



Mariana Veloso Nollys Braga

**Estudo de Viabilidade Econômica da
Implantação de Painéis Fotovoltaicos em
Edifícios Multifamiliares na Cidade do Rio
de Janeiro**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da
PUC-Rio.

Orientador: Prof. Marcelo Roberto Ventura Dias de Mattos Bezerra

Rio de Janeiro
outubro de 2022



Mariana Veloso Nollys Braga

**Estudo de Viabilidade Econômica da
Implantação de Painéis Fotovoltaicos em
Edifícios Multifamiliares na Cidade do Rio
de Janeiro**

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da
PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora
abaixo.

Prof. Marcelo Roberto Ventura Dias de Mattos Bezerra

Orientador

Departamento de Arquitetura e Urbanismo - PUC-Rio

Prof. Celso Romanel

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - PUC-Rio

Prof. Thiago Leitão de Souza

Departamento de Arquitetura e Urbanismo UFRJ

Rio de Janeiro, 28 de outubro de 2022

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem a autorização da universidade, do autor e do orientador.

Mariana Veloso Nollys Braga

Graduou-se em Engenharia Civil na Universidade Veiga de Almeida em 2017. Especializou-se em Engenharia Legal, Avaliações e Perícias Judiciais pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro em 2017. Trabalha na Vebrano Engenharia, Consultoria e Soluções desde 2019 como Engenheira Civil no gerenciamento de projetos e obras de médio a grande porte. Possui 10 anos de experiência no mercado da construção civil. Realizou trabalhos voluntários pela ONG dos Engenheiros Sem Fronteiras – Rio de Janeiro, como Coordenadora do Projeto de Captação de Água de Chuva no Abrigo AMAR em Vila Isabel – RJ, no período de 2014 até 2016. Durante os dois últimos anos da graduação atuou como Coordenadora e Fundadora da Comissão de Estudantes de Engenharia Civil na UVA (CEEC), mentora e organizadora da I SEC UVA.

Ficha Catalográfica

Braga, Mariana Veloso Nollys

Estudo de Viabilidade Econômica da Implantação de Painéis Fotovoltaicos em Edifícios Multifamiliares na Cidade do Rio de Janeiro / Mariana Veloso Nollys Braga; orientador: Marcelo Mattos Bezerra. – 2023.

110 f.: il. color.; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, 2023.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Civil e Ambiental - Teses. 2. Engenharia Urbana e Ambiental - Teses. 3. Desenvolvimento da Construção Sustentável. 4. Desenvolvimento Energéticos dos Edifícios. 5. Eficiência Energética I. Bezerra, Marcelo Mattos. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental. III. Título.

Dedico esse trabalho à minha família que se fez presente em carinho e apoio.

Dedico especialmente a aqueles que não estão mais junto a mim fisicamente, mas tenho certeza de que se encontram em um lugar melhor. In memoriam dos meus avós, Vó Leda e Vô Evandro e ao meu pai Marcus Vinícius.

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar à Deus por sempre ter me dado forças e não ter me deixado desistir de ir em busca do meu sonho em me tornar mestre.

A minha família que esteve sempre presente durante todo o período do meu mestrado, especialmente a minha mãe Ana Cristina, minha tia Rosangela e minha vó Leda (*in memoriam*).

A todos os colegas da turma 2018.1 que compartilharam seus conhecimentos e experiências dentro da sala de aula e nos trabalhos em grupo. Após uma jornada de trabalho integral durante o dia ainda encontravam inspiração para participar das aulas e discussões mesmo que durassem toda a noite. Amigos que ficaram pós mestrado, que compartilharam dicas profissionais e acadêmicas, especialmente a Marcella, Luisa e Juliana, que foram sempre parceiras dos trabalhos na turma. Este trabalho só está sendo possível graças ao apoio e à disponibilidade de todos vocês que estiveram presentes no caminho.

Ao Prof. Marcelo pela orientação, por ser uma referência de tranquilidade e profissionalismo mesmo em momento tão conturbado para todos nós. Sua paciência e confiança tornou esse trabalho muito mais leve.

Aos professores do curso pela paciência, profissionalismo e dedicação. Afinal lecionar para alunos no período noturno, esgotados após um dia inteiro de trabalho, não é tarefa fácil.

As síndicas e subsíndicas dos dois condomínios ao qual eu presto serviços, por terem liberado informações sigilosas do condomínio, como as contas energéticas, fotos e projetos.

E a toda minha equipe da Vebrano Engenharia por ter tido paciência e ter segurado as obras enquanto eu escrevia a minha dissertação, principalmente a Eng. Raquel que me cobriu na última semana de entrega dessa dissertação.

À Instituição PUC-Rio por proporcionar a oportunidade de participar desse curso, pelo acolhimento e aprendizado! Foram momentos ímpares que vive dentro dessa instituição que só veio a acrescentar na minha formação, mais um sonho realizado. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

RESUMO

Braga, Mariana Veloso Nollys; Bezerra, Marcelo Mattos (Orientador). **A Estudo de Viabilidade Econômica da Implantação de Painéis Fotovoltaicas em Edifícios Multifamiliares na Cidade do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro, 2023. 110p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Nos últimos anos foi registrado crescimento no consumo energético dos edifícios residenciais, fato marcado pela aceleração gradual do aquecimento global e pelo declínio econômico e ambiental. A eficiência energética vem se apresentando como um vetor estratégico para a sustentabilidade e economia. As tecnologias e a dependência da energia cresceram exponencialmente nos últimos anos, por isso, o tema foi ganhando mais força e atraindo mais consumidores, pois a dependência da população era cada vez maior e não estava sendo acompanhada economicamente. Portanto, essa dissertação tem o objetivo de fomentar através de uma revisão bibliográfica, o progresso da introdução de ações de sustentabilidade na construção. Na presente dissertação são estudadas algumas medidas para ser implementar em um condomínio já existente, localizados no bairro da Tijuca, em Rio de Janeiro, de forma a reduzir consumos energéticos nas áreas comuns dos dois prédios. Foi apresentada uma solução para a produção de energia elétrica a partir de um sistema solar fotovoltaico do tipo On-Grid, analisando o custo de implantação deste sistema, bem como o tempo de retorno do investimento, para finalmente, chegarmos à conclusão sobre a viabilidade da implantação.

Palavras-chave

Edifícios residenciais; eficiência energética; sistema solar fotovoltaico; sustentabilidade

Extended Abstract

Braga, Mariana Veloso Nollys; Bezerra, Marcelo Mattos (Advisor). **Economic Feasibility Study of the Implementation of Photovoltaic Panels in Multifamily Buildings in the City of Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2023. 110p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Sustainability in the construction sector has gained significant attention in recent years, as the industry recognizes the need for greener and more socially responsible practices. This paradigm shift stems from the understanding that construction activities have a substantial impact on the environment, consuming large amounts of energy, water and raw materials, while generating significant amounts of waste and carbon emissions. To meet these challenges, sustainable construction aims to minimize negative environmental and social impacts throughout a building's life cycle.

Incorporating sustainability principles into the construction sector involves several key elements, such as energy efficiency, which plays a key role in sustainable construction. Photovoltaic solar energy aims to minimize dependence on non-renewable energy and reduce greenhouse gas emissions. In conclusion, sustainability in the construction sector involves integrating environmentally responsible practices into all stages of a building's life cycle.

The energy performance of buildings has become a concern in Brazil, increasingly focused on sustainability and renewable energy, this concept refers to the measurement of a building's energy efficiency. With energy consumption and greenhouse gas emissions on the rise, it is imperative to assess and improve a building's energy performance in order to mitigate the negative consequences of climate change and reduce the building's energy bills.

Several international standards and certifications, such as LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) or BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), provide frameworks for assessing and certifying the energy performance of buildings. These programs emphasize sustainable design, energy efficiency and the reduction of environmental impact, improving the energy and environmental sustainability aspects of buildings. In conclusion, the energy performance of buildings is a critical aspect of achieving sustainability goals and mitigating climate change. Implementing energy-saving

measures and adhering to international standards and certifications can lead to improved energy performance and reduced environmental impact

The demand for increased energy production is a worldwide factor, whether due to population growth or the uninterrupted pursuit of socio-economic development. In more developed countries, there is a huge call to mitigate the impacts of carbon dioxide (CO₂) emissions from burning fossil fuels. That said, the emergence of new technologies aimed at producing clean and, above all, renewable energy is an urgent necessity.

Brazil, for example, according to the Energy Research Company (EPE), has a great advantage in the production of electricity from renewable sources. According to the company, which is now considered the country's leading energy researcher, in 2018 Brazil produced 83% of all its electricity consumption from these sources, compared to 25% worldwide. However, a large part of this energy comes from hydroelectric plants, which, although they are considered renewable energy sources, can cause significant damage to their surroundings, since they require a large area to install their plants, thus causing environmental problems with the devastation of flora, and social problems, as happens when a population is relocated for such an installation.

As a way of reducing these problems, attempts are constantly being made to replace this electricity matrix with one that has less impact. With this in mind, photovoltaic energy, which still has a small amount of electricity generation in Brazil, has been seen as one of the promises for such a replacement.

Among the many advantages of photovoltaic energy generation, the information that it is an energy that over the course of a few years becomes less costly to the end consumer, even when installed in homes, stands out very often. In addition, there is also the benefit of where this energy comes from, as it is understood that its production process makes it a clean and renewable energy. Since environmental issues have been on the agenda all over the world in recent years, analyzing the production process has become necessary and is at the heart of this study, given that the serious process of degradation of the planet is at an almost irreversible level.

This study is justified by the many publications on the advantages of this electricity matrix, as opposed to the few studies on its disadvantages, which, although minor compared to other matrices, are nonetheless significant due to

Brazil's territorial extension. Added to this is the optimistic forecast that solar energy will be the world's main energy source by 2035 (FONTES, 2019).

Global temperatures are at an alarmingly high level due to the greenhouse effect. Experts say that in a few years, if the current scenario is not radically changed, the ecosystem will enter a critical phase, from which it will not be able to recover, until it finally ends.

In addition to environmental concerns, there is a need to create and research alternative means of generating energy.

The inclusion of renewable energy sources in the global energy matrix is becoming increasingly necessary, given the growing demand for energy and environmental concerns. In this sense, photovoltaic solar energy has become an important alternative source of electricity generation, as it comes from a practically inexhaustible source - the sun.

Solar photovoltaic (PV) systems in multi-family buildings have gained significant attention in recent years as an effective solution for reducing electricity costs, increasing energy efficiency and reducing carbon emissions. This renewable energy technology harnesses solar radiation and converts it into electricity, providing a sustainable and clean source of energy for the building's occupants. Implementing a solar photovoltaic system in multi-family buildings requires careful planning and consideration. The first step involves carrying out a feasibility study to assess the building's solar potential. Factors such as roof orientation, shading and available space need to be assessed to determine whether installing a solar PV system is feasible. In addition, a thorough analysis of the building's energy consumption patterns and electricity needs should be carried out to determine the size and capacity of the system. Once the feasibility study has been completed and the decision to proceed with the installation has been made, the next step involves designing the solar photovoltaic system. This includes selecting the appropriate solar panels, inverters, mounting systems and other necessary components. It is crucial to ensure that the equipment chosen is compatible with the building's infrastructure and electrical systems and meets all relevant safety standards and regulations. The process of installing a solar photovoltaic system on multi-family buildings usually involves mounting the solar panels on the roof or ground, connecting them to an inverter and integrating the system with the building's electrical grid.

Implementing a solar photovoltaic system on multi-family buildings not only offers economic benefits, but also contributes to environmental sustainability. By using clean, renewable energy, these systems help to reduce greenhouse gas emissions, combat climate change and promote a greener future. To ensure the efficiency and longevity of the solar photovoltaic system, regular maintenance and monitoring are essential. This includes inspecting the panels for damage, checking the performance of the inverters and cleaning or removing any obstructions to sunlight.

The economic feasibility study of installing photovoltaic panels on multi-family buildings in the city of Rio de Janeiro is an important facet of the region's sustainable development and renewable energy integration efforts. With its abundant sunshine and growing energy consumption, Rio de Janeiro presents an ideal opportunity to explore the feasibility of solar energy generation on a larger scale.

The study aims to analyze the potential benefits of installing photovoltaic panels on a building located in the Tijuca region of Rio de Janeiro. A key consideration is the initial cost of installation, which includes not only the panels themselves, but also the necessary infrastructure and equipment. In order to accurately assess the economic viability, a study was carried out on the basis of a building and the building's energy bills were collected so that the study could be carried out. By harnessing solar energy, a building can significantly reduce its dependence on traditional energy sources, leading to lower electricity bills, as well as contributing to the environment.

This work will analyze and evaluate the existing potential for implementing photovoltaic solar energy in a residence in the city of Rio de Janeiro, as an alternative energy solution that provides direct benefits to residents.

In conclusion, the installation of a solar photovoltaic system in multi-family buildings is a beneficial and sustainable solution for meeting electricity needs, reducing costs and carbon footprint. Through careful planning, design and installation, these systems can effectively harness the sun's energy, providing a clean and renewable energy source for the residents of several units in the building. The adoption of solar photovoltaic technology in multi-family buildings is a step towards a more sustainable and energy-efficient future.

In the market, the economic benefits of developments using solar energy are visible with higher occupancy rates and rental values and a higher average value than conventional developments, directly increasing the rate of return on investment. Currently, even with the additional cost of installing solar panels, they prove to be economical when analyzed over the long term, which is why they are becoming increasingly common and have become a trend for the coming years.

The aim of the work was to carry out an analysis of the possibility of installing photovoltaic solar panels with the ON-GRID system in these buildings and to present the cost that each condominium would have in relation to this system, and the benefits that this system will bring to these buildings in the long term in an economical way.

What can be seen is that the system adopted will bring a significant financial return in the long term, despite the high initial investment, as well as reducing and contributing to condominium bills and the environment. The investment value of the photovoltaic panels in Block A was R\$37,646.21, which is estimated to be paid back in 2.5 years. With the application of the photovoltaic system, the condominium will have annual savings of R\$11,246.48 in the fourth year, and this amount may be readjusted according to the cost of the kWh tariff. The installation of the photovoltaic panels in Block B will cost R\$ 55,643.66, which is estimated to be paid back in 2.5 years. With the application of the photovoltaic system, the condominium will have annual savings of R\$ 22,362.38.

Analyzing the return on investment is just one of the aspects that should be taken into account before opting to invest in a solar energy production system. Another factor that cannot be considered subjective is that it is clean and renewable energy, with sunlight as its source, and can be considered reliable and inexhaustible.

Keywords

Residential buildings; energy efficiency; photovoltaic solar system; sustainability

Sumário

1 Introdução	20
1.1 Objetivo do Trabalho e Metodologia Aplicada	22
1.2 Estrutura do Trabalho	23
2 Sustentabilidade no Setor da Construção Civil	25
2.1 O Conceito de Desenvolvimento Sustentável	25
2.1.1 A Evolução do Conceito de Desenvolvimento Sustentável	26
2.1.2 A Multidimensionalidade do Desenvolvimento Sustentável.....	27
2.2 O Conceito de Construção Civil Sustentável	30
2.2.1 Legislação e Norma para a Sustentabilidade da Construção	32
2.3 Impactos da Construção Civil no Brasil e os Edifícios Sustentáveis	37
2.3.1 Qualidade Interna do Ar e Conforto Térmico	42
2.3.2 Impactos Positivos da Utilização do BIM na Construção Civil	45
2.3.3 Energia e Eficiência Energética	49
2.4 Sistema de Avaliação.....	50
2.4.1BREEAM	52
2.4.2 AQUA-HQE.....	55
2.4.3 LEED	57
3 Desempenho Energético dos Edifícios	61
3.1 Eficiência e Consumo Energético no Brasil	61
3.2 Sistema de Energia Solar Fotovoltaica.....	66
3.2.1 Sistema ON-GRID.....	72
3.2.2 Mineração da Matéria Prima	76
3.2.3 Utilização da Bateria em Sistema Isolados e Híbrido	80
3.2.4 Impactos de Pós-Consumo dos Painéis Fotovoltaicos	81
3.2.5 Métodos Alternativos para Reduzir os Impactos Ambientais	83

4 Objeto de Estudo	86
4.1 Município e Localização	86
4.2 Localização das Edificações.....	87
4.3 Radiação Solar Incidente	88
4.4 Análise Energética do Condomínio.....	92
4.5 Escolha do Pannel Fotovoltaico	94
4.6 Custo de Implantação dos Painéis Fotovoltaicos	97
4.7 Viabilidade Economica.....	99
5 Conclusão	100
6 Referências Bibliográficas	102

Lista de Figuras

Figura 1 – Triple Bottom Line	27
Figura 2 – Conceito de Construção Sustentável	30
Figura 3- Rio Eco 92	31
Figura 4 – Definição do Edifício Sustentável (Consideração das Variáveis que Originam Indicadores de Impactos Ambientais)	40
Figura 5 – Condicionantes do Estado de Satisfação de Indivíduos com o Conforto Ambiental	41
Figura 6 – BIM BR Roadmap	46
Figura 7 – Itens Gerais de Avaliação do BREEAM	53
Figura 8 – Pontos Avaliados Durante o Processo AQUA-HQE	56
Figura 9 – Categorias Avaliadas do LEED	58
Figura 10 – Níveis de Certificação LEED e Pontuação	58
Figura 11 – Célula, Módulo e Matriz	68
Figura 12 – Visão Geral do Inversor	69
Figura 13 – Etiqueta do Produto	70
Figura 14 – Instalação do Inversor	70
Figura 15 – Sistema On-Grid	74
Figura 16 – Esquemático Reator de Purificação	80
Figura 17 – Esquemático Simplificado de Sistema FV Isolado	81
Figura 18 – Vista do Bloco A e Bloco B	87
Figura 19 – Demarcação da Área do Bloco A	88
Figura 20 – Demarcação da Área do Bloco B	88
Figura 21 – Avaliação do Potencial Solar no Inverno do Bloco A	89
Figura 22 – Avaliação do Potencial Solar no Inverno do Bloco B	89
Figura 23 – Avaliação do Potencial Solar no Verão do Bloco A	90
Figura 24 – Avaliação do Potencial Solar no Verão do Bloco B	90

Lista de Gráficos

Gráfico 1 – Participação do PIB da Cadeia (%)	39
Gráfico 2 – Registros de Certificações LEED no Brasil	59
Gráfico 3 – Oferta Interna de Energia Renovável e Não Renovável	63
Gráfico 4 – Matriz Energética Brasileira, 2020	64
Gráfico 5 – Comparação da Utilização de Fontes Renováveis e Não Renováveis Entre o Brasil e o Mundo, 2019	65
Gráfico 6 – Crescimento da Geração de Energia Solar por Ano	82
Gráfico 7 – Gráfico de Consumo x Geração Solar do Bloco A	91
Gráfico 8 – Gráfico de Consumo x Geração Solar do Bloco B	91
Gráfico 9 – Retorno Financeiro do Bloco A	93
Gráfico 10 – Retorno Financeiro do Bloco B	94

Lista de Tabelas

Tabela 1- Impactos da Construção Civil	39
Tabela 2 – Benefícios do LEED	60
Tabela 3 – Oferta Interna de Energia Renovável e Não Renovável	63
Tabela 4 – Impurezas no SiGM	78
Tabela 5 – Composição de Metais dos Painéis Fotovoltaicos	83
Tabela 6 – Tabela de Consumo em kWh do Bloco A	92
Tabela 7 – Tabela de Consumo em kWh do Bloco B	93
Tabela 8 – Equipamentos Utilizados no Bloco A	95
Tabela 9 – Equipamentos Utilizados no Bloco B	96
Tabela 10 – Tempo de Retorno de Investimento do Bloco A	98
Tabela 11 – Tempo de Retorno de Investimento do Bloco B	98

Siglas

€ - Euro

® - Marca Registrada

ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AC – Corrente Alternada

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

B – Nível Base

Bovespa – Bolsa de Valores de São Paulo

BP – Boas Práticas

BRE - *Building Research Establishment*

BREEAM – *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*

CASBEE – *Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency*

CBCS – Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

CBIC – Conselho Brasileiro da Indústria da Construção

CEO - *Chief Executive Officer*

CIB – Conselho Internacional da Construção

CNMAD – Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento

COBEI – Comitê Brasileiro de Eletricidade, Eletrônica, Iluminação e Telecomunicações

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DC – Corrente Contínua

DJSI – *Dow Jones Sustainability Index*

ECO 92 – Conferência das Nações Unidas Sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento

EIA-RIMA – Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental

FSC – *Forest Stewardship Council*

GBC – *Green Building Challenge*

GBCB – *Green Building Council Brasil*

GBCI – *Green Building Council Inc.*

GEE – Gases do Efeito Estufa

Habittat II – Segunda Conferência das Nações Unidas Sobre os Assentamentos Humanos

HQE - *Haute Qualité Environnementale des Bâtiments*

ICMS – Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

IEC – Comissão Eletrotécnica Internacional

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

IPTU – Imposto Predial Territorial Urbano

ISE - Índice de Sustentabilidade Empresarial

ITBI – Imposto de Transmissão de Bens Imóveis

LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design*

LiderA - Liderar pelo Ambiente Na Procura Da Sustentabilidade Na Construção

NABERS - *National Australian Built Environment Rating System*

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

ODN – Objetivo de Desenvolvimento do Milênio

ODS – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

OMS – Organização Mundial da Saúde

ONG – Organização Não Governamental

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico

ONU – Organização Nacional das Nações Unidas

PIB – Produto Interno Bruto

PNMA – Política Nacional do Meio Ambiente

Procel – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

QEB – *Qualité Environnementale du Bâtiment*

RN – Resolução Normativa

SMO – *Système de Manegement de l'Opération*

UNEP – *United Nations Environmet Programme*

USGBC – *United States Green Building Council*

1

Introdução

O modelo de “desenvolvimento” da sociedade atual, pautado principalmente na esfera econômica, apresenta grandes impactos ambientais, com isso, provocando destruição de ecossistemas, perda de biodiversidade, uso e contaminação do solo, desmatamento, desigualdades sociais, escassez de água potável e recursos naturais, poluição do ar e vários outros problemas que afetam o ambiente e sua relação com a sociedade (GALLO et al., 2012).

Para Chen & Chambers (1999), o desenvolvimento sustentável é definido como aquele que “permite atender as necessidades básicas de toda a população e garante a todos oportunidades de satisfazer suas aspirações para uma vida melhor sem, no entanto, comprometer a habilidade das gerações futuras e atender suas próprias necessidades”.

O desenvolvimento sustentável surge como resultado da necessidade de mudanças desse modelo, sendo projetado como processo de transformação cuja exploração dos recursos naturais, a orientação do desenvolvimento tecnológico, a direção dos investimentos e a mudança institucional consigam se equilibrar e reforçar o potencial do presente e futuro, no intuito de atender às necessidades e aspirações humanas (CMMAD, 1987; DREXHAGE e MURPHY, 2010).

Com o crescimento da economia mundial, que quintuplicou entre 1950 e 1999, juntamente com o crescimento populacional global, que passou de mais de 2,5 bilhões para quase 6 bilhões no mesmo período, o modelo linear de produção e a ideia do paradigma ecológico, se tornaram insustentáveis frente à compreensão científica do funcionamento do planeta e as consequências diretas geradas pelo desenvolvimento até então praticado (CHEN & CHAMBERS, 1999).

Em 1992 na Conferência sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO), no Rio de Janeiro, a Agenda 21 abriu caminho para a compreensão emergente de que o desafio da sustentabilidade não pode ser resolvido apenas por melhoria da eficiência, mas também deve incluir mudanças comportamentais que envolvem uma ação concertada de todos os atores da sociedade, incluindo governos, empresas, Organizações Não Governamentais (ONG), mídia e educação, bem como mudanças nos níveis culturais, sociais, ambientais e econômicos (FIGUEIREDO, 2014).

O conceito de sustentabilidade, como é conhecido hoje, surgiu na década de 80 através do Relatório de *Brundtland*, que dizia que “desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras em satisfazerem as suas próprias necessidades” (BRUNDTLAND, 1987).

Um dos maiores problemas do desenvolvimento sustentável global é o crescimento do consumo mundial de energia e os impactos da sua utilização no meio ambiente. A indústria da construção civil, sempre teve grande impacto na geração de resíduos e consumo de recursos, tanto durante a fase de construção, quanto durante o uso e operação (CHIESA, ACQUAVIVA, et al., 2019).

Estima-se que as edificações residenciais serão responsáveis pelo uso de 13% de toda a energia consumida até o ano de 2040 (SINGER, PETERSON, 2016). Ao mesmo tempo, é um dos setores de desenvolvimento e evolução mais lentos, muitas vezes utilizando as mesmas tecnologias e técnicas por anos, senão décadas, sem buscar novas formas de melhorar e se adaptar (KIVITS, FURNEAUX, 2013).

O principal objetivo de uma construção sustentável é contemplar a sustentabilidade ambiental, econômica e sociocultural. Ao aplicar esse conceito no mercado da construção civil, deve-se levar em conta seu uso ao longo de todo seu ciclo de vida, desde o projeto, passando pela construção, uso, manutenção e reabilitação da edificação (SOLBERG, 2022).

A BIM¹ tem sido uma das metodologias mais procuradas pelos engenheiros e arquitetos na implantação de projetos com a finalidade de se obter maior precisão ao processo, auxiliando nas tomadas de decisões durante toda a evolução, instigando a convergência para a solução otimizada, tendo uma percepção inteligente em tempo real, coletando dados de consumo de energia e impactos ambientais de todo o ciclo de vida de um produto, com isso, gerando mais rapidez e confiabilidade dos dados coletado (CE-BIM, 2018).

Zilles (2010) aponta na organização setorial da cadeia produtiva de sistemas fotovoltaicos não deve ser uma ação norteadada apenas pelos custos atuais de geração, mas pelo potencial de recursos disponíveis no país para produção de equipamentos

¹ A BIM (*Building Information Modeling*) ou Modelagem da Informação da Construção é um processo, uma metodologia, que envolve várias ferramentas, tecnologias e contratos para a geração e gestão de representações digitais das características físicas e funcionais de construções, com isso, sendo a base da transformação digital no setor da arquitetura, engenharia e construção (CE-BIM, 2018)

e geração de empregos. Também deve ser ressaltado as condições climáticas favoráveis do Brasil e que este possui uma das maiores reservas de silício do mundo, matéria-prima utilizada na produção de componentes fotovoltaicos.

O tema desta dissertação surge pela preocupação de encontrar soluções para melhorar a eficiência energética da instalação elétrica em causa e adoção de uma tecnologia de autoprodução de energia elétrica para edifícios residenciais multifamiliares no Rio de Janeiro. Esta produção não só beneficia o consumidor final, mas também contribui para a redução do impacto ambiental.

Muito tem se observado, que o consumo energético dos edifícios tem aumentado gradativamente ao longo dos anos, sendo um dos contribuintes para o desequilíbrio ambiental, resultando em alterações climáticas. Neste contexto, a necessidade de redução do consumo de energia e a eliminação do desperdício energético são fatores determinantes para a adoção de políticas energéticas sustentáveis, conduzindo a uma redução dos custos econômicos e ambientais (FREITAS, 2018).

Com o decorrer dos anos e com as necessidades energéticas e aumento populacional, existe uma enorme preocupação em reduzir os consumos de energia à escala global e atenuar o impacto ambiental, causado na produção de energia. Para isso é necessário que cada país adote e desenvolva políticas energéticas capazes de cumprir metas (FREITAS, 2018).

Neste trabalho foi desenvolvido um estudo de viabilidade de implantação do sistema de energia solar fotovoltaica como alternativa para crise energética e contribuição nas contas condominiais em dois edifícios, localizados no bairro da Tijuca, Rio de Janeiro. Fez-se isso por meio de estudo exploratório, mediante pesquisa bibliográfica e documental, utilizando uma abordagem qualitativa. Portanto, pôde-se observar a viabilidade positiva na implantação do sistema solar dos dois condomínios com o sistema ON-GRID, com um retorno financeiro investido dentro de 2,5 anos, com economias a longo prazo para os respectivos condomínios.

1.1

Objetivo do Trabalho e Metodologia Aplicada

O objetivo desta pesquisa foi de apresentar uma aplicação implementação de sistema solar fotovoltaico em uma edificação de um condomínio com dois prédios

de 9 pavimentos cada um, localizados no bairro da Tijuca no Rio de Janeiro, exemplificando o desempenho do sistema energético e qual método foi adotado essa edificação e as contribuições e reduções econômicas que trazem para o condomínio.

A tecnologia apresentada aos prédios foi de levar a implantação de placas solares nos telhados, utilizando o sistema *on-grid*, para contribuir na poupança progressiva de energia nas edificações, além dos benefícios sustentáveis.

Os gráficos irão apresentar o valor das contas de energia que foram gastos no último ano de cada condomínio e o quanto esses condomínios irão economizar a longo prazo, investido nas placas para a redução do consumo. O estudo também apresentará o valor de investimento e mostrará em quanto tempo o condomínio irá recuperar o valor investido, assim como, a viabilidade econômica dele.

1.2

Estrutura do Trabalho

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos. Os capítulos de revisão de literatura aprofundam os temas apresentados na introdução do primeiro capítulo e trazem elementos que embasam as justificativas apresentadas, tornando-se mais consistentes. Além disso, investigou-se o estado da arte sobre os temas pesquisados e definiram-se os principais conceitos utilizados no decorrer da pesquisa.

O primeiro capítulo, Introdução, apresenta o enquadramento geral do tema em estudo, fazendo uma breve descrição do papel do setor da construção civil no panorama energético e enfatizando a importância da redução do consumo energético para alcançar o desenvolvimento sustentável. Neste capítulo são ainda apresentados os objetivos gerais do trabalho que se pretendem alcançar, assim como a definição da estrutura da dissertação

No segundo capítulo, Desenvolvimento e Construção Sustentável, incide em uma breve descrição do paradigma do desenvolvimento sustentável, sua história, conceito e evolução. Além de apresentar alguns sistemas de avaliação e certificação para construções sustentáveis. Nesse mesmo capítulo também é abordada a temática da construção, enquanto veículo do desenvolvimento sustentável, sendo feita uma análise de aspectos como o ciclo de vida da construção.

O terceiro capítulo analisa o desempenho da eficiência energética nos edifícios no Brasil. O objetivo geral deste estudo é fazer uma análise crítico-

reflexiva sobre a viabilidade da implantação do sistema de energia solar fotovoltaica como alternativa para crise energética brasileira através do sistema ON-GRID, de acordo com os seus benefícios e contribuições econômicas e ambientais.

No quarto capítulo apresenta-se uma análise de empregabilidade da instalação de painéis fotovoltaicos, com o intuito de contribuir para a redução das contas de luz, e por consequência ser um fator impactante ao meio ambiente nas edificações apresentadas neste trabalho.

No quinto capítulo são apresentadas as conclusões finais do trabalho e definem-se alguns temas para desenvolvimento futuro.

2

Sustentabilidade no Setor da Construção Civil

2.1

O Conceito do Desenvolvimento Sustentável

O conceito desenvolvimento sustentável é posto em discussão desde 1960, quando ocorreram a Conferência da Biosfera em Paris e o surgimento da Organização Não Governamental Clube de Roma, em 1968 (BRUNDTLAND, 1987).

Segundo Feil (2017) o termo “desenvolvimento sustentável” foi utilizado nas décadas de 1980 e 1990, sendo que sua inauguração mundial foi em 1987, por meio do Relatório de Brundtland intitulado “Nosso Futuro Comum” (*Our Common Future*), desenvolvido pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD). O relatório contém informações obtidas pela comissão ao longo de três anos de pesquisa e análise, destacando-se as questões sociais, principalmente no que se refere ao uso da terra, sua ocupação, suprimento de água, abrigo e serviços sociais, educativos e sanitários, além de administração do crescimento urbano.

Rodrigo (2011), cita Ferreira (1986) como sustentável aquilo que se pode conservar, manter ou equilibrar. Desenvolver é fazer crescer, prosperar, gerar, produzir, aumentar ou progredir. Desenvolvimento sustentável remete, portanto à ideia de manter-se produzindo, e prosperando, no decorrer do tempo. A tradução francesa do termo *développement durable* demonstra de maneira ainda mais clara a noção de desenvolvimento que permanece ao longo do tempo, que é duradouro.

Segundo Barbosa (2008), o conceito de desenvolvimento sustentável, foi firmado na Agenda 21, documento desenvolvido na Conferência “Rio 92” e incorporado em outras agendas mundiais de desenvolvimento e de direitos humanos. Esta por sua vez, evidencia que os países desenvolvidos são responsáveis pela crise ambiental mundial, mas também convida todas as nações a participarem de forma conjunta e igualitária, para cumprir os três princípios básicos: desenvolvimento econômico, proteção ambiental e equidade social.

O plano de ação da Agenda 2030, contém um documento aprovado pela ONU em 2015, que formaliza o plano de ação a favor do desenvolvimento internacional para os próximos anos. Nele estão inseridos 17 Objetivos do Desenvolvimento

Sustentável (ODS) e suas 169 metas, inseparáveis e equilibradas nas dimensões ambiental, econômica, social e institucional. A Agenda 2030 foi desenvolvida a partir dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), na busca de um mundo sustentável e resiliente pós-2015, englobando além dos países em desenvolvimento, os países desenvolvidos, perfazendo um acordo entre 193 países (NIETO, 2017).

2.1.1

A Evolução do Conceito de Desenvolvimento Sustentável

Segundo Robinson (2004) as primeiras abordagens a respeito do desenvolvimento sustentável, nos anos de 1960, eram direcionadas à preservação de reservas naturais. Durante a evolução do conceito, novos parâmetros passaram a compô-lo, como a preservação de recursos não renováveis e a diminuição da poluição. O crescimento do conceito de desenvolvimento sustentável o fez transmitir a necessidade de olhar além do curto prazo. Para enfrentar as consequências ambientais, são necessárias mudanças institucionais, criando a sociedade que seja capaz de permanecer em um ambiente limitado.

Em contrapartida, para Robinson (2004) e Silva (2003), as conferências internacionais que tratavam do tema o encaminhavam com um aspecto mais sociopolítico e bem menos relacionado ao comportamento social. Na Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, realizada em Estocolmo, em 1972, ressaltou-se que as questões ambientais haviam se tornado cada vez mais objeto de políticos socioeconômicas, em nível nacional ou internacional.

Em 1987 a *World Commission on Environment and Development* empregou um conceito para o desenvolvimento sustentável, exibindo que os desenvolvimentos econômicos e sociais não podem se desligar da capacidade do meio ambiente. O relatório elaborado pela comissão na ocasião apontou ainda para a incompatibilidade entre desenvolvimento sustentável e os padrões de produção e consumo vigentes, sugerindo que problemas como desigualdade social tem associação direta com a deterioração do meio ambiente (CMMAD, 1988).

Todas essas questões fizeram crescer o número de pesquisas na área e proporcionaram, o surgimento de organizações não governamentais (ONGs), além de terem gerado muitas normas referentes ao desenvolvimento sustentável, em diversas áreas, e a criação dos certificados de produtos e serviços. Sem o

desenvolvimento dessas normas e certificados, mediante mecanismos transparentes, dificilmente seria possível pensar em desenvolvimento sustentável (FEIL, 2017).

A Agenda 21 certifica que desenvolvimento sustentável é um processo contínuo e de manutenção de um equilíbrio dinâmico entre as necessidades e demandas das pessoas, por igualdade, prosperidade e qualidade de vida, e ao que é ecologicamente viável (UNCED, 1992).

2.1.2

A Multidimensionalidade do Desenvolvimento Sustentável

O *Triple Bottom Line of Sustainability* (Tripé da Sustentabilidade) (Figura 1) é o principal entendimento teórico que norteia o pensamento sobre o desenvolvimento sustentável. Surgiu como um modelo de gestão empresarial que visa a conciliar três dimensões básicas de uma organização: a viabilidade econômica, a consciência ambiental e a responsabilidade social. Por meio dele, uma organização passa a trabalhar com um enfoque de crescimento sistêmico, reconhecendo que a sociedade depende da economia, e que ela depende do ecossistema global, e que o ecossistema depende da sociedade. Este conceito foi desenvolvido em 1994 pelo economista inglês John Elkington, da consultoria inglesa *Sustainability*, que desejava mapear os preceitos necessários para definir se uma empresa colaboraria ou não para o desenvolvimento sustentável (CARVALHO & BARBIERI, 2009).



Figura 1 – *Triple Bottom Line*

Fonte: adaptado de BARBIERI et al., 2009

Segundo Sachs (1994) o conceito da multidimensionalidade do desenvolvimento sustentável divide a sua abrangência em cinco dimensões: social, econômico, espacial, cultural e ecológica. Sachs (2002) amplia ainda mais essa visão, subdividindo-se nas dimensões: social, cultural, ecológica, ambiental (que vai além do ecológico, respeitando e melhorando a capacidade de autodepuração dos sistemas naturais), territorial (balanço entre áreas urbanas e rurais, superação das disparidades inter-regionais), econômica, política nacional e internacional.

Do ponto de vista econômico, deve ser repensado no seu sentido macroeconômico, e isso se torna possível através da alocação e do gerenciamento mais eficiente dos recursos e de um fluxo constante de investimentos públicos e privados de origem endógena, que tenham como objetivo o alcance dessa forma de crescer. Precisam ser considerados também fatores como a queda das barreiras protecionistas existentes entre países, a dificuldade de acesso às novas tecnologias, as dívidas externas e internas, além das desigualdades de renda de países em desenvolvimento (BANERJEE, 2002).

Para Sachs (2002), no âmbito social, entende-se como a criação de um processo de desenvolvimento sustentável pela visão de uma sociedade equilibrada, que busca um novo estilo de vida adequado ao presente e futuro, com o desenvolvimento econômico aliado a uma melhoria significativa na qualidade de vida da população mundial, ou seja, maior equidade na distribuição de renda, melhorias na saúde, educação, oportunidades de emprego, entre outros.

E, por fim, na esfera ecológica, deve-se levar em consideração o uso racional dos recursos naturais, o consumo de combustíveis fósseis, de recursos renováveis e não renováveis em geral; reduzir o volume de resíduos e de poluição através da política 3R - reduzir, reutilizar e reciclar; intensificar a pesquisa para a obtenção de tecnologias de baixo teor de resíduos e eficientes no uso de recursos para o desenvolvimento urbano, rural e industrial; definir normas para uma adequada proteção ambiental. É necessário que se pense em processos produtivos que utilizem quantidades menores de recursos naturais, produzindo de modo a atender a demanda da população mundial sem gerar degradação ambiental (BANERJEE, 2002).

Essa abordagem multidimensional encontra aplicação na escala urbana. O conceito de cidade sustentável reconhece que a cidade precisa atender aos objetivos sociais, ambientais, políticos e culturais, bem como aos objetivos econômicos e

físicos. É um organismo dinâmico, tão complexo quanto a própria sociedade, e suficiente ágil para reagir rapidamente às mudanças culturais e econômicas impostas pela sociedade (ROGERS, 1997).

Orr (2006) e Lerner (2003) apresentam as relações das pessoas com a cidade e, também representam a dimensão social da sustentabilidade; assim como as relações público-privadas, os aspectos estéticos e mesmo os relacionados aos deslocamentos e à ordenação da cidade. Os autores abordam a importância da sensação de pertencer, da segregação e do isolamento que ocorrem em determinados edifícios.

Em contrapartida, ecologistas ortodoxos dizem que inserir todos esses aspectos só atrapalham o entendimento do motivo principal do desenvolvimento sustentável. Por exemplo, Brown (2009) explicou em entrevista:

“O conceito de desenvolvimento sustentável evoluiu nos últimos 35 anos [...] a princípio falávamos de sustentabilidade ecológica [...], mas o termo passou a incluir a sustentabilidade social e política. No seu ponto de vista, isso é tão amplo que não chega a significar muito, e parece não ser capaz de mobilizar as pessoas; ele completa dizendo eu, dessa forma, perde-se um pouco do senso de urgência da questão “.

Segundo Robinson (2004), ao analisar a forma como o conceito de desenvolvimento sustentável evoluiu nos países industrializados desde 1987, defende uma abordagem para a sustentabilidade que é integrativa, orienta para a ação, que vai além do conhecimento técnico, e inclui o reconhecimento da construção social do desenvolvimento sustentável, envolvendo, principalmente, as comunidades locais. Explica que não há desenvolvimento sustentável que não seja participativo, incentivando a mudança de valores e questões éticas, e enfatiza que é, sobretudo, uma questão de ação política, e não um conceito científico. O autor sugere a abordagem sistêmica e não antropocêntrica: a humanidade não é a solucionadora dos problemas ambientais e sociais.

Pode-se dizer que o conceito de sustentabilidade considera a conciliação do crescimento econômico com a manutenção do meio ambiente, além de um foco na justiça social e no desenvolvimento humano; assim como uma distribuição e utilização equilibrada de recursos com um sistema de igualdade social (BANERJEE, 2002).

2.2

O Conceito de Construção Civil Sustentável

O conceito de construção sustentável (Figura 2) baseia-se no desenvolvimento de um modelo que permita à construção civil enfrentar e propor soluções aos principais problemas ambientais. As considerações ambientais, técnicas e econômicas de uma construção devem ser avaliadas de maneira a serem consideradas em igual importância.

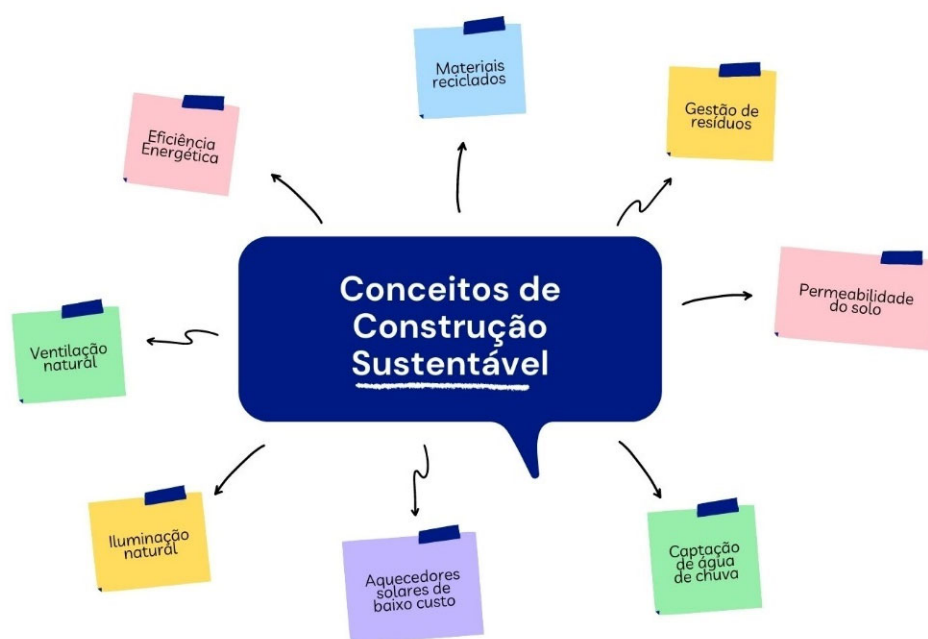


Figura 2 – Conceito de Construção Sustentável

Fonte: Elaborado pela autora, 2022

A construção civil se vê em meio ao tema do desenvolvimento sustentável desde as primeiras discussões da década de 1970, quando a grande atenção era a exploração do meio ambiente pelo homem e o foco da manifestação estava centrado no aspecto energético. Na década de 1980, o discurso se voltou à redução de resíduos, e foi a partir da década de 1990 que relacionaram os problemas ambientais com a emissão de CO₂ e outros gases que contribuem para o buraco na camada de ozônio, o efeito estufa e o aquecimento global (IZUMI, 2002).



Figura 3 – Rio Eco 92

Fonte: CEPAM e ICMBio, 1992

Foi somente depois da conferência Eco 92 (Figura 3) que o tema passou a evoluir de forma mais organizada e com solidez em diversos setores, inclusive na construção. Em 1994, foi realizada uma importante conferência internacional sobre a construção sustentável, em Tampa, na Flórida, onde foram apresentados diversos conceitos a serem definidos na construção sustentável. Nesta conferência, Kibert (1994) definiu a construção sustentável, como a “criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável, tendo em consideração os princípios ecológicos (evitando danos ambientais) e a utilização eficiente dos recursos”, considerando o solo, os materiais, a energia e a água como os recursos mais importantes para a construção. A partir desta definição que Kibert (1994) estabelece os seguintes princípios para a construção sustentável:

- Reduzir o consumo de recursos;
- Maximizar a reutilização de recursos;
- Reciclar materiais no fim de vida do edifício e usar recursos recicláveis;
- Proteger o ambiente natural;
- Eliminar os materiais tóxicos e os subprodutos em todas as fases do ciclo de vida.

Em 1996, em Istambul, realizou-se a Segunda Conferência das Nações Unidas sobre os Assentamentos Humanos – Habitat II. Durante a conferência destacou-se que a indústria da construção é a que mais contribui para o desenvolvimento socioeconômico de um país. Elaborou-se também uma agenda,

baseada na Agenda 21 para a elaboração de um novo plano, com foco no desenvolvimento da habitação de qualidade para as populações do mundo (RODRIGO, 2011).

No ano de 1999, o *International Council for Research and Innovation in Building and Construction* (CIB) lançou a Agenda 21 da Construção Sustentável. O documento declara que o conceito de construção sustentável exprime que os princípios do desenvolvimento sustentável são aplicados a todo ciclo de construção, da extração e beneficiamento dos materiais, passando pelo planejamento, projeto e construção de edifícios e obras de infraestrutura, até a sua demolição e gestão dos rejeitos dela resultantes (CIB, 2000).

No Brasil, existem instituições que debatem a respeito do desenvolvimento sustentável na construção civil e auxiliam na criação de uma agenda, sendo a principal delas o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS). Há ainda outras iniciativas, com os projetos realizados pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) e o Congresso Brasileiro da Construção, *ConstruBusiness*, que lança algumas diretrizes gerais para a construção civil (CBIC, 2019).

Algumas alternativas que podem ser adotadas na indústria da construção civil, é o uso de energias menos poluentes ou produtos menos agressivos ao meio ambiente. Uma construção mais sustentável pode trazer alguns benefícios, tais como, economia e um bom aumento de publicidade, sendo favorável não só ao meio ambiente como também aos aspectos sociais e econômicos. A implantação dessas práticas de sustentabilidade na construção é uma tendência crescente no mercado, pois diferentes agentes – tais como governos, consumidores e investidores – alertam, estimulam e pressionam o setor da construção a incorporar essas práticas em suas atividades (CHUEKE, 2016).

2.2.1

Legislação e Normas para a Sustentabilidade da Construção

No Brasil, os empreendimentos de grande e médio porte são normalmente submetidos ao licenciamento ambiental, de acordo com a Lei Federal nº6938/81 (BRASIL, 1981). Essa lei estabeleceu a Política Nacional do Meio Ambiente

(PNMA) e delegou ao CONAMA² o poder de sugerir regulamentações sobre diversos temas para o implemento dessa política (inclusive os temas ligados à construção civil). Essa lei tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar no país, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana, atendidos aos seguintes princípios:

- Ação governamental na manutenção do equilíbrio ecológico, considerando o meio ambiente como um patrimônio público a ser necessariamente assegurado e protegido, tendo em vista o uso coletivo;
- Racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar;
- Planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais;
- Proteção dos ecossistemas, com a preservação de áreas representativas
- Controle e zoneamento das atividades potencialmente ou efetivamente poluidoras;
- Incentivo ao estudo e à pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais;
- Acompanhamento do estado da qualidade ambiental;
- Recuperação de áreas degradadas;
- Proteção de áreas ameaçadas de degradação;
- Educação ambiental a todos os níveis do ensino, inclusive a educação da comunidade, objetivando capacitá-la para participação ativa na defesa do meio ambiente.

No âmbito Federal, BRASIL. Constituição (1989)³– Artigo 225, menciona que todos têm direito a um meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. Na, BRASIL. Constituição de 1989 – Artigo 30 diz que compete aos municípios, dentre outras incumbências a promover, no que couber, adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano, além de promover a proteção do patrimônio

² Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é o órgão colegiado que representa a União, estados, municípios e a sociedade civil na avaliação e aplicação da Política Nacional do Meio Ambiente e propõe as regulamentações com poder normativo.

³ Constituição da República do Brasil. Brasília, DF: Senado, 1989.

histórico-cultural local, observada a legislação e a ação fiscalizadora federal e estadual.

Na Lei nº 6.766/79 – Parcelamento do Solo Urbano, diz o seu artigo 3º que não poderá haver parcelamento do solo em terrenos que tenham sido aterrados com material nocivo à saúde pública, sem que sejam previamente saneados. Dá outras providências. Em seu parágrafo único, diz “Os Estados, o Distrito Federal e os Municípios poderão estabelecer normas complementares relativas ao parcelamento do solo municipal para adequar o previsto nesta Lei às peculiaridades regionais e locais”.

A Lei nº 6.902/81 – Área de Proteção Ambiental, criou as Estações Ecológicas (áreas representativas de ecossistemas brasileiros, sendo que 90% delas devem permanecer intocadas e 10% podem sofrer alterações para fins científicos) e as Áreas de Proteção Ambiental (APAs – onde podem permanecer as propriedades privadas, mas o poder público pode limitar as atividades econômicas para fins de proteção ambiental). Ambas podem ser criadas pela União, Estado ou Município.

A Lei nº 9.985 de 18/07/2000 – Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), ao qual estabelece critérios e normas para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação, sendo estas divididas em dois grupos: unidades de proteção integral e unidades de uso sustentável. Para fins urbanísticos, é importante salientar que as Áreas de Proteção Ambiental (APAs) pertencem à classe das unidades de uso sustentável, isto é, permitem intervenção humana com critérios restritos de uso e ocupação do solo.

Na Lei nº 9.605/98 – Crimes Ambientais, dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Esta Lei especifica sobre crimes contra o ordenamento urbano e o patrimônio cultural, além de ordenar a obrigatoriedade do licenciamento ambiental para empreendimentos potencialmente poluidores do meio ambiente.

A Lei nº 10.257/01 – Estatuto da Cidade, estabelece normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental. Dentre outras diretrizes, estabelece a obrigatoriedade, com algumas exceções, dos Planos Diretores nos Municípios. Em um trecho do Artigo 2, diz que:

“A política urbana tem por objeto ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, mediante as

seguintes diretrizes gerais: garantia do direito a cidades sustentáveis, entendido como o direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infraestrutura urbana, ao transporte e aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer, para as presentes e futuras gerações [...]"

A Lei nº 12.587 de 03/01/2012 – Mobilidade Urbana institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. O Capítulo 1, Artigo 1º, trata sua definição:

“é instrumento da política de desenvolvimento urbano de que tratam o inciso XX do artigo 21 e o artigo 182 da Constituição Federal, objetivando a integração entre os diferentes modos de transporte e a melhoria da acessibilidade e mobilidade das pessoas e cargas no território do Município.”

De acordo com a Lei nº 12.305 – De 02/08/2010 – Política Nacional dos Resíduos Sólidos:

- Dentre outras providências, determina diretrizes como: proteção da saúde pública e da qualidade do meio ambiente; não-geração, redução, reutilização e tratamento de resíduos sólidos, bem como destinação final ambientalmente adequada dos rejeitos; incentivo ao uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados; gestão integrada de resíduos sólidos; logística reversa; dentre outras.
- Um dos sentidos do melhor detalhamento no campo da construção civil, é a da logística reversa, isto é, a obrigatoriedade que fabricantes de alguns produtos, tais como pneus e tipos de lâmpadas, passam a ter com o meio ambiente ao precisarem estabelecer um programa de gerenciamento ambiental. Este, por sua vez, deve contemplar as fases de coleta destes resíduos sólidos (após sua vida útil), reciclagem (individual em seu ciclo ou associada a outros ciclos de produtos), reinserção no mercado comercial e consumidor (se a reciclagem permitir) ou outra destinação ambientalmente adequada.

A Norma Regulamentadora 17 - Ergonomia – de 08/06/1978 – via Ministério do Trabalho e Emprego, estabelece parâmetros que visam atender quesitos como conforto, segurança e desempenho do trabalhador em seu ambiente de produção. Itens como índices de iluminância artificial, condições do ar (temperatura, umidade e velocidade), nível de ruído e os principais fatores que envolvem a correta posição física do indivíduo em seu ambiente de trabalho, são contemplados nesta norma.

A NBR 9050 (Acessibilidade) de 2015 estabelece critérios e parâmetros técnicos a serem observados quando do projeto, construção, instalação e adaptação de edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos às condições de acessibilidade dos cidadãos.

A NBR ISO 8995-1 – Iluminação de Ambientes de Trabalho Com a oficialização desta norma, em 21/04/2013, a antiga NBR 5413 deixa de existir, depois de muitos anos sem revisão. A aprovação desta norma se dá por motivos, também, da apresentação de novas tecnologias, como o caso das lâmpadas LED e das luminárias de alto rendimento que apareceram no mercado em função do controle de consumo energético. Esta nova norma especifica os requisitos de iluminação para locais de trabalho internos, apresentando novos critérios e requisitos qualitativos ao projeto, tais como controle de ofuscamento, índice de reprodução da cor, iluminação de tarefas e critérios quantitativos, atendendo os níveis de iluminância recomendados.

A Resolução nº 307 – de 05/07/2002 estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil e a Resolução nº 303 de 20/03/2002 dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente (APPs).

A Resolução nº 369 de 28/03/2006 - Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente (APP).

A Resolução nº 371 de 05/04/2006, estabelece diretrizes para cálculo, cobrança, aplicação, aprovação e controle de gastos de recursos financeiros advindos da compensação ambiental decorrente dos impactos causados pela implantação de empreendimentos de significativo impacto ambiental, assim considerado pelo órgão ambiental competente, com fundamento em Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), conforme o art. 36 da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, e no art. 31 do Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002.

O licenciamento ambiental tem o objetivo de prevenir, identificando possíveis impactos negativos ao ambiente antes da instalação de um empreendimento. As grandes obras têm o seu licenciamento fiscalizado e devem produzir um Estudo de Impacto Ambiental bastante completo, e um consequente Relatório de Impacto Ambiental (EIA-RIMA).

- Define as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para o uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente;
- Também define quais são os tipos de empreendimentos que necessitarão de licenciamento ambiental, e também quais as competências de um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e de um Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) dentro deste contexto do referido licenciamento na NBR 15720-1 de 2005 e a NBR 15575-1 de 2021.
- A NBR 15720-1:2005, elaborada pela Comissão de Componentes Cerâmicos (CE-02:101.01), define os termos e fixa os requisitos dimensionais, físicos e mecânicos exigíveis no recebimento de blocos cerâmicos de vedação a serem utilizados em obras de alvenaria de vedação, com ou sem revestimento (ABNT NBR 15270-1). Esta norma contém três itens: – Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação: Terminologias e requisitos; – Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural: Terminologias e requisitos; – Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação e estrutural: Métodos de ensaio.
- A NBR 15575-1 de 2021, estabelece os requisitos e critérios de desempenho aplicáveis às edificações habitacionais, como um todo integrado, bem como a serem avaliados de forma isolada para um ou mais sistemas específicos, e avaliação do desempenho de sistemas construtivos. Parte 1 - estabelece critérios relativos ao desempenho térmico, acústico, lumínico e de segurança ao fogo, que devem ser atendidos individual e isoladamente pela própria natureza conflitante dos critérios de medições, por exemplo, desempenho acústico (janela fechada) versus desempenho de ventilação (janela aberta).

2.3

Impactos da Construção Civil no Brasil e os Edifícios Sustentáveis

A construção civil é um dos setores econômicos mais importantes no Brasil e um dos que possui maior efeito sobre o meio ambiente, pois além de utilizar mão de obra não qualificada, continua a se basear nos sistemas construtivos

convencionais, utilizando excessivamente recursos naturais, consumindo recursos energéticos e produzindo muitos resíduos (BELTRAME, 2013).

Em todas as fases de construção deve-se optar pela utilização de materiais com benefícios ecológicos, com isso, tendo uma redução de custos durante a sua fase de produção e destinação final a longo prazo; possibilidade de remanufatura de grande parte destes. Além dessas vantagens, os materiais ecológicos também proporcionam um bom isolamento térmico e acústico evitando gastos desnecessários em sua fase produtiva e contribuindo pela redução da poluição para o meio ambiente. Com relação as desvantagens desses tipos de materiais, pode-se pontuar a falta de habilidade dos trabalhadores em utiliza-los (PINHEIRO & CRIVELARO, 2020).

A escolha dos materiais de construção afeta o impacto ambiental de uma edificação, assim, deve-se buscar a seleção de materiais e componentes que estejam o mais perto possível de seus estados naturais, ou seja, aqueles que necessitam de menor número de acabamentos ou beneficiamentos. O transporte e a vida útil do produto influem na energia incorporada (ROAF, 2006). Como regra geral para os materiais, a escolha deve recair para aqueles que tenham o mínimo de processamento, madeiras com a certificação FSC, produtos não tóxicos e encontrados na região.

No Brasil, aproximadamente 40% da extração de recursos naturais tem como destino a indústria da construção. Em compensação, 50% da energia gerada é para suprir o funcionamento das edificações e 50% dos resíduos sólidos urbanos vem das construções e de demolições (VALOTO et al., 2011). Estas informações aumentam a discussão dos problemas ambientais causados pela construção civil, o uso excessivo de recursos naturais e de energia também são levados em pauta.

A construção civil responde por mais de 50% dos investimentos nacionais, conforme o Gráfico 1.

“Em relação ao desempenho da economia, o resultado do PIB confirma as perspectivas de mercado de recuperação lenta e gradual. O investimento é a locomotiva que puxa o vagão do crescimento sustentado da economia. Sem investimento, a economia patina, não consegue construir as bases sólidas necessárias para o seu desenvolvimento”, avalia a economista Ieda Vasconcelos, da CBIC.

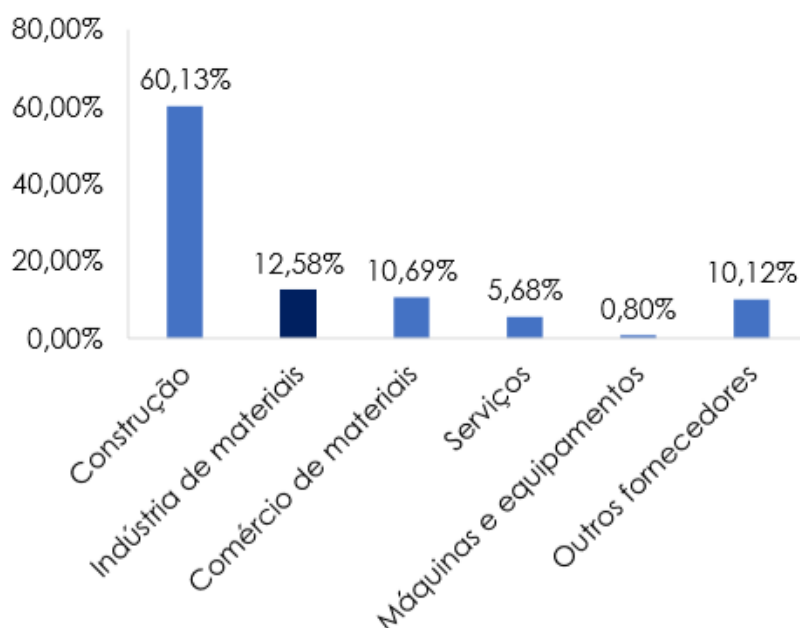


Gráfico 1 – Participação do PIB da Cadeia (%)

Fonte: Banco de Dados do CBIC, 2019

Segundo Beltrame (2013), os impactos relativos à construção, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Impactos da Construção Civil.

Impactos da Construção Civil
A operação dos edifícios consome mais de 40% no Brasil de toda a energia produzida no mundo;
Consome 50% da energia elétrica e 20% do total de energia produzida no Brasil;
A construção civil gera de 35% a 40% de todo resíduos produzidos na atividade humana;
A construção e reforma dos edifícios se produzem anualmente perto de 400kg de entulho por habitante;
A produção de cimento gera de 8% a 9% de todo o CO ₂ emitido no Brasil, sendo 6% somente na descarbonatação do calcário;
Assim como o cimento, a maioria dos insumos usados pela construção civil é produzida com alto consumo de energia e grande liberação de CO ₂ ;
Consumo de 66% de toda a madeira extraída;
34% do consumo mundial de água.

Fonte: Beltrame, 2013

Os edifícios sustentáveis partem de um efeito local e, ao mesmo tempo, representa em contexto mais amplo das necessidades da sociedade. Na construção das edificações, a aplicação do conceito de sustentabilidade surgiu ligada a

ferramenta de análise de ciclo de vida, com o objetivo de manter o equilíbrio entre os ativos fixos e o capital investido em longo prazo (BROWN, 2009).

Atualmente o conceito engloba a criação de espaços mais saudáveis, viáveis economicamente e pensados nas necessidades sociais, além da economia de recursos, a redução da emissão de gases causadores do efeito estufa e de outras fontes de poluição (EDWARDS, 2003).

Para a SB Alliance (2009^a), as variáveis que compõem um edifício sustentável e que dão origem aos indicadores de impacto ambiental são:

- a) Redução no consumo de recursos de energia e água;
- b) Redução nas emissões de poluentes (carbono, outros gases e resíduos);
- c) Qualidade do ambiente interno (conforto térmico e qualidade do ar).
- d) A essas preocupações são acrescentadas outras modalidades de conforto:
- e) Acústico, visual, olfativo e tátil;
- f) Qualidade sanitária dos ambientes e da água;
- g) Inserção adequada no meio urbano;
- h) Vida útil (adaptabilidade e manutenção).

De acordo com a Figura 4, é possível observar essas variáveis que estão de acordo com os objetivos sociais, culturais e econômicos do meio em que se inserem.

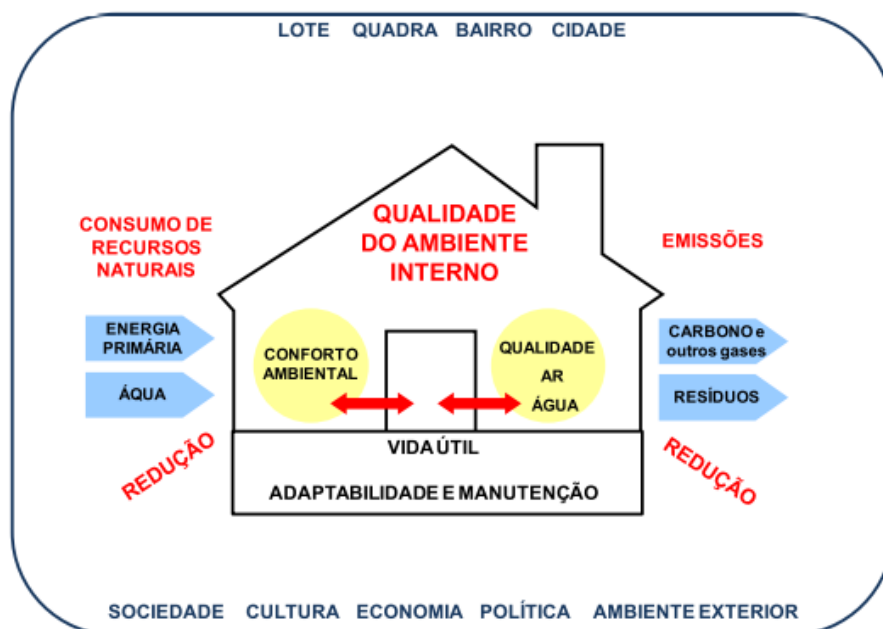


Figura 4 – Definição do Edifício Sustentável (consideração das variáveis que originam indicadores de impactos ambientais).

Fonte: RODRIGO, 2011 – Baseado em SB Alliance (2009a)

ARCHITECTURAL INSTITUTE OF JAPAN (AIJ, 2011) concorda com a definição da SB ALLIANCE (2009^a) e a completa, que o edifício sustentável é aquele que:

- a) Economiza energia e recursos;
- b) Recicla materiais e minimiza emissões de substâncias tóxicas, em todo o seu ciclo de vida;
- c) Encontra-se em harmonia com o clima, tradição, cultura e ambiente local;
- d) Colabora com a manutenção e melhoria da qualidade de vida humana e dos ecossistemas, em nível local e global.

A implantação de princípios de sustentabilidade na construção civil, vêm no desempenho de governos e municípios em políticas públicas, com iniciativas a aplicabilidade delas. Os projetos de incentivo para a certificação ambiental voluntária, tem o objetivo de diminuir impactos ambientais, buscando eficiência energética, gestão da água e desempenho térmico (MARQUES et al, 2018).

O conforto ambiental é uma questão que envolve certo grau de subjetividade e gera soluções criativas vindas das partes interessadas, permitindo que novas questões surjam a partir dele. De acordo com Pinheiro e Crivelaro (2020), o conforto ambiental é um conjunto de características ambientais que são relacionadas ao estado de satisfação de indivíduos em determinado espaço no qual se encontra (bem-estar físico e mental), conforme é apresentado na Figura 5. A avaliação do conforto ambiental existe em um determinado ambiente e pode variar de indivíduos para indivíduo, sendo relacionada a fatores fisiológicos, isto é, relacionados ao funcionamento do corpo humano, como temperatura corporal, sensações associadas ao sistema sensorial, que podem variar com a idade, saúde e vestimenta dos indivíduos

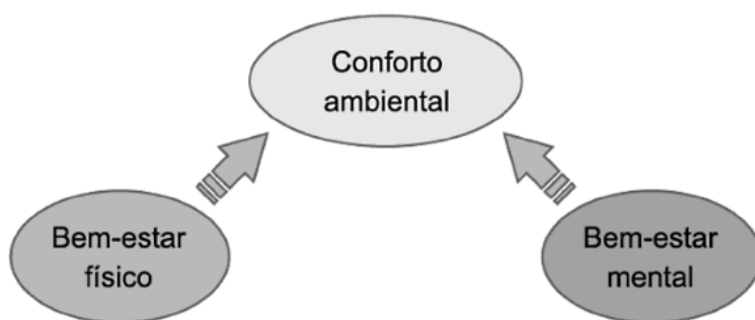


Figura 5 – Condicionantes do Estado de Satisfação de Indivíduos com o Conforto Ambiental

Fonte: Pinheiro & Crivelaro, 2020

Yeang (2006) frisa que a construção sustentável é benéfica ao meio ambiente natural e que o edifício sustentável deve ser a integração do ambiente construído em conjunto com o ambiente natural.

A seguir serão apresentados alguns temas selecionados sobre as edificações sustentáveis:

1. Qualidade interna do ar e conforto térmico;
2. Impactos positivos da utilização do BIM na construção civil;
3. Energia e Eficiência Energética.

2.3.1

Qualidade Interna do Ar e Conforto Térmico

Na qualidade ambiental interna é fundamental o gerenciamento da qualidade do ar durante as etapas de construção e pré-ocupação do edifício incluindo medidas eficazes, como o uso de materiais com baixo teor de compostos orgânicos voláteis e a proteção das instalações do sistema de ar-condicionado contra poluentes e outras emissões atmosféricas. Segundo a norma de desempenho das edificações a NBR 15575, é importante propiciar condições de salubridade no interior da edificação, considerando as condições de umidade e temperatura interior da unidade habitacional, aliadas ao tipo dos sistemas utilizados na construção. Os materiais, equipamento e sistemas empregados na edificação não podem liberar produtos que poluam o ar em ambientes confinados, originando níveis de poluição acima daqueles verificados no entorno (PINHEIRO & CRIVELARO, 2020).

O projeto de edificação deve visar satisfazer às necessidades de conforto térmico dos usuários, respeitando as atividades que os indivíduos realizarão, com isso, a qualidade ambiental interna está diretamente ligada às técnicas construtivas utilizadas para adequação da construção ao clima local. Para que seja sustentável a edificação deve possuir boa ventilação, fazendo com que o ar interno seja agradável; ter iluminação natural; e possuir sistemas para que a temperatura interna seja agradável (LIMA, 2018).

São diversas as categoriais de gases poluentes que devem ser analisados rigorosamente a fim de garantir a utilização do dispositivo mais adequado para cada situação. As medidas mais indicadas para controlar a circulação desses gases nocivos é a utilização de sistemas de exaustão e renovação do ar, que promove a movimentação do ar contribuindo para a diluição deste ar prejudicial à saúde

humana. O processo de renovação e filtragem do ar externo também é fundamental para atingir um bom desempenho dos ocupantes da edificação em questão. Um projeto adequado a cada ambiente e manutenção periódica é fundamental para que haja um bom rendimento das atividades, além de não prejudicar a saúde dos ocupantes (LAMBERTS, 2015).

No caso dos sistemas do tipo Split, para garantir uma taxa adequada de renovação de ar o ideal é que seja utilizado um sistema de renovação de ar e filtragem em conjunto ao aparelho de ar-condicionado, ou sistemas de ventilação mecânica também aliada ao sistema de filtragem, nos casos de ambientes que não comportam o aparelho de ar condicionado e que não é possível manter as portas e janelas abertas (ASHRAE, 2007).

As edificações devem reunir características que atendam às exigências de desempenho térmico, considerando-se a zona bioclimática definida na NBR 15220-3⁴. Na NBR 15575⁵, se estabelece um procedimento normativo:

- a) Procedimento 1 – Simplificado (normativo): atendimento aos requisitos e critérios para os sistemas de vedação e coberturas, conforme NBR 15575-4 e NBR 15575-5. Para os casos em que a avaliação de transmitância térmica e capacidade térmica, conforme os critérios e métodos estabelecidos nas NBR 15575-4 e ABNT NBR 15575-5, resultem em desempenho térmico insatisfatório, o projetista deve avaliar o desempenho térmico da edificação como um todo pelo método da simulação computacional.
- b) Procedimento 2 – Medição (informativo): verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos na NBR 15575-1, por meio da realização de medições em edificações ou protótipos construídos. Este método é de caráter meramente informativo e não se sobrepõe aos procedimentos descritos no item anterior (a), conforme disposto na diretiva 2:2011 da ABNT.

⁴ Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades: Rio de Janeiro, 2005.

⁵ Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15575-1: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2021.

A avaliação do desempenho térmico⁶ de edificações, via medições *in loco*, deve ser feita em edificações em escala real (1:1). Medir a temperatura de bulbo seco do ar no centro das salas, a 1,20 m do piso. Para as medições de temperatura, seguir as especificações de equipamentos e montagem dos sensores (ISO 7726, 1998).

Para avaliar edificações existentes, considerar as situações apresentadas e realizar a avaliação nos métodos de desempenho; por meio de amostragem e relação entre normas (NBR 15575, 2015):

- a) no caso de uma única unidade habitacional, medir nos recintos indicados na avaliação do desempenho de edificações ou de sistemas, de acordo com a NBR 15575:2021.
- b) em conjunto habitacional de unidades térreas e edifícios multipiso, escolher uma ou mais unidades, que possibilitem a avaliação nas condições estabelecidas para o verão: janela do dormitório ou sala voltada para oeste e outra parede exposta voltada para norte; inverno: janela do dormitório ou sala de estar voltada para sul e outra parede exposta voltada para leste; no caso de edifício multipiso, selecionar unidades do último andar; caso as orientações das janelas dos recintos não correspondam exatamente às especificações anteriores, priorizar as unidades que tenham o maior número de paredes expostas e cujas orientações das janelas sejam mais próximas da orientação especificada.

Para avaliação em protótipos, recomenda-se que eles sejam construídos considerando-se as condições estabelecidas na NBR 15220:2005⁷ – Desempenho térmico de edificações, a seguir:

- a) Regiões bioclimáticas 6 a 8 (NBR 15220-3), protótipo com janela do dormitório ou sala voltada para oeste;
- b) Regiões bioclimáticas 1 a 5 (ABNT NBR 15220-3), construir um protótipo que atenda aos requisitos para as condições de inverno: janela do dormitório ou sala de estar voltada para sul e outra parede exposta voltada

⁶ *Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities. International Standard*, 1998.

⁷ Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15220: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

para leste; condição de verão: janela do dormitório ou sala voltada para oeste e outra parede exposta voltada para norte.

A NBR 15575:2021 recomenda que quando possível, as paredes e as janelas dos protótipos devem ser desobstruídas (sem presença de edificações ou vegetação nas proximidades que modifiquem a incidência de sol e/ou vento).

Em caso de avaliação em protótipo, este deve reproduzir as condições mais semelhantes possíveis a aquelas que serão obtidas pela edificação real, evitando-se desvios de resultados causados por sombreamentos ou ventilação diferentes da obra real.

2.3.2

Impactos Positivos da Utilização do BIM na Construção Civil

A modelagem da Informação da Construção ou BIM é a metodologia da inovação da indústria da construção civil (SUCCAR & KASSEM, 2015). O BIM tem por objetivo precisão ao processo, auxiliando na tomada de decisão durante toda a evolução do projeto, instigando a convergência para uma solução otimizada, tendo uma percepção inteligente em tempo real, coletando dados de consumo de energia e impactos ambientais de todo o ciclo de vida de um produto, com isso, gerando mais rapidez e confiabilidade nos dados coletados (BARROS & SILVA, 2016).

O BIM é uma das tecnologias com maior potencial de crescimento atualmente, visto que parte das empresas já adotou a plataforma e comprovou as suas vantagens. Dentre as empresas do setor da construção, 9,2% já implementaram a tecnologia BIM, estas empresas correspondem a 5% do PIB da construção civil (CE-BIM, 2018).

A estratégia que o BIM BR planeja alcançar são aumentar a produtividade das empresas em 10% (produção por trabalhador das empresas que adotarem o BIM); reduzir custos em 9,7% (custos de produção das empresas que adotarem o BIM); aumentar em 10 vezes a adoção do BIM (hoje 5% do PIB da Construção Civil adota o BIM, a meta é que 50% do PIB da construção civil adote o BIM); elevar em 28,9% o PIB da construção civil (com a adoção do BIM, o PIB do setor, ao invés de 2,0% ao ano, espera-se que cresça 2,6% entre 2018 e 2028, ou seja, terá

aumentado 28,9% no período, atingindo um patamar de produção inédito) (CE-BIM, 2018).

As metas que o BIM BR planeja alcançar nos próximos anos, podem ser conferidos na Figura 6 (CE-BIM, 2018):

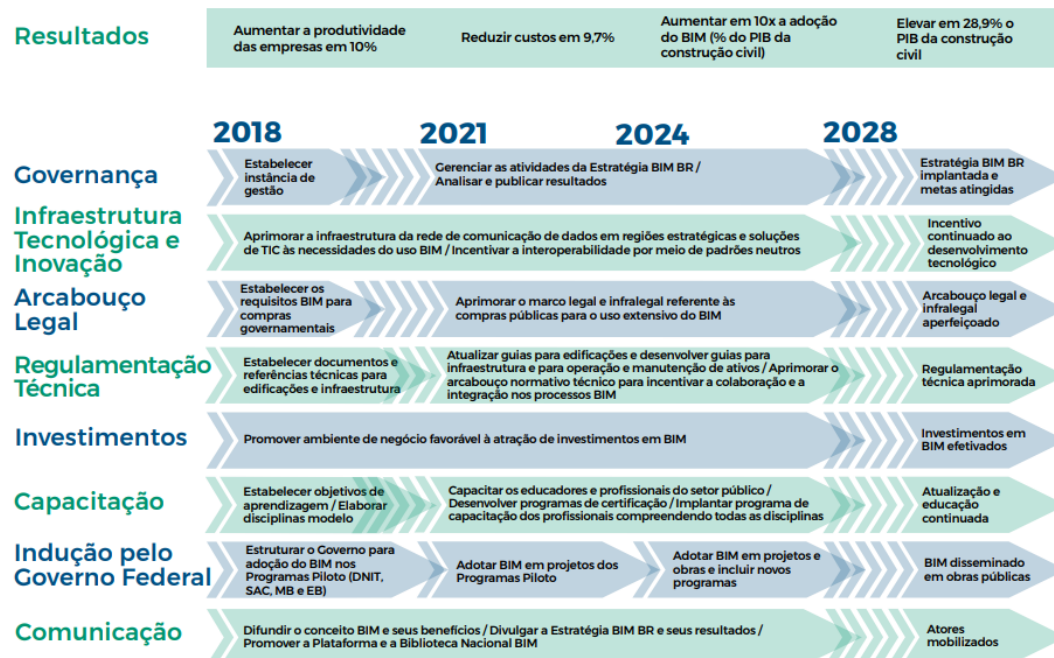


Figura 6 – BIM BR Roadmap

Fonte: MDIC, 2018

O governo brasileiro desenvolveu em 2018 a estratégia nacional de disseminação do BIM. A iniciativa analisou as vantagens que a plataforma traz, como o barateamento das compras públicas e transparência nos processos licitatórios, além da oportunidade de crescimento do setor da construção, com isso ela buscou incentivar a adoção da plataforma através da Estratégia BIM BR. O governo espera atingir os seguintes resultados (CE-BIM, 2018):

- Assegurar ganhos de produtividade ao setor de construção civil;
- Proporcionar ganhos de qualidade nas obras públicas;
- Aumentar a acurácia no planejamento de execução de obras proporcionando maior confiabilidade de cronogramas e orçamentação;
- Contribuir com ganhos em sustentabilidade por meio da redução de resíduos sólidos da construção civil;
- Reduzir prazos para conclusão de obras;
- Contribuir com a melhoria da transparência nos processos licitatórios;

- g) Reduzir necessidade de aditivos contratuais de alteração do projeto, de elevação de valor e de prorrogação de prazo de conclusão e de entrega da obra;
- h) Elevar o nível de qualificação profissional na atividade produtiva;
- i) Estimular a redução de custos existentes no ciclo de vida dos empreendimentos.

A metodologia BIM já é utilizada aqui no Brasil e tem ganhado cada vez mais espaço no mercado da construção civil brasileira. Para incentivar ainda mais a adesão ao BIM, o Governo Federal emitiu o “decreto BIM” que determina o uso obrigatório da metodologia. Este decreto entrou em vigor em janeiro de 2021, tornando obrigatória a implantação do BIM para diversos tipos de obras em nosso país. O decreto que determina o uso obrigatório da metodologia BIM é o Decreto nº 10.306 emitido dia 02 de abril de 2020⁸.

O decreto determina o uso obrigatório do BIM para a execução de obras e serviços de engenharia realizados, direta ou indiretamente, pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal.

Desse modo, empresas privadas, que participam de licitações, de obras ou qualquer serviço de engenharia financiado por órgãos governamentais, precisam aderir ao BIM. Além disso, obviamente, órgãos federais como o Exército também são obrigados a atender as determinações do decreto BIM.

A implementação do decreto foi dividida em 3 etapas. Em janeiro de 2021, apenas a primeira parte do BIM para obras públicas entrou em vigor.

O Decreto 10.306/2020, estabelece a utilização do BIM na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia, realizados pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal. A medida foi amplamente defendida pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2019).

Através da plataforma BIM é possível analisar os aspectos de uma construção, assim como, a geometria da estrutura, o tipo de material, a eficiência térmica e

⁸ BRASIL. Decreto-Lei nº10.306, de 2 de abril de 2020. Estabelece a utilização do *Building Information Modelling* na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modelling* - Estratégia BIM BR, instituída pelo Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019.

acústica, o desempenho energético, a estética, detalhes de instalações, segurança, manutenção e a vida útil da edificação (LIMA, SOUZA, et al., 2017).

A alheação do desenho do edifício e a compatibilização manual de projetos que eram realizados de forma bidimensional, dentro de um processo de trabalhado associado ao uso de ferramentas ou sistemas CAD (Computer Aided Design), com a utilização do BIM são realizados por modelos geométricos, tridimensionais, ricos em informações do edifício (RUSCHEL, et al, 2013).

A plataforma BIM tem como principal característica realizar a compatibilização entre os projetos e a troca de dados sem perda ou distorção de informação, além de permitir identificar esse tipo de falha ainda na fase de planejamento. O BIM proporciona uma facilidade de exportação de arquivos de um programa para outro, dada pela compatibilidade e a troca de dados provenientes da plataforma, tornando possível fazer mudanças, acompanhar e atualizar os projetos em tempo real, otimizando o tempo e reduzindo custos com retrabalho (LIMA, SOUZA, et al., 2018).

Com o uso da plataforma, além da redução de erros de compatibilidade e otimização de prazos, é proporcionado maior confiabilidade dos projetos, processos mais precisos de planejamento e controle de obras, aumento de produtividade, economia dos recursos utilizados nas obras e diminuição de custos e riscos (CE-BIM, 2018).

Segundo Bynum, Issa e Olbina (2013), um dos motivos do aumento do uso de BIM na indústria de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação, é a possibilidade de gerar uma série de simulações que podem definir padrões para o desenvolvimento do produto, sendo de grande valia no desenvolvimento de soluções sustentáveis.

BIM não está somente atrelado ao software e a tecnologia, existem também os processos e as políticas (RUSCHEL et al, 2013). Utilizando a mesma lógica de programação, também é possível quantificar outros tipos de impactos, estimar resíduos e desperdícios durante a construção ou desconstrução do edifício, ou até extrapolar para análises e custos e outros indicadores. A edificação cujas estratégias e soluções técnicas implementada ao projeto são ambientalmente corretas, economicamente viáveis e socialmente justas, que tornam o edifício mais eficiente e visam melhorar o bem-estar e conforto.

A partir das reflexões e linhas de ação a atuação em BIM foi considerada estratégica, uma vez foi entendido que BIM, por definição, se tratava de uma metodologia relacionada a políticas, processos e tecnologias capazes de gerar e gerenciar os dados digitais essenciais do projeto e da construção ao longo do ciclo de vida do empreendimento (SUCCAR, 2009). Essa definição traz o entendimento de que a metodologia colabora para a redução da fragmentação da indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) e, consequentemente diminui custos em função de mitigar as perdas de informações ao longo do processo de projeto, construção e manutenção do edifício (EASTMAN et al, 2014; ANDRADE & RUSCHEL, 2011; SUCCAR, 2009) o que também reflete no aumento de produtividade.

2.3.3

Energia e Eficiência Energética

As fontes energéticas são fundamentais em qualquer processo de produção. É através delas que os meios produtivos são alavancados, gerando resultados econômicos. As fontes como petróleo e derivados, carvão mineral, gás natural e urânio são também essenciais, e ao mesmo tempo podem ser problemáticas. A utilização desses recursos de maneira incorreta causa graves impactos sociais e ambientais, além de serem esgotáveis, no capítulo 3 será abordado de forma mais detalhada o tema (RODRIGUES, 2020).

A aplicabilidade de fontes limpas, alternativas, renováveis e não poluentes tem sido bastante consumida para reduzir a dependência e a serventia das fontes energéticas esgotáveis, além de reduzir as emissões de gases poluentes. Essas fontes podem se constituir, a partir da biomassa, energia eólica, hídrica, solar, biocombustíveis (álcool – biodiesel). As fontes de energias renováveis têm apresentado um crescimento significativo na matriz energética brasileira. Além de ser sustentável a opção pelo uso de energias limpas, tanto na produção como na logística, traz benefícios econômicos e sociais, respeitando a Lei nº 10.438/2002⁹ (TOLMASQUIM, 2003).

⁹ Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, dá nova redação às Leis nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, nº 9.648, de 27 de

A preocupação com o meio ambiente, através da redução do consumo de energia tem se tornado inerente à vida das pessoas. A eficiência é formada em fases de projeto, onde o projetista junto ao cliente precisa relacionar os sistemas, se empenhar em buscar novas tecnologias e maior eficiência na operação e consumo (BENITE, 2015).

A conversão de energia solar em eletricidade é uma das formas mais promissoras de produção de energia limpa, a partir de fonte renovável e uma solução alternativa para atender à crescente demanda global por energia nas edificações (LEONARDO et al, 2015).

2.4

Sistema de Avaliação

No mercado mundial, existem certificações ambientais em diversos países, tanto alguns atuando localmente, enquanto outros atuam mundialmente. Nesse trabalho serão abordadas algumas das principais certificações utilizadas no mercado da construção sustentável e serão enfatizadas as principais as mais usuais certificações do mercado brasileiro, sendo elas:

- BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*), desenvolvido no Reino Unido.
- CASBEE (*Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency*), desenvolvido no Japão.
- GBC (*Green Building Challenge*), desenvolvido inicialmente no Canadá com a implementação através do SBTool.
- LEED (*Leadership in Energy and Environment Design*), desenvolvido nos Estados Unidos da América.
- AQUA-HQE (*Haute Qualité Environnementale des Bâtiments*), desenvolvido na França. A Fundação Vanzolini é uma organização sem fins lucrativos, criada e gerida pelos professores do departamento de Engenharia de Produção da Universidade de São Paulo (Poli-USP).

A avaliação da sustentabilidade na construção de edifícios tem por objetivo a obtenção de dados e o reporte de informações que servirão de base aos processos

de decisão que decorrem durante as diversas fases do ciclo de vida de um edifício. A análise do nível de sustentabilidade de um edifício surge de um processo que conduza à identificação e avaliação dos aspetos mais importantes ao longo do seu ciclo de vida (BRAGANÇA E MATEUS, 2006).

Os sistemas de avaliação para edifícios tornaram possível a certificação da aplicação dos conceitos da construção sustentável ao setor da construção. Estes sistemas estão em constante evolução, ampliando o seu campo de aplicação. Um dos principais objetivos é:

“desenvolver e implementar uma metodologia consensual que sirva de suporte à concepção de edifícios sustentáveis e que seja, ao mesmo tempo, prática, transparente e suficientemente flexível, para que possa ser facilmente adaptada aos diferentes tipos de edifícios e à constante evolução tecnológica que se verifica no domínio da construção” (AMADO, 2009).

Para Bragança & Mateus (2006), os indicadores e parâmetros da sustentabilidade são baseadas em definições, regras, métodos, classificações e na atribuição de pesos. Os diversos métodos de avaliação da sustentabilidade de edifícios encontram-se orientados para diferentes escalas de análise: material de construção, produto de construção, elemento de construção, zona independente, edifício e local de implantação.

O objetivo da certificação é promover uma conscientização de todos os envolvidos no processo, desde a fase de projeto, passando pela construção, até o usuário final, incorporando soluções que irão permitir uma redução no uso de recursos naturais, promovendo conforto e qualidade para seus usuários.

Arquitetos, empresas de construção, empresas de energia, planejadores urbanos, empreendimentos e políticos brasileiros estão trabalhando juntos para criar as cidades sustentáveis do futuro. Os motivos da grande procura pela certificação é devido pelo seu reconhecimento global, consideração do local de construção, foco na redução do consumo de água, ênfase na redução do consumo de energia, aspectos relacionados à saúde e produtividade dos trabalhadores (KIBERT, 2008).

O custo das construções sustentáveis ainda é um dos principais entraves por ser oneroso inicialmente, mas os benefícios trazidos pela certificação de uma construção são visíveis em longo prazo. No entanto, já existem soluções no mercado brasileiro para este cenário, que podem garantir redução de custos e de riscos no processo de certificação: as equipes integradas. A proposta é simples, mas, ao

mesmo tempo, inovadora: oferecer a contratação de equipes multidisciplinares de projeto, que incluam as principais disciplinas, como elétrica, hidráulica e estrutura, juntamente com o processo de consultoria para a certificação (FURUKAWA, 2011).

A empresa que leva esse tipo de certificação para o seu empreendimento fica reconhecida no mercado como ecologicamente correta, associando a marca ao produto, tendo potencial para conquistar novos mercados, reduzindo os custos de produção e atraindo novos investimentos, facilitando a obtenção de financiamentos e gerando o aumento da consciência.

A importância de edifícios verdes na vida cotidiana das cidades brasileira é de extrema importância no uso racional dos recursos hídricos, na redução das emissões de gases de efeito estufa, na melhoria da qualidade de vida dos ocupantes, na economia dos custos de manutenção, na busca pela utilização de fontes renováveis de energia.

2.4.1

BREEAM

O *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM – Método de Avaliação Predial Através da Pesquisa do Ambiente Estabelecido), surgiu em 1990, sendo o primeiro método de avaliação de desempenho ambiental de edifícios desenvolvido pelo *Building Research Establishment* (BRE) e do setor privado, no Reino Unido, tendo sofrido várias alterações ao longo dos tempos, de modo a ser aplicado a usos para além da habitação, como escritórios, comércio, unidades industriais, entre outros (BREEAM, 2022).

A flexibilidade na seleção dos critérios oferece uma certificação personalizada, que atende inclusive aos projetos de tipologia única ou não convencional, e buscam um alto nível de sustentabilidade e visibilidade. Em muitos casos, é possível utilizar as próprias normas e regulamentos de construção no Brasil, em lugar de normas estrangeiras, o que facilita os processos de projeto e de avaliação (BREEAM, 2022).

A avaliação através do BREEAM (Figura 7) funciona à base da atribuição de créditos concedidos ao edifício, aos quais são somados de forma a obter uma única

pontuação que classifica o edifício, designada por índice de desempenho ambiental. Em cada categoria são atribuídos pesos específicos, de acordo a relevância determinada pelo sistema para a tipologia do edifício (BREEAM, 2011).

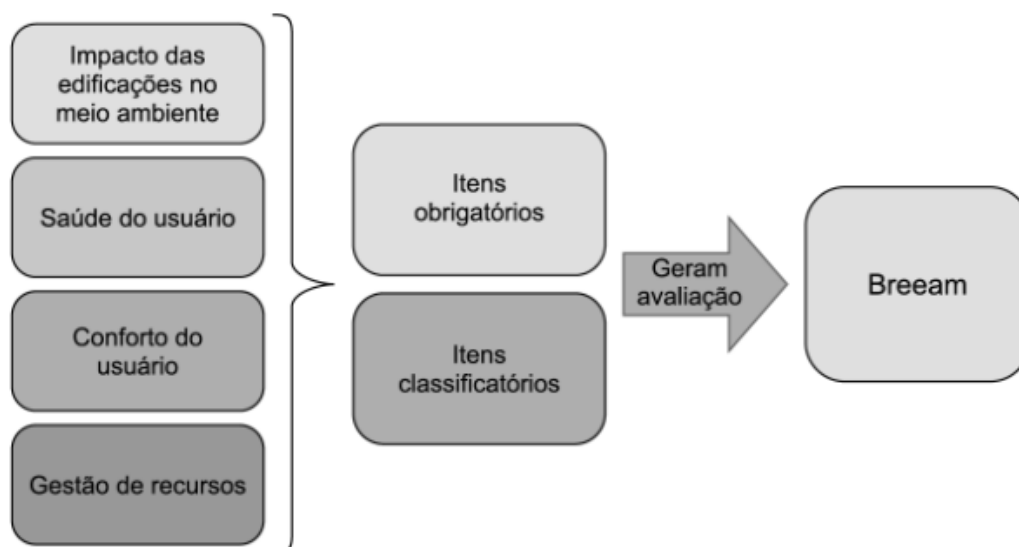


Figura 7 – Itens gerais de avaliação do BREEAM

Fonte: Pinheiro & Crivelaro, 2020

A certificação incentiva a minimizar os efeitos negativos dos edifícios nos locais onde se inserem, como visa fomentar o conforto ambiental interno. Alguns dos objetivos deste método são (BREEAM, 2011):

- Promover o reconhecimento, em nível do mercado, de edifícios com baixo impacto ambiental;
- Incentivar a utilização de melhores práticas ambientais em todas as fases do ciclo de vida do edifício;
- Aplicar parâmetros e padrões que não são impostos na legislação, desafiando o mercado a adotar soluções inovadoras que minimizem o impacto ambiental dos edifícios;
- Realçar a importância e os benefícios de edifícios com menor impacto ambiental aos proprietários, ocupantes, projetistas e operadores.

O certificado BREEAM de avaliação permite avaliar o desempenho ambiental de diversos tipos de construção, tais como:

- BREEAM Offices: edifícios de escritórios;
- EcoHomes: habitações novas ou renovadas;
- Industrial BREEAM: unidades industriais;

- *Bespoke* BREEAM: sistema aberto para outras tipologias.

As avaliações BREEAM (2022) abrangem uma ampla gama de categorias, incluindo:

1. Energia: Esta categoria avalia a eficiência energética de um edifício e o uso de energia renovável, incluindo seus sistemas de aquecimento e resfriamento, iluminação e eletrodomésticos.
2. Água: Esta categoria avalia a eficiência hídrica de um edifício, incluindo o uso de coleta de água da chuva, reutilização de águas cinzas e equipamentos e aparelhos com eficiência hídrica.
3. Materiais: Esta categoria avalia o impacto ambiental dos materiais usados na construção e operação de um edifício, incluindo sua energia incorporada, conteúdo reciclado e durabilidade.
4. Resíduos: Esta categoria avalia as práticas de gerenciamento de resíduos de um edifício, incluindo reciclagem, compostagem e uso de materiais fáceis de desmontar e reutilizar.
5. Poluição: Esta categoria avalia o impacto de um edifício na qualidade do ar e da água, incluindo o uso de materiais e sistemas de baixa emissão e o gerenciamento do escoamento de águas pluviais.
6. Transporte: Esta categoria avalia a acessibilidade de um edifício por transporte público e seu suporte para modos alternativos de transporte, como ciclismo e caminhada.
7. Saúde e bem-estar: Esta categoria avalia o impacto de um edifício na saúde e bem-estar de seus ocupantes, incluindo a qualidade do ar interno, iluminação natural e acesso ao espaço externo.

Além dessas categorias, o BREEAM (2022) também inclui créditos para inovação, que reconhecem projetos que vão além dos critérios padrão em uma ou mais categorias. No geral, as avaliações são abrangentes e abrangem muitas categorias para avaliar minuciosamente a sustentabilidade e o desempenho ambiental de um edifício.

A aplicação do BREEAM é feita com base numa lista de verificação (checklist) que detalha os requisitos específicos de cada parâmetro. A análise de dados de avaliação deste sistema contém itens com carácter obrigatório e outros classificatórios. O cumprimento dos itens obrigatórios e de um número mínimo de itens classificatórios irá corresponder à classificação do edifício num dos níveis de

desempenho possíveis, e que variam entre Sem Classificação, Aprovado, Bom, Muito Bom, Excelente e Excelente (nível adicional) (BREEAM, 2011).

2.4.2

AQUA-HQE

A definição formal de qualidade ambiental, segundo a associação HQE, é:

“qualidade ambiental do edifício e dos seus componentes (em produtos e serviços) e os restantes conjuntos de operação, de construção ou adaptação, que lhe conferem a aptidão para satisfazer as necessidades de dar respostas aos impactos ambientais sobre o ambiente exterior e a criação de ambientes interiores confortáveis e sãos”.

Em 1998 a HQE apontou para a importância ambiental dos edifícios, em perspectiva de abordagem voluntária, especificando a qualidade ambiental num conjunto de 14 áreas de intervenção, organizadas em dois domínios de duas famílias cada uma, isto é, eco-construção e eco-gestão, conforto e saúde. A abordagem do HQE se baseia em um sistema de gestão ambiental da operação (SMO – *Système de Management de l'Opération*), que estabelece e conduz as responsabilidades de concretização, e, por outro lado, sobre as exigências ambientais definidas na origem do projeto, segundo as prioridades QEB - *Qualité Environnementale du Bâtiment* (OLIVE, 1998).

A partir da certificação francesa HQE (*Haute Qualité Environnementale*), o Processo AQUA-HQE certifica construções sustentáveis no Brasil, através da Fundação Vanzolini, sendo somente ela autorizada internacionalmente a aplicar este certificado. O diferencial da certificação AQUA-HQE é que, mesmo tendo se originado de referenciais técnicos estrangeiros, suas documentações foram adaptadas em 2007 pela Fundação Vanzolini em parceria com a Escola Politécnica da USP, considerando a cultura, o clima, as normas técnicas e as regulamentações brasileiras. Além disso, desde 2014, o HQE possui referenciais técnicos de nível internacional que levam em conta a experiência brasileira (VANZOLINI, 2015).

A Fundação Vanzolini (2016), a edificação que deseja receber o certificado AQUA-HQE será avaliado por auditores especializados, que analisam cada uma das 14 categorias da Figura 8, e as classifica em níveis de desempenho e excelência. Vale ressaltar também que as 14 categorias são separadas em 4 famílias principais: Sítio/Construção, Gestão, Conforto e Saúde.



Figura 8 – Pontos Avaliados Durante o Processo AQUA-HQE
Fonte: Portal da Fundação Vanzolini

Para que um empreendimento receba o certificado AQUA-HQE, o empreendedor deve alcançar um no mínimo um perfil de desempenho com 3 categorias no nível melhores práticas (MP), 4 categorias no nível boas práticas (BP) e 7 categorias no nível base (B).

No mundo, já são mais de 230 mil projetos certificados AQUA-HQE, entre eles, contamos com 356 distribuídos em 15 estados brasileiros, isso equivale a mais de 14 milhões de m² construídos certificados em todo o Brasil. Até janeiro de 2022, a Fundação Vanzolini tinha 749 edifícios certificados ou em processo de certificação, contemplando em mais de 14,76 milhões de m² certificados ou em processo de certificação, sendo eles:

- 457 edifícios residenciais em construção;
- 236 edifícios não residenciais em construção;
- 56 edifícios não residenciais em operação;
- 9 bairros e loteamentos;
- 1 Bairro e loteamento em operação;
- 1 infraestrutura portuária;
- 1 Projeto de Interiores;
- 7 empreendedores AQUA.

2.4.3

LEED

O LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) é um Sistema de certificação de construção sustentável global, regional e local que fornece verificação por terceiros das características, projeto, construção, manutenção, operação e eficácia das edificações sustentáveis. Esta certificação funciona para todos os edifícios e pode ser aplicado a qualquer momento no empreendimento.

O LEED é um programa eficaz que permite percorrer por questões complexas, e muitas vezes conflitantes, relacionadas à construção e ao meio ambiente que afetam os seres humanos no mundo todo. É uma ferramenta que pode ser usada para melhorar o meio ambiente, criar edificações com melhor desempenho e contribuir para melhorias na saúde e bem-estar dos usuários da edificação. Com caminhos para realizações específicas, o LEED foi concebido para uso em uma grande variedade de climas e localidades, em harmonia com as leis e requisitos locais.

Atualmente o LEED está presente em 167 países e diversos territórios já receberam a certificação LEED. No ano de 2018 o LEED anunciou o ranking anual dos dez países e regiões fora dos EUA com maior área certificada LEED. A lista reconhece os mercados que estão usando o LEED para criar espaços mais saudáveis para as pessoas, além de usar menos energia e água, reduzir as emissões de carbono e economizar recursos financeiros para famílias e empresas. O Brasil ficou em 4º lugar com mais de 531 projetos certificados pelo LEED, totalizando mais de 16,74 milhões de metros quadrados brutos de espaço certificado, de acordo com dados obtidos na USGBC em 2018.

Segundo Mahesh Ramanujam presidente e CEO do USGBC e Green Business Certification Inc. (GBCI), declarou que nos últimos 25 anos, o LEED desempenhou um papel fundamental nos esforços de sustentabilidade em todo o mundo.

“Os 10 principais países e regiões representam uma comunidade global de empresas dedicadas ao movimento e profissionais da construção sustentável que estão comprometidos em melhorar a qualidade de vida. Um futuro melhor requer um padrão de vida universal que não deixe ninguém para trás – e que o futuro simplesmente não seria possível sem o extraordinário trabalho que está sendo feito nestes países”.

Os projetos que buscam a certificação LEED serão analisados por 8 dimensões. Todas as tipologias do LEED v4.1 possuem pré-requisitos (práticas obrigatórias) e créditos (recomendações) que à medida que atendidos, garantem pontos à edificação. Projetos de construção ganham pontos por atingir um dos quatro diferentes níveis de certificação LEED: Certificado, Prata, Ouro e Platina.

Os empreendimentos que buscam este tipo de construção para implantar a certificação LEED são avaliadas em 9 categorias, conforme a Figura 9.



Figura 9 – Categorias Avaliadas do LEED

Fonte: USGBC, 2018

O LEED v4.1 possui 4 tipologias, que consideram as diferentes necessidades para cada tipo de empreendimento:

- Building Design + Construction
- Interior Design + Construction
- Operation e Maintenance
- Neighborhood

Para cada uma das categorias do LEED, existe uma tabela de pontuação que considera diferentes dimensões de acordo com o empreendimento em que se aplica. A pontuação mínima é de 40 pontos, mas existem quatro níveis de qualificação da certificação, de acordo com a pontuação adquirida pelo empreendimento, sendo eles: certificado (de 40 a 49 pontos), prata (de 50 a 59 pontos), ouro (de 60 a 79 pontos) e platina (de 80 a 110 pontos). Conforme demonstrado no Figura 10.

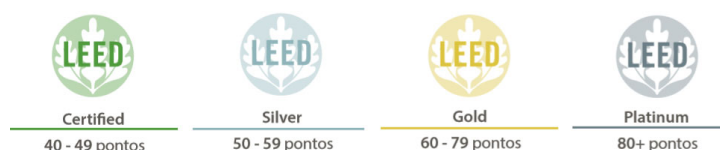


Figura 10 – Níveis de Certificação LEED e Pontuação.

Fonte: USGBC, 2020

É apresentado no Gráfico 2, a quantidade de empreendimentos cadastrados em certificações e registros no LEED do GBCB. É possível observar que nos últimos anos obteve-se um aumento significativo, principalmente nos registros dos anos 2012 com 209 registros, o ano de 2016 com 194 registros e o ano de 2011 com 189 registros. Os índices apresentados com a menor taxa de registros foram nos anos 2006 com 4 registros, o ano de 2017 com 31 registros e o ano de 2007 com 40 registros.

Com relação as certificações, é observado que no ano de 2015 obtiveram 96 certificações, em seguida em 2014 com 83 certificações e na terceira posição o ano de 2016 com 80 certificações.

Conforme o Gráfico 2, a maior alta de certificações LEED foram apresentadas no ano de 2015 com 96 certificações, segundo foi o ano de 2014 com 83 certificações e em terceiro o ano de 2016 com 80 certificações.

Os registros acumulados entre os anos de 2006 até 2019, totalizaram em 1454 registros no LEED. E a quantidade de certificações geradas entre os anos de 2006 até 2019 foram 579 no Brasil.

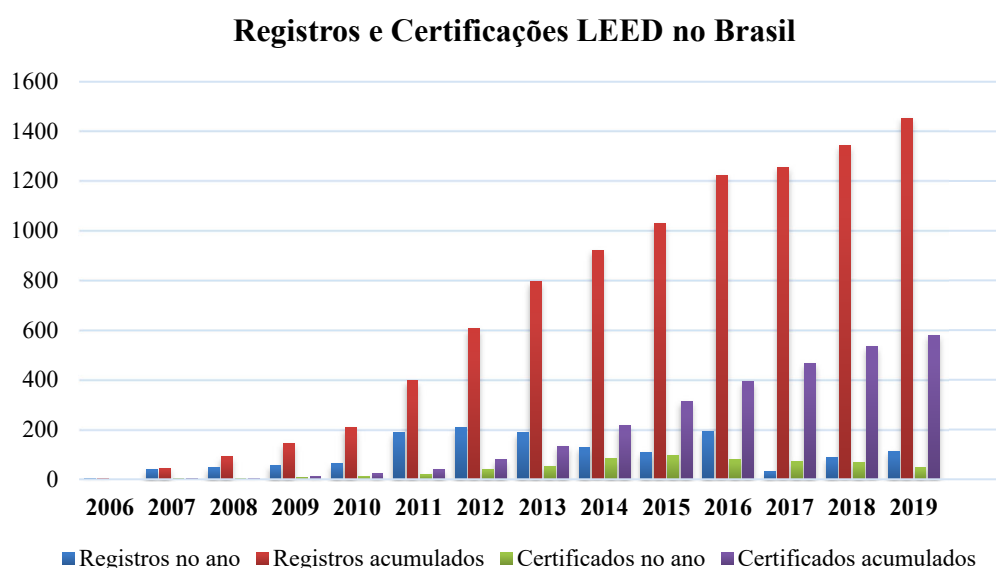


Gráfico 2 – Registros e Certificações LEED no Brasil

Fonte: GBC-Brasil, 2019

A certificação LEED é reconhecida mundialmente, trazendo diversas vantagens ao empreendimento, como: a valorização do empreendimento no mercado, redução nas contas de água e luz e a contribuição para o meio ambiente.

Os benefícios da certificação LEED são divididos em econômico, social e ambiental (Tabela 2), a partir de estudos realizados pela USGBC (U. S. *Green Building Council*) na Califórnia, nos EUA em 2019.

Tabela 2 – Benefícios do LEED

Econômico	Social	Ambiental
Diminuição dos custos operacionais	Melhora na segurança e priorização da saúde dos trabalhadores e ocupantes	Uso racional e redução da extração de recursos naturais
Diminuição dos riscos regulatórios	Inclusão e aumento do senso de comunidade	Redução do consumo de água e energia
Valorização do imóvel para revenda ou arrendamento	Capacitação profissional	Implantação consciente e ordenada
Aumento na velocidade de ocupação	Conscientização de trabalhadores e usuários	Mitigação dos efeitos das mudanças climáticas
Aumento da retenção	Aumento da produtividade dos funcionários; melhora na recuperação de pacientes (em hospitais); melhora no desempenho de alunos (em escolas); aumento no ímpeto de compra de consumidores (em comércios)	Uso de materiais e tecnologias de baixo impacto ambiental
Modernização e menor obsolescência da edificação	Incentivo a fornecedores com maiores responsabilidades socioambientais	Redução, tratamento e reuso dos resíduos da construção e operação
	Aumento da satisfação e bem-estar dos usuários	
	Estímulo a políticas públicas de fomento a Construção Sustentável	

Fonte: GBC-Brasil, 2019

3

Desempenho Energéticos dos Edifícios

No presente capítulo é apresentado o desempenho energético, com base na bibliografia referenciada, dando uma visão panorâmica de como o tema tem sido tratado no Brasil, especialmente no Rio de Janeiro, tendo em conta as necessidades de energia para uso, tais como o aquecimento, a ventilação, a iluminação, as quais são determinadas de modo a otimizar direta ou indiretamente, os níveis de saúde, conforto térmico e qualidade do ar interior dos ocupantes dos edifícios. Trazendo como solução a aplicação e viabilidade de placas solares fotovoltaicas, apresentando o quanto ela impacta de forma ambiental, social e econômica.

3.1

Eficiência e Consumo Energético no Brasil

No início do século XX, houve a construção das primeiras hidrelétricas no Brasil, o que gerou uma maior quantidade de energia e cessando os outros métodos de energia utilizados no século passado. Porém no Brasil, assim como no restante do mundo, a principal fonte de energia ainda era a de combustíveis fósseis, principalmente, o petróleo.

Em 1973, ocorreu a primeira grande crise no setor energético mundial, pois o preço do barril do petróleo chegou a triplicar de preço em apenas três meses. A partir deste momento, os países começaram a se preocupar em gerenciar sua energia, pois viram que a energia não era um bem inesgotável. O Brasil foi altamente afetado por essa crise, pois na época, 80% do petróleo consumido no país eram importados, a partir disso, houve um estímulo nacional para a mudança da matriz energética (TOLMASQUIM, 2003).

Com a crise do petróleo, países do mundo inteiro voltaram seu olhar para a questão energética, ao desenvolvimento e a implantação de fontes de energia alternativas, que prejudicassem o meio ambiente, a fim de preservar nossos recursos naturais (RODRIGUES & FREITAS, 2022).

Furukawa & Carvalho (2011), na década de 80 foi criado o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) no Brasil, determinando que todas as empresas do setor elétrico aplicassem 1% de seu lucro em medidas para a conservação de energia. Em 1993, o Selo Procel foi criado indicando o nível de

eficiência energética de vários produtos (eletrônicos, eletrodomésticos e equipamentos industriais) de diferentes categorias.

Para alcançar uma maior eficiência energética, o governo brasileiro criou algumas medidas extremas, como por exemplo, o chamado “apagão energético” que aconteceu no país durante o período de junho de 2001 até março de 2002, em que se não houvesse o racionamento da energia o país não conseguiria suprir a demanda da época. A partir deste período diversas ações foram tomadas pelo governo, como incentivos fiscais para empresas economizassem energia. Criou-se com isso o Programa de Eficiência Energética, em que as concessionárias de energia elétrica eram obrigadas a investir 0,25% de seu lucro em medidas contribuintes para a eficiência energética. Atualmente, existem dois grandes problemas relacionados à energia no Brasil (FURUKAWA & CARVALHO, 2011):

- A questão financeira, visto que o país possui recursos limitados para investir na construção de usinas geradoras, as quais têm um alto custo incorporado.
- A implantação dessas usinas hidrelétricas gera um enorme impacto socioambiental, pois podem ocasionar desapropriações rurais e o alagamento de grandes áreas com a destruição da fauna e da flora.

No Brasil nos deparamos com uma das maiores crises no setor elétrico da nossa história, com o nível de água em nossos reservatórios baixíssimos devido as secas e as mudanças climáticas que ocorrem principalmente pelas queimadas e pelos desmatamentos, o que ocasiona na diminuição da oferta de energia e no aumento constante das tarifas de energia (RODRIGUES & FREITAS, 2022).

Mediante a atual conjuntura onde a demanda de energia é a cada dia mais crescente e os recursos hídricos a cada dia mais escassos, urge a necessidade do incentivo, investimento e implantação de sistemas energéticos alternativos e o sistema solar de energia fotovoltaica surge, hoje mais do que nunca como uma alternativa não somente viável, como também capaz de garantir o abastecimento de toda população por se tratar da obtenção de energia através de um recurso renovável e inesgotável que é a irradiação solar (RODRIGUES & FREITAS, 2022).

Tendo em vista a crise energética atual no Brasil devido à escassez dos recursos hídricos e sendo o sistema fotovoltaico o mais utilizado no processo de aproveitamento da energia solar em todo o planeta, surge o questionamento acerca da viabilidade da implantação desse sistema em larga escala como uma possível

solução para o déficit no abastecimento de energia elétrica em nosso país (TEIXEIRA, 2022).

Devido ao agravamento da crise energética impulsionado pelo aquecimento global e pelas mudanças climáticas, muito tem investido na busca e na implantação de novas tecnologias que não somente sejam benéficas ao meio ambiente como também sejam uma solução a curto, médio e longo prazo para o abastecimento de energia elétrica em todo o planeta e que sejam viáveis economicamente.

Cada vez mais tem se buscado no mercado alternativas sustentáveis e econômicas para diversos fins dentro das edificações, mas a busca por energia solar tem crescido bastante nos últimos anos, com isso, mostra a preocupação que a população tem tido com o meio ambiente e saber aproveitar as suas fontes renováveis para seu próprio uso (Gráfico 3). Para os especialistas, existem algumas preocupações que não se podem deixar de lado, como o descarte dos resíduos e/ou as formas de reciclagem dos materiais utilizados para a produção e manutenção, bem como a vida útil dos painéis fotovoltaicos (RODRIGUES & FREITAS, 2022).

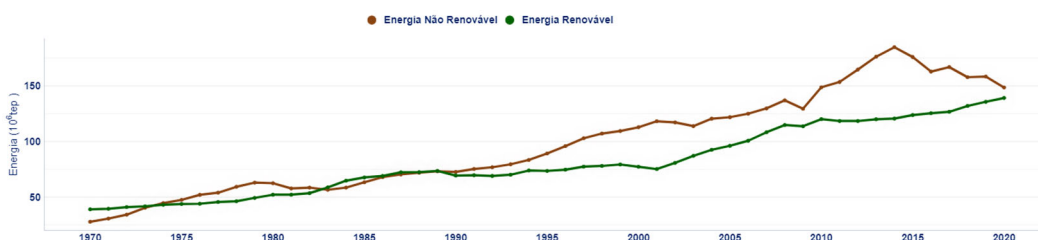


Gráfico 3 – Oferta interna de energia renovável e não renovável.

Fonte: BEN Interativo, 2022

Ao observar o Gráfico 3, é possível verificar a crescente de energias renováveis no Brasil, atingindo 139,1 de energia 106 tep apresentado na Tabela 3.

2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
149	153	165	176	185	176	163	167	158	158	149
120	118	118	120	121	124	125	127	132	136	139

Tabela 3 – Oferta interna de energia renovável e não renovável

Fonte: BEN Interativo, 2022

O Brasil, motivado pelo apelo ambiental, começou a investir em fontes renováveis de energia e, assim, teve o surgimento do Programa Nacional do Alcool, que estimulou a troca de combustíveis derivados do petróleo pelo etanol oriundo da cana-de-açúcar (SANTOS, 2016).

Com o aquecimento global vem à tona a necessidade de buscar alternativas mais sustentáveis de consumo afim de não esgotarmos os recursos naturais não renováveis (FREITAS et al, 2018):

O Brasil apresenta um excelente potencial para a inserção da energia solar fotovoltaica, com valores de radiação diária que variam de 4.444 W h/m² a 5.483 W h/m², segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2000), o que o coloca em vantagem aos demais países que também buscam a implantação da energia solar como uma solução alternativa (FREITAS et al,2018, p.4).

A matriz energética do Brasil é muito diferente da mundial, apesar do consumo de energia de fontes não renováveis ser maior do que o de renováveis, usamos mais fontes renováveis que no resto do mundo. Somando lenha e carvão vegetal, hidráulica, derivados de cana e outras renováveis, nossas renováveis totalizam 48,3%, quase metade da nossa matriz energética, conforme apresentado na Gráfico 4 (EPE, 2019).

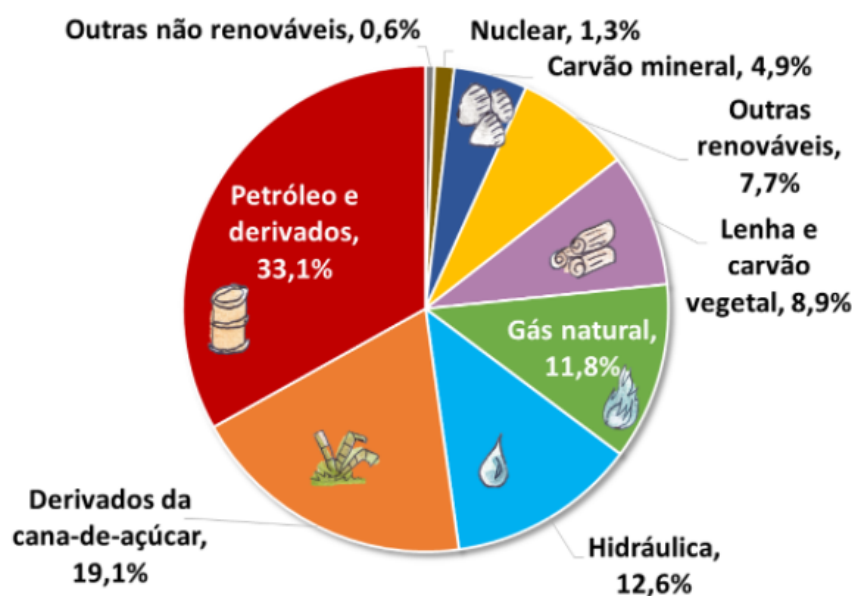


Gráfico 4 – Matriz Energética Brasileira 2020

Fonte: BEN, 2021

O Brasil quando se comparado ao mundo, tem investido bastante em energias renováveis, atingindo 83% de utilização de fontes renováveis, conforme apresentado no Gráfico 5. O gráfico apresenta a matriz elétrica brasileira, sendo baseada em fontes renováveis de energia, ao contrário da matriz elétrica mundial. Isso é ótimo para o Brasil, pois além de possuírem menores custos de operação, as

usinas que geram energia a partir de fontes renováveis em geral emitem bem menos gases de estufa (EPE, 2019).

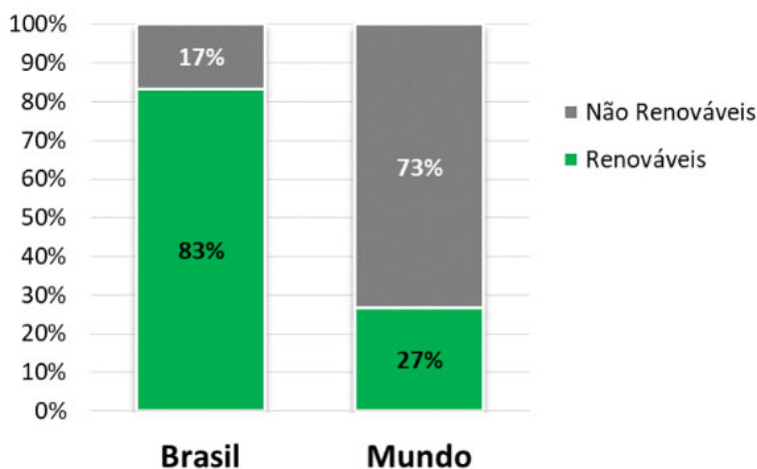


Gráfico 5 – Comparação da utilização de fontes renováveis e não renováveis entre o Brasil e o mundo, 2019

Fonte: EPE, 2019

Na medida em que o Brasil é beneficiado pela grande incidência de irradiação solar durante o ano inteiro, percebemos a implantação do sistema de energia solar fotovoltaico como uma alternativa para a crise do setor de abastecimento elétrico brasileiro que além de apresentar um impacto ambiental muito inferior ao sistema energético tradicional, apresenta ainda a captação da energia através de um recurso renovável e limpo pois não emite poluentes, gases ou materiais radioativos (VILLALVA, 2017 apud WORUBY 2018. P.3).

Para Alves (2019):

(...) a energia elétrica por meio da fonte solar não é apenas limpa e renovável, mas também mais competitiva, ampliando a diversificação do suprimento elétrico brasileiro, uma vez que o país é muito dependente de hidrelétricas e termelétricas fósseis. Por isso, os sistemas fotovoltaicos são um alívio para os reservatórios hídricos, além de reduzir a pressão para outros usos estratégicos, como suprimento humano, agricultura, irrigação e processos industriais. De forma complementar, reduz o acionamento de termelétricas fósseis, mais caras e poluentes, além de ajudar a diminuir os altos custos de energia elétrica para os consumidores e de colaborar na mitigação dos impactos do aquecimento global (ALVES, 2019, p.64).

3.2

Sistema de Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar é considerada uma das maiores fontes de energia do planeta, quando se trata de captação da radiação solar, é importante dimensionar sistemas que possuam o melhor ângulo de captação para determinada altura do ano. A unidade padrão associada à radiação é o Watt (W), na irradiância, intensidade com que a radiação solar atinge a Terra, é dada por Watt por metro quadrado (W/m^2). Estima-se que a meio-dia, em boas condições climáticas, a irradiância é cerca de 1000 W/m^2 (TEIXEIRA, 2018).

Cintra Júnior & Souza (2018), destacam que:

O efeito fotovoltaico pode ser observado em elementos conhecidos como semicondutores, que podem ser definidos como elementos que transitem energia de modo mais eficaz do que isolantes e de modo menos eficaz do que condutores, o fator que determina essa propriedade são faixas de valência (ou de energia) onde nota-se a presença de elétrons e zonas onde elétrons são totalmente ausentes, também conhecidas como faixa de condução, no meio dessas duas zonas encontra-se o hiato elétrico, sendo a dimensão desta que define se o material é um semicondutor. (CINTRA JÚNIOR & SOUZA, 2018, p.7)

A legislação e as normas que tratam dos sistemas fotovoltaicos no Brasil ainda são recentes e não possuem a mesma estrutura dos países mais desenvolvidos principalmente no que se refere a tecnologia, qualidade e sistemas de armazenamento de energia. Em 2011, profissionais do setor de energia solar fotovoltaica da ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica reuniram-se com uma comissão de estudos do COBEI – Comitê Brasileiro de Eletricidade, Eletrônica, Iluminação e Telecomunicações a fim de sugerir meios e normas para implantação da energia solar na matriz energética brasileira.

Foi aprovada em 2012 a RN (Resolução Normativa) 482, atualizada recentemente em 24 de novembro de 2015 pela RN 687, possibilitando a micro e minigeração de energia elétrica através de fontes renováveis e alternativas a partir de sistemas conectados à rede elétrica de baixa tensão.

Atualmente as Normas e Legislação que tratam do Tema são reguladas pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas e pela IEC – Comissão Eletrotécnica Internacional, conforme segue:

- ABNT IEC 62.116/2012: Discorre sobre um método para analisar o funcionamento de parâmetros de prevenção de ilhamentos.
- ABNT NBR16.149/2013: Trata das Características da Interface de conexão dos sistemas fotovoltaicos com a rede elétrica de distribuição e das exigências.
- ABNT NBR 16.150/2013: Caracteriza as técnicas de ensaio avaliativas para verificar se os equipamentos empregados na ligação entre o SESF e a rede elétrica estão em conformidade com a NBR16.149/2013.
- ABNT NBR 16.274/2014: Trata dos Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho dos SESF conectados à rede.
- Sistema ON-GRID.

Trabalhando com o auxílio da rede elétrica, o sistema fotovoltaico é um gerador de eletricidade que tem como combustível a energia solar. Basicamente o painel fotovoltaico, constituído de silício, gera energia em corrente contínua, passando diretamente para o inversor de frequência, que a transforma em corrente alternada e analisa os valores de voltagem e frequência da rede, para poder injetar esta energia. Em horários de pouca ou nenhuma incidência luminosa, este sistema gera menos potência que o consumido pela residência, utilizando-se da rede pública de energia para suprir a demanda, quando gera mais potência que a residência necessita, em horários de grande incidência, este excesso é passado para a rede pública de maneira automática, girando ao contrário o medidor de energia, neste momento o cliente recebe crédito energético que poderá ser utilizado em até 36 meses. A agência regulamentadora responsável pela energia solar é a ANEEL¹⁰, que permite a produção e a compensação de energia elétrica por parte do consumidor, pagando uma pequena taxa referente ao transporte e acessibilidade da rede de distribuição (ANEEL, 2012).

O funcionamento do sistema solar fotovoltaico é a instalação conectada diretamente à rede de distribuição elétrica em um sistema ON-GRID, conforme será apresentado posteriormente no Capítulo 4. O sistema estudado foi um condomínio residencial com dois blocos com dimensões e avaliações diferentes, foi avaliado

¹⁰ Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Procedimentos de distribuição de Energia Elétrica no sistema elétrico nacional.

que a energia produzida será consumida localmente, tendo a possibilidade de ser injetada na rede de distribuição quando não for totalmente utilizada, podendo esta energia excedente ser vendida à rede de distribuição (RODRIGUES, 2020).

Um sistema solar fotovoltaico é composto por diversos subsistemas, sendo atribuído a cada um deles uma respectiva função. Os subsistemas típicos de um sistema solar fotovoltaico são os seguintes: Captação, Conversão e Armazenamento. É de referir que uma instalação solar pode funcionar apenas com o subsistema de captação, sendo que a integração dos outros subsistemas vai depender da finalidade prevista para a instalação (CINTRA, 2018).

Segundo Rodrigues (2020), uma matriz solar é constituída por diversos módulos fotovoltaicos, que por sua vez são formados por células fotovoltaicas. A potência gerada por um módulo é proporcional ao seu número de células constituintes. É possível observar na Figura 11 a composição de um sistema de captação fotovoltaico.

Para Kiddee et al (2013 apud COELHO e SERRA, 2018):

Um módulo fotovoltaico tem vida útil entre 25 e 30 anos e ao longo desse ciclo de vida completo, embora em menor grau do que as fontes de energia tradicionais, as placas fotovoltaicas também criam resíduos sólidos. Uma das principais questões para o descarte das placas são, a falta de tecnologia adequada de recuperação e o risco de liberação de substâncias perigosas que podem contaminar o meio ambiente e ameaçar a saúde humana, se a fase de fim de vida não for gerenciada sagazmente (KIDDEE et Al, 2013 apud COELHO e SERRA,2018, p.84,85).

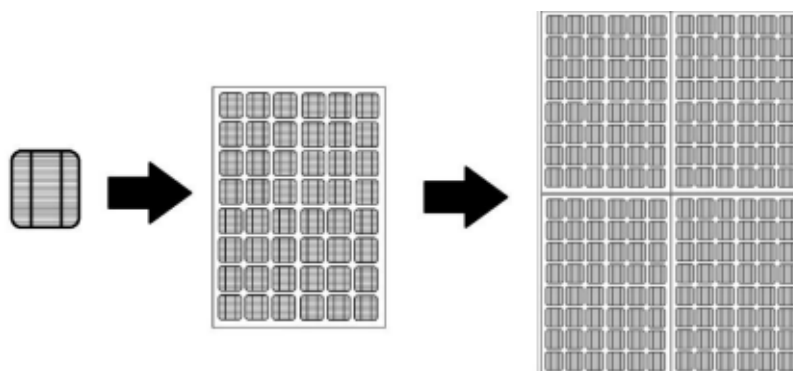


Figura 11 – Célula, Módulo, Matriz

Fonte: RODRIGUES, 2020.

A maior parte dos aparelhos e sistemas utilizados nos edifícios requerem uma alimentação no formato Corrente Alternada - AC. Uma vez que os módulos fotovoltaicos apenas produzem energia em Corrente Contínua - DC, é indispensável converter este sinal para AC. A solução passa por integrar um inversor posteriormente aos módulos. Este dispositivo converte o sinal de entrada recorrendo a componentes eletrônicos como transformadores, interruptores e circuitos de controlo. Dependendo do tipo de instalação fotovoltaica, existem diversos tipos de inversores, tais como ON-GRID que é conectado à rede de distribuição e o OFF-GRID ou autônomos e híbridos e, representam uma excelente alternativa aos sistemas de energia tradicionais que utilizam combustíveis fósseis que além de causarem alto impacto ambiental ao liberar gases de efeito estufa em nosso planeta e piora nas alterações climáticas. Por esse motivo, o sistema mais adotado atualmente tem sido o ON-GRID (RODRIGUES & FREITAS, 2022).

A etiqueta do produto fornece uma identificação exclusiva do inversor da Intelbras (Figura 12), que fica localizado no lado esquerdo do gabinete. Na etiqueta é possível identificar o tipo de produto, características técnicas do inversor, número de série e contato para suporte, conforme é apresentado na Figura 13.

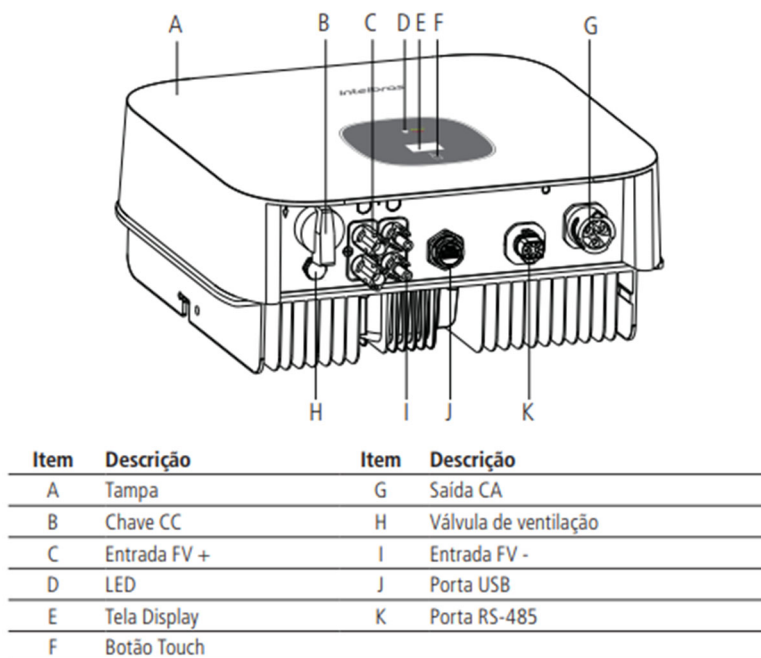


Figura 12 – Visão Geral do Inversor

Fonte: Manual de Instalação e Operação Intelbras, 2021



Figura 13 – Etiqueta do Produto

Fonte: Manual de Instalação e Operação Intelbras, 2021

O inversor não pode ser exposto à luz solar direta, pois isso pode causar aquecimento excessivo e, portanto, redução da energia injetada na rede elétrica (Figura 14). Durante a instalação é importante manter distancias mínimas do inversor em relação a paredes, outros inversores ou objetos, sejam respeitadas. Deve haver espaço suficiente entre os inversores para garantir que o ar de resfriamento do inversor adjacente não seja absorvido.

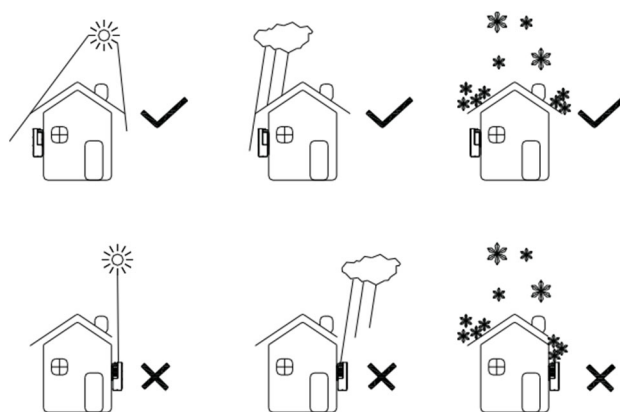


Figura 14 – Instalação do Inversor

Fonte: Manual de Instalação e Operação Intelbras, 2021

O parâmetro mais importante no dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico é a área disponível na edificação que existe para poder ser implementado este tipo de sistema. Através da área disponível, em m², é possível calcular o número de módulos a instalar, conforme o cálculo:

$$n^{\circ} \text{máx. de módulos} = \frac{A \text{ disponível}}{A \text{ módulo} + A \text{ não útil}}$$

- n° máx. de módulos – é o número máximo de módulos que se vai implementar;
- Disponível – é a área disponível para a instalação do sistema FV;
- Amódulo – é a área do módulo fotovoltaico;
- Anão útil – é a área não utilizada.
- Com a finalidade de aprimorar o dimensionamento fotovoltaico e para que ele obtenha resultados satisfatórios, um outro fator é importante também na hora do dimensionamento, que é o conhecimento das condições climáticas do local, pois a radiação e a temperatura são dois dos principais fatores na produção de energia.

Os dados climáticos devem ser estudados com base em dados fornecidos pelo Instituto de Meteorologia, que são fornecidos por diversos softwares de dimensionamento disponíveis no mercado.

Além do benefício econômico que as placas solares trazem para os consumidores, servem também como “escudos de calor”, pois na medida em que convertem em energia elétrica grande parte da radiação solar, esta energia deixa de sobrecarregar outras superfícies. Outro aspecto importante é a questão dos custos, inicialmente investir em energia solar demandava um custo relativamente alto, mas na atualidade, com a redução dos custos no valor dos equipamentos, os sistemas de energia solar tornaram-se altamente competitivos com relação às outras fontes de energia, isso sem contar que o sistema de energia solar gera energia exclusivamente a partir da irradiação solar, um recurso ilimitado e que não implica na perfuração de poços, não polui o meio ambiente, não libera gases tóxicos na atmosfera (CINTRA, 2018).

Ao analisar a possibilidade de incluir medidas de eficiência energética num edifício é importante não só considerar o seu grau de deterioração, devido a diversos fatores, como o envelhecimento natural dos materiais ou a falta de manutenção, mas também que as características atuais dos edifícios podem conduzir a uma redução

do seu desempenho térmico e a consumos de energia elevados, quer na estação fria, quer na estação quente (COMINI et al, 2008).

As características do edifício, devem-se mencionar as seguintes (COMINI et al, 2008):

- a) Isolamento térmico insuficiente nos elementos opacos da envolvente;
- b) Existência de pontes térmicas na envolvente do edifício;
- c) Presença de humidade (afetando o desempenho energético e a durabilidade);
- d) Baixo desempenho térmico de vãos envidraçados e portas (perdas de calor desproporcionadas por transmissão térmica e por infiltrações de ar excessivas);
- e) Falta de proteções solares adequadas nos vãos envidraçados, dando origem a sobreaquecimento no interior dos edifícios ou aumento das cargas térmicas e das necessidades energéticas no caso de habitações com sistemas de arrefecimento ambiente;
- f) Ventilação não-controlada, criando maiores necessidades energéticas em aquecimento no inverno, ou inversamente, ventilação insuficiente, conduzindo a maiores níveis de humidade relativa no inverno e sobreaquecimento no verão, e o consequente desconforto dos ocupantes, fenómenos de condensação e baixo nível de qualidade do ar interior. Para além do anteriormente referido, elevados níveis de consumo de energia podem ser causados por comportamentos inadequados, em termos da conservação de energia, por parte dos seus utentes, tais como:
 - Manutenção dos sistemas de aquecimento e/ou de arrefecimento ligados, enquanto as janelas estão abertas;

Climatização desnecessária dos espaços, permitindo temperaturas interiores fora dos níveis recomendados, isto é, demasiado quentes no inverno e demasiado frios no verão.

3.2.1

Sistema ON-GRID

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica através da RN 687/2015, estabeleceu os conceitos acerca da mini e microgeração de energia, bem como o

funcionamento do Sistema de compensação de energia elétrica e os critérios a serem observados de conexão as usinas distribuidoras. Com isso, a microgeração distribuída contém uma central geradora de energia elétrica com potência igual ou menor que 75 KW e a minigeração é uma central geradora com potência instalada superior que deve estar entre 75KW e 5MW conectada na rede de distribuição através de instalações de unidades consumidoras.

Segundo Alves (2019), a geração distribuída corresponde ao total de energia elétrica que é injetada na rede que pode ser dividida em:

- a) Própria: total da geração distribuída (hidráulica, térmica, eólica e fotovoltaica) de todas as usinas conectadas ao sistema das concessionárias de distribuição de energia elétrica e não despachadas centralizadamente pelo ONS, conforme Resoluções Normativas ANEEL no 414 de 09 de setembro de 2010 e no 687 de 24 de novembro de 2015;
- b) Adquirida de outros: total da geração distribuída (hidráulica, térmica, eólica e fotovoltaica) das usinas conectadas ao sistema das concessionárias de distribuição de energia elétrica, não despachadas centralizadamente pelo ONS e de propriedade de outros agentes, conforme Resoluções Normativas ANEEL no 414 de 09 de setembro de 2010 e no 687 de 24 de novembro de 2015. (ALVES, 2019, p.31).

De acordo com os dados obtidos da ANEEL, atualmente no Brasil 7,2 GW de potência operacional de geração distribuída, através da qual a maior potência instalada é a residencial perfazendo um total de 3,6GW, seguida da classe comercial e rural com potência de 2,5 GW e 992 MW respectivamente (Figura 15). Ainda de acordo com esta agência as regiões que lideram o ranking de potência instalada de geração distribuída em nosso país são a Região Sudeste com um total de 2,69 GW, a Região Sul com 1,53GW e a região nordeste com a potência de 1,41 GW (RODRIGUES & FREITAS, 2022).

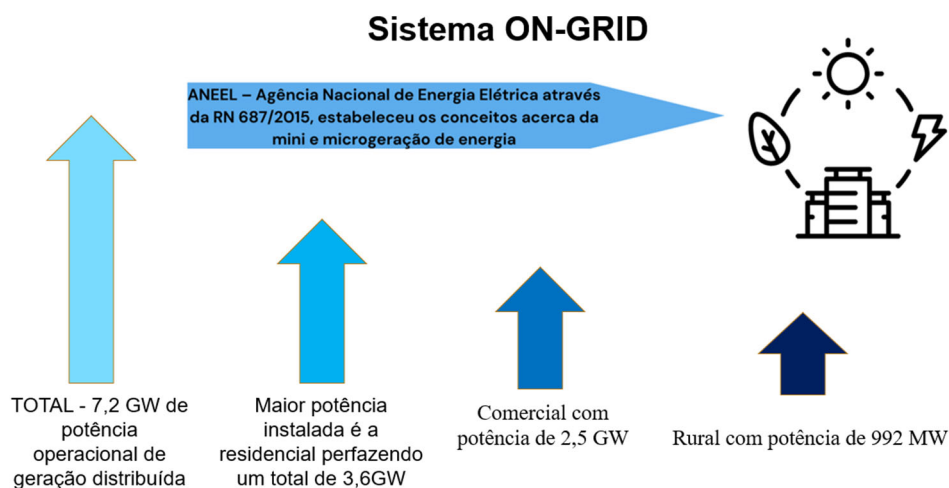


Figura 15 – Sistema ON-GRID

Fonte: Elaborado pela autora com base no autor FREITAS et al, 2018

Através desta regulamentação um sistema de compensação de energia elétrica, ao qual a energia ativa é injetada na rede pela unidade consumidora que tem micro ou minigeração distribuída como forma de empréstimo gratuito à distribuidora local, gerando créditos que são abatidos da conta de luz da unidade consumidora geradora de energia ou de outra unidade consumidora que seja do mesmo titular da unidade onde os créditos foram gerados (FREITAS et al, 2018).

Nestes sistemas à rede da distribuidora funciona como uma espécie de “bateria” que recebe a energia excedente gerada pelo sistema e a redistribui nos momentos de maior demanda.

Neste tipo de sistema faz-se o uso de painéis fotovoltaicos que geram energia através de uma corrente elétrica contínua que é convertida em uma corrente alternada que tanto pode ser utilizada na própria unidade consumidora ou transferida para a rede elétrica da distribuidora (FREITAS et al, 2018).

A estrutura de montagem e instalação do sistema fotovoltaico se dá através de estruturas metálicas feitas de alumínio ou aço inoxidável e possuem aplicações universais para fixação de equipamentos para diferentes tipos de telhado.

O sistema inversor é responsável por transformar a corrente contínua gerada pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada para que esta possa ser utilizada pelo consumidor, deixando a tensão e frequência compatíveis para que o excedente possa ser injetado na rede elétrica, além de auxiliar na segurança e monitoramento do sistema (RODRIGUES & FREITAS, 2022).

As vantagens desse sistema é a fonte de energia renovável que não gera poluição e não emite gases do efeito estufa, além de não necessitar de grandes manutenções vez que os painéis ou placas solares tem vida útil superior de 25 anos. A instalação das placas fotovoltaicas é relativamente simples e bem rápida, e pode ser ampliado caso haja necessidade de gerar maior potência para a unidade (XAVIER, 2021).

A economia que esse sistema traz para o beneficiário são atrativas, pois ele contribui para a redução das contas de energia em 95%, além dos programas de incentivo disponibilizadas pelos governos Federal, Estadual e Municipal, gerando isenção de impostos (ICMS), descontos no IPTU através do IPTU Verde. O Senado aprovou a PEC do IPTU Verde, para reduzir a taxação do contribuinte que adota ações ambientalmente sustentáveis em seu imóvel. A Proposta de Emenda à Constituição (PEC) 13/2019, de autoria do senador Valério (PSDB-AM), permite aos municípios reduzir o valor do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) para incentivar a preservação do meio ambiente e a sustentabilidade.

Apesar de a energia solar ser capaz de reduzir os gastos em até 95%, esse valor nunca chega a 100%, uma vez que há uma taxa mínima de energia elétrica, também conhecida como custo de disponibilidade. O custo de disponibilidade pode ser traduzido como a quantia cobrada pela concessionária de energia, sendo o seu pagamento necessário para que a eletricidade seja oferecida ao consumidor. Essa taxa é responsável por cobrir o custo de toda a infraestrutura que possibilita o fornecimento de energia elétrica para a população. Dessa forma, mesmo que não haja consumo, deve-se pagar por sua disponibilidade

O cálculo do valor da taxa mínima de energia elétrica é realizado seguindo os padrões definidos pela concessionária no momento em que ocorre a solicitação da ligação de luz, seguindo o consumo elétrico estimado pelo cliente, podendo ser monofásico, bifásico ou trifásico.

O custo leva em conta a tarifa atual aplicada pela distribuidora, em consumo por quilowatt-hora (kWh). Segundo a Resolução Normativa 414 de 2010 da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), os valores estabelecidos para cada padrão são:

- Monofásico: o consumidor paga uma taxa mínima equivalente a 30 kWh
- Bifásico: o custo de disponibilidade pago corresponde a 50 kWh
- Trifásico: a taxa mínima é igual a 100 kWh

A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) criou o sistema de bandeiras tarifárias com a finalidade de informar ao consumidor quando a energia está mais ou menos cara. As bandeiras tarifárias sinalizam o custo da energia gerada, gerando um acréscimo no valor da tarifa de energia dependendo das condições de geração de eletricidade. Assim, o consumidor pode adequar o seu consumo de energia nos períodos em que ela estiver mais cara.

As bandeiras são divididas em 3 cores: verde, que sinaliza tarifa básica, sem aumentos no preço da energia, e amarela e vermelha, que sinalizam que há aumento na tarifa.

3.2.2

Mineração da Matéria Prima

O Silício, depois do oxigênio, é o elemento mais abundante do planeta, sendo a crosta terrestre formada por 28% por ele. Além disso, a combinação dos dois elementos gera um grupo chamado de silicatos e estes representam quase 95% da crosta. Apesar da grande quantidade, para fins tecnológicos, dentre elementos desse grupo, apenas o quartzo apresenta viabilidade técnica e econômica para a obtenção de silício (OLIVEIRA et al, 2017).

A extração desse mineral é feita por garimpagem, manual ou mecânica. Da forma mais simples, ou seja, por meio do garimpo, a mão-de-obra consiste basicamente na humana. Por meio de picaretas e escavadeiras manuais, são feitas escavações irregulares, de forma predatória e irregular. A grande dificuldade nesse caso, é que a localização e a fiscalização desses meios de mineração tornam-se difícil, pois normalmente estão em pontos isolados e em pequenas áreas. De qualquer forma, isso não diminui a importância na degradação do ambiente (DANTAS et al, 2020).

Esse método de exploração possui um viés também social, pois muitas vezes os trabalhadores que exploram esses campos estão suscetíveis às péssimas qualidades de trabalho, raramente existe o uso de equipamentos de proteção individuais (EPIs), ou seja, estão sob risco de desmoronamento (PYL, 2011), por conta de uma extração não estudada, além de vulneráveis às doenças respiratórias, como a silicose, patologia pulmonar incurável, ocasionada pela liberação de gases tóxicos durante o processo de exploração. Não obstante, soma-se a isso o fato de

que a utilização de mão de obra análoga à escravidão não é um hábito incomum. Prova disso é que em 2011, em Diamantina, em Minas Gerais, foram descobertas diversas pessoas trabalhando em sob tais condições em uma jazida de quartzo (PYL, 2011).

No caso da garimpagem mecânica, apesar da probabilidade de ser um processo legal, juridicamente falando, o estrago é exponencialmente maior, pois normalmente são utilizados explosivos e retroescavadeiras. Acelerando o processo de degradação. Dantas et al (2020) cita a redução da biodiversidade e dos habitats naturais da fauna e flora local, em virtude da retirada da vegetação, poluição devido aos gases e poeiras, além de resíduos de minerais, como parte das consequências da exploração.

Ainda nas etapas iniciais da exploração, assim que o quartzo é retirado, a limpeza do mesmo é feita com ácido clorídrico, comumente chamado de ácido muriático. Ou seja, mais um processo químico é acrescentado na rota da obtenção do silício (PYL, 2011).

Após esse procedimento, é suma importância compreender que este mineral precisa passar por vários processos para a retirada das impurezas e transformá-lo viável para aplicação no campo da elétrica/eletrônica. O produto requerido é chamado de silício de grau metalúrgico, ou SiGM, e sua purificação é necessária pois nas fases iniciais ele apresenta diversas impurezas que prejudicam sua eficiência, conforme a Tabela 4. A tabela abaixo apresenta as concentrações dessas no SiGM (OLIVEIRA et al, 2018).

Tabela 4 – Impurezas no SiGM

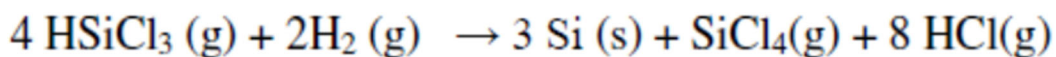
Elemento	Baixo	Alto
Oxigênio	100	5000
Ferro	300	25000
Alumínio	300	5000
Cálcio	20	2000
Carbono	50	1500
Magnésio	5	200
Titânio	100	1000
Manganês	10	300
Vanádio	1	300
Boro	5	70
Fósforo	5	100
Cobre	5	100
Crômio	5	150
Níquel	10	100
Zircônio	5	300
Molibdênio	1	10

Fonte: OLIVEIRA et al, 2018

De acordo com a Tabela 11, percebe-se a existência de diversos elementos em grandes quantidades, como o ferro, oxigênio e alumínio. Para essa análise específica se faz necessário para dimensão do grau de pureza saber somente que o grau de concentração do alumínio aceitável para a aplicação em semicondutores deve ser abaixo de 0,01ppm (OLIVEIRA et al, 2018).

Para o alcance da pureza almejada existem processos padrões, como por exemplo Union Carbide, Processo Ethyl, e o processo Siemens (LUQUE, 2002), sendo o último mais utilizado atualmente, sendo aplicado em mais de 75% dos casos (LÜDKE, 2018). Resumidamente, as etapas são gaseificação do SiGM, destilação, e deposição de silício extremamente puro. Apesar desse processo produzir um SiGM como altíssimo teor de pureza, as desvantagens são muitas, principalmente na questão ambiental, o que vai de contraponto com o argumento de que a energia solar não impacta na natureza.

O processo, de forma simples, funciona por meio de reações químicas. A forma pura retirada do silício de grau metalúrgico é chamada de polisilício, ou de SiGS (silício de grau solar). Para se obtê-lo, combina-se ácido hidroclorídrico com o SiGM. A partir daí, com a adição de hidrogênio, no processo, resulta-se em silício tetraclorossilano. A questão é que esse componente é extremamente tóxico. A última reação do processo é dada pela equação abaixo, ao qual resulta no processo de purificação do SiGM (LÜDKE, 2018).



Pela reação, observa-se que a cada unidade de silício obtém-se de 3 a 4 unidades de silício tetraclorossilano. Isso é grave, pois pouco se aproveita do SiGM, além da mazela de gerar essas duas substâncias tão prejudiciais (além do SiCl₄, a reação também produz o elemento tóxico e corrosivo ácido hidroclorídrico).

Não são raros casos de fábricas despejarem de forma irregular seus excedentes de produção, no âmbito da energia solar também não é diferente. Casos de poluição no descarte criminoso desse elemento são diversas vezes relatados. Um dos casos relatados em 2011, informou que uma empresa do ramo de fabricação de painéis, Jinko Solar Holding Co, estava despejando SiCl₄ nos rios da região (MULVANEY, 2014). Não muito tempo antes, em 2008, o jornal Washington Post produziu uma grande reportagem sobre a empresa Luoyang Zhonggui HighTechnology Co., que também descarrega de forma criminosa, no Yellow River, o mesmo componente, matando peixes e porcos (CHA, 2008).

Conhecido pela fórmula SiCl₄, o composto branco, como as pessoas da região chamavam o resultado da purificação do silício de grau metalúrgico, quando derramado no solo, faz com que com esse se torne ácido, resultando um solo infértil, onde nada mais brota. Já o HCl, em forma de gás, aos seres humanos ele causa ardência nos olhos e nos pulmões, além de dificuldade para respirar. Isso ocorre pela reação da umidade do ar que resulta no ácido clorídrico, sendo este venenoso. O problema químico, de produção de substâncias tóxicas, não é o único problema do processo Siemens, a quantidade de energia necessária também é um fator. Para a dissociação térmica, o contato elétrico é aquecido em até 1100°C, onde há a decomposição do silício. A prevenção de que haja resíduos depositados nas paredes, são necessárias altas temperaturas e refrigeração, respectivamente. A Figura 16, representa o esquemático do modelo do reator (LÜDKE, 2018)

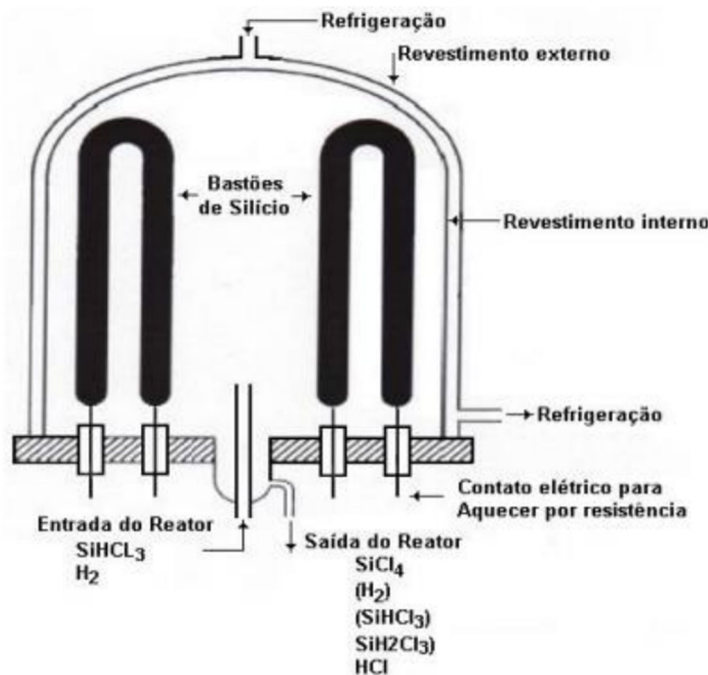


Figura 16 – Esquemático Reator da Purificação

Fonte: LÜDKE, 2018

3.2.3

Utilização de Baterias em Sistemas Off Grid e Híbrido

Após pronta, as placas fotovoltaicas são colocadas para funcionamento. Um sistema fotovoltaico (FV) é normalmente composto dos módulos FV, suporte, cabeamento, inversores, controladores de carga e podem ter ou não, bateria. Nos casos em que o sistema é somente conectado à rede, não faz sentido ter armazenamento de carga. Porém, uma das grandes vantagens da energia solar é exatamente a possibilidade de geração de energia onde não há a possibilidade de acesso, ou, simplesmente, a independência da concessionária, nesse caso sendo instalados sistemas off grid. Por isso, em muitos casos, o sistema é isolado, quando não há conexão com a rede de energia elétrica, ou híbrido, ou seja, pode tanto consumir energia da rede, quando não. Nos dois últimos casos, a bateria é essencial (PINHO & GALDINO, 2014).

De acordo com a Figura 17, a parte de geração de energia que passa pro controlador de carga e para o inversor. Quando não há carga na residência para o consumo, ou quando ele é inferior à geração, a energia gerada é leva às baterias para que sejam utilizados quando não há sol.

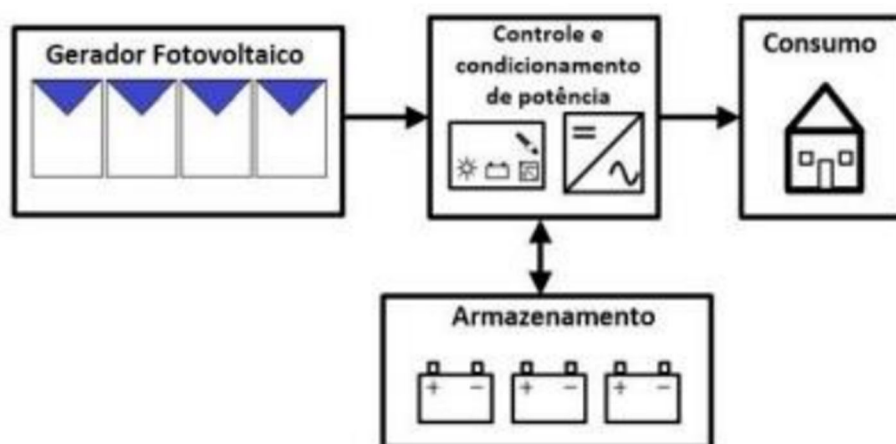


Figura 17 – Esquemático Simplificado de Sistema FV Isolado

Fonte: PINHO & GALDINO, 2014

A grande questão ambiental nesse caso é a utilização e o descarte das baterias. Embora a vida útil de um painel solar gire em torno de 25 anos, considerando uma eficiência aceitável, as baterias não duram tanto tempo. As mais comuns e utilizadas, são as de chumbo-ácidas, que duram em média 2,5 anos a temperatura ambiente (CRUZ, 2012). Ou seja, durante toda a vida útil do painel FV, todo sistema de armazenamento deverá ser substituído dez vezes.

O problema, é claro, está no mau descarte das baterias, seja em lixões comuns, não preparados para receber tais elementos químicos, ou o despejo aterro de forma irregular, que ocasiona a contaminação do solo e dos lençóis freáticos por chumbo (CRUZ, 2012)

3.2.4

Impactos do Pós-Consumo dos Painéis Fotovoltaicos

Devido ao aumento da utilização da energia solar como fonte alternativa de energia, atualmente, a fim de exemplificar, em 10 anos, a produção mundial de energia solar saiu de 23.371 MW para 485.826MW, um aumento de aproximadamente 2078%. De acordo com o Gráfico 6 é possível observar o comportamento exponencial desse crescimento.

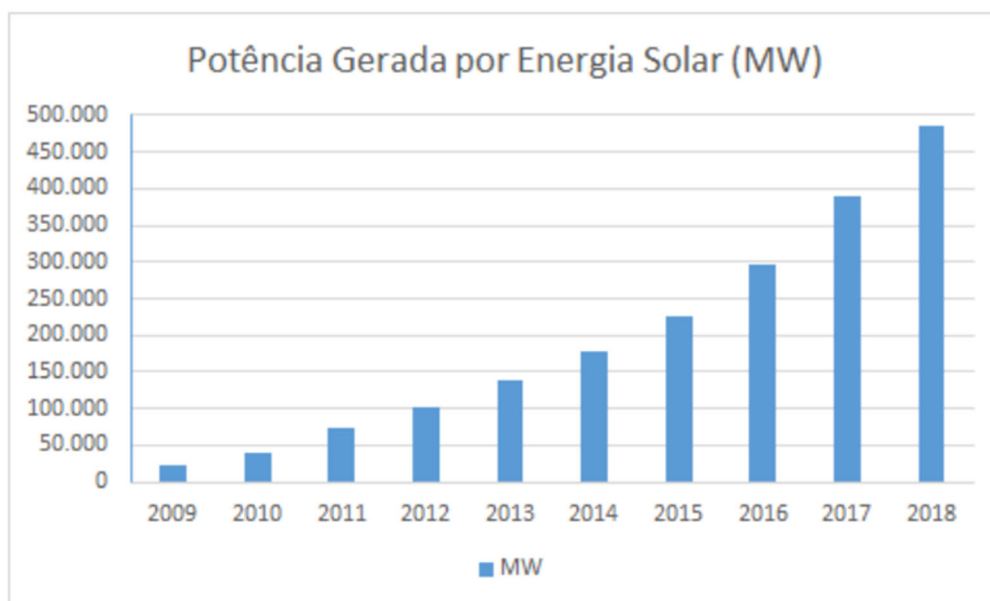


Gráfico 6 – Crescimento da Geração de Energia Solar por Ano

Fonte: IRENA, 2019

Paralelamente ao crescimento da utilização da energia solar, cresce também a quantidade de material descartado. Apesar da vida útil do painel ser considerada extensa, em média de 20 a 25 anos (PINHO, GALDINO, 2014), ela ainda é inferior se considerarmos um ciclo de vida de 200 anos de uma hidrelétrica. Justamente por isso, faz-se necessário considerar a quantidade de material descartado e seu reaproveitamento.

É importante entender a constituição do painel fotovoltaico como um todo e assim entender seus pontos negativos ao meio ambiente. Na Tabela 5, é representado a listagem de materiais nos painéis solares utilizando silício policristalino e monocristalino, esses que representam 93% da participação no mercado (OLIVEIRA, 2017).

Tabela 5 – Composição de Metais dos Painéis Fotovoltaicos

Materiais	Silício Monocristalino / Policristalino
Vidro	74,16%
Polímero	11,31%
Alumínio	10,30%
Silício	3,35%
Cobre	0,57%
Prata	0,01%
Estanho	0,12%
Zinco	0,12%
Chumbo	0,06%
Telúrio	-
Cadmio	-

Fonte: OLIVEIRA, 2017

O vidro, apesar de ter um processo de decomposição demorado, é facilmente reaproveitado na reciclagem, se descartado corretamente. Entretanto, da tabela nota-se a presença de chumbo, elemento prejudicial ao meio ambiente e aos seres humanos.

3.2.5

Métodos Alternativos para Reduzir os Impactos Ambientais

A fim de minimizar os impactos ambientais, é reduzir exploração de silício feito por minas de mineração. Ainda se encontra em estudo a retirada de silício das cascas de arroz, devido ao Brasil ter uma produção considerável, ao qual concederia cerca de 57 mil toneladas de sílica anualmente (FERNANDES, 2014).

Durante o processo de refinamento, a limpeza do quartzo e a purificação dele, como já citado anteriormente, utiliza silício tetraclorossilano, sendo um elemento altamente tóxico. Visando a diminuição do descarte, algumas empresas procuram reciclar esse ácido. Apesar de ser mais fácil obter o polisilício a partir composto, um empecilho ainda para que as empresas passem a reaproveitá-lo, é o alto investimento inicial, já que se faz necessário grande quantidade de energia (MULVANEY, 2014).

Uma alternativa que vem sendo trabalhada a esse composto, é a substituição da utilização dos elementos a base de cloro para aqueles de etanol (MULVANEY, 2014).

No que tange ao uso e ao pós-consumo, para reduzir os impactos ambientais pela produção massiva de placas solares, inicialmente é imprescindível a aplicação de políticas públicas dos governos dos países, de forma a orientar o descarte adequado, tanto das baterias, quanto dos painéis (OLIVEIRA, 2017). Tal classificação impede que os dejetos sejam classificados como domésticos, ou colocados em resíduos não perigosos. Só este fato impede que materiais pesados das placas contaminem outros produtos, além de não entrarem em contato com o solo.

Em relação às baterias, já existe uma regulamentação que rege sobre o descarte das baterias de chumbo ácida. Segundo o CONAMA nº307, toda bateria utilizada deverá ser devolvida ao fabricante, importador ou distribuidor, e no caso daquelas de chumbo, há a possibilidade de devolução aqueles recicladores devidamente licenciados. Caso isso não seja feito, assim como o transporte devidamente sinalizado, por pessoas também licenciadas, o usuário poderá ser autuado por crime ambiental. Além disso, outro meio de diminuir a quantidade de baterias e, conseqüentemente, o risco de poluição ambiental, é evitar utilizar sistemas off grid sempre que possível.

O processo para a renovação dos painéis solares consiste basicamente na retirada do plástico, separação do vidro e dos metais e após uma série de processos químicos, as células são limpas e passam a atender os requisitos de qualidade (DIAS, 2015). Esse processo já tem sido feito, inclusive, em 2018 inaugurou a primeira empresa de reciclagem de painéis, na França (ECOSOLARER, 2019).

Há grande interesse em estudar possibilidades mais baratas do desmonte dos painéis para reuso, pois na composição há prata. E em muitos casos isso pode abater do custo e ser extremamente rentável.

Uma outra forma de diminuir todo quantitativo de material a ser descartado é, obviamente, reduzindo a espessura das placas fotovoltaicas. Para isso, o mercado tem ampliado bastante o uso de módulos fotovoltaicos de filmes finos. Além desses, ainda existem outros tipos de placas que fazem o processo de captação da irradiação solar e a transformam em energia solar: as células orgânicas e as baseadas em corantes. O primeiro caso utiliza um fio condutor, material orgânico e um contato metálico traseiro. O material semicondutor orgânico ainda pode ser depositado sobre um filme de politereftalato de etileno (PINHO & GALDINO, 2014). Material muito utilizado em garrafas PET e de ampla utilização na reciclagem. Já no segundo

caso, utiliza, de forma resumida, o efeito fotoelétrico e a produção de íons livres no corante. Infelizmente não há produção em larga escala em nenhum dos dois casos devido a sua baixa eficiência.

4

Objeto de Estudo

A metodologia aplicada neste trabalho foi para estudar a viabilidade econômica de implantar placas fotovoltaicas em um condomínio localizado no bairro da Tijuca na cidade do Rio de Janeiro. A pesquisa teve como objetivo o consumo de energia elétrica das áreas comuns do bloco A e bloco B do condomínio, sendo contas separadas de cada bloco, assim como, para seu histórico dos últimos 12 meses.

No que diz respeito as taxas de juros empregadas no presente trabalho, foi o acumulado de 12 meses de janeiro até dezembro de 2021. Os cálculos para a viabilidade foram realizados a partir da taxa interna de retorno (TIR), *payback* simples e valor Presente líquido (VPL).

Ao longo do terceiro capítulo foi possível analisar o desempenho energéticos dos edifícios e a aplicação de energia solar fotovoltaica no Brasil, também foi apresentado os sistemas de energia solar fotovoltaica existentes, como o ON-GRID. O sistema adotado foi o de menor impacto ao meio ambiente, e que não causasse emissão de gases para o efeito estufa, além de ser o método mais aplicado atualmente nas edificações por ter o melhor custo-benefício, além do que também foi avaliado as questões de local de mais irradiação solar durante o período de verão e inverno.

Realizar a implantação de tecnologias sustentáveis, como no estudo de caso presente, a instalação de painéis fotovoltaicos para a geração de energia, a fim de reduzir as contas condominiais, além de promover a sustentabilidade ambiental, também contribui para a preservação dos edifícios para se manterem em uso eficiente.

4.1

Município e Localização

As duas Edificações ficam localizadas na Rua General Roca, no bairro da Tijuca. A Tijuca é um bairro da Zona Norte do município do Rio de Janeiro. Seu índice de qualidade de vida é considerado o 18º melhor do município, dentre os 126 bairros avaliados, é considerado alto, sendo o maior da Zona Norte do Rio de Janeiro. A Tijuca compreende a Área de Planejamento, tem 1.006,56 hectares de

extensão territorial, 56.980 domicílios (censo de 2000) e integra a Região Administrativa da Tijuca - a VIII RA, junto com os bairros da Praça da Bandeira e Alto da Boa Vista.

4.2

Localização das Edificações

Conforme o estudo de viabilidade técnica e legal, as edificações em estudo, estão localizadas na Rua General Roca. O condomínio estudado possui dois blocos, sendo eles Bloco A e Bloco B (Figura 18), totalizando em 1496,98m² de área construída, sendo que o primeiro bloco possui uma área de 685,36m² (Figura 19) e o segundo bloco possui uma área de 811,62m² (Figura 20), conforme está delimitado nas respectivas figuras.



Figura 18 – Vista do Bloco A e Bloco B

Fonte: *Google Earth*, 2022

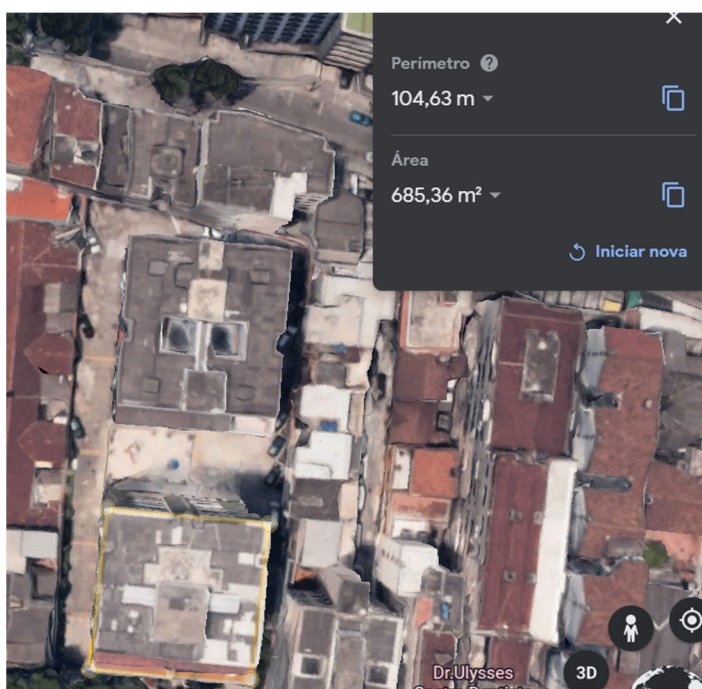


Figura 19 – Demarcação da Área do Bloco A

Fonte: *Google Earth*, 2022

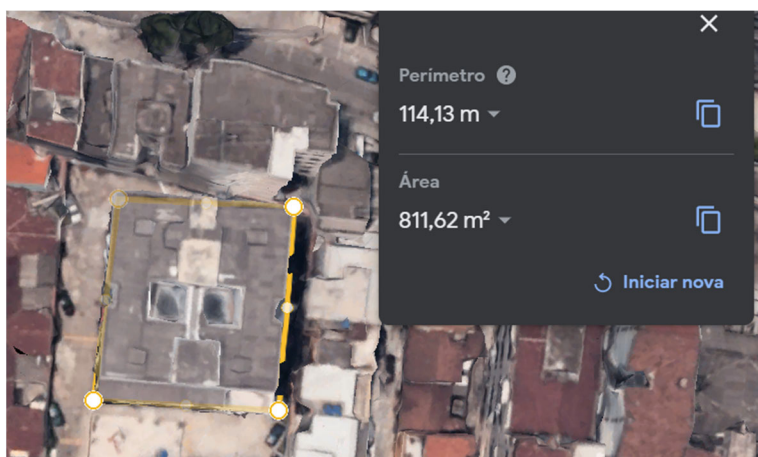


Figura 20 – Demarcação da Área do Bloco B

Fonte: *Google Earth*, 2022

4.3

Radiação Solar Incidente

A cidade do Rio de Janeiro, está localizado no continente da América do Sul, possui coordenadas $22^{\circ}54'$ de latitude Sul do Equador e $43^{\circ}12'$ de Longitude Oeste de Greenwich, sobre a linha latitudinal do Trópico de Capricórnio. A radiação solar será utilizada no dimensionamento do sistema de maneira que os meses com maior incidência compensem os meses pouco incidentes.

É possível observar no mapa solar, que a localização das duas edificações (Bloco A e Bloco B), são bastante favoráveis no inverno (Figura 21 e 22) e verão (Figura 23 e 24) com relação a radiação solar. No mapa solar da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro é possível analisar que os pontos mais alaranjados e vermelho, são os pontos de melhor potencial solar.

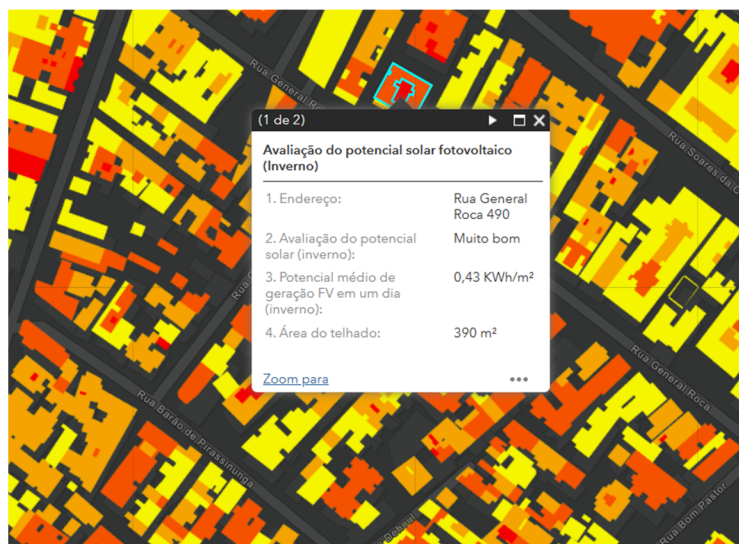


Figura 21 – Avaliação do Potencial Solar no Inverno do Bloco A

Fonte: PCRJ, 2023.



Figura 22 – Avaliação do Potencial Solar no Inverno do Bloco B

Fonte: PCRJ, 2023.

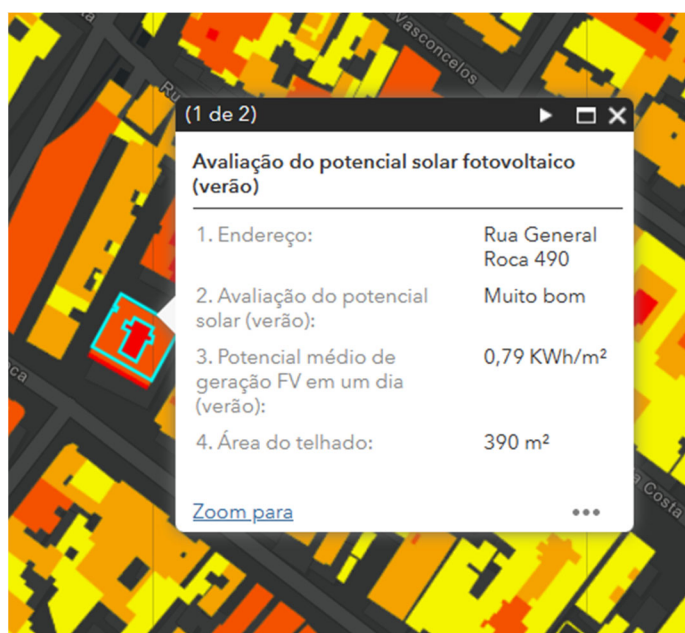


Figura 23 – Avaliação do Potencial Solar no Verão do Bloco A

Fonte: PCRJ, 2023.

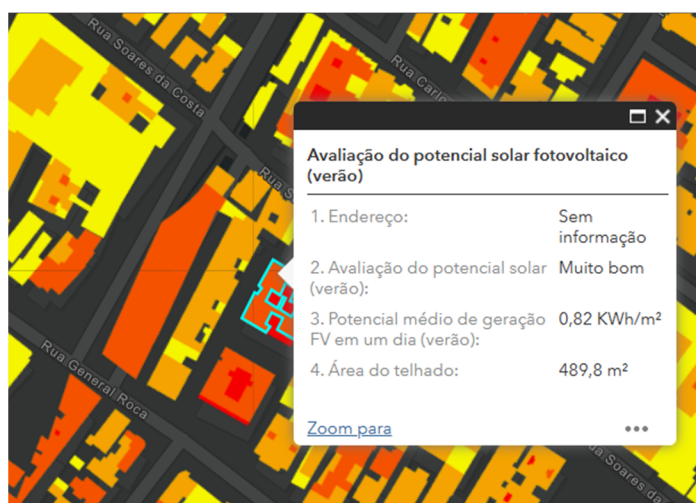


Figura 24 – Avaliação do Potencial Solar no Verão do Bloco B

Fonte: PCRJ, 2023.

No Rio de Janeiro um painel solar deve ser instalado em local seguro, livre da circulação de animais e pessoas, longe de sombreamento, quanto a sua inclinação, este deverá estar em sua latitude acrescida de 10° e apontado para o norte geográfico. Não é recomendável instalar o painel com inclinação menor que 8°, pois passará a acumular sujeira sobre o mesmo. A premissa de ângulos segue privilegiando a produção de energia durante o inverno.

De acordo com o Gráfico 7, a geração solar total, são das informações adicionadas no projeto a geração anual estimada¹¹ será de aproximadamente 13702.83 kWh/ano no Bloco A. O consumo total está associado com as informações adicionadas no projeto o consumo atual durante o período de um ano, sendo de janeiro de 2021 até dezembro de 2021 é de 13490.00 kWh/ano.

No Bloco B, a geração solar total estimada é de aproximadamente 21763.32 kWh/ano. Tendo o consumo total, de acordo com as informações adicionadas no projeto o consumo atual durante o período de um ano é de 20906.00 kWh/ano (Gráfico 8).

A geração solar total será superior ao consumo total atual anual informado, desde que observado o apontamento para o norte. Os valores são de referências e podem variar de acordo com as condições climáticas do local.

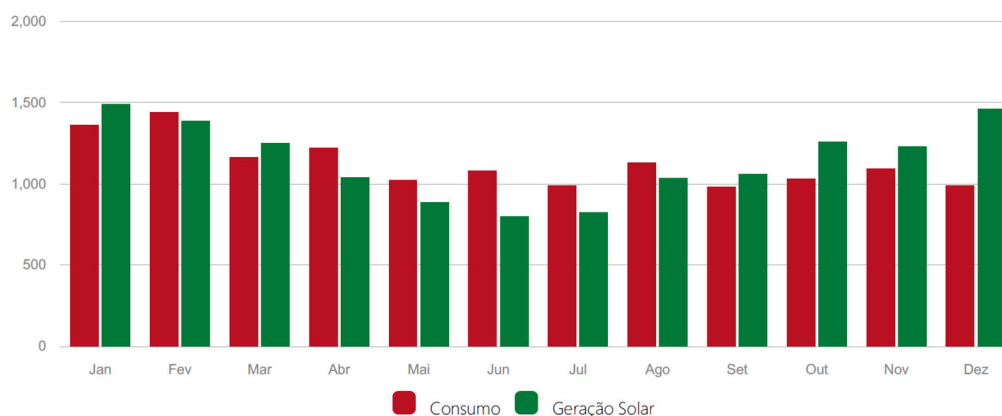


Gráfico 7 – Gráfico de Consumo x Geração Solar do Bloco A

Fonte: Elaborado pela autora

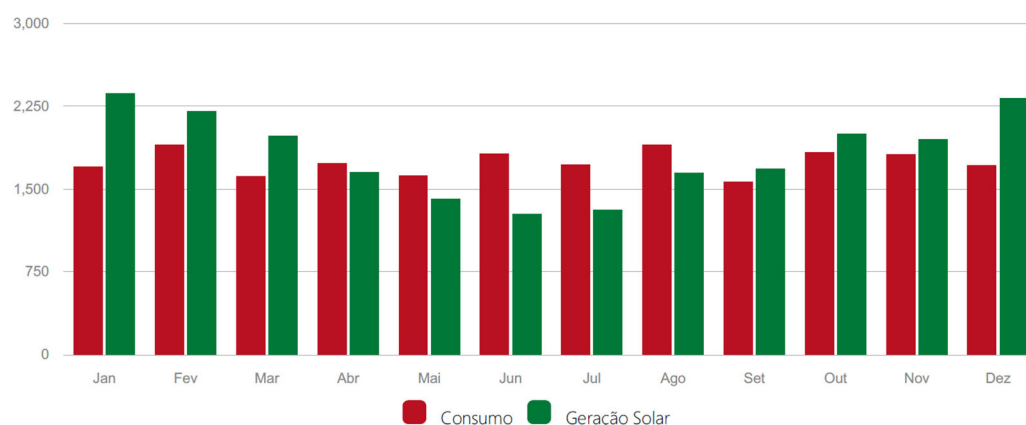


Gráfico 8 – Gráfico de Consumo x Geração Solar do Bloco B

Fonte: Elaborado pela autora

¹¹ A taxa mínima da concessionária não é contemplada como consumo

4.4

Análise Energética do Condomínio

A empresa distribuidora de energia (LIGHT) no Rio de Janeiro realiza leituras ao consumo do cliente durante um determinado período, sendo este valor considerado como valor real. Com base nas faturas disponibilizadas pela empresa distribuidora de energia, foi realizado um apanhado dos consumos no intervalo do ano de 2021, sendo os valores apresentados na Tabela 6 e 7 referentes aos Blocos A e B, respectivamente.

O retorno financeiro foi calculado como data inicial o momento de ativação do gerador solar junto à concessionária tendo como referência operações com pagamento à vista, desconsiderando as taxas e outros custos decorrentes de financiamento. Os cálculos foram realizados considerando a taxa mínima da concessionária (valor cobrado mesmo que o consumo seja zero), conforme pode ser observado no Gráfico 9 e 10 referentes aos Bloco A e B, respectivamente.

Tabela 6 – Tabela de Consumo em kWh do Bloco A

Mês	Hora Solar Pico em HSP	Consumo em kWh	Geração kWh
JAN	6,041	1.360	1.488,34
FEV	6,221	1.440	1.384,36
MAR	5,062	1.160	1.247,14
ABR	4,358	1.220	1.039,06
MAI	3,590	1.020	884,48
JUN	3,350	1.080	798,72
JUL	3,341	990	823,13
AGO	4,203	1.130	1.035,50
SET	4,435	980	1.057,41
OUT	5,106	1.030	1.257,98
NOV	5,143	1.090	1.226,22
DEZ	5,928	990	1.460,50

Fonte: Elaborada pela autora

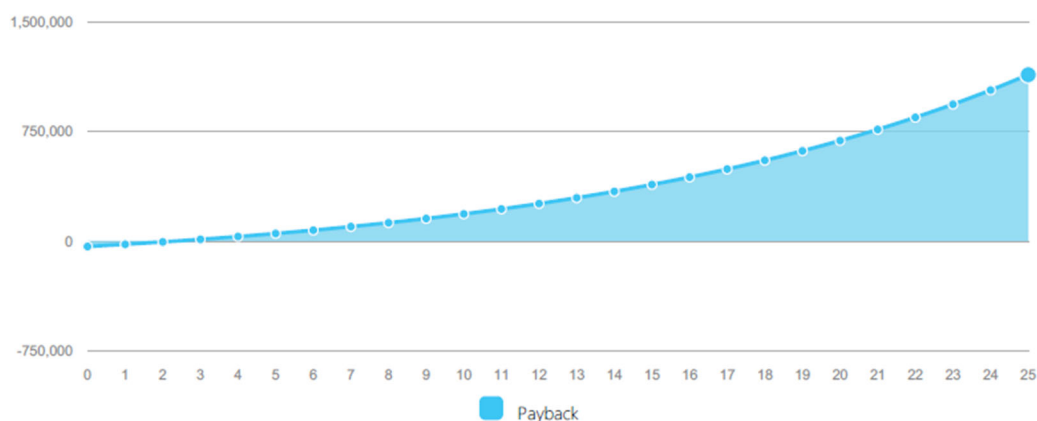


Gráfico 9 – Retorno Financeiro do Bloco A

Fonte: Elaborada pela autora

Tabela 7 – Tabela de Consumo em kWh do Bloco B

Mês	Hora Solar Pico em HSP	Consumo em kWh	Geração kWh
JAN	6,041	1.700	2.363,83
FEV	6,221	1.900	2.198,69
MAR	5,062	1.610	1.980,75
ABR	4,358	1.730	1.650,27
MAI	3,590	1.620	1.404,76
JUN	3,350	1820	1.268,56
JUL	3,341	1716	1.307,32
AGO	4,203	1.900	1.644,62
SET	4,435	1.560	1.679,42
OUT	5,106	1.830	1.997,97
NOV	5,143	1.810	1.947,53
DEZ	5,928	1.710	2.319,61

Fonte: Elaborada pela autora

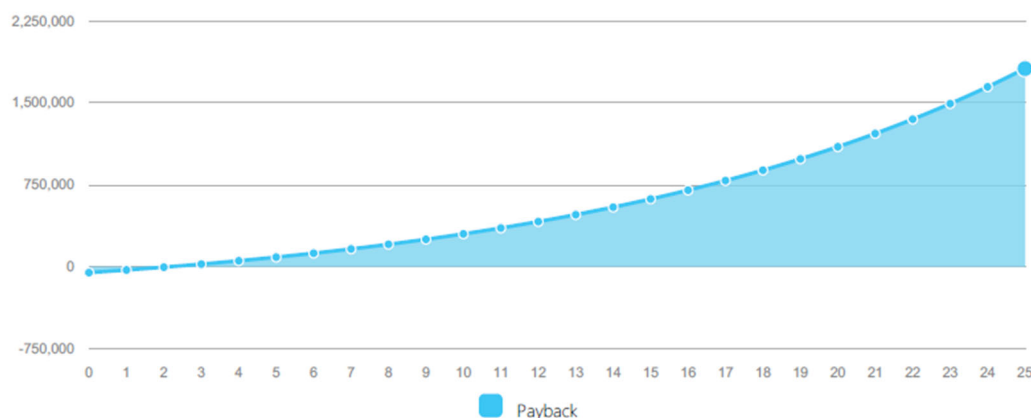


Gráfico 10 – Retorno Financeiro do Bloco B

Fonte: Elaborada pela autora

Para a análise do Bloco A e B, foi aplicada as variações tarifárias do kWh da injeção com os respectivos reajustes anuais do custo de energia. Para efeito de cálculo as tarifas de TUSD, TE e Bandeira foram unificadas. Na estimativa de produção foi aplicado uma redução de 15% de variação climática atual. Essas perdas são progressivas dentro de 25 anos. Em 15 anos a eficiência passa a ser de 90%, em 10 anos cai para 80% de eficiência. O fator de perda dos 15% está relacionado a perdas intrínsecas do sistema fotovoltaico, como local de instalação com alta poluição, sombreamento, temperatura da região de instalação, perdas no cabeamento CC e CA.

4.5

Escolha do Painel Fotovoltaico

A implantação do painel fotovoltaico, é realizar à geração de energia solar para consumo local de cada prédio, portanto foi dimensionado cada bloco para empregar uma instalação fotovoltaica única que venha a atender as suas necessidades. Esta instalação tem como objetivo reduzir o consumo de energia da rede, tratando-se de uma instalação para autoconsumo.

Nesse sistema, a medição de energia é realizada através de um medidor eletrônico bidirecional (que substitui o medidor convencional no momento da ativação do sistema pela concessionária), capaz de registrar o fluxo de energia nos dois sentidos, a energia que a unidade recebe e a energia que a unidade injeta na rede. Se a unidade consumidora estiver demandando mais energia do que está gerando, o complemento é realizado através da rede pública, e o medidor registra o

consumo. Do contrário, se a geração de energia for maior que o consumo, o excedente é injetado na rede e registrado pelo medidor. Ao final do mês o consumidor pagará o que ficou registrado no medidor, ou seja, a diferença entre o que ele consumiu e o que gerou, conforme a Resolução ANEEL nº 482/14 – Compensação de Energia com Geração Distribuída.

Para iniciar o dimensionamento do sistema fotovoltaico, a priori foi escolhido o módulo fotovoltaico com base em suas características de acordo com as Tabelas 8 e 9. Os equipamentos adotados para a instalação do Bloco A, foi o Gerador Solar On Grid 9.35kWp, e para o Bloco B foi utilizado o Gerador Solar On Grid 14.85kWp.

Os critérios econômicos considerados envolvem o custo do investimento e período de retorno do investimento. O critério tecnológico diz respeito à redução dos consumos de energia resultante da utilização de equipamentos/tecnologias mais eficientes e/ou implementação de medidas de renovação

O sistema de monitoramento pode ser acessado pelo cliente através do celular ou computador para acompanhar os dados de geração de energia. Através do aplicativo, é possível ver dados de geração diários, mensais e anuais, além de ter controle de todos os benefícios ambientais possibilitados pelo sistema. Para a instalação dos painéis é importante e imprescindível que no local da instalação do gerador solar tenha disponibilidade de internet e infraestrutura de rede adequada para que ocorra o monitoramento do sistema.

Tabela 8 – Equipamentos Utilizados no Bloco A

Equipamento	Marca	Unidade	Quantidade
Módulo Fotovoltaico Monocristalino EMSH 550 HC EMSH-550 HC	INTELBRAS	Unit.	17
Inversor On Grid 8,0kW EGT 8000 PRO G2 Aviso: Inversor Monofásico - necessidade de transformador para rede monofásica 127V	INTELBRAS	Unit.	1
Protetor Elétrico Stringbox 600V 2-1 Entradas 1 Saída Protetor Elétrico Stringbox 600V 2-1	INTELBRAS	Unit.	4
Perfil Metálico (par) 2400mm p/ Sistemas Fotovoltaicos (Para 2 módulos em posição retrato). Par de PERFIL H ALUMINIO 2400MM TELHADO	INTELBRAS	Unit.	9
Estrutura para Telha Fibrocimento Fixada em Madeira Para 4 módulos: Composta por 8 Suportes Fixação; 6 Grampos Intermediários; 4 Grampos Finais; 4 Emenda H; 1 kit aterramento.	INTELBRAS	Unit.	5
CONECTOR P/CABO MC4 PAR FM/MC 1VIA 1,5KV 39A Conector p/Cabo MC4 Par FM/MC 1Via 1	INTELBRAS	Unit.	3
Serviço de instalação	Incluso no valor total		
Custo Total:	R\$37.646,21		

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 9 – Equipamentos Utilizados no Bloco B

Equipamento	Marca	Unidade	Quantidade
Módulo Fotovoltaico Monocristalino EMSH 550 HC EMSH-550 HC	INTELBRAS	Unit.	27
Inversor On Grid 10kW EGT 10000 PRO G2 Aviso: Inversor Monofásico - necessidade de transformador para rede monofásica 127V	INTELBRAS	Unit.	1
Protetor Elétrico Stringbox 1000V 4E-2S Proteção interna na nova linha de inversores. Favor verificar se o diagrama de conexão elétrica previsto para o uso desse modelo de string box é coerente com a capacidade máxima de corrente de entrada CC do inversor.	INTELBRAS	Unit.	2
Perfil Metálico (par) 2400mm p/ Sistemas Fotovoltaicos (Para 2 módulos em posição retrato). Par de PERFIL H ALUMINIO 2400MM TELHADO	INTELBRAS	Unit.	14
Estrutura para Telha Fibrocimento Fixada em Madeira Para 4 módulos: Composta por 8 Suportes Fixação; 6 Grampos Intermediários; 4 Grampos Finais; 4 Emenda H; 1 kit aterramento.	INTELBRAS	Unit.	7
CONECTOR P/CABO MC4 PAR FM/MC 1VIA 1,5KV 39A Conector p/Cabo MC4 Par FM/MC 1VIA 1	INTELBRAS	Unit.	4
Serviço de instalação	Incluso no valor total		
Custo Total:	R\$55.643,66		

Fonte: Elaborado pela autora

- O tipo de tecnologia que o compõe este sistema é constituído de silício Monocristalino que tem como característica um maior rendimento na produção de
- Eletricidade e um peso relativamente baixo.
- A tensão e corrente elevadas, sistemas conectados à rede (On grid), necessitam de tensão e corrente maior, pois não haverá baterias para auxílio do desempenho destes, já que o consumo de energia é direto pela residência.
- Durabilidade, pois quanto mais durável maior é a viabilidade econômica do sistema.

Assim sendo, a escolha do modelo INTELBRAS, se deu pela adequação dos itens acima citados, além de apresentar elevada potência, peso reduzido e excelente custo-benefício, características essas difíceis de serem encontradas em um mesmo produto como foi, as Tabelas 7 e 8 nos demonstram os dados do modelo escolhido.

No Bloco A, foram projetadas 17 placas solares, tendo 3 entradas para cada inversor, o cálculo realizado para saber a potência e quantidade de watts gerados, foi realizada da seguinte forma:

Cálculo: $17 \div 3 = 5,6 = 6$ placas

Cada placa tem 550W por 40V

$6 \times 550 = 3.300$ W

$40 \times 6 = 240$ V

No Bloco B, foram projetadas 27 placas solares, tendo 3 entradas para cada inversos, o cálculo realizado para saber a potência e quantidade de watts gerados, foi realizada da seguinte forma:

Cálculo: $27 \div 3 = 9$ placas

Cada placa tem 550W por 40V

$9 \times 550 = 4.950 \text{ W}$

$40 \times 9 = 360\text{V}$

4.6

Custo da Implantação dos Painéis Fotovoltaicos

Na Tabela 10, o valor de investimento das placas fotovoltaicas do Bloco A, no valor de R\$37.646,21, sendo esse valor estimado a ser pago em 2,5 anos. Com a aplicação do sistema fotovoltaico o condomínio terá uma economia anual no valor de R\$ 11.246,48 no quarto ano, sendo que esse valor poderá ser reajustado de acordo com o custo da tarifa do kWh.

Na Tabela 11, é apresentado o valor de investimento das placas fotovoltaicas do Bloco B, no valor de R\$ 55.643,66 sendo esse valor estimado a ser pago em 2,5 anos. Com a aplicação do sistema fotovoltaico o condomínio terá uma economia anual no valor de R\$ 22.362,38.

O prazo de 2,5 anos de retorno financeiro estimado para o Bloco A e o Bloco B, referente ao valor investido da instalação do sistema solar fotovoltaico, é realizado através do somatório dos valores pagos mensalmente no intervalo de 1 ano de cada bloco, dentro desse intervalo anual terá um valor de gastos total.

Para realizar esse cálculo, foi pego o valor total do investimento e dividido pelo o valor total anual de contas de energia elétrica referente a cada bloco, e assim, pôde-se obter o prazo de retorno do investimento, com o condomínio dispondo do valor que paga mensalmente a concessionária dentro 2,5 anos pagar como forma de parcelamento do valor para o investimento, mais o valor de taxa mínima a concessionária. O lucro começará a ser visto no terceiro ano.

Tabela 10 – Tempo de Retorno do Investimento do Bloco A

ANO	GERAÇÃO ANUAL (kWh/ano)	CUSTO DO kWh	ECONOMIA ACUMULADA	RETORNO DO INVESTIMENTO
1	13.200,26	R\$1,15	R\$14.980,30	-R\$22.665,91
2	13.132,56	R\$1,25	R\$16.261,67	-R\$6.404,25
3	13.064,87	R\$1,37	R\$17.650,73	R\$11.246,48
4	12.997,18	R\$1,49	R\$19.156,48	R\$30.402,96
5	12.929,48	R\$1,62	R\$20.788,67	R\$51.191,63
6	12.861,79	R\$1,77	R\$22.557,88	R\$73.749,51
7	12.794,10	R\$1,93	R\$24.475,53	R\$98.225,03
8	12.726,40	R\$2,10	R\$26.554,01	R\$124.779,05
9	12.658,71	R\$2,29	R\$28.806,76	R\$153.585,81
10	12.591,01	R\$2,50	R\$31.248,29	R\$184.834,10
11	12.523,32	R\$2,72	R\$33.894,34	R\$218.728,44
12	12.455,63	R\$2,97	R\$36.761,95	R\$255.490,39
13	12.387,93	R\$3,24	R\$39.869,57	R\$295.359,96
14	12.320,24	R\$3,53	R\$43.237,17	R\$338.597,13
15	12.252,55	R\$3,84	R\$46.886,36	R\$385.483,49
16	12.184,85	R\$4,19	R\$50.840,58	R\$436.324,07
17	12.117,16	R\$4,57	R\$55.125,15	R\$491.449,23
18	12.049,47	R\$4,98	R\$59.767,52	R\$551.216,74
19	11.981,77	R\$5,43	R\$64.797,38	R\$616.014,12
20	11.914,08	R\$5,91	R\$70.246,88	R\$686.261,00
21	11.846,38	R\$6,45	R\$76.150,81	R\$762.411,81
22	11.778,69	R\$7,03	R\$82.546,82	R\$844.958,63
23	11.711,00	R\$7,66	R\$89.475,68	R\$934.434,31
24	11.643,30	R\$8,35	R\$96.981,48	R\$1.031.415,79
25	11.575,61	R\$9,10	R\$105.111,96	R\$1.136.527,75

Fonte: Elaborado pela Autora

Tabela 11 – Tempo de Retorno do Investimento do Bloco B

ANO	GERAÇÃO ANUAL (kWh/ano)	CUSTO DO kWh	ECONOMIA ACUMULADA	RETORNO DO INVESTIMENTO
1	20.965,11	R\$1,15	R\$23.909,88	-R\$31.733,78
2	20.857,60	R\$1,25	R\$25.945,00	-R\$5.788,78
3	20.750,09	R\$1,37	R\$28.151,16	R\$22.362,38
4	20.642,57	R\$1,49	R\$30.542,64	R\$52.905,02
5	20.535,06	R\$1,62	R\$33.134,95	R\$86.039,97
6	20.427,55	R\$1,77	R\$35.944,86	R\$121.984,83
7	20.320,03	R\$1,93	R\$38.990,54	R\$160.975,37
8	20.212,52	R\$2,10	R\$42.291,67	R\$203.267,04
9	20.105,01	R\$2,29	R\$45.869,56	R\$249.136,60
10	19.997,49	R\$2,50	R\$49.747,29	R\$298.883,89
11	19.889,98	R\$2,72	R\$53.949,84	R\$352.833,72
12	19.782,47	R\$2,97	R\$58.504,28	R\$411.338,00
13	19.674,95	R\$3,24	R\$63.439,91	R\$474.777,91
14	19.567,44	R\$3,53	R\$68.788,44	R\$543.566,35
15	19.459,93	R\$3,84	R\$74.584,23	R\$618.150,58
16	19.352,41	R\$4,19	R\$80.864,45	R\$699.015,02
17	19.244,90	R\$4,57	R\$87.669,36	R\$786.684,38
18	19.137,39	R\$4,98	R\$95.042,53	R\$881.726,92
19	19.029,87	R\$5,43	R\$103.031,13	R\$984.758,05
20	18.922,36	R\$5,91	R\$111.686,22	R\$1.096.444,26
21	18.814,85	R\$6,45	R\$121.063,04	R\$1.217.507,31
22	18.707,33	R\$7,03	R\$131.221,42	R\$1.348.728,73
23	18.599,82	R\$7,66	R\$142.226,08	R\$1.490.954,81
24	18.492,31	R\$8,35	R\$154.147,06	R\$1.645.101,87
25	18.384,79	R\$9,10	R\$167.060,17	R\$1.812.162,04

Fonte: Elaborado pela Autora

4.7

Viabilidade Econômica

Apesar das residências já possuírem medidor de energia, a substituição do mesmo torna-se necessária, pois o sistema de minigeração de energia durante o período de incidência solar, fará o medidor analógico antigo girar ao contrário, mas não contabilizará a energia excedente indo para rede da concessionária. Desta forma o medidor de energia bidirecional se mostra indispensável para viabilizar o projeto, pois este controla também o fluxo contrário.

Segundo a resolução nº 482 da ANEEL (2012) toda a adequação da medição para implantação do novo sistema, assim como, o cadastro de minigeração de energia, deverão ser custeados pelo cliente

O retorno financeiro é uma maneira mais simples de cálculo de investimento, este nos resulta no tempo necessário para recuperação do capital investido em determinado projeto, para KASSAI et. al (2000):

“O payback é o período de recuperação de um investimento e consiste na identificação do prazo em que o montante de dispêndio de capital efetuado seja recuperado por meio dos fluxos líquidos de caixa gerados pelo investimento.”

O VPL - Valor Presente Líquido¹² é amplamente utilizado para avaliar propostas de investimentos, pois se trata de um método mais completo que o *payback*, segundo WESTON E GITMAN (2001), a taxa interna de retorno (TIR) é a taxa de desconto que iguala o valor presente de fluxos de entradas de caixa com o investimento inicial associado a um projeto, por conseguinte tornando o VPL = \$ 0. Na prática projetos com Taxa Interna de Retorno (TIR) maior que a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) tem sua execução viável, enquanto que projetos com TIR menor que TMA torna-se inviável portanto deverão ser descartados.

¹² O valor presente líquido, também conhecido como valor atual líquido ou método do valor atual, é a fórmula econômico-financeira capaz de determinar o valor presente de pagamentos futuros descontados a uma taxa de juros apropriada, menos o custo do investimento inicial.

5

Conclusão

A dissertação faz inicialmente um panorama geral sobre a importância do desenvolvimento sustentável, e o quanto os elementos de uma construção sustentável traz impactos positivos para o meio ambiente e para as pessoas que habitam.

Uma edificação sustentável tem valor econômico, social e ambiental, além de valorização para o mercado imobiliário. A procura por edificações eficientes e sustentáveis tem valorizado cada vez mais e consequentemente as pessoas tem buscado cada vez mais esses tipos de empreendimentos, não somente pela sustentabilidade, mas também pelo retorno econômico que esse tipo de edificação pode proporcionar ao cliente final.

No mercado, os benefícios econômicos dos empreendimentos que utilizam energia solar, são visíveis com maiores taxas de ocupação e de valor de aluguel e um valor médio superior aos empreendimentos convencionais, aumentando diretamente a taxa de retorno de investimento. Atualmente, mesmo com o custo adicional para a implantação das placas solares, se revela econômica quando analisadas a longo prazo e, por isso está se tornando cada vez mais comum e tem se apresentado como uma tendência para os próximos anos.

Os síndicos dos condomínios têm investido bastante em inserções economicamente sustentáveis para essas edificações, por conta desse estudo foram avaliados e estudados dois prédios do mesmo condomínio localizados no bairro da Tijuca no Rio de Janeiro, com a finalidade de implementar uma tecnologia sustentável e econômica para a edificação.

O objetivo foi realizar uma análise para instalar placas solares fotovoltaicas com o sistema ON-GRID nessas edificações e apresentar o custo que cada condomínio teria em relação a esse sistema, e os benefícios que esse sistema irá levar a longo prazo para essas edificações de forma econômica.

O que pôde-se observar é que o sistema adotado trará um retorno financeiro significativo a longo prazo, apesar do alto investimento inicial para cada bloco, a redução e contribuição para as contas condominiais e ao meio ambiente. O cálculo de investimento que foi realizado é pegar os valores gastos mensalmente e somá-los em um intervalo de 1 ano, pegar o valor do investimento inicial e dividir pelo

custo anual que o condomínio tem de gasto, assim, pode-se obter o tempo de pagamento daquele sistema e que a partir daquele prazo de pagamento será lucro para o condomínio.

Uma das características do projeto é a substituição parcial da rede de energia, tornando-a a auxiliar no período noturno onde a geração é nula pelo fato de não haver incidência luminosa sobre as placas.

Este trabalho demonstra de maneira clara e objetiva, o conceito de viabilidade econômica através do retorno de investimento, podendo ser calculado com base em dados reais obtidos pela pesquisa. Os dados aqui expostos de dimensionamento mostraram suprir toda a demanda de energia elétrica do condomínio.

Com base nos resultados, pôde-se concluir que a implantação do sistema é viável, e que este podendo exceder sua vida útil de 25 anos, se torna um investimento ainda mais atraente, pois, o tempo de retorno do investimento de dois anos e meio anos se mantém fixo.

O cálculo e o sistema estudado foi unicamente e exclusivo para as duas edificações, com isso, é necessário avaliar caso a caso antes implementar o sistema fotovoltaico em uma edificação, pois cada uma tem as suas particularidades, como: sombreamento, consumo mensal, localidade, área de telhado para instalar as placas, em cima de todos esses levantamentos e estudos que é possível avaliar se é viável ou não a instalação de energia solar fotovoltaica.

6

Referências Bibliográficas

_____. **Guia Básica de la sostenibilidad.** Colaboração de Paul Hyett. Barcelona: Gustavo Gillo, 2001.

_____. Lei Federal nº6938/81. **Política Nacional do Meio Ambiente.** Brasília, 1981. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: março de 2022.

_____. Resolução CONAMA nº237, de 19 de dezembro de 1997. **Dispõe sobre licenciamento ambiental.** Brasília, 1997. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>>. Acesso em: fevereiro de 2022.

_____. Resolução CONAMA nº307, de 5 de julho de 2002. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.** Disponível em: http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/federal/resolucoes/2002_Res_CONAMA_307.pdf. Acesso em: fevereiro de 2021.

_____. NBR 16.150 – **Sistemas Fotovoltaicos (FV) – Características da Interface de Conexão com a Rede Elétrica de Distribuição – Procedimento de Ensaio de Conformidade.** Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 16.274 – **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede – Requisitos Mínimos para Documentação, ensaio de Comissionamento, Inspeção e Avaliação de Desempenho.** Rio de Janeiro, 2014.

_____. NBR IEC 62.116 – **Procedimento de Ensaio de Anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.** Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR ISO 14.044 - **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida – Exemplos ilustrativos de como aplicar a ABNT ISO 14044 à definição de objetivo e escopo e à análise de inventário.** ABNT. 2014.

_____. NBR ISO 14.044 - **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações.** ABNT. 2009

_____. NBR 16.149 – **Sistemas Fotovoltaicos (FV) – Características da Interface de Conexão com a Rede Elétrica de Distribuição.** Rio de Janeiro, 2013.

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL; RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20Normativa%20482,%20de%202012%20-%20bip-junho-2012.pdf>. Acesso em: janeiro de 2022.

AIJ – ARCHITECTURAL INSTITUTE OF JAPAN. Disponível em: <www.aij.or.jp>. Acesso em: agosto de 2021.

ALVES, Nayane Carolina. Estudo De Viabilidade Econômico -Ambiental De Um Sistema De Bombeamento De Água Para Dessedentamento Animal Por Meio De Energia Fotovoltaica Na Fazenda Ibia, Município De Colinas-To (Monografia) Centro Universitário Luterano de Palmas. 2016.p.64.

AMADO, M., et al.- **Relatório de Candidatura à Concessão de Terrenos em Cacuaco - Angola.** Luanda, Cunhas e Irmão, S.A.R.L., 2009

ASHRAE ADDENDA. ANSI/ASHRAE/IESNA, Standard 90.1-2007. **Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings.** American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 1791 Tullie Circle NE, Atlanta, GA 30329 Disponível em: <https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/standards%20and%20guidelines/standards%20addenda/90_1_2007_supplement.pdf>. Acesso em: março de 2021.

BANERJEE, Subhabrata B. **Organisational strategies for sustainable development: developing a research agenda for the new Millennium.** Australian Journal of Management, v. 27, Special Issue, 2002.

BANHAM, Reyner. **The Architecture of the Well-tempered Environment.** Second Edíton. The University of Chicago Press. 1984.

BARBOSA, Gisele Silva. **O desafio do desenvolvimento sustentável.** Revista Visões, n.4, v.1, jan./jun, 2008.

BARBOSA, L. A. G. **Edificações Inteligentes - conceitos e considerações para o projeto de arquitetura.** Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 2006.

BARROS, M. C.; BASTOS, N. F. **Edificações Sustentáveis e Certificações Ambientais – Análise do Selo Qualiverde.** Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ. 2015.

BELTRAME, E. de S. **Meio Ambiente na Construção Civil.** 2013. Disponível em: http://www.eduardo.floripa.com.br/download/Artigo_meio_ambiente.pdf>. Acesso em: julho de 2021.

BRAGANÇA, Luis e Mateus, Ricardo (2006). **Sustentabilidade de soluções construtivas.** Atas do Congresso sobre Construção Sustentável. Porto, Portugal, 2006.

BREEAM (2011). **Breeam New Construction.** Disponível em: <http://www.breeam.org>. Acesso em: abril de 2020.

BREEAM- BREEAM multi-residential 2008. Watford, BRE Global Ltd, 2008

BROWN, L. **Entrevista com Lester Brown pensador ambiental e presidente da Earth Policy Institute, cedida a RTS – Rede de Tecnologia Social,** em 16/01/2009. Disponível em: <https://www.rts.org.br/entrevistas/entrevistas-2009/lester-brown-pensador-ambiental-e-presidente-da-earth-policy-institute/?searchterm=lester>. Acesso em: março de 2022.

BRUNDTLAND, G. H.- **Our Common Future: The world commission on environment and development**. Paris, Oxford University Press, 1987

CBIC. Câmara Brasileira da Construção Civil. **Catálogo da Construção Civil. Brasília: CBIC, 2019**. Disponível em: <https://cbic.org.br/construcao-cresce-mais-de-4-e-ajuda-a-elevar-o-pib/> . Acesso em: maio de 2020.

CHA, Ariana E. **Solar Energy Firms Leave Waste Behind in China**. Washington Post, 09/03/2008. Acesso em: setembro de 2020.

CHEN, J. J. & CHAMBERS, D. **Sustainability and the impact of Chinese policy initiatives upon construction**. Construction Management and Economics. 1999. P 45-47. Acesso em: outubro de 2021.

CHIESA, G., ACQUAVIVA, A., GROSSO, M., et al. **"Parametric Optimization of Window-to-Wall Ratio for Passive Buildings Adopting A Scripting Methodology to Dynamic-Energy Simulation"**, Sustainability, v. 11, n. 11, p. 3078, 31 maio 2019. DOI: 10.3390/su11113078.

CHUEKE, D. A. **Estudos dos Impactos em Edificações Gerados por Ações de Sustentabilidade Implantada por Ocasão da Construção**. Politécnica Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: Microsoft Word - Daniel Chueke - Monografia (ufrj.br). Acesso: março de 2022.

CIB – **International Council for Research and Innovation in Building and Construction** (ed.). Agenda 21 para construção sustentável. Tradução do relatório CIB – Publicação 237. Tradução de I. Gonçalves: T. Whitaker; edição de G. Weinstock, D.M. São Paulo, 2000.

CINTRA JÚNIOR, Anizio; SOUZA, Igor de Menezes. **Células fotovoltaicas: O Futuro da Energia Alternativa**. 2018

CMMAD - Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo. **Nuestro futuro común**. Madrid:Alianza Editorial; 1987.

CMMAD, Comissão Mundial Sobre Ambiente e Desenvolvimento. **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro. Fundação Getúlio Vargas/FGV. 1988.

COELHO, Thays Fernandes; SERRA, Juan Carlos Valdés. **Tecnologias para Reciclagem de Sistemas Fotovoltaicos: Impactos Ambientais**. Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade | vol.15, n.7 | jun/dez –2018. ISSN 2319-2856.

CRUZ, Nathalia R. **Exposição ambiental ao chumbo: um problema de áreas contaminadas próximas a fábricas de bateria**. Bauru, 2012. DANTAS, Helene F. S. A. et al. Análise da exploração minerária e seus impactos, visando a recuperação de áreas degradadas: estudo de caso no município de Pedra Lavrada - PB. Jataí, GO, 25/07/2021

DEGANI, C.M.; CARDOSO, F.F. **A Sustentabilidade ao Longo do Ciclo de Vida de Edifícios: A Importância da Etapa de Projeto Arquitetônico**. In: NUTAU 2002 – **Sustentabilidade, Arquitetura e Desenho Urbano**. Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 7 a 11 outubro 2002

DIAS, Pablo. R. **Caracterização e reciclagem de materiais de módulos fotovoltaicos**. Porto Alegre, 31 de agosto de 2015.

DREXHAGE John; MURPHY Deborah. **Sustainable Development: From Brundtland to Rio 2012**.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. Tradução: AYRES FILHO, C. G.; CÉSAR JÚNIOR, K. M.; FERREIRA, R.C.; FERREIRA, S.L.– Porto Alegre: Bookman, 2014.

ECOSOLARER. **A primeira usina de reciclagem de painéis solares da Europa começa a funcionar na França**. Ecosolar, 28/03/2017. Acesso em: setembro de 2021.

SUCCAR, Bilal. **Building Information Modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders**. Elsevier, *Automation in construction* 2009, University of Newcastle, Australia, 2008 – p357-375.

SUCCAR, Bilal. Episode 17: **Individual BIM Competency**. **BIM Think Space**. 2012. Disponível em: <https://nam10.safelinks.protection.outlook.com/?url=http%3A%2F%2Fwww.bimthinkspace.com%2F2012%2F08%2Fepisode17-individual-bim-competency.html&data=02%7C01%7C%7C056523ff579b41d037bc08d7f6130c5c%7C84df9e7fe9f640afb435aaaaaaaaaaaa%7C1%7C0%7C637248433973047908&sdata=SbjKKuk4jWQpRPLZ11O1GpfBJRFsRuEUcUpCrZYjb%2F8%3D&reserved=0>. Acesso em: março de 2020.

BYNUM, P.; ISSA, R.; OLBINA, S. **Building Information Modeling in Support of Sustainable Design and Construction**. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 139, n. 1, p. 24-34, jan. 2013.

AGARWAL, R.; CHANDRASEKARAN, S.; SRIDHAR, M. **Imagining construction's digital future**. McKinsey&Company. Singapura. 2016.

BARROS, Natalia Nakamura; SILVA, Vanessa Gomes da. **BIM na Avaliação do Ciclo de Vida de Edificações: revisão da literatura e estudo comparativo**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas. São Paulo. v.7, n.2, p.89-101, jun.2016.

CARVALHO, A. P; BARBIERI, J. C. **Inovação para a sustentabilidade: ultrapassando a produtividade do sistema convencional no setor sucroalcooleiro**. In: SEMINARIO LATINO-IBEROAMERICANO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA, 8, 2009, Colômbia: ALTEC, 2009

CE-BIM, C. E. D. B.-. **BIM BR: construção inteligente**. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. [S.l.]. 2018.

LIMA, V. Y. S. D. et al. **Indústria 4.0: Desafios e Perspectivas na Construção civil**. *Campo do Saber*, v. 4, p. 146-158, Ago./Set. 2018. ISSN 2447-5017.

RUSCHEL, Regina Coeli; ANDRADE, Max Lira Veras Xavier; MORAIS, Marcelo de. **O Ensino de BIM no Brasil: Onde estamos? Departamento de Arquitetura e Construção**. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, São Paulo, v.13, n.2, p.151-165, abr-jun.2013

EDWARDS, B. **Green Buildings Pay**. London: Spon Press, 2003

ELETRÔNICA XAVIER. **Energia Fotovoltaica**. Disponível em <https://eletronicaxavier.com.br/energia-fotovoltaica>. Acesso em: outubro de 2021.

FEIL, Alexandre André. SCHREIBER, Dusan. **Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: desvendando as sobreposições e alcances de seus significados**. Cad. EBAPE, v. 14, n. 3, jul./set. 2017

Figueiredo, J. M. C.F (2014). **Gestão de Energia em Instituições de Saúde- Unidade Local de Saúde de Matosinhos**, EPE. Tese de Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

FREITAS, Taise Roberto de; SANTIN, Maria Carolina Yoshida; NASCIMENTO, José Gustavo Mateus; MARQUES, Claudia Scoton Antônio; PINTO, Bruno Henrique. **O Sistema Fotovoltaico como Solução Alternativa na Produção de Energia Elétrica no Brasil**. IX Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental São Bernardo do Campo/SP –26 a 29/11/2018. IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. Disponível em <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2018/X-009.pdf>. Acesso em: setembro de 2021.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **Certificado AQUA-HQE**, Vila dos Atletas é entregue ao Comitê Olímpico Rio 2016. 2016.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **Como Construir – Certificação AQUA-HQE**. 2015. Disponível em: < <http://vanzolini.org.br/noticia/como-construir-certificacao-aqua-hqe/>>. Acesso em: setembro de 2021.

FURUKAWA, Fábio Massaharu; CARVALHO, Bruno Branco de. **Técnicas Construtivas e Procedimentos Sustentáveis – Estudo de Caso: Edifício na Cidade de São Paulo**. UNESP – Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Campus de Guaratingueta. São Paulo, 2011.

Futuro da energia alternativa. TCC (Graduação) Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia –FACEG, Goianésia, GO, 2018, 43 p.

GALLO, Edmundo; SETTI, Andréia Faraoni Freitas; MAGALHÃES, Danielly de Paiva; MACHADO, Jorge Mesquita Huet; BUSS, Daniel Forsin; NETTO, Francisco de Abreu Franco; BUSS, Paulo Marchiori. **Saúde e economia verde: desafios para o desenvolvimento sustentável e erradicação da pobreza**. Ciênc. saúde coletiva, Rio de Janeiro, v. 17, n. 6, p. 1457-1468, jun. 2012.

GITMAN L J. **Princípios da administração financeira – essencial**. Tradução Jorge Ritter. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

HESCHONG, Lisa: **Delícia Térmica em Arquitetura (Paperback)**; 1979 Edition Paperback Cambridge, Mass.: MIT Press, 1990,

HOPWOOD, Bill.; MELLOR, Mary.; O'BRIEN, Geoff. **Sustainable Development: Mapping Different Approaches. Sustainable Development Sust. Dev.**, v. 13, p. 38-52, 2005.

IZUMI, H. **Policy design for environmental issues in building sector**. In: Institute of International Harmonization for Building and Housing. Sustainable building and policy design. Tokyo, 2002.

KASSAI JC, et. al. **Retorno de Investimento – Abordagem Matemática e Contábil do Lucro Empresarial**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2000

KIBERT, C. J. (1994). **Establishing Principles and a Model for Sustainable Construction, Proceedings of the First International Conference on Sustainable Construction of CIB TG 16**, págs. 917. Center for Construction and Environment, University of Florida, Tampa, Florida.

KIBERT, C. **Sustainable Construction - Green building design and delivery**. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc, 2008.

KIDDEE, P., Naidu, R., Wong, M.H., 2013. **Electronic waste management approaches: An overview**. Waste Manag. 33, 1237–1250. doi:10.1016/j.wasman.2013.01.006.

KIVITS, R. A., FURNEAUX, C. "**BIM: Enabling Sustainability and Asset Management through Knowledge Management**", The Scientific World Journal, v. 2013, p. 1–14, 2013. DOI: 10.1155/2013/983721.

LEONARDO et al. **Nanomateriais: Conversão de Energia Solar. Grandes áreas da nanotecnologia e suas aplicações**. V. 2, p. 3-40, 2015.

LERNER, J. **Acupuntura urbana**. Rio de Janeiro: Record, 2003.

LOPEZ et al. **Urban green spaces and the influence on vehicular traffic noise control**. Associação Nacional de Tecnologia. Porto Alegre, v. 18, n. 4, p. 161-175, 2018.

LUNA et al. **Solar Photovoltaic Distributed Generation in Brazil: The case of resolution 482/2012**. Energy Procedia, v. 159, p. 484–490, 2019.

MARQUES et al. **Políticas públicas em prol da sustentabilidade na construção civil em municípios brasileiros**. Revista Brasileira de Gestão Urbana. Vitória, v.10. p. 186-196, 2018.

NIETO, Alejandra e Trejo. **Crecimiento económico e industrialización en la agenda 2030: perspectivas para México**. Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía, [S.l.], v. 48, n. 188, 2017.

OLGYAY, V. (1963) **Aplicação de Dados Climáticos ao Design da Casa**. Vol. 2, Agência de Habitação e Finanças dos EUA, Washington DC.

OLIVE, G., **Synthèse d'expérimentations de bâtiments à Haute Qualité Environnementale en vue de recommandations pour la maîtrise d'ouvrage publique**, rapport final, ASSOCIATION HQE, (1998).

ORR, D.W. **Design on the edge: the making of a high-performance building**. Cambridge: The MIT Press, 2006.

PINHEIRO, Antonio Carlos da Fonseca Bragança; CRIVELARO, Marcos. **Edificações Inteligentes: Smart Buildings para Smart Cities**. Editora Érica. São Paulo, ed., 2020.

PINHEIRO, M. D. **Ambiente e Construção Sustentável**. Amadora, Instituto do Ambiente, 2006.

PINHEIRO, M. D. **Construção Sustentável - Mito ou Realidade?** VII Congresso Nacional de 109 Engenharia do Ambiente. Lisboa. 2003.

PORTAL DA CAIXA ECONÔMICA DO BRASIL. 2016.

Portal da habitação (2015). **Construção Sustentável**. Acedido a 6 de junho de 2015 em: <https://www.portaldahabitacao.pt>. Acesso em: junho de 2021.

PRASAD, S. **Clarifying intentions: the design quality indicator**. Building research & information, v.6, n.32, p.548-551, 2004.

RATTNER, H. **Sustentabilidade: uma visão humanista**. In: ABDL – Associação Brasileira para o Desenvolvimento de Lideranças – coluna identidade, 16 de janeiro de 2004. Disponível em: <http://www.lead.org.br/article/articleview/134/1/97/>. Acesso em: fevereiro de 2022.

RIO DE JANEIRO, Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. **Relatório GRI de Sustentabilidade da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2012.

RN 687 e energia solar: tudo o que você precisa saber sobre o assunto - Solarprime

ROAF, sue at alli. **Ecohouse A casa ambientalmente sustentável**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

ROBINSON, J. **Squaring the circle? Some thoughts on the idea of sustainable development**. Ecological economics, n.48, p.369-384, 2004.

RODRIGO, Adriana Gouveia. **Gestão de Empreendimentos e Soluções Técnicas para a Realização de Edifícios Sustentáveis Certificados pelo Processo AQUA**. Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para Obtenção do título de Mestre em Engenharia. São Paulo. 2011.

RODRIGUES, Alexandre Garcia; FREITAS, Fabrício Barbosa. **Estudo da Viabilidade de Implantação do Sistema de Energia Solar Fotovoltaica como Alternativa para a Crise Energética Brasileira**. Engenharia na Prática: Construção e Inovação, vol.4. Cap.5. pag 154-193. Editora Epitaya. Rio de Janeiro, 2022.

RODRIGUES, Marcelo Mendes. **Eficiência Energética em Edifícios de Habitação Unifamiliar**. Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa. Lisboa – Portugal, 2020.

SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2002.

Saint-Gobain Glass (2012). **Por um habitat sustentável**. Acedido a 6 junho de 2015. Disponível em: <http://climalit.pt>. Acesso em: agosto de 2021.

SANTOS, Gesmar Rosa dos. **Quarenta anos de etano em larga escala no Brasil, desafios, crises e perspectivas**. IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília, 2016.

SB ALLIANCE (2009b). Final report. Disponível em: <http://www.sballiance.org/>. Acesso em: junho de 2021.

SciELO - Brasil - **Matriz energética brasileira: uma prospectiva Matriz energética brasileira: uma prospectiva**.

SECOVI-SP, **Vida Longa às Edificações**. 2012. Acesso em: agosto de 2021.

SILVA, V. G. **Avaliação da Sustentabilidade de Edifícios de escritórios brasileiros: Diretrizes e base metodológica**. 2003.210p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SINGER, L. E., PETERSON, D. International energy outlook 2016. [S.l: s.n.], 2016. v. 0484. STERN, N. "The economics of climate change: The stern review", *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, v. 9780521877, p. 1–692, 2007. DOI: 10.1017/CBO9780511817434.

SOLBERG, Tiago Cytryn Collett S. **Análise Da Eficiência Energética Em Residências Multifamiliares Objetivando A Racionalização Da Construção**. Fev, 2022. Politécnica UFRJ, Rio de Janeiro. projpoli10036180.pdf (ufrj.br)

TEIXEIRA, André Carvalhais. **Otimização da Eficiência energética em Edifícios de Serviços e Comércio**. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. Vila Real, Portugal, 2018.

TOLMASQUIM, Maurício T. (org.) **Fontes Renováveis de Energia no Brasil, Rio de Janeiro: Interciência: CENERGIA**, 2003.

UNCED – THE UNITED NATIONS CONFERENCE ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Agenda 21, the Rio declaration on environment and development**. Rio de Janeiro, 1992.

UNEP – United Nations Environment Programme – CHENG, C, POUFFARY, S., SVENNINGSSEN, N., CALLAWAY, M., (org). **The Kyoto Protocol, The Clean Development Mechanism and the Building and Construction Sector – A Report for the UNEP Sustainable Buildings and Construction Initiative**. United Nations Environment Programme, 2008

VALOTO, F.M.; ANDRADE, B.S. **Construção civil e o ensino de práticas sustentáveis em prol do meio ambiente.** XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, COBENGE 2011, Blumenau - SC, 2011

VEIGA, José Eli da. **Cidades Imaginárias – O Brasil é menos urbano do que se calcula.** Campinas: Editora da Unicamp, 2005

VILLAIVA, Marcelo Gardela; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia Fotovoltaica: conceito e aplicação sistema isolados e conectados à rede.** 2ªEdição Revisada e Atualizada, Editora Saraiva, 2017.

WESTON J, Fred B. Eugene F. **Fundamentos da Administração Financeira.** 10 ed. São Paulo: Makron Books, 2000.

WORUBY, Mauro Sérgio. **Sistema de Energia Solar Residencial.** Unopar. Ponta Grossa - PR, 2018.

YEANG, Ken. **Ecodesign: Um Manual para Design Ecológic.** Wiley, 2006

ZILLES R, Mocelin A, Morante F. **Programa brasileiro de formação e certificação de instaladores de sistemas fotovoltaicos de pequeno e médio porte.** Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, v. 13, p. 10.09-10.16, 2009.