido pelo Laboratório de Pesquisa de Engenharia de Software (LAPES) da Universidade Federal de São Carlos, em São Paulo, e disponibilizado gratuitamente online. Com isso, foi dado início à revisão a partir da escolha das palavras-chave, estabelecidas através de pesquisa informal e livre, visando obter-se conhecimento sobre o tema.

Devido à sua abrangência e ampla utilização internacional, a língua inglesa foi o idioma escolhido para a realização da curadoria através das palavras-chave *Sustainable Construction*, *Sustainability* e *LEED*, sendo as duas primeiras referentes à sustentabilidade e a última ao certificado avaliado neste trabalho.

Para a elaboração da *string* de pesquisa, que nada mais é do que a linguagem utilizada para a busca nas bases de dados, foi definida da seguinte maneira: *LEED AND (“Sustainable Construction” OR “Sustainability”)*, onde o *AND* significa que a busca precisa conter a palavra antes e a que vem após esse termo, e *OR* que é utilizado em caso de sinônimos para refinar as buscas.

A escolha das bases de pesquisa ocorreu por meio de:

- a) Busca exploratória realizada pelo autor durante a primeira etapa desta revisão;
- b) Conhecimento empírico do próprio pesquisador.

Foram utilizadas fontes primárias, advindas da pesquisa nas seguintes bases de dados internacionais: *American Society of Civil Engineers*, *Research Gate*, *Scielo*, *Science Direct*, *Scopus*, *Springer*, *Taylor & Francis* e *Web Of Science*.

Os critérios de exclusão das publicações utilizados nesta revisão foram:

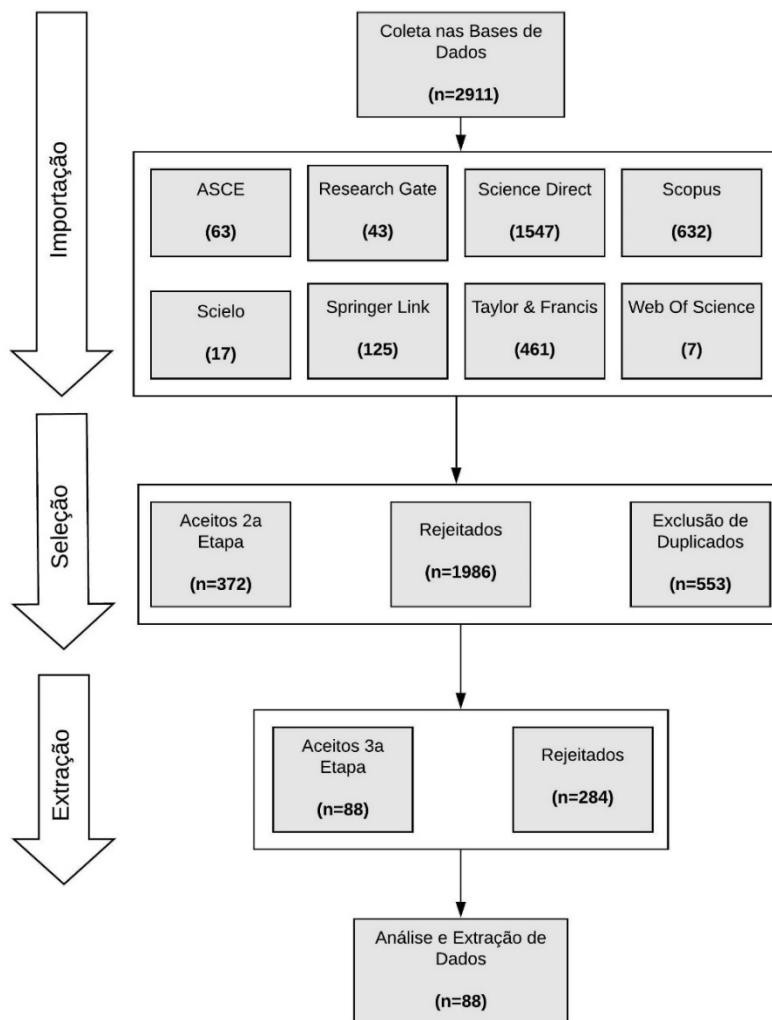
- a) Possuir duas páginas ou menos;
- b) Ser um trabalho que não está disponível na íntegra para o pesquisador,
- c) Não ser um trabalho relativo ou que aborde mesmo que parcialmente os temas pesquisados;
- d) Ter sido publicado antes de 2016.

Definidas as condições de contorno para a execução da revisão, foi possível iniciar de fato as buscas nas bases de dados o que se deu com os materiais selecionados e referentes à sustentabilidade e eficiência energética, de modo que permitissem o embasamento teórico e prosseguimento da pesquisa para temas mais complexos, e posteriormente, materiais relacionados com as certificações ambientais, notadamente ênfase dada para o *Leadership in Energy and Environmental Design*. Em ambos os casos se excluiu todos os erros de importação e eventuais artigos duplicados, ao aparecerem como resultado nas buscas de duas ou mais bases de dados.

Para sua execução completa, a revisão sistemática da literatura foi desenvolvida entre os meses de Fevereiro e Junho de 2020. No início desta revisão, em um primeiro momento foram obtidos 2911 artigos nas buscas realizadas a partir das oito bases de dados em questão. Desse total, 553 foram excluídos por apresentarem registros duplicados, ou seja, o mesmo artigo apareceu em duas ou mais bases de dados, resultando em 2358 artigos restantes para análise. A partir disso, foi possível iniciar a fase de seleção, onde 1986 artigos foram rejeitados por possuírem algum dos quatro critérios de exclusão previamente estabelecidos, deixando 372 trabalhos restantes para serem analisados minuciosamente na etapa de extração. Por fim, na última etapa, 284 artigos foram rejeitados do processo, restando os 88 trabalhos que resultaram desta revisão sistemática os quais foram utilizados como arcabouço teórico para a elaboração e desenvolvimento do trabalho.

A operacionalização do método descrito acima resultou nos seguintes dados expostos na Figura 3.

Figura 3 - Operacionalização da Revisão Sistemática de Literatura



Fonte: O Autor.

3.4 Fase 02: Diagnóstico de Implementação

O LEED, assim como diversas outras certificações ambientais, funciona com um sistema de pontuação, no qual existem requisitos obrigatórios a serem atendidos por todos os empreendimentos, e os opcionais, que concedem uma pontuação adicional a ser utilizada por projetos que almejam alcançar mais do que a simples certificação, atingindo categorias superiores do LEED.

Dessa maneira, para uma melhor compreensão da certificação LEED e dos seus respectivos reflexos reais no consumo energético em um dado empreendimento, foi realizado um diagnóstico dos requisitos da certificação norte-americana, definidos pela diretoria da construtora para implementação no edifício utilizado como estudo de caso, e objeto de estudo deste trabalho.

O edifício, utilizado para o estudo de caso desta dissertação e denominado sob o nome fantasia de “Edifício X”, localiza-se na cidade de Belém-PA, em um bairro conceituado como de elevado padrão e que também concentra uma das maiores rendas *per capita* de toda a região metropolitana da cidade (DA SILVA CORRÊA; ARBAGE LOBO, 2019). Com 30 pavimentos-tipo e apenas um apartamento por andar, o empreendimento possui duas opções de planta, com 195,01m² e 200,64 m² de área privativa, além de 96 vagas de garagem e três elevadores, sendo um social, um de serviço e um de emergência. Em sua área condominial, o edifício conta ainda com instalações de piscinas infantil e adulto, espaço *gourmet*, quadra poliesportiva, espaço *fitness*, salão de festas, *Spa*, brinquedoteca e *playground*.

Durante a sua construção, iniciada em novembro de 2012, a diretoria da construtora optou em iniciar pela primeira vez o processo de certificação de algum dos seus empreendimentos pelo LEED CS (*Core and Shell*), almejando alcançar o nível prata. Por se tratar de uma decisão estratégica, a construtora buscou o auxílio de um profissional especializado na certificação americana para atuar como guia das ações a serem tomadas, também conhecido como LEED AP (Accredited Professional). Entretanto, durante a obra, a construtora optou por abandonar o processo de certificação da Edificação devido ao alto custo associado.

Através do diagnóstico de implementação, realizado por meio de simples conferência através de checklist dos itens implementados com os requisitos, tanto obrigatórios quanto opcionais, estabelecidos pelo GBC Brasil como parte dos requisitos necessários para obtenção do LEED. Devido à sua importância, foram analizados os critérios “Eficiência Hídrica” e “Energia e Atmosfera”. Além disso, ao final do diagnóstico, identificou-se quais requisitos não foram cumpridos quando comparado ao planejamento inicial da construtora em conjunto com a consultoria contratada para a obtenção da certificação LEED, permitindo visualizar o *status* atual do empreendimento.

Abaixo, na Tabela 1, são apresentados os requisitos obrigatórios e opcionais de acordo com a versão mais recente do LEED Core and Shell, para a verificação do que seria cumprido ou não se a certificação fosse realizada nos dias atuais:

Tabela 1 - Checklist LEED CS

0	0	0	Eficiência Hídrica	11
			Pré-req Redução do Uso de Água do Exterior	Obrigatório
			Pré-req Redução do Uso de Água do Interior	Obrigatório
			Pré-req Medição de Água do Edifício	Obrigatório
			Crédito Redução do Uso de Água do Exterior	2
			Crédito Redução do Uso de Água do Interior	6
			Crédito Uso de Água de Torre de Resfriamento	2
			Crédito Medição de Água	1

0	0	0	Energia e Atmosfera	33
			Pré-req Comissionamento Fundamental e Verificação	Obrigatório
			Pré-req Desempenho Mínimo de Energia	Obrigatório
			Pré-req Medição de Energia do Edifício	Obrigatório
			Pré-req Gerenciamento Fundamental de Gases Refrigerantes	Obrigatório
			Crédito Comissionamento Avançado	6
			Crédito Otimizar Desempenho Energético	18
			Crédito Medição de Energia Avançada	1
			Crédito Resposta à Demanda	2
			Crédito Produção de Energia Renovável	3
			Crédito Gerenciamento Avançado de Gases Refrigerantes	1
			Crédito Energia Verde e Compensação de Carbono	2

Fonte: USGBC (2021)

Portanto, de posse do checklist e dos requisitos necessários para atender os critérios, foi possível verificar quais modificações foram cumpridas. Na Tabela 1, os itens marcados no campo em laranja não foram atendidos, os em amarelo foram atendidos parcialmente, e portanto recebem pontuação proporcional, e os itens verdes foram completamente realizados e recebem a pontuação total.

Além disso, os pré-requisitos obrigatórios devem ser marcados com “S” ou “N”, não existindo a opção de serem atendidos parcialmente. Em caso de não atendimento do item, o campo cinza deve ser preenchido com “N” (NÃO). Portanto, os marcados com “S” (SIM) foram atendidos de forma adequada

3.5 Fase 03: Impacto Financeiro do LEED

Apesar dos inúmeros benefícios ambientais descritos na literatura decorrentes da implementação da certificação LEED em um empreendimento, é fato que em um primeiro momento, a incorporação das medidas requeridas pelo selo acarretam um aumento do custo total da obra, fator este que por muitas vezes, torna-se restritivo no orçamento das construtoras que tentam aderir à certificação.

Assim, na terceira fase deste trabalho, buscou-se entender o impacto orçamentário que a certificação LEED representou ao orçamento da obra. Dias *et al.* (2017) realizaram um estudo

para a mesma edificação, entretanto, faz-se necessário atualizar os valores corrigidos para o presente ano, e comparativamente, verificar o resultado ocasionado pela implementação ou não das medidas.

Para isso, de maneira análoga ao trabalho de Dias *et al.* (2017), foram utilizados os índices do CUB (Custo Unitário Básico da Construção Civil), um indicador nacional desenvolvido pelos Sindicatos da Indústria da Construção Civil (SINDUSCON) de todo o Brasil, e através deste coeficiente, os valores puderam ser atualizados. Esse índice é referenciado em dados oficiais do IBGE e considerado como uma fonte amplamente utilizada e de credibilidade e confiança (WEISE *et al.*, 2018), que apresenta aspectos regionais, ao possuir índices específicos para cada um dos Estados brasileiros onde o SINDUSCON atua, permitindo uma maior precisão nas estimativas ao seguir os índices econômicos de cada unidade federativa.

Para embasamento desta pesquisa, tomou-se como referência o mês de março de 2020 para o Estado do Pará, sendo este o índice mais atualizado no período em que a atualização orçamentária foi realizada. De posse dos índices atualizados, disponibilizados diretamente no site do SINDUSCON, e utilizando o trabalho de Dias *et al.* (2017) como base, foi possível corrigir os valores de orçamento total do edifício, utilizados no referido trabalho e disponibilizados em arquivo do software de planilha *Microsoft Excel*, dispondo valores presentes, e de maneira similar, o custo de implementação e adequação do empreendimento à categoria prata do LEED também para preços atualizados.

Portanto, dessa forma, foi possível se ter um panorama geral e atualizado do montante financeiro e global da obra assim como o custo adicional a ser investido para alcançar a certificação pretendida, proporcionando uma verificação precisa da diferença orçamentária.

3.6 Fase 04: Consumo Energético

Dessa maneira, na quarta e penúltima fase, foi realizada uma análise comparativa do ganho energético alcançado com a implementação de algumas das medidas do LEED no estudo de caso do Edifício X, visando a verificação da real redução de consumo no empreendimento quando comparado a outro que seguiu os métodos construtivos habituais, sem qualquer intervenção voltada para uma certificação ambiental.

Através de levantamento do projeto elétrico da edificação, foi possível identificar o consumo esperado em delineamento para as unidades habitacionais, seguindo os consumos

médios e método de cálculo estabelecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2015), o que permitiu a comparação com os dados obtidos em um período de 19 meses considerando o consumo real de cada uma delas, em *kilowatt-hora* (KwH). Esses dados foram coletados diretamente do Medidor Individual de Energia (MIE) de cada um dos apartamentos e da área condominial, obtidos entre julho de 2019 e janeiro de 2021, sendo posteriormente analisados com o auxílio do software estatístico e de planilha *Microsoft Excel*.

De maneira análoga, e para permitir uma comparação apropriada entre uma edificação comum e sem qualquer intenção de certificação ambiental com o Edifício alvo da pesquisa, comparou-se os dados obtidos com os de um outro empreendimento residencial com características similares. O edifício escolhido para isso, denominado neste trabalho como “Edifício Y”, também possui 30 pavimentos, porém com duas unidades por andar e duas opções de planta, com 193,05m² e 200,64 m² de área privativa, 180 vagas de garagem e três elevadores, sendo dois sociais e um de serviço. Além disso, nas áreas comuns, as instalações são similares com as do edifício X utilizado como estudo de caso, ou seja, piscinas infantil e adulto, espaço *gourmet*, quadra poliesportiva, espaço *fitness*, salão de festas, brinquedoteca e *playground*.

Dessa forma, pela similaridade de padrão e demais características entre as duas edificações, foi possível realizar a análise comparativa do consumo energético entre elas, identificando o impacto, positivo ou não, da implementação das medidas LEED ao verificar se houve uma redução no consumo *per capita* frente à um edifício sem qualquer tipo de certificação.

Essa comparação se deu através dos dados referentes ao consumo médio por unidade por habitante, para que o maior número de unidades do Edifício Y, não certificado, e consequente consumo absoluto maior, não distorcesse os resultados obtidos. Além disso, complementarmente, foi possível determinar se o consumo esperado em projeto foi compatível, aquém ou além do consumo real da Edificação X durante sua fase de uso.

3.7 Fase 05: Consumo Hídrico

Por fim, durante a quinta e última fase de pesquisa, foram coletados os dados referentes ao consumo hídrico mensal de cada uma das unidades habitacionais do Edifício X, utilizado como referência deste estudo.

Portanto, ao longo de nove meses foi possível perceber o padrão de utilização desse recurso natural de suma importância, o que se operacionalizou consultando diretamente os

valores registrados mensalmente no hidrômetro individual de cada uma das Unidades Habitacionais (UHs).

Salienta-se que, de maneira análoga ao realizado na Fase 04, os valores resultantes foram analizados tendo como ferramenta o software estatístico Microsoft Excel visando um melhor entendimento dos resultados.

O principal valor de referência, para a apropriada comparação dos resultados, é o estipulado pela concessionária local de água e esgoto para novas edificações verticais. No caso abordado, a COSANPA estabelece um total de 1.000 litros por dia por unidade habitacional com três ou mais quartos.

Porém, o comparativo com o Edifício Y realizado na Fase 04, não alcançou condições de execução nesta etapa devido à ausência de dados referentes ao segundo empreendimento, pois no prédio em questão, os hidrômetros individuais de cada apartamento foram removidos logo após a liberação do “Habite-se”, documento este emitido pelo Corpo de Bombeiros pouco tempo após a entrega do edifício para os clientes.

A retirada do hidrômetro se deu pela existência de um poço artesiano no local, de onde se realiza o abastecimento de água para toda a área comum e unidades individuais, o que demonstrou maior economia do ponto de vista financeiro, se comparado ao custo de fornecimento de água pela concessionária local.

Diante do exposto, portanto, é possível realizar duas comparações diferentes em relação a esse empreendimento:

- a) A comparação entre o estimado em projeto pela COSANPA e o consumo real obtido;
- b) O confronto destes valores com os alcançados pela redução global prevista pela certificação ao qual o Edifício X se sujeitou, verificando o atendimento ou não da mesma.

4 RESULTADOS

A construção do Edifício X, alvo desta pesquisa, ocorreu entre os anos de 2012 e 2016. Vale salientar que, durante o final deste período, instabilidades econômicas cercaram o Brasil resultando em uma série de dificuldades financeiras em diversos setores. Dessa maneira, e de forma similar para as construtoras, a conclusão de alguns de seus empreendimentos foram diretamente afetados. No caso da empresa responsável pelo edifício, a decisão estratégica tomada foi de abdicar da certificação LEED, claramente reportado pela diretoria da empresa em um movimento para reduzir custos e viabilizar a conclusão da obra.

Apesar do processo de certificação não ter sido levado até o fim, pois o empreendimento desistiu da conclusão do processo de adequação para o alcance da certificação em face dos custos gerados, diversas medidas foram implementadas durante a construção, notadamente no que concerne o consumo energético e hídrico.

4.1 Diagnóstico de Implementação

Devido ao elevado custo para a implantação das medidas preconizadas na certificação LEED, estas não foram instaladas em sua totalidade pela estrutura do Edifício X durante a obra. Esta foi a principal razão pelo qual o edifício em questão não concluiu o processo de certificação, sendo um grande entrave para viabilizar economicamente a obra e aplicação do selo norte-americano.

Apesar de ser amplamente utilizado no mundo, e também no Brasil, o LEED não é usualmente aplicado em edificações de baixo padrão, justamente pelo alto valor que deve ser investido para a sua certificação.

Dessa forma, foi feita a pesquisa de quais medidas foram de fato implementadas pela construtora no Edifício X nos quesitos “Eficiência Hídrica” e “Energia e Atmosfera”, devido à alta importância desses fatores na proposta original deste trabalho. Vale relembrar que juntos, esses dois requisitos são responsáveis por sete requisitos obrigatórios e 40% dos 110 pontos necessários para se alcançar as categorias superiores.

Dessa maneira, a Tabela 1 pode ser atualizada com os requisitos que foram atendidos durante o processo de implantação no Edifício X. O resultado observado consta na Tabela 2 abaixo:

Tabela 2 - Checklist Edifício X

0 0 0 Eficiência Hídrica				11
S		Pré-req	Redução do Uso de Água do Exterior	Obrigatório
S		Pré-req	Redução do Uso de Água do Interior	Obrigatório
S		Pré-req	Medição de Água do Edifício	Obrigatório
	X	Crédito	Redução do Uso de Água do Exterior	2
	X	Crédito	Redução do Uso de Água do Interior	6
	X	Crédito	Uso de Água de Torre de Resfriamento	2
	X	Crédito	Medição de Água	1

0 5 0 Energia e Atmosfera				33
S		Pré-req	Comissionamento Fundamental e Verificação	Obrigatório
S		Pré-req	Desempenho Mínimo de Energia	Obrigatório
S		Pré-req	Medição de Energia do Edifício	Obrigatório
S		Pré-req	Gerenciamento Fundamental de Gases Refrigerantes	Obrigatório
	X	Crédito	Comissionamento Avançado	6
5		Crédito	Otimizar Desempenho Energético	18
	X	Crédito	Medição de Energia Avançada	1
	X	Crédito	Resposta à Demanda	2
	X	Crédito	Produção de Energia Renovável	3
	X	Crédito	Gerenciamento Avançado de Gases Refrigerantes	1
	X	Crédito	Energia Verde e Compensação de Carbono	2

Fonte: O Autor, Adaptado de USBGC (2021)

Em um primeiro momento, pode-se observar que todos os pré-requisitos foram atendidos pela construtora, nas duas categorias, o que permitiu que o Edifício X prosseguisse na certificação. Entretanto, no que tange os créditos opcionais, a situação é a oposta, onde apenas um dos requisitos foi atendido, e parcialmente. Dessa maneira, devido à falta de alguns desses recursos, a alta eficiência almejada com um dos maiores níveis do LEED pode ser prejudicada, resultando em uma “eficiência parcial”.

Em relação aos créditos hídricos, os critérios obrigatórios foram atendidos através da escolha de louças e metais eficientes, com vazão reduzida para atingir apenas os 20% de economia preconizados nessa categoria. Além disso, o paisagismo do Edifício X não exige sistema de irrigação permanente, e é realizado em baixa frequência. Por fim, a medição do consumo de água é realizada através de hidrômetros comuns, o que atende apenas aos pré-requisitos porém não ao crédito adicional. Dessa maneira, e por não apresentar o requerido nos demais créditos adicionais, nenhum outro requisito pode ser atingido com sucesso, mesmo que parcialmente.

De maneira similar, os requisitos relacionados à categoria “Energia e Atmosfera” também contemplaram apenas o que era considerado como obrigatório. Para isso, foi contratada uma

empresa responsável em realizar o comissionamento e verificação da edificação. Ademais, através da instalação de elevadores inteligentes, cabos elétricos de prumada mais eficientes, revestimento externo com maior índice de refletância, proporcionando maior conforto térmico, o Edifício X buscou atingir 10% ou mais de redução de consumo de energia elétrica para se adequar ao segundo pré-requisito. Além disso, todos os Ar-Condicionados instalados nas áreas comuns foram escolhidos por não possuir gases refrigerantes que agredam a camada de ozônio pela utilização do CFC. Por fim, e também por compulsoriedade da concessionária de energia elétrica, medidores individuais de energia foram instalados para cada uma das unidades consumidoras.

Entretanto, essas medidas permitiram que apenas o crédito “Otimizar o Desempenho Energético” fosse alcançado, e apenas parcialmente. Segundo o relatório da empresa que realizou o comissionamento do Edifício X, foi possível atingir 14% de redução, quando comparado em simulações energéticas. Desse modo, foram creditados 5 pontos adicionais para o edifício em questão.

4.2 Impacto Financeiro do LEED

O custo de uma determinada obra é um dos pilares que a norteiam (HASLINDA *et al.*, 2018), de modo que o fluxo de caixa é vital para a saúde financeira da empresa ou pessoa responsável pela conclusão da mesma. Dessa forma, as decisões a respeito de um dado empreendimento usualmente perpassam pela análise de custo, no que diz respeito à sua implementação ou não, e os benefícios e consequências financeiras decorrentes disso.

Diante do exposto, e cientes das condições e requisitos necessários para a implementação dos requisitos LEED, é fato que mesmo com alto potencial de poder trazer benefícios para o empreendimento e para o meio-ambiente, também resulta em um valor inicial adicional a ser investido na certificação, tanto para o registro e certificação, quanto nas diferentes técnicas e especificações a serem atendidas para adequar a edificação ao mesmo.

Ao analizar-se o orçamento inicial elaborado em 2012 do Edifício X, que buscou se adequar à certificação LEED, este não incluía os valores relativos à incorporação dos requisitos LEED na obra. Com isso, o trabalho de Dias *et al.* (2017) atualizou esse mesmo orçamento no intuito de que incluísse o custo necessário para realizar as modificações requisitadas, expresso em valores do ano de 2016.

Os principais pontos considerados por Dias *et al.* (2017) na atualização orçamentária foram as etapas ou materiais da obra não considerados no orçamento inicial, tais como:

- a) utilização de tintas com menos poluentes;
- b) porcelanatos, vidros e portas com madeira certificada pelo *Forest Stewardship Council* (FSC);
- c) elevadores mais eficientes;
- d) cabos elétricos de maior diâmetro;
- e) metais e louças que possuem um menor consumo hídrico.

O orçamento utilizado no trabalho de Dias *et al.* (2017), é utilizado como ponto de partida para a atualização orçamentária nesta dissertação, estando disposto no Anexo A.

De posse disso, deu-se uma nova atualização para valores de 2020, tanto dos itens originais estabelecidos pela construtora da Edificação X, quanto dos itens adicionados por Dias *et al.* (2017) para a adequação do mesmo com vistas à certificação. Para isso, foram utilizados os valores de referência do CUB em dois momentos: julho/2016 e março/2020.

Respectivamente, os valores foram: 1.420,49 e 1.643,72. A variação de valor é obtida a partir da divisão entre o valor do mês de referência desejado para atualização e o valor do mês de referência do orçamento desatualizado. Com isso, a variação financeira entre março/2020 e julho/2016 foi de 15,72%.

Os resultados estão descritos na tabela 3, onde pode-se analisar o comparativo dos custos, descritos em colunas. Na coluna “Custo”, apresentam-se os valores de 2016 para cada um dos grupos de itens. Ademais, na coluna “Atualizado 2020”, são apresentados os valores da coluna “Custo” atualizados para março de 2020, de acordo com o CUB. Por fim, na coluna “Custo LEED”, os valores de 2020 referentes ao custo da obra incluindo as modificações necessárias para alcançar a certificação LEED.

Tabela 3 - Comparativo dos Custos

Descrição	Custo	Atualizado 2020	Custo LEED
Despesas Indiretas	R\$ 3.376.017,62	R\$ 3.834.507,15	R\$ 3.834.507,15
Fundações	R\$ 657.256,87	R\$ 746.517,48	R\$ 746.517,48
Super-Estrutura	R\$ 3.726.523,40	R\$ 4.232.614,35	R\$ 4.232.614,35
Obra-Bruta	R\$ 803.319,14	R\$ 912.416,15	R\$ 912.416,15
Correção de Forros e Teto	R\$ 113.215,43	R\$ 128.590,97	R\$ 128.590,97
Revestimento Cerâmico e Piso	R\$ 407.037,80	R\$ 462.316,71	R\$ 505.836,80
Esquadria e Serralheria	R\$ 594.835,71	R\$ 675.619,04	R\$ 698.273,41
Pintura	R\$ 310.319,84	R\$ 352.463,69	R\$ 405.513,57
Revestimento e Acabamento de Fachadas	R\$ 953.890,81	R\$ 1.083.436,62	R\$ 1.316.061,76

Instalações	R\$ 1.151.983,67	R\$ 1.308.432,04	R\$ 1.646.986,78
Diversos	R\$ 1.244.726,82	R\$ 1.413.770,44	R\$ 1.781.019,54
Total	R\$ 13.339.127,11	R\$ 15.150.684,64	R\$ 16.208.337,96

Fonte: O Autor

Percebe-se que dos onze grupos de itens dispostos no orçamento original, seis deles sofreram alteração devido ao ajuste à certificação LEED, de modo que todos apresentaram acréscimo diante do valor original. Os custos para a implementação de acordo com o previsto na certificação norte-americana aumentaram o valor total da obra em 6,98%, valor que se repassado diretamente para os clientes que adquiririam as unidades, representaria um acréscimo de R\$ 1.057.653,32 para toda a edificação, o que consequentemente, gera uma adição média de R\$ 35.255,11 para cada unidade habitacional, sem considerar margem de lucro para a empresa.

Dos tópicos que sofreram modificações para atender aos requisitos, os itens “Instalações” e “Diversos” corresponderam a R\$ 705.803,85 ou 66,73% do total do montante gasto para a adaptação do Edifício X para a certificação. A Tabela 4 demonstra o descritivo de cada item e subitem modificado, assim como seu respectivo valor de acréscimo frente ao original, sem a modificação para atender ao LEED.

Tabela 4 - Descrição do Acréscimo por Item

Item	Acréscimo	Representatividade
Instalações		
Louças e Metais - Hidrossanitário	R\$ 118.020,59	11,16%
Iluminação - LED	R\$ 1.371,14	0,13%
Cabos de Prumada	R\$ 219.162,41	20,72%
Diversos		
Elevadores Eficientes	R\$ 367.249,11	34,72%
Total	R\$ 705.803,25	66,73%

Fonte: O Autor

Percebe-se, ao analisar a Tabela 4, que os dois itens relacionados com a eficiência energética e hídrica correspondem a mais da metade do valor gasto com as modificações necessárias para enquadrar o edifício X na certificação norte-americana. Esses dois itens, correspondem às modificações feitas na escolha de um modelo energeticamente mais eficiente de elevadores, louças e metais com uso eficiente da água, instalações de lâmpadas de LED com menor consumo nas áreas comuns e mudança nos cabos de prumada elétrica para também aumentar a eficiência energética do edifício.

Os demais itens, “Revestimento Cerâmico e Piso”, “Esquadrias e Serralharia”, “Pintura” e “Revestimento e acabamento de Fachada” foram responsáveis por R\$ 351.849,47 ou 33,27% do montante. De maneira similar à Tabela 4, a Tabela 5 também discrimina as modificações e os custos adicionais a elas para os demais itens não diretamente relacionados com eficiência energética e hídrica.

Tabela 5 - Descrição dos Itens Acrescidos

Item	Acréscimo	Representatividade
Revestimento Cerâmico e Piso		
Porcelanato com SRI 45-55	R\$ 43.520,09	4,11%
Esquadria e Serralharia		
Porta com Madeira FSC	R\$ 22.654,36	2,14%
Pintura		
Tinta, Massa e Selador Menos Poluente	R\$ 53.049,88	5,02%
Fachada		
Pele de Vidro Tipo Stick	R\$ 232.625,14	21,99%
Total	R\$ 351.849,47	33,27%

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

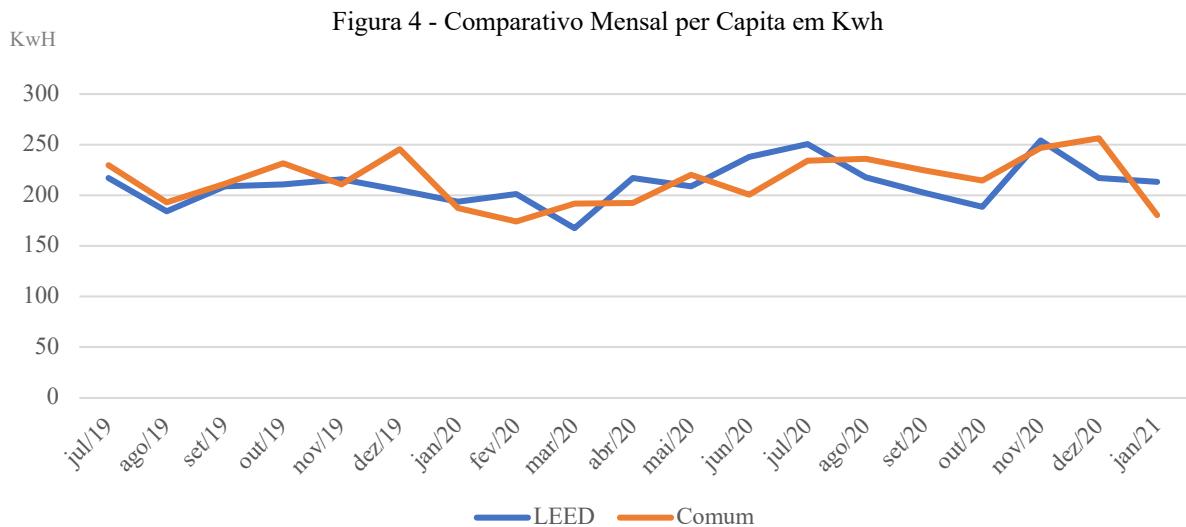
Nessas categorias, foram consideradas algumas substituições frente ao orçamento original, sendo elas: Portas com Madeira certificada (FSC), Porcelanato com refletância solar entre 45 e 55 SRI.

As tintas, seladores e massa corrida escolhidos não possuem compostos orgânicos voláteis, com menor percentual de poluentes ao meio ambiente além de preservar a saúde humana. Adicionalmente, a fachada envidraçada do tipo *stick* foi incorporada para aumentar a incidência de luz natural, o que diminui o consumo energia elétrica dado pela utilização de lâmpadas.

4.3 Consumo Energético

Esperava-se que mesmo com a implementação parcial das medidas da certificação LEED o desempenho médio de Kwh por unidade habitacional por habitante fosse menor que o de uma edificação que não buscou nenhum tipo de selo ambiental. A análise foi realizada sob duas óticas: Uma considerando o consumo *per capita*, para que os dados não fossem distorcidos por apartamentos mais ocupados que outros, levando em consideração o número de moradores fixos por unidade, e o consumo médio por unidade habitacional, analizando de uma maneira mais geral como o comportamento das duas edificações se descreveu ao longo do tempo.

Os dados foram coletados mensalmente através do extrato da conta de energia, em Kwh, ao longo de 19 meses, entre julho/2019 e janeiro/2021. Ademais, foram excluídos da análise apartamentos com dados incompletos, sem consumo ou desabitados, para que não distorcessem negativamente os resultados obtidos. Dessa forma, o consumo sob as duas perspectivas, pode ser interpretado a partir das figuras 4, 5, 6 e 7 mostradas a seguir:



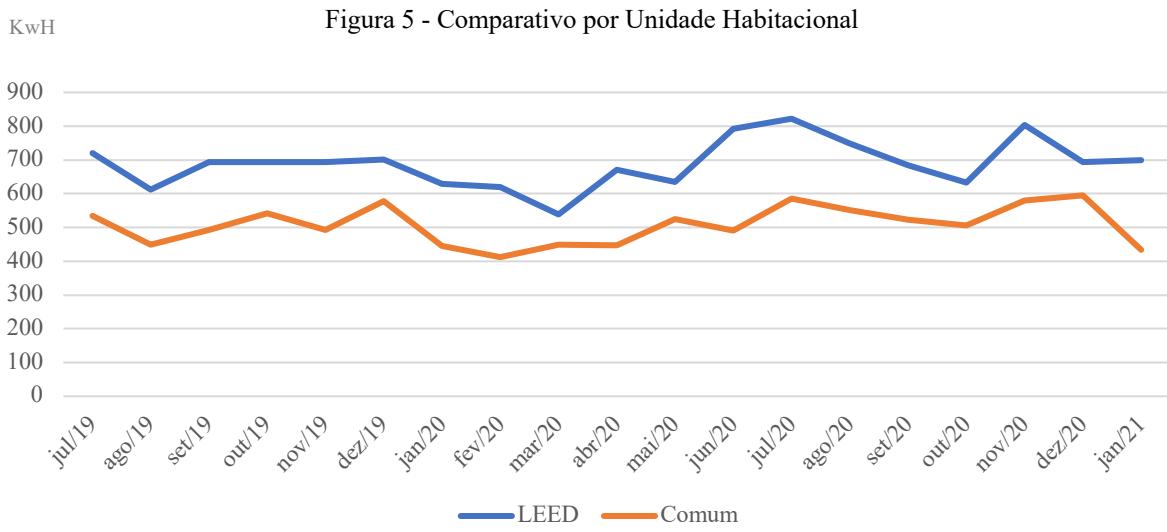
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

Através da Figura 4, percebe-se que o consumo médio *per capita* dos dois Edifícios em questão é estatisticamente similar, mostrando pequena variação ao longo do período. Neste intervalo, o consumo médio do Edifício X foi de 211,25 Kwh, frente aos 214,91 Kwh do Edifício Y, o que representa uma variação de apenas 1,73%. Essa amplitude pequena é explicada pelo padrão de consumo dos usuários, que por morarem em bairros com padrão econômico-social similares (DA SILVA CORRÊA; ARBAGE LOBO, 2019), tendem a ter hábitos de consumo semelhantes.

Além disso, é válido lembrar que o usuário tem participação fundamental para o sucesso de uma dada certificação ambiental. Estes são os responsáveis diretos para que o empreendimento alcance a efetividade desejada (KERN *et al.*, 2016), pois diversos recursos na fase de pós-ocupação se mostrarão como úteis à medida que os usuários os utilizam da maneira adequada. Dessa forma, em pouco adianta dispor dos recursos mais eficientes e avançados do mercado se os usuários não os utilizam de maneira consciente, pondo em risco o sucesso da certificação à médio e longo prazo.

Por outro lado, a figura 5 mostra o comparativo por UH dos Edifícios X e Y. Em linhas gerais, a comparação por UH mostrou uma diferença maior entre os dois objetos estudados, com consumo menor na edificação que não buscou se adequar ao LEED. Em média, cada UH

do Edifício X consumiu 688,84 KwH por mês, frente aos 506,84 KwH do Edifício Y, o que representa uma diferença de 35,9%.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

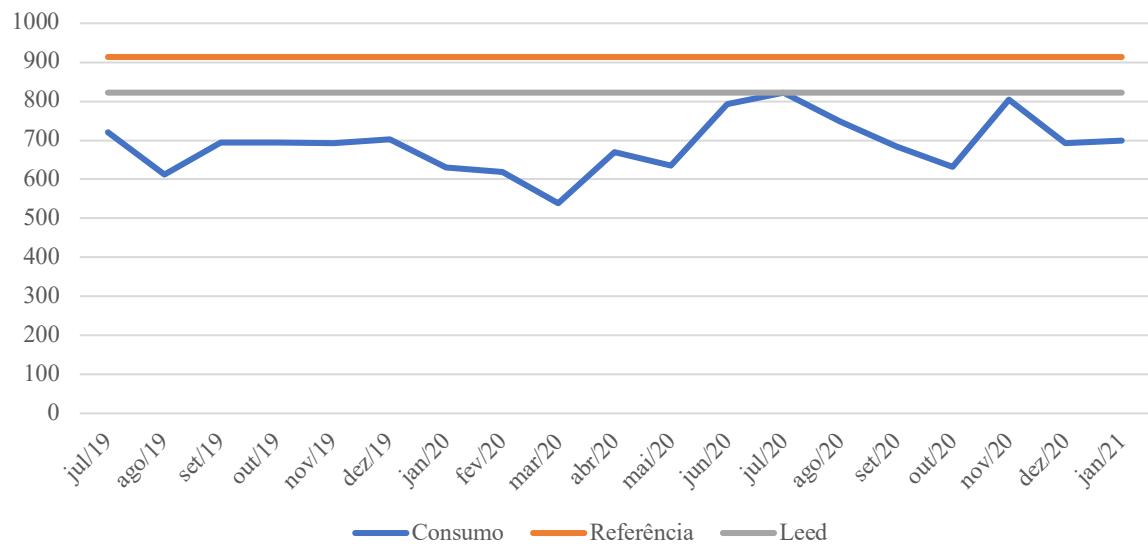
Apesar dessa diferença díspar entre os dois Edifícios, o maior consumo é justificado pela maior taxa média de ocupação das unidades no Edifício X, onde habitam em média 3,41 pessoas por UH. Por sua vez, no Edifício Y residem 2,42 pessoas/UH. Dessa maneira, proporcionalmente residem 40,9% pessoas a mais no Edifício X quando comparado ao Y, o que consequentemente incrementa o consumo absoluto médio de cada unidade.

Por outro lado, faz-se necessário comparar os consumos médios com o esperado em projeto. Consequentemente, permite-se verificar se as modificações implementadas reduziram o suficiente para atender aos critérios do LEED. Dessa forma, apresenta-se a figura 6, onde são mostradas as estimativas de projeto, o necessário para atender à certificação e o consumo real coletado nesta pesquisa.

Como não foi possível ter acesso ao projeto elétrico de ambas as edificações, e suas possíveis modificações ao longo do tempo, foi realizada uma estimativa mensal de consumo a partir de duas unidades-tipo, que não sofreram alterações desde a conclusão das obras.

Outrossim, os cálculos foram baseados em dados de consumo médio estabelecidos pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL, 2010), e atualizados com base em eletrodomésticos e equipamentos atuais. Esses valores calculados estão dispostos no Apêndice A, no final deste trabalho.

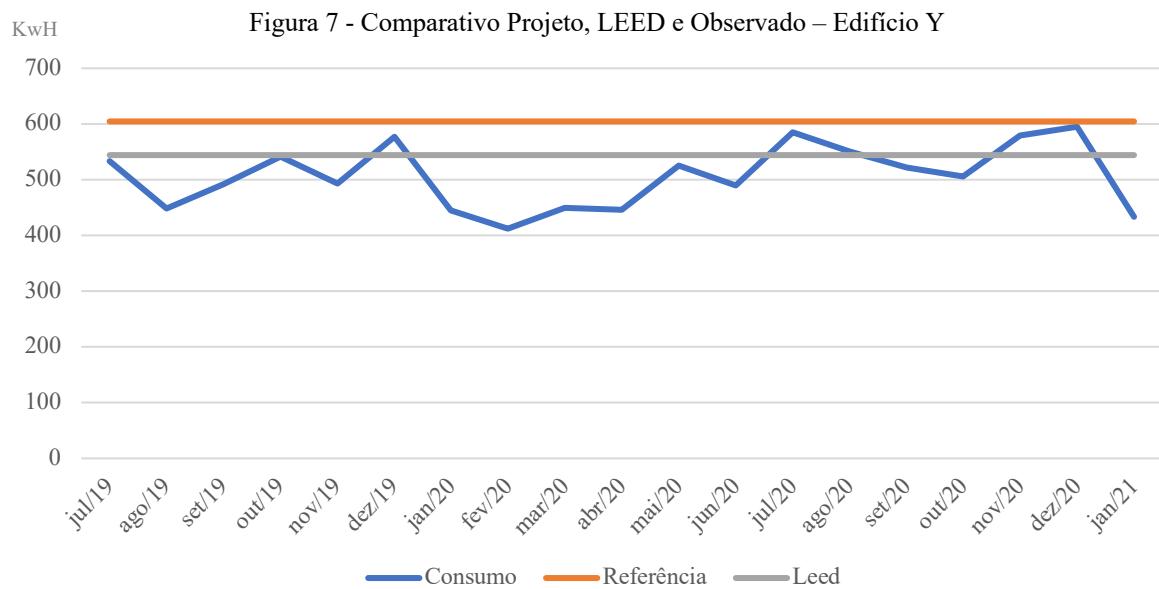
KwH Figura 6 - Comparativo Projeto, LEED e Observado – Edifício X



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

Portanto, diante das melhorias implementadas no Edifício X, permite-se estimar um consumo médio mensal de 913,63 KwH, proporcional ao número médio de habitantes por apartamento. Esse valor, descontado de 10% para atender ao nível de entrada do LEED, passa a ser 822,27 KwH/mês. De toda forma, o consumo médio das UH do Edifício em questão não alcançou em nenhum mês esse valor, estando sempre abaixo do estimado. Ao longo do período, a média foi de apenas 688,84 KwH/mês, o que representa 75,39% do estimado e 83,77% do corrigido para o valor mínimo do LEED.

Por outro lado, para efeitos comparativos, o mesmo cálculo foi elaborado para o Edifício Y, e demonstrado na figura 7 abaixo:



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

Caso este Edifício hipoteticamente seguisse os mesmos princípios e buscassem se adequar à certificação, da mesma maneira que o Edifício X, em todos os meses o consumo real se manteria abaixo do estimado. Ao longo dos 19 meses estudados, o consumo médio por UH foi de 506,75 kWh, representando 83,8% dos 604,69 kWh estimados em projeto. Se ajustado para atender ao LEED, o valor referência mensal passa a ser 544,22 kWh, ou 93,11% do observado.

Percebe-se, portanto, que apesar de nem todas as medidas da certificação terem sido implementadas houve uma diferença entre os dados de consumo das duas edificações estudadas. Apesar dos maiores números absolutos no Edifício X, tanto de moradores por UH quanto em consumo médio, essa edificação atingiu níveis menores de consumo proporcional frente ao estimado neste estudo. Isso demonstra, que apesar da implementação parcial da certificação, os requisitos do LEED que foram aplicados resultaram em uma possível economia no Edifício X. Isso é notado ao verificarmos que o Edifício X alcançou 16,33% de redução frente ao estimado para atender ao LEED, enquanto o Edifício Y apenas 6,89%.

4.4 Consumo Hídrico

Outro fator avaliado diretamente na certificação LEED é o consumo e reutilização de água em um dado empreendimento. Dessa maneira, foram avaliados os dados de consumo hídrico individual de cada unidade habitacional, para verificar de que maneira se relacionam com a estimativa de projeto e a redução esperada pela certificação norte-americana.

Esta categoria, denominada em língua portuguesa como “Uso racional da água”, tem como pré-requisito único a redução de pelo menos 20% do consumo total desse recurso hídrico. Dessa forma, é possível otimizar a eficiência e mitigar a sobrecarga dos sistemas de fornecimento de água e coleta de esgoto da concessionária local.

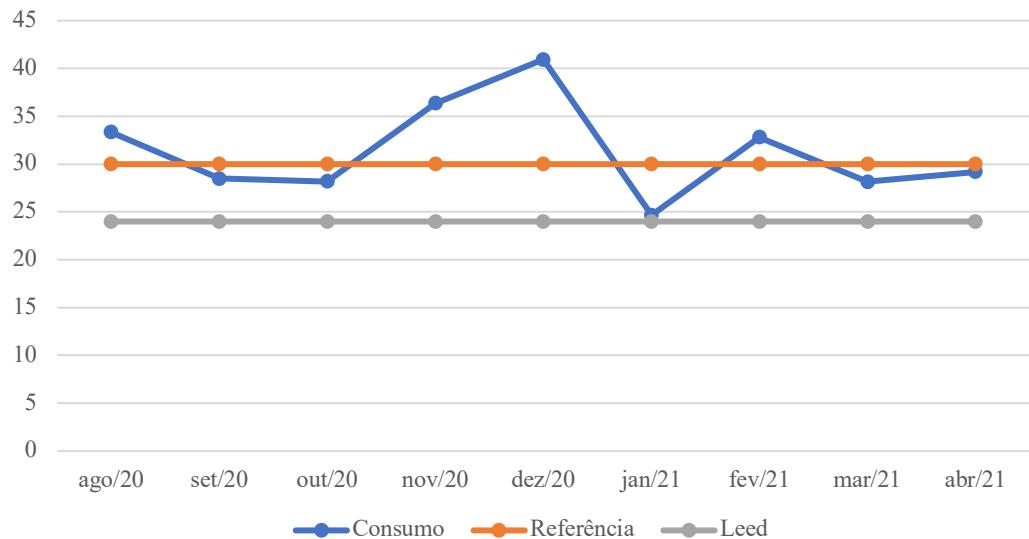
Diversos recursos foram implementados pela construtora para conseguir alcançar esta marca, dentre estes, a implantação de vasos sanitários com sistema duplo, torneiras com arejador, chuveiros mais eficientes, para que desta forma fosse possível atingir a economia almejada.

Ademais, para elaborar esta estimativa, foi utilizado como base o cálculo estipulado pela Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA) voltado ao dimensionamento da demanda de novos empreendimentos residenciais verticais.

Segundo a concessionária de água e esgoto, para edifícios residenciais verticais são verificados inicialmente o número de quartos por unidade habitacional, para se estimar o quantitativo de habitantes fixos e o consumo diário total. Dessa forma, para três ou mais quartos, onde se enquadra o Edifícios X, são estipulados 1.000 litros de água por dia por unidade, o que totaliza 30m³ por mês por UH.

Diante das informações apresentadas, foram coletados os dados de consumo mensal por unidade habitacional em metros cúbicos ao longo dos últimos nove meses. Essas informações estão dispostas na figura 8 sendo apresentadas juntamente com a linha de referência estipulada pela concessionária de água e esgoto, bem como a redução mínima de 20% definida pelo LEED.

Figura 8 - Comparativo do Consumo Hídrico previsto e real



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

Através da observação supracitada, é possível entender com mais clareza o padrão de consumo hídrico ao longo do período. De maneira geral, o consumo médio dos apartamentos do Edifício X permaneceu acima do estimado em projeto, e por consequência, também além do ideal para o LEED. Ao longo dos nove meses, foram consumidos em média 31,35 m³ de água por cada unidade, acima dos 30m³ estimados pela COSANPA.

Ademais, esse incremento mensal registrado foi de 4,51% em relação ao valor de referência da concessionária, e alcançou um acréscimo de 30,64% em relação ao previsto pela certificação LEED. Durante os nove meses de observação, em cinco deles o valor consumido pelo Edifício ficou abaixo do projetado pela COSANPA, porém ainda acima da redução idealizada para alcançar os créditos da categoria no LEED. Por outro lado, nos outros quatro meses o valor registrado foi acima tanto da certificação quanto da concessionária.

Os meses de dezembro/2020 e janeiro/2021 chamam mais atenção por apresentarem dois dados que se colocam nos extremos da análise, registrando os valores mais alto e mais baixo, respectivamente. No quinto mês de estudo, foi registrado um consumo médio por UH de 40,95 m³, alcançando 36,5% de incremento frente ao esperado pela concessionária, e 70,63% a mais do que a redução prevista pelo LEED.

Por sua vez, os dados coletados em janeiro/2021 foram os que mais se harmonizaram ao ideal, se aproximando bastante do consumo reduzido pelo LEED. Nesse mês, o consumo foi 17,8% menor do que o previsto em projeto e apenas 2,7% maior do que o esperado para se adequar à certificação.

De maneira similar, o estudo de MENASSA et al. (2012) concluiu que a certificação por si só não consegue alcançar as reduções propostas nos quesitos hídricos e energéticos. Nos casos estudados no trabalho, a maioria das edificações avaliadas não conseguiram alcançar sequer o resultado mínimo esperado pela certificação. Dessa maneira, os autores sugerem ainda uma análise comportamental dos usuários para um melhor entendimento desse padrão de consumo.

Outrossim, ALBORZ e BERARDI (2015) registraram uma menor eficiência em edifícios ao longo da fase de operação, chegando a atingir um acréscimo no consumo hídrico de 5% ao ano em acréscimo. Além disso, em edifícios certificados, os autores não perceberam reduções significativas no consumo elétrico, quando comparado ao estimado em projeto para certificação.

Percebe-se, portanto, que o Edifício X está em consonância com outros empreendimentos completamente certificados pelo LEED, onde alguns benefícios não puderam ser integralmente atingidos pela edificação em sua fase operacional.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho avaliou a implementação parcial da certificação LEED tendo por base um estudo de caso com dois edifícios de padrão similar, investigando a possibilidade de redução do consumo energético e hídrico a partir de uma adesão parcial aos critérios do selo norte-americano. Para isso, foram comparados os dados de consumo das duas edificações em questão.

Em suma, percebeu-se que o custo de implementação da certificação foi um entrave para alcançar um maior nível de atendimento aos requisitos, implicando em um custo adicional estimado em 6,98% para edificações residenciais verticais, no caso estudado. Esse acréscimo pode acarretar na inviabilidade econômica de certos empreendimentos e/ou certificações, o que se mostrou como fato consumado na Edificação X. Como consequência, isso se traduziu na desistência do processo de certificação pela construtora responsável, resultando em uma “adesão parcial” no caso estudado.

A conformidade com todos critérios obrigatórios e créditos para obtenção do nível prata representaria um incremento no nível de eficiência, porém com um incremento ainda maior no valor investido com a certificação. Nos moldes em que foi realizada, a certificação do Edifício X não conseguiria atingir o nível prata pretendido originalmente pela construtora.

Apesar disso, mesmo apenas com a implementação parcial das medidas, foi possível alcançar uma economia energética de 1,73% frente ao empreendimento construído pelos métodos usuais, o que comprova que mesmo com um funcionamento parcial, a certificação LEED é um caminho possível em prol da sustentabilidade na construção e operação de edifícios residenciais.

Por outro lado, no estudo realizado para o consumo hídrico não foi possível atingir o estipulado pela certificação norte-americana, alcançando um valor 30,64% maior ao requerido. Isso demonstrou que independente da existência ou não de uma certificação implementada, a adaptação por parte dos usuários é fundamental, sendo estes um dos principais responsáveis pela correta operação e funcionamento da infraestrutura implementada.

Como sugestão de trabalhos futuros, algumas das limitações encontradas neste trabalho podem ser superadas ao realizar a comparação de um edifício “comum” com outro que completou com sucesso a certificação LEED, de maneira a permitir uma análise completa dos benefícios alcançados com o LEED.

REFERÊNCIAS

- ABOU ZAHR DIAZ, M.; ALAWIYEH, M. A.; GHABOURA, M. Depletion of the Land Resources and Its Effect on the Environment. In: **14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019)**. [s.l.] Springer International Publishing, 2019. p. 443–444.
- ADÃO, M. C. **Sensibilidade e Adequação de Ferramentas de Avaliação de Sustentabilidade a Habitação de Interesse Social no Brasil**. [s.l.] Universidade de Campinas - Unicamp, 2018.
- AHMED, T.; HOSSAIN, S. M.; HOSSAIN, A. Reducing completion time and optimizing resource use of resource-constrained construction operation by means of simulation modeling. **International Journal of Construction Management**, v. 0, n. 0, p. 1–12, 2018.
- AKAN, M. Ö. A.; DHAVALE, D. G.; SARKIS, J. Greenhouse Gas Emissions in the Construction Industry: An Analysis and Evaluation of a Concrete Supply Chain. **Journal of Cleaner Production**, v. 167, n. November, p. 1195–1207, 2017.
- ALBORZ, N.; BERARDI, U. A post occupancy evaluation framework for LEED certified U.S. higher education residence halls. **Procedia Engineering**, v. 118, p. 19–27, 2015.
- ALENCAR VIEIRA, B.; NOGUEIRA, L. Construção civil: crescimento versus custos de produção civil. **Sistemas & Gestão**, v. 13, n. 3, p. 366–377, 2018.
- ALVES, J.; CAVENAGHI, S. Déficit Habitacional, Famílias Conviventes E Condições De Moradia. **Séries Demográficas**, v. 3, p. 257–286, 2016.
- ANDREA, L.; MARK, M.; JEFF, Y. Rating Environmental Performance in the Building Industry: Leadership in Energy and Environmental Design (LEED). **Darden Business Publishing Cases**, p. 1–20, 1 jan. 2017.
- ANEEL, A. N. DE E. E. **Aprenda a calcular o consumo de seu aparelho e economize energia**.
- ANEEL, A. N. DE E. E. **Perdas de Energia**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=801&idPerfil=4>>. Acesso em: 26 mar. 2020.
- ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. Desenvolvimento Sustentável e a reciclagem de resíduos sólidos na construção civil. **Anais: materiais reciclados e suas aplicações: comitê técnico 206 meio ambiente**, n. 1, p. 13, 2001.
- ARAGE, S. S.; DHARWADKAR, N. V. Prediction and estimation of civil construction cost using linear regression and neural network. **International Journal of Intelligent Systems Design and Computing**, v. 2, n. 1, p. 28, 2018.
- ASSAF, A. OF S. OF S. A. **Towards a Low Carbon City: Focus on Durban**. Pretoria: Academy of Science of South Africa (ASSAf), 2011.

ATANDA, J. O.; OLUKOYA, O. A. P. Green building standards: Opportunities for Nigeria. **Journal of Cleaner Production**, v. 227, p. 366–377, 2019.

AWADH, O. Sustainability and green building rating systems: LEED, BREEAM, GSAS and Estidama critical analysis. **Journal of Building Engineering**, v. 11, n. May 2017, p. 25–29, 2017.

BALABAN, O.; PUPPIM DE OLIVEIRA, J. A. Sustainable buildings for healthier cities: assessing the co-benefits of green buildings in Japan. **Journal of Cleaner Production**, v. 163, p. S68–S78, 2017.

BARROS, C. A. DA C. **O Marketing na melhoria da eficiência energética**. [s.l.] Universidade de Évora, 2018.

BATIH, H.; SORAPIATANA, C. Characteristics of urban households' electrical energy consumption in Indonesia and its saving potentials. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 57, p. 1160–1173, 2016.

BEA, U. S. B. OF E. A. **GDP by Industry**.

BELLO, Â. A. C.; SABACK, V. F.; COSTA, D. B. Análise da viabilidade econômica de certificação ambiental de empreendimentos habitacionais de interesse social na região metropolitana de Salvador – BA. **Prêmio Odebrecht Livro Comemorativo 2013: Compilação dos Melhores Projetos**, p. 70–95, 2014.

BENITES, H. S.; OSMOND, P.; ROSSI, A. M. G. Developing Low-Carbon Communities with LEED-ND and Climate Tools and Policies in São Paulo, Brazil. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 146, n. 1, 2020.

BERARDI, U. Sustainability Assessment in the Construction Sector: Rating Systems and Rated Buildings. **Sustainable Development**, v. 20, n. 6, p. 411–424, 2012.

BERARDI, U. A cross-country comparison of the building energy consumptions and their trends. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 123, p. 230–241, 2017.

BIZON, N. et al. **Energy Harvesting and Energy Efficiency**. 1. ed. [s.l.] Springer International Publishing, 2017. v. 37

BONNA, H. R.; EL-HAKIM, A. S.; EL-BEHairy, H. S. Technical Evaluation of BREEAM-International-NC-2016 for Rating of Sustainable New Construction Outside the UK. **SSRN Electronic Journal**, p. 1–22, 2019.

BRASIL. Resolução nº 307 de 5 de Julho de 2002 publicada no Diário Oficial da União nº 136, de 17/07/2002, págs. 95-96. . 2002, p. 4–5.

BRASIL. Diário Oficial da União Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010. . 2010, p. 1–23.

BRASILEIRO, S. B. DE C. **Adequação ao Selo Casa Azul da Caixa Econômica Federal de Edificações do Programa Minha Casa Minha Vida**. [s.l.] Universidade Federal da Paraíba, 2013.

BROMAN, G. I.; ROBÈRT, K. H. A framework for strategic sustainable development.

Journal of Cleaner Production, v. 140, n. January, p. 17–31, 2017.

CAIXA, C. E. F. **Selo Casa Azul Caixa**. Disponível em:
<http://www.caixa.gov.br/sustentabilidade/negocios-sustentaveis/selo-casa-azul-caixa/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 13 mar. 2020a.

CAIXA, C. E. F. **Mudanças Selo Casa Azul Caixa**. Disponível em:
http://www.caixa.gov.br/Downloads/selo_casa_azul/Mudancas_Selo_Casa_Azul.pdf.

CANDAŞ, A. B.; TOKDEMİR, O. B. A unified approach to evaluate green hospitals' certification criteria. **Journal of Construction Engineering, Management & Innovation**, v. 2, n. 3, p. 157–166, 2019.

CARTAXO, D.; JEREISSATI, G.; MORAIS, M. Aplicação do selo Casa Azul da Caixa Econômica Federal em um projeto de uma residência multifamiliar financiada pelo programa “Minha Casa Minha Vida” - Estudo de Caso. **XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção**, p. 1952–1965, 2016.

CASADO, M.; FUJIHARA, M. C. **Guia para sua Obra mais Verde**Barueri-SPGreen Building Council Brasil, , 2009. Disponível em:
<https://www.agrolinkirriga.com.br/pdf/meio-ambiente/GBC-Brasil-GuiaVerde.pdf>

CASTRO, J.; VALLEJO, L. E.; ESTRADA, N. The optimal design of the retaining walls built by the Incas in their agricultural terraces. **Journal of Cultural Heritage**, v. 36, n. March-April, p. 232–237, 2019.

CONTO, V.; OLIVEIRA, M. L.; RUPPENTHAL, J. E. Certificações ambientais: contribuição à sustentabilidade na construção civil no Brasil. **Gepros: Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 12, n. 4, p. 100–127, 2017.

COSTA, D. E. S. et al. Gestão ambiental, planejamento e sustentabilidade: a gestão de resíduos sólidos urbanos da construção civil. **Revista Valore** v.4, p. 251–258, 2019.

CRAWFORD, R. H. et al. Evaluating the life cycle energy benefits of energy efficiency regulations for buildings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 63, p. 435–451, 2016.

DA SILVA CORRÊA, R. DO S.; ARBAGE LOBO, M. A. Homicide growth in the city Belem (Brazil): Between poverty/ social vulnerability and drug trafficking. **Urbe**, v. 11, p. 1–17, 2019.

DARKO, A. et al. A scientometric analysis and visualization of global green building research. **Building and Environment**, v. 149, n. December 2018, p. 501–511, 2019.

DEZORDI, A. P. DA R.; VIEIRA, E. P.; SAUSEN, J. O. O Impactos nos custos ambientais dos resíduos gerados na construção civil. **XXVI Congresso Brasileiro de Custos**, p. 21, 2019.

DI VITA, G. Natural resources dynamics: Exhaustible and renewable resources, and the rate of technical substitution. **Resources Policy**, v. 31, n. 3, p. 172–182, 2006.

- DIAS, E. G. et al. Análise Comparativa de Custos para Adequação à Certificação LEED Nível Prata de um Edifício Residencial. **Euro Elecs 2017**, p. 141–151, 2017.
- DING, Z. et al. A system dynamics-based environmental performance simulation of construction waste reduction management in China. **Waste Management**, v. 51, p. 130–141, 2016.
- DING, Z. et al. Green building evaluation system implementation. **Building and Environment**, v. 133, n. February, p. 32–40, 2018.
- DU, Q. et al. Carbon Emissions in China's Construction Industry: Calculations , Factors and Regions. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 15, n. 1220, p. 1–17, 2018.
- ESTANQUEIRO, B. et al. Environmental life cycle assessment of coarse natural and recycled aggregates for concrete. **European Journal of Environmental and Civil Engineering**, v. 22, n. 4, p. 429–449, 2018.
- FARIA, F. **LEED in Motion: Brazil**. Disponível em: <<https://www.usgbc.org/resources/leed-motion-brazil>>.
- FASTOFSKI, D. C.; GONZÁLEZ, M. A. S.; KERN, A. P. Sustainability analysis of housing developments through the Brazilian environmental rating system Selo Casa Azul. **Habitat International**, v. 67, p. 44–53, 2017.
- FERREIDA, C. L.; SCHWARZBACH, L. C.; FERREIRA, V. C. R. Instrumento para coleta de dados primários para pesquisas em administração. **Revista Americana de Empreendedorismo e Inovação**, v. 1, p. 27–33, 2018.
- FERREIRA, V. J. et al. Evaluation of the steel slag incorporation as coarse aggregate for road construction : technical requirements and environmental impact assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 130, n. 1 September 2016, p. 175–186, 2016.
- FIALHO, K. E. R. et al. Aspectos Econômicos da Construção Civil no Brasil. **XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, n. 1, p. 1105–1114, 2014.
- FONSECA, R. C. V. DA. **Metodologia do Trabalho Científico**. 1 ed ed. Curitiba, PR: IESDE Brasil, 2012.
- FORCADA, N. et al. Factors Affecting Rework Costs in Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 143, n. 8, p. 04017032, 2017.
- FORMOSO, C.; LEITE, F.; MIRON, L. Client requirements management in social housing: A case study on the residential leasing program in brazil. **Journal of Construction in Developing Countries**, v. 16, n. 2, p. 47–67, 2011.
- GABRIEL, M.; WATSON, P. From Modern Housing to Sustainable Suburbia: How Occupants and their Dwellings are Adapting to Reduce Home Energy Consumption. **Housing, Theory and Society**, v. 30, n. 3, p. 219–236, 2013.
- GBC BRASIL, G. B. C. B. **Guia Rápido Certificação GBC Brasil Casa**. Disponível em: <<https://www.gbcbrasil.org.br/wp-content/uploads/2019/08/Guia-Rápido-GBC-Brasil->>

Casa.pdf>.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4 ed ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social.** 6a ed. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2008.

GONÇALVES, K. DOS S. et al. Indicador de vulnerabilidade socioambiental na Amazônia Ocidental. O caso do município de Porto Velho, Rondônia. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, n. 9, p. 3809–3817, 2014.

HÄFLIGER, I. et al. Buildings environmental impacts' sensitivity related to LCA modelling choices of construction materials. **Journal of Cleaner Production**, v. 156, n. 10 July 2017, p. 805–816, 2017.

HAMZEH, F. R.; ALHUSSEIN, H.; FAEK, F. Investigating the Practice of Improvisation in Construction. **Journal of Management in Engineering**, v. 34, n. 6, p. 04018039, 2018.

HASLINDA, A. N. et al. Investigation on the Factors Influencing Construction Time and Cost Overrun for High-Rise Building Projects in Penang. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 995, n. 1, 2018.

HE, Y. et al. How green building rating systems affect designing green. **Building and Environment**, v. 133, n. November 2017, p. 19–31, 2018.

HERNANDEZ-ROMAN, F.; SHEINBAUM-PARDO, C.; CALDERON-IRAZOQUE, A. “Socially neglected effect” in the implementation of energy technologies to mitigate climate change: Sustainable building program in social housing. **Energy for Sustainable Development**, v. 41, p. 149–156, 2017.

HIRAKAWA, A. P. R. **Logística Urbana em Favelas: Estudo de Casos Múltiplos.** [s.l.] Universidade Estadual de Campinas, 2019.

HOEPPE, P. Trends in weather related disasters - Consequences for insurers and society. **Weather and Climate Extremes**, v. 11, p. 70–79, 2016.

HONG, J. et al. An Empirical Analysis of Environmental Pollutants on Building Construction on Building Construction Sites for Determining the Real-Time Monitoring Indices Juwon. **Building and Environment**, v. 170, p. 106636, 2020.

HUANG, B. et al. Construction and demolition waste management in China through the 3R principle. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 129, n. April 2017, p. 36–44, 2018.

HYDE, J. L.; BOHLMAN, S. A.; VALLE, D. Transmission lines are an under-acknowledged conservation threat to the Brazilian Amazon. **Biological Conservation**, v. 228, n. June, p. 343–356, 2018.

IBGE, I. B. DE G. E E. **Censo Demográfico 2010.** Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Aglomerados_subnormais/Aglomerados_subnormais_informacoes_territoriais/notas_tecnicas.pdf](http://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Aglomerados_subnormais/Aglomerados_subnormais_informacoes_territoriais/notas_tecnicas.pdf)>.

IBGE, I. B. DE G. E E. **Projeção da população do Brasil.** Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/index.html?utm_source=portal&utm_medium=popclock&utm_campaign=novo_popclock>.

JENSEN, E. Energy Efficiency. **CERN Yellow Reports: School Proceedings**, v. 1, n. April 2018, p. 421, 2018.

JOHN, V. M.; PRADO, R. T. A. **Selo Casa Azul: Boas Práticas para Habitação mais sustentável**. São Paulo: Páginas & Letras - Editora e Gráfica, 2010.

JUNKES, J. A. et al. Resíduos Gerados nas Favelas: impactos sobre o direito à moradia adequada, o ambiente e a sociedade. **Desenvolvimento em Questão**, v. 18, n. 50, p. 325–342, 2020.

KARAKHAN, A. A. LEED-Certified Projects: Green or Sustainable? **Journal of Management in Engineering**, v. 32, n. 5, p. 2015–2017, 2016.

KERN, A. P. et al. Energy and water consumption during the post-occupancy phase and the users' perception of a commercial building certified by Leadership in Energy and Environmental Design (LEED). **Journal of Cleaner Production**, v. 133, p. 826–834, 2016.

KIBERT, C. J. **Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery**. Fourth Edi ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc, 2016.

KIM, J. M.; SON, K.; SON, S. Green benefits on educational buildings according to the leed certification. **International Journal of Strategic Property Management**, v. 24, n. 2, p. 83–89, 2020.

KISKU, N. et al. A critical review and assessment for usage of recycled aggregate as sustainable construction material. **Construction and Building Materials**, v. 131, p. 721–740, 2017.

LONGONI, A.; LUZZINI, D.; GUERCI, M. Deploying Environmental Management Across Functions: The Relationship Between Green Human Resource Management and Green Supply Chain Management. **Journal of Business Ethics**, v. 151, n. 4, p. 1081–1095, 2018.

LU, W. et al. Evaluating the effects of green building on construction waste management: A comparative study of three green building rating systems. **Building and Environment**, v. 155, n. February, p. 247–256, 2019.

LU, Y.; ZHANG, X. Corporate sustainability for architecture engineering and construction (AEC) organizations: Framework, transition and implication strategies. **Ecological Indicators**, v. 61, p. 911–922, 2016.

MCKINLEY, D. C. et al. Citizen science can improve conservation science, natural resource management, and environmental protection. **Biological Conservation**, v. 208, p. 15–28, 2017.

MENASSA, C. et al. Energy Consumption Evaluation of U.S. Navy LEED-Certified Buildings. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, v. 26, n. 1, p. 46–53, 2012.

MERCHER, L. Gestão socioambiental nas grandes cidades : por que olhar do Brasil para as iniciativas das megalópoles indianas ? **urbe, Rev. Bras. Gest. Urbana**, v. 11, n. e20190009,

p. 1–19, 2019.

MICHAEL, M.; ZHANG, L.; XIA, X. An optimal model for a building retrofit with LEED standard as reference protocol. **Energy & Buildings**, v. 139, p. 22–30, 2017.

MUIANGA, E. A. D.; GRANJA, A. D.; RUIZ, J. DE A. Desvios de custos e prazos em empreendimentos da construção civil: categorização e fatores de influência. **Ambiente Construído**, v. 15, n. 1, p. 79–97, 2015.

NBS, N. B. S. OF C. **Quarterly Annual Regional Data**. Disponível em:
[<http://data.stats.gov.cn/english/easyquery.htm?cn=B01>](http://data.stats.gov.cn/english/easyquery.htm?cn=B01).

NEMATOLLAHI, O. et al. Energy demands and renewable energy resources in the Middle East. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 54, p. 1172–1181, 2016.

OBATA, S. H. et al. LEED certification as booster for sustainable buildings: Insights for a Brazilian context. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 145, n. July 2018, p. 170–178, 2019.

OLIVEIRA, A. S. **ANÁLISE AMBIENTAL DA VIABILIDADE DE SELEÇÃO DE PRODUTOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL ATRAVÉS DA ACV E DO SOFTWARE BEES 3.0**. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

OLIVEIRA, V. C. H. C. et al. Estratégias para a minimização da emissão de CO₂ de concretos. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 4, p. 167–181, 2014.

ONU, O. DAS N. U. **Relatório de Brundtland**. Disponível em:
[<https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente>](https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente). Acesso em: 20 mar. 2020.

ONU, O. DAS N. U. **Agenda 21**. Disponível em:
[<https://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global>](https://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global). Acesso em: 11 fev. 2020.

ONU, O. DAS N. U. **World Population Prospect: The 2019 revision**. New York, NY: [s.n.]. Disponível em: <<https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population>>.

PASSOS, L. S.; BRUNA, G. C. CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL LEED: MAPEAMENTO EM SÃO PAULO. **MIX Sustentável**, v. 5, n. 3, p. 41–54, 4 ago. 2019.

PROCEL, P. N. DE C. DE E. E. **Tabela com uma estimativa de consumo médio mensal de eletrodomésticos**. Disponível em:
[<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BE6BC2A5F-E787-48AF-B485-439862B17000%7D>](http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BE6BC2A5F-E787-48AF-B485-439862B17000%7D).

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. Segunda Ed ed. Novo Hamburgo, RS: Editora Feevale, 2013.

QIAO, H. et al. Science of the Total Environment The greenhouse effect of the agriculture-economic growth-renewable energy nexus : Evidence from G20 countries. **Science of the Total Environment**, v. 671, p. 722–731, 2019.

- ROBERTSON, M. **Sustainability Principles and Practice**. Second ed. New York, NY: Taylor & Francis, 2017.
- ROSADO, L. P. et al. Life cycle assessment of natural and mixed recycled aggregate production in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 151, p. 634–642, 2017.
- SAMPAIO, A. Z. BIM as a Computer-Aided Design Methodology in Civil Engineering. **Journal of Software Engineering and Applications**, v. 10, n. 02, p. 194–210, 2017.
- SARAIVA, T. S. et al. Logística Reversa aplicada na Construção Civil. **Revista Mackenzie de Engenharia e Computação**, v. 13, n. 1, p. 144–160, 2013.
- SATTLER, M. A. Edificações e comunidades. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENTAC**, 2002.
- SHIRAZI, A.; ASHURI, B. Embodied life cycle assessment comparison of single family residential houses considering the 1970s transition in construction industry: Atlanta case study. **Building and Environment**, v. 140, n. November 2017, p. 55–67, 2018.
- SIDDIQUE, R.; SINGH, G.; SINGH, M. Recycle option for metallurgical by-product (Spent Foundry Sand) in green concrete for sustainable construction. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 1111–1120, 2018.
- SIEFFERT, Y.; HUYGEN, J. M.; DAUDON, D. Sustainable construction with repurposed materials in the context of a civil engineering e architecture collaboration. **Journal of Cleaner Production**, v. 67, p. 125–138, 2014.
- SIMAO, A. DOS S. et al. Impactos da indústria 4.0 na construção civil brasileira. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 10, p. 19670–19685, 2019.
- SONDEREGGER, T. et al. Towards harmonizing natural resources as an area of protection in life cycle impact assessment. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 22, n. 12, p. 1912–1927, 2017.
- STANLEY, S. LEED v4.1: Designing Healthier, More Efficient Buildings and Cities. **Sustainability: The Journal of Record**, v. 12, n. 3, p. 163–166, 2019.
- STEFANUTO, Á. P. O.; HENKES, J. A. Critérios para obtenção da certificação LEED: Um estudo de caso no supermercado Pão de Açúcar em Indaiatuba/SP. **Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 1, n. 2, p. 282–330, 2013.
- STEFFEN, W. et al. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. **Science**, v. 347, n. 6223, 2015.
- TABASSI, A. A. et al. Leadership competences of sustainable construction project managers. **Journal of Cleaner Production**, v. 124, p. 339–349, 2016.
- TASHIZAWA, T.; ANDRADE, R. O. B. DE. **Gestão socioambiental – Estratégias na nova era da sustentabilidade**. 2. ed. São Paulo-SP: Elsevier, 2008.
- TEH, S. H. et al. Hybrid life cycle assessment of greenhouse gas emissions from cement, concrete and geopolymers concrete in Australia. **Journal of Cleaner Production**, v. 152, p.

312–320, 2017.

UĞUR, L. O.; LEBLEBICI, N. An examination of the LEED green building certification system in terms of construction costs. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, n. March 2016, p. 1476–1483, 2018.

USGBC, U. S. G. B. C. **LEED Credit Library**. Disponível em:
[<https://www.usgbc.org/credits>](https://www.usgbc.org/credits).

VALIPOUR, M. et al. The Evolution of Agricultural Drainage from the Earliest Times to the Present. **Sustainability**, v. 12, n. 1, p. 416, 2020.

VIOLLET, P.-L. **Water Engineering in Ancient Civilizations: 5000 of history**. Boca Raton, FL: Taylor & Francis, 2017.

WEISE, A. D. et al. Custo Unitário Básico na Indústria da Construção Civil: Influência de Indicadores Econômicos na Composição do Cub. **Revista FSA**, v. 15, n. 6, p. 113–131, 1 nov. 2018.

WU, Y. et al. Decoupling relationship between economic output and carbon emission in the Chinese construction industry. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 71, n. March, p. 60–69, 2018.

XU, G.; SHI, X. Resources , Conservation & Recycling Characteristics and applications of fly ash as a sustainable construction material : A state-of-the-art review. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 136, n. August 2017, p. 95–109, 2018.

YIN, R. K. The Case Study as a Serious Research Strategy. **Knowledge**, v. 3, n. 1, p. 97–114, 17 set. 1981.

YUSOF, N.; AWANG, H.; IRANMANESH, M. Determinants and outcomes of environmental practices in Malaysian construction projects. **Journal of Cleaner Production**, v. 156, p. 345–354, 2017.

ZAMAN, K.; ABDULLAH, I.; ALI, M. Decomposing the Linkages between Energy Consumption, Air Pollution, Climate Change, and Natural Resource Depletion in Pakistan. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 36, n. 2, p. 638–648, 2017.

ZANELLA, L. C. H. **Metodologia de pesquisa** Rev. bras. enferm Florianópolis Universidade Federal de Santa Catarina, , 2013.

ZHAO, D. et al. Framework for Benchmarking green building movement: A case of Brazil. **Sustainable Cities and Society**, v. 48, n. April, 2019.

ANEXO A – Orçamento Edifício X

Item	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Total	Referência CUB	Atualizado CUB
Despesas Indiretas	1	serv	R\$ 2.815.525,00	R\$ 2.815.525,00	118,50252214%	R\$ 3.336.468,14	
Fundações							
Aço Estaca	2888	kg	R\$ 6,00	R\$ 17.328,00	118,50252214%	R\$ 20.534,12	
Concreto Estaca	340,97	m3	R\$ 468,00	R\$ 159.573,96	118,50252214%	R\$ 189.099,17	
Cravação Estaca	1305	m	R\$ 63,00	R\$ 82.215,00	118,50252214%	R\$ 97.426,85	
Concreto Fundação	325,7	m3	R\$ 430,00	R\$ 140.051,00	118,50252214%	R\$ 165.963,97	
Fôrma	329,3	m2	R\$ 26,00	R\$ 8.561,80	118,50252214%	R\$ 10.145,95	
Aço	23705	kg	R\$ 5,50	R\$ 130.377,50	118,50252214%	R\$ 154.500,63	
Escavação	455,98	m3	R\$ 22,00	R\$ 10.031,56	118,50252214%	R\$ 11.887,65	
Superestrutura	1	serv	R\$ 3.107.839,17	R\$ 3.107.839,17	118,50252214%	R\$ 3.682.867,80	
Obra-bruta	1	serv	R\$ 669.950,63	R\$ 669.950,63	118,50252214%	R\$ 793.908,39	
Correção de Forros e Tetos							
Correção Gesso	2980,4	m2	R\$ 16,00	R\$ 47.686,40	118,50252214%	R\$ 56.509,59	
Forro Placa	2596,27	m2	R\$ 18,00	R\$ 46.732,86	118,50252214%	R\$ 55.379,62	
Revestimento Cerâmico e Piso							
Rev Cerâmico Parede	3952,02	m2	R\$ 18,00	R\$ 71.136,36	118,50252214%	R\$ 84.298,38	
Rev Cerâmico Piso	5495,67	m2	R\$ 42,00	R\$ 230.818,14	118,50252214%	R\$ 273.525,32	
Rejunte Parede	3861,18	m2	R\$ 3,00	R\$ 11.583,54	118,50252214%	R\$ 13.726,79	
Rejunte Piso	5495,67	m2	R\$ 3,00	R\$ 16.487,01	118,50252214%	R\$ 19.537,52	
Soleira	27,06	m2	R\$ 280,00	R\$ 7.576,80	118,50252214%	R\$ 8.978,70	
Bit	137,7	m	R\$ 13,50	R\$ 1.858,95	118,50252214%	R\$ 2.202,90	
Esquadrias e Serralheria							
Balancim	117,6	m2	R\$ 240,00	R\$ 28.224,00	118,50252214%	R\$ 33.446,15	
Janela	120	m2	R\$ 270,00	R\$ 32.400,00	118,50252214%	R\$ 38.394,82	
Porta	1814,4	m2	R\$ 240,00	R\$ 435.456,00	118,50252214%	R\$ 516.026,34	
Pintura							
Caiação	1810,95	m2	R\$ 4,00	R\$ 7.243,80	118,50252214%	R\$ 8.584,09	
Pintura Parede (1d)	8580,96	m2	R\$ 11,00	R\$ 94.390,56	118,50252214%	R\$ 111.855,19	
Pintura Parede (2d)	8580,96	m2	R\$ 9,00	R\$ 77.228,64	118,50252214%	R\$ 91.517,89	
Pintura Piso	394,92	m2	R\$ 5,00	R\$ 1.974,60	118,50252214%	R\$ 2.339,95	
Pintura Teto	5576,67	m2	R\$ 11,00	R\$ 61.343,37	118,50252214%	R\$ 72.693,44	
Textura Parede	1407,06	m2	R\$ 9,00	R\$ 12.663,54	118,50252214%	R\$ 15.006,61	
Textura Teto	439,5	m2	R\$ 9,00	R\$ 3.955,50	118,50252214%	R\$ 4.687,37	
Revestimento e Fachada							
Chapisco Fachada	5636,83	m2	R\$ 8,50	R\$ 47.913,06	118,50252214%	R\$ 56.778,18	
Limpeza Fachada	5742,16	m2	R\$ 5,00	R\$ 28.710,80	118,50252214%	R\$ 34.023,02	
Pastilha Fachada	5636,83	m2	R\$ 50,00	R\$ 281.841,50	118,50252214%	R\$ 333.989,29	
Pele de Vidro	350,61	m2	R\$ 270,00	R\$ 94.664,70	118,50252214%	R\$ 112.180,06	
Reboco Fachada	5636,83	m2	R\$ 19,00	R\$ 107.099,77	118,50252214%	R\$ 126.915,93	
Rejunte Fachada	5636,83	m2	R\$ 5,00	R\$ 28.184,15	118,50252214%	R\$ 33.398,93	
Guarda-Corpo	739,68	m2	R\$ 280,00	R\$ 207.110,40	118,50252214%	R\$ 245.431,05	
Instalações							
Inst Elétricas	1	serv	R\$ 492.061,93	R\$ 492.061,93	118,50252214%	R\$ 583.105,79	
Inst Hidráulicas	1	serv	R\$ 273.367,74	R\$ 273.367,74	118,50252214%	R\$ 323.947,66	
Cuba	240	unid	R\$ 76,54	R\$ 18.370,31	118,50252214%	R\$ 21.769,28	
Gás	1	serv	R\$ 65.608,26	R\$ 65.608,26	118,50252214%	R\$ 77.747,44	
Incêndio	1	serv	R\$ 49.206,19	R\$ 49.206,19	118,50252214%	R\$ 58.310,58	
Lavatório	30	unid	R\$ 120,28	R\$ 3.608,45	118,50252214%	R\$ 4.276,11	
SPDA	1	serv	R\$ 43.738,84	R\$ 43.738,84	118,50252214%	R\$ 51.831,63	
Split	1	serv	R\$ 103.333,00	R\$ 103.333,00	118,50252214%	R\$ 122.452,22	
Tanque	30	unid	R\$ 87,48	R\$ 2.624,33	118,50252214%	R\$ 3.109,90	
Torneira Bho	150	unid	R\$ 65,61	R\$ 9.841,24	118,50252214%	R\$ 11.662,12	
Torneira Cozinha	90	unid	R\$ 65,61	R\$ 5.904,74	118,50252214%	R\$ 6.997,27	
Torneira Lavatório	30	unid	R\$ 65,61	R\$ 1.968,25	118,50252214%	R\$ 2.332,42	
Torneira Tanque	30	unid	R\$ 54,67	R\$ 1.640,21	118,50252214%	R\$ 1.943,69	
Vaso	150	unid	R\$ 142,15	R\$ 21.322,68	118,50252214%	R\$ 25.267,92	
Diversos							
Corrimão	378,3	m	R\$ 8,50	R\$ 3.215,55	118,50252214%	R\$ 3.810,51	
Elevador	3	unid	R\$ 220.000,00	R\$ 660.000,00	118,50252214%	R\$ 782.116,65	
Bancada	157,16	m2	R\$ 190,00	R\$ 29.860,40	118,50252214%	R\$ 35.385,33	
Paisagismo e Mobília	1	serv	R\$ 300.000,00	R\$ 300.000,00	118,50252214%	R\$ 355.507,57	
Churrasqueira	30	unid	R\$ 1.500,00	R\$ 45.000,00	118,50252214%	R\$ 53.326,13	
Total				R\$ 11.256.410,19		R\$ 13.339.129,97	

APÊNDICE A – Cálculo Consumo Elétrico Mensal Edifício X e Y

Abaixo estão descritos os dados de consumo elétrico médio mensal para os Edifícios X e Y utilizados como estudo nesta dissertação. Para isso, foram calculados individualmente as cargas esperadas para um “consumo padrão” em cada um dos empreendimentos para uma média de quatro habitantes por unidade. Esses dados devem ser somados com a última tabela deste apêndice, elaborada com base no método de cálculo do PROCEL (2010).

Dessa maneira, o Edifício X conta com um consumo médio mensal esperado de 1.071,71 KWh. Por outro lado, a Edificação Y possui um consumo esperado de 999,49 KWh, baseando-se na mesma metodologia.

Edifício X			
Ambiente	Ar Cond.	Luminária	Carga (KWh)
Dispensa		1	0,036
Área de Serviço		1	0,36
WC Serviço		1	0,09
Cozinha		1	2,16
Sacada		5	1,2
Sala	2	4	153,56
Corredor		3	0,54
Suíte Master	1	3	252,84
Banheiro Master		3	1,62
Suíte 1	1	2	138,96
Banheiro S1		3	2,16
Suíte 2	1	3	140,04
Banheiro S2		3	1,08
Soma			694,646

Edifício Y			
Ambiente	Ar Cond.	Luminária	Carga (KWh)
Dispensa		1	0,036
Área de Serviço		1	0,36
WC Serviço		1	0,09
Cozinha		2	4,32
Sacada		3	0,72
Sala	1	5	81,1
Corredor		1	0,18
Suíte Master	1	6	256,08
Banheiro Master		1	0,54
Suíte 1	1	3	140,04
Banheiro S1		1	0,72
Escrítorio	1	1	137,88
Banheiro S2		1	0,36
Soma			622,426

Ambiente	Tempo/Dia	Dias no Mês	Consumo Kwh	Total
Dispensa				
Rádio/Som	4	20	0,11	8,8
Área de Serviço				
Ferro de Passar	2	12	0,2	4,8
Máquina de Lavar	2	8	0,146	2,336
Carregador de Celular	4	20	0,03	2,4
WC Serviço				
			0	
Cozinha				
Microondas	0,33333333	30	1,2	12
Geladeira e Freezer	24	30	0,154	110,88
Sanduicheira	0,1666	30	0,67	3,34866
Liquidificador	0,25	16	0,2133	0,8532
TV	2	30	0,095	5,7
Sacada				
Caixa de Som	4	4	0,11	1,76
Sala				
TV	2	30	0,095	5,7
BluRay	2	8	0,011875	0,19
NET	24	30	0,0115	8,28
Telefone sem Fio	24	30	0,003	2,16
Home Theather	2	8	0,6	9,6
Adega	24	30	0,05	36
Corredor				
Aspirador de Pó	2	20	0,717	28,68
Suite Master				
TV	4	30	0,095	11,4
NET	24	30	0,0115	8,28
Carregador de Celular	8	30	0,03	7,2
Computador	6	24	0,063	9,072
Impressora	0,5	15	0,015	0,1125
Modem	24	30	0,008	5,76
Roteador	24	30	0,006	4,32
Banheiro Master				
Secador	0,5	16	0,521	4,168
Suite 1				
TV	4	30	0,095	11,4
NET	24	30	0,0115	8,28
Computador	6	24	0,063	9,072
Carregador de Celular	8	30	0,03	7,2
Tablet	8	15	0,03	3,6
Banheiro S1				
Secador	0,5	16	0,521	4,168
Suite 2				
TV	4	30	0,095	11,4
NET	24	30	0,0115	8,28
Computador	6	24	0,063	9,072
Carregador de Celular	8	30	0,03	7,2
Tablet	8	15	0,03	3,6
Banheiro S2				
			0	
Total				377,072